

SOLUCIÓN DE CONECTIVIDAD Y ALMACENAMIENTO PARA IMÁGENES
DIAGNÓSTICAS DESDE UNIDADES MÓVILES DE MAMOGRAFÍA PARA
ZONAS RURALES



Universidad
del Cauca

Jorge Alberto Enriquez Polanco

Tesis de Maestría en Telecomunicaciones

Director:
Oscar J. Calderón C.

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones Gestión Integrada de Redes,
Servicios y Arquitecturas de Telecomunicaciones
Popayán, 27 de febrero de 2024

JORGE ALBERTO ENRIQUEZ POLANCO

SOLUCIÓN DE CONECTIVIDAD Y ALMACENAMIENTO PARA IMÁGENES
DIAGNÓSTICAS DESDE UNIDADES MÓVILES DE MAMOGRAFÍA PARA
ZONAS RURALES

Trabajo de Grado Presentado para la Obtención del Título de:

MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

Director:
Oscar J. Calderón C.

Popayán, 27 de febrero de 2024

Resumen

Con el avance constante en las tecnologías de la información y las comunicaciones, se observa una creciente integración de estas en diversas áreas y procesos, incluyendo el sector de la salud. Dentro de este sector, el uso de equipos médicos, sistemas de diagnóstico y de información ha sido una constante. En el contexto de este trabajo de grado, se enfoca especialmente en los equipos utilizados para realizar estudios de imágenes diagnósticas del cuerpo humano.

Estos estudios son fundamentales, ya que permiten explorar el cuerpo humano en busca de enfermedades y facilitan el diagnóstico y tratamiento médico. Hoy en día, la tecnología ha posibilitado el almacenamiento y gestión de imágenes médicas a través del Sistema de Comunicación y Archivado de Imágenes (PACS) y el estándar DICOM (Imagen Digital y Comunicación en Medicina).

El proyecto de grado aborda una solución integral para el envío y almacenamiento de exámenes de diagnóstico médico de mamografía en unidades móviles operativas en áreas rurales del departamento de Nariño. El objetivo principal es simplificar la recolección, transmisión y almacenamiento de datos médicos de pacientes sometidos a estos estudios, centralizando la información en un servidor principal en una entidad de atención médica.

Este trabajo de investigación destaca una mejora significativa en la velocidad de transferencia de información, especialmente imágenes de mamografías, desde áreas rurales hasta la fase de visualización y diagnóstico por parte de los profesionales médicos. La implementación de un sistema PACS juega un papel crucial al permitir la transferencia eficiente de estas imágenes en formato DICOM desde las unidades móviles hacia el servidor principal, utilizando conexiones de red celular.

Además, este proyecto integra la inclusión de almacenamiento de información en dos niveles: en la nube y localmente. Las imágenes de mamografía se almacenan tanto en un servidor remoto basado en la nube como en dispositivos de almacenamiento locales en las unidades móviles. Esta estrategia asegura la seguridad y redundancia de los datos, al tiempo que facilita un acceso rápido y fluido a las imágenes para los profesionales

médicos involucrados en el proceso de diagnóstico.

Palabras Clave– Atención médica, imágenes de diagnóstico, DICOM, PACS, Mamografía, Unidades móviles, Almacenamiento en la nube, Transmisión de información, Datos médicos, Redundancia.

Abstract

With the constant advancement in information and communication technologies, there is a noticeable integration of these technologies into various areas and processes, including the healthcare sector. Within healthcare, the use of medical equipment, diagnostic systems, and information systems has been consistent. In the context of this thesis, particular emphasis is placed on the equipment used for diagnostic imaging studies of the human body.

These studies are crucial as they allow for the exploration of the human body for diseases and facilitate medical diagnosis and treatment. Nowadays, technology has enabled the storage and management of medical images through the Picture Archiving and Communication System (PACS) and the Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) standard.

The thesis project addresses a comprehensive solution for the transmission and storage of medical diagnostic mammography exams in mobile units operating in rural areas of the Nariño department. The primary objective is to streamline the collection, transmission, and storage of medical data from patients undergoing these studies, centralizing the information on a main server in a healthcare facility.

This research work highlights a significant improvement in the speed of information transfer, particularly mammography images, from rural areas to the visualization and diagnosis phase by medical professionals. The implementation of a PACS system plays a crucial role in enabling efficient transfer of these images in DICOM format from mobile units to the main server, using cellular network connections.

Furthermore, this project integrates the inclusion of information storage at two levels: in the cloud and locally. Mammography images are stored both on a cloud-based remote server and on local storage devices in the mobile units. This strategy ensures data security and redundancy while facilitating quick and seamless access to images for the medical professionals involved in the diagnostic process.

Keywords– Healthcare, Diagnostic Imaging, DICOM, PACS, Mammography, Mobile Units, Cloud Storage, Information Transmission, Medical Data, Redundancy.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de alguna manera a la realización de este proyecto. Agradezco el apoyo y la colaboración de quienes brindaron su tiempo, conocimientos y esfuerzo para hacer posible este trabajo. Su contribución ha sido invaluable y ha dejado una marca significativa en el desarrollo de este proyecto.

A todos los que de alguna manera participaron, ya sea proporcionando orientación, compartiendo recursos, o simplemente ofreciendo palabras de aliento, les estoy agradecido. Este proyecto no habría sido posible sin el apoyo de esta red de personas dedicadas.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Resumen	I
Abstract	III
Agradecimientos	V
Glosario	VI
TABLA DE CONTENIDO	VI
Lista de figuras	IX
Lista de tablas	XIII
1. Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Contexto y justificación	3
1.3 Metodología	12
1.3.1 Diseño de investigación	12
1.3.2 Fases del estudio	12
1.3.3 Instrumentos y técnicas de recolección de datos	13
1.3.4 Limitaciones del estudio	13
1.3.5 Conclusiones	14
2. Marco Teórico.....	15
2.1 Imágenes Médicas.....	15
2.1.1 Sistemas de Información Hospitalaria (HIS)	15
2.1.2 Sistemas de Información Radiológica (RIS)	16
2.1.3 Sistemas de Comunicación y Archivo de Imágenes (PACS)	18
2.1.4 Infraestructura del Sistema PACS.....	19
2.2 Estándares.....	21
2.2.1 Estándar HL7	21
2.2.2 HL7 Versión 3	22
2.2.3 Estándar DICOM	22
2.2.3.1 Características DICOM	23
2.3 Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)	23

2.3.1	WI-FI Long Distance	27
2.3.1.1	Características y ventajas	27
2.3.1.2	Estándares Wi-Fi de Larga Distancia	28
2.3.2	Enlaces Satelitales	30
2.3.3	4G (LTE).....	32
2.4	Almacenamiento de imágenes Médicas	33
3.	Diseño y Desarrollo de la Solución	36
3.1	Ubicación del Proyecto	36
3.1.1	Descripción del Municipio de prueba e Identificación de los usuarios	37
3.2	Sistemas de Comunicación	40
3.2.1	Planificación de Radioenlaces.....	41
3.2.1.1	Análisis Teórico	46
3.2.1.2	Análisis Técnico.....	47
3.2.2	Enlaces satelitales	50
3.2.2.1	Análisis Teórico	51
3.2.2.2	Análisis Técnico.....	52
3.3	Sistemas de almacenamiento de Imágenes Médicas	54
3.3.1	Requerimientos de la Entidad	55
3.3.1.1	Acceso al Sistema	56
3.3.1.2	Alcance	57
3.3.2	Requerimientos de Funcionamiento	58
3.3.3	Requerimientos de Servicio	59
3.3.4	Definición del Servicio.....	61
3.3.4.1	Almacenamiento y distribución	62
4.	Solución Propuesta y Arquitectura	64
4.1	Implementación	65
4.1.1	Configuración Conexión 4G.....	65
4.1.2	Conexión VPN.....	67
4.1.3	Servidor DICOM	68
4.1.4	Almacenamiento de la Información.....	70
4.1.5	Propuesta de Solución: Envío y Almacenamiento	71
5.	Pruebas y resultados	74
5.1	Prueba de Velocidad de Transferencia de Datos.....	74
5.1.1	Método Tradicional.....	75
5.1.1.1	Mejor y Peor de los Casos en Tiempo de Envío de Imágenes al Servidor PACS	78
5.1.2	Uso de Solución Tecnológica basada en datos móviles	79
5.1.2.1	Prueba de Envío y Recepción de Estudios	81

5.1.3	Comparación entre el método tradicional y nuevo método	89
5.2	Almacenamiento de Imágenes médicas	91
5.2.1	Prueba de almacenamiento	92
5.2.2	Visualización de los estudios	96
6.	Conclusiones	102
	Referencias	104
	Apéndice. A. Configuración del Router VPN	108
	Apéndice. B. Instalación y Configuración Servidor DICOM	112
	Apéndice. C. Configuración Almacenamiento Disco Espejo	124
	Apéndice. D. Configuración del Almacenamiento en la Nube con Google Drive ...	131

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1.1 Casos de cáncer de mama en Colombia (2015-2021)	5
2.1 Flujo de Trabajo RIS	18
2.2 Ejemplo Sistema PACS	19
2.3 Ejemplo de Imágenes de Diagnóstico Médico [Propia]	20
3.1 Departamento de Nariño	38
3.2 Recorrido Entre Pasto y Samaniego	40
3.3 Perfil de elevación Pasto - Samaniego	42
3.4 Estaciones de Comunicación Pasto - Samaniego	44
3.5 Ubicación de los radioenlaces TX y RX	45
3.6 Radioenlace entre Pasto - Samaniego	48
3.7 Primera sección Pasto - Repetidor 1	49
3.8 Tercera sección Repetidor 2 - Repetidor 3	49
3.9 Segunda sección Repetidor 1 - Repetidor 2	50
3.10 Cuarta sección Repetidor 3 - Samaniego	50
4.1 Router 4G	66
4.2 Antena 4G	67
4.3 Antena 4G	68
4.4 Servicio WEB de Orthanc	69
4.5 Arquitectura propuesta [Propia]	71
4.6 Esquema de conexión 4G [Propia]	72

4.7	Esquema de recepción de imágenes [Propia]	72
4.8	Esquema de almacenamiento híbrido [Propia]	73
5.1	Creación de jornada completa para copia [Propia]	76
5.2	Copia de jornada [Propia]	76
5.3	Distancia de Viaje a centro médico.....	77
5.4	Imagen en PACS [Propia]	78
5.5	Digitalizador Kodak CR850	80
5.6	Configuración de destino en Digitalizador [Propia].....	80
5.7	Creación de estudio y a espera de enviar [Propia]	81
5.8	Diagrama de flujo envió DICOM [Propia]	82
5.9	Envío del estudio al centro médico [Propia].....	84
5.10	transmisión Servidor [Propia]	85
5.11	transmisión cliente [Propia]	85
5.12	Verificación de recepción en el PACS [Propia]	86
5.13	Hora exacta de recepción en servidor [Propia]	87
5.14	Confirmación de envío de Estudio [Propia]	87
5.15	Confirmación de recepción de Estudio [Propia].....	88
5.16	Directorio de archivos DICOM [Propia].....	93
5.17	Disco espejo habilitado [Propia]	94
5.18	Almacenamiento en la Nube [Propia]	95
5.19	Configuración programa de visualización DICOM [Propia]	96
5.20	Configuración Query/Retrieve [Propia]	97
5.21	Visualización de pacientes [Propia]	98
5.22	Acceso a la visualización WEB [Propia].....	99

5.23	Visualización WEB [Propia]	99
5.24	Manipulación de imágenes en WEB [Propia]	100
A.1	Panel de Administración del Router.....	108
A.2	Configuración de IP Pública Estática	109
A.3	Configuración NAT	110
A.4	Configuración DMZ.....	110
A.5	Configuración Virtual Server.....	111
B.1	Instalador Windows Orthanc	112
B.2	Setup Orthanc	113
B.3	Términos y condiciones Orthanc	113
B.4	Ubicación de instalación Orthanc.....	114
B.5	Ubicación almacenamiento Orthanc	114
B.6	Componentes Orthanc.....	115
B.7	Carpeta de configuración	115
B.8	Instalación del Programa.....	116
B.9	Instalación Correcta	116
B.10	Reinicio de Orthanc	121
B.11	Servicio WEB de Orthanc.....	122
C.1	administrador de discos	124
C.2	Convertir Disco Dinámico.....	125
C.3	Disco Dinámico	125
C.4	Disco Dinámico creado	126
C.5	Crear Volumen Simple.....	126
C.6	Tamaño de Disco	127

C.7	Asignar letra de Unidad	127
C.8	Formateo de la Unidad	128
C.9	Finalizar nuevo volumen de Disco	128
C.10	Seleccionar agregar reflejo	129
C.11	Agregar reflejo Disco 3	129
C.12	Advertencia creación discos Dinamicos	130
C.13	Sincronización de los discos	130
D.1	Descarga Google Drive	131
D.2	Instalación Google Drive	132
D.3	Iniciar Sesión	132
D.4	Selección de carpeta para cargar.....	133
D.5	Sincronización de carpeta	133
D.6	Información en la nube	134

INDICE DE TABLAS

TABLA	Pág.
1.1 Tasas de Detección y Muertes por Año	10
2.1 Modalidad de Imágenes Médicas	21
2.2 Comparación de Estándares Wi-Fi de Larga Distancia [29]	29
2.3 Estimación de peso de información de imágenes médicas	34
3.1 Ubicación de los radioenlaces	42
3.2 Perfil de Elevación de las Estaciones	43
3.3 Distancia entre Estaciones	45
3.4 Estimación de tamaño para los estudios de mamografía en cada unidad móvil	55
3.5 Puntos de Acceso	56
5.1 Tiempos de envío por estudio	88
5.2 Comparación de tiempos de envío	90

1. Introducción

La mamografía es una de las técnicas más importantes para la detección temprana del cáncer de mama, una enfermedad que afecta a miles de mujeres en todo el mundo cada año. Sin embargo, muchas mujeres que viven en zonas rurales de Colombia no tienen acceso a este tipo de pruebas debido a la falta de unidades médicas especializadas y equipamiento adecuado.

Es por ello que, en este trabajo de grado, se propone la implementación de una solución para el envío y almacenamiento de imágenes de mamografía en unidades móviles desde zonas rurales de Colombia. Esta solución permitiría que las mujeres en zonas rurales tengan acceso a la detección temprana del cáncer de mama, mejorando así sus posibilidades de tratamiento y supervivencia.

El objetivo principal de este trabajo de grado es diseñar y desarrollar una solución tecnológica que permita el envío y almacenamiento de imágenes de mamografía en tiempo real desde unidades móviles en zonas rurales de Colombia. Para ello, se llevará a cabo un análisis de requerimientos, diseño de la solución, implementación y validación.

En cuanto a la metodología, se llevará a cabo una revisión bibliográfica para conocer el estado del arte en soluciones de este tipo, se realizarán entrevistas a profesionales de la salud y técnicos en comunicación para obtener información relevante y se utilizarán técnicas de investigación de campo para la validación de la solución.

Se espera que la solución propuesta pueda contribuir a mejorar la atención médica en zonas rurales de Colombia, especialmente en la detección temprana del cáncer de mama, así como a fomentar el uso de tecnologías de la información y la comunicación en el ámbito de la salud.

1.1 Planteamiento del Problema

Un estudio de rayos X es la principal fuente de imágenes diagnósticas para los hospitales y EPS (Entidades Prestadoras de Salud); en promedio por cada paciente que tenga un estudio de rayos X se producen 2 imágenes como mínimo, dependiendo de la complejidad del examen, generando así un gran volumen de información que en la mayoría de las ocasiones no se registra en ninguna base de datos digital, llegando a presentar complicaciones al momento de reconstruir la historia clínica de un paciente que ha sido atendido por diferentes especialistas a lo largo de su vida. Es en estos casos en donde se pierde información y ello puede conllevar a un mal diagnóstico por parte del médico tratante.

Debido a esto, se hace necesario una alternativa para el manejo de imágenes diagnósticas, particularmente de mamografías, de una forma más rápida y mejor, aprovechando los recursos ofrecidos por las telecomunicaciones e informática, con su capacidad de transporte de información, conectividad, procesamiento de datos y almacenamiento de información, lo cual lleva a tener unas ventajas como:

- Accesibilidad: todo personal médico tendrá acceso a la información disponible del paciente desde cualquier sitio y en cualquier momento.
- Seguridad: respaldo de la información.
- Facilidad de almacenamiento: todo se hace de manera automática.
- Economía: menor costo de operación que por manejo convencional.
- Bases de datos: almacenamiento de información del paciente logrando realizar un mejor seguimiento a cada uno.
- Visualización múltiple: se puede tener la información de cada paciente en cualquier parte y de manera simultánea en distintas áreas.

Ahora bien, todo lo planteado es para entidades con sede física en las poblaciones principales del país, pero no para poblaciones en zonas lejanas, donde solo hay centros de

salud, los cuales no cuentan con todos los equipos para realizar un estudio diagnóstico de rayos X. Para estos casos hay unidades móviles las cuales cuentan con la infraestructura de una sala portátil de rayos X, o de mamografía, las cuales se transportan a las distintas poblaciones del país realizando estos estudios.

Sin embargo, de nada sirve hacer los estudios sin poder realizar a tiempo, la correcta lectura de estos exámenes, por parte del médico radiólogo. En este contexto, de las unidades móviles, una vez terminada la jornada de obtención de mamografías, se extraen todos los estudios y se almacenan en un disco duro portable, que se envía a la sede central para su lectura. Esta actividad demanda mucho tiempo, en algunas ocasiones más de 3 días de viaje para poder llevar los estudios hasta el servidor central y que puedan ser consultadas por el médico radiólogo. Al ser poblaciones lejanas, existe el riesgo de daño en los equipos, en la unidad portable de almacenamiento, pérdida de información o de daño en la misma.

Bajo este contexto, se requiere analizar las posibles opciones que permitan, por un lado, mejorar las condiciones de envío de información mamográfica desde las unidades móviles, de forma más expedita (reducir la demora en envío de información de alrededor de tres días a unas pocas horas o minutos), a la oficina central del hospital o centro de salud, y por el otro, establecer las dificultades y opciones respecto al almacenamiento de la información en el centro hospitalario.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, este trabajo de grado se enmarca en el análisis situacional que presenta una Institución Prestadora de Servicios de Salud ¹, y en la búsqueda de soluciones a un problema de comunicación y almacenamiento de imágenes médicas (mamografías) tomadas en sitios remotos.

1.2 Contexto y justificación

En Colombia, durante la última década, 22.174 mujeres han perdido la vida por el cáncer de mama, catalogada como la principal causa de muerte por cáncer en las

¹La institución prestadora de salud tiene su sede central en la ciudad de Pasto, y debe recolectar las mamografías en los municipios rurales del departamento de Nariño, entre ellos: La Unión, Samaniego, Sandona.

mujeres [1]. La subdirectora de enfermedades no transmisibles del Ministerio de Salud y Protección Social, Nubia Bautista, señaló que, "*El cáncer de mama es un problema de salud pública que va en aumento a nivel nacional y mundial*".

El cáncer de mama es considerado la principal causa de incidencia y mortalidad en las mujeres en Colombia y en la mayoría de los países latinoamericanos y del Caribe; por lo que se hace necesario reforzar los mensajes a la población femenina sobre los modos, condiciones y estilos de vida, autocuidado, tamización, signos y síntomas asociados a esta enfermedad, y la importancia de acudir a los servicios de salud oportunamente.

La mortalidad por cáncer de mama en mujeres asciende anualmente, en 2009 se registraron 2.243 muertes, mientras que en 2019 fueron 3.535, lo que representa un incremento del 36,5 %, registrando en una década la muerte de, 22174 mujeres con edades comprendidas entre los 30 y 70 años [1].

Entre el 2 de enero de 2020 y el 1 de enero de 2021, correspondiente al último periodo auditado, el cáncer de mama ocupó el primer lugar en frecuencia entre los 11 tipos de cáncer priorizados, y continúa siendo el más común en las mujeres, representando el 28 % del total de casos nuevos. Con corte al 30 de abril del 2021, se ha informado de 86.723 casos prevalentes de cáncer de mama en la población femenina, siendo el cáncer más común en las mujeres, con el 28 % del total de los casos nuevos. Así mismo, la frecuencia del cáncer de mama durante el periodo comprendido entre el 02 de enero de 2019 y el 1° de enero de 2020 fue de 7.047 casos nuevos reportados, 74.863 casos prevalentes y 3.056 mujeres fallecidas. El 93 % de los casos nuevos reportados, eran casos invasivos ², es decir, 6.550 pacientes [2]. La figura 1.1 muestra los casos de cáncer de mama en Colombia en el periodo 2015-2021 que han sido auditados.

Se ha evidenciado un incremento del 52 % en la Proporción de los Casos Nuevos Reportados (PCNR), del 90 % en la prevalencia y del 63 % en la mortalidad. En el periodo comprendido entre el 02 de enero de 2021 y el 31 de agosto de 2022 se informaron 14.543 casos nuevos reportados (CNR) con cáncer de mama. La mediana de edad fue de 59 años (RIC: 49-68); las regiones con mayor proporción de CNR fueron la Central (30,83 %) y la Caribe (19 %) [3].

²Una enfermedad invasiva es la que se propaga a los tejidos circundantes, describe la enfermedad que se ha diseminado fuera del tejido donde empezó

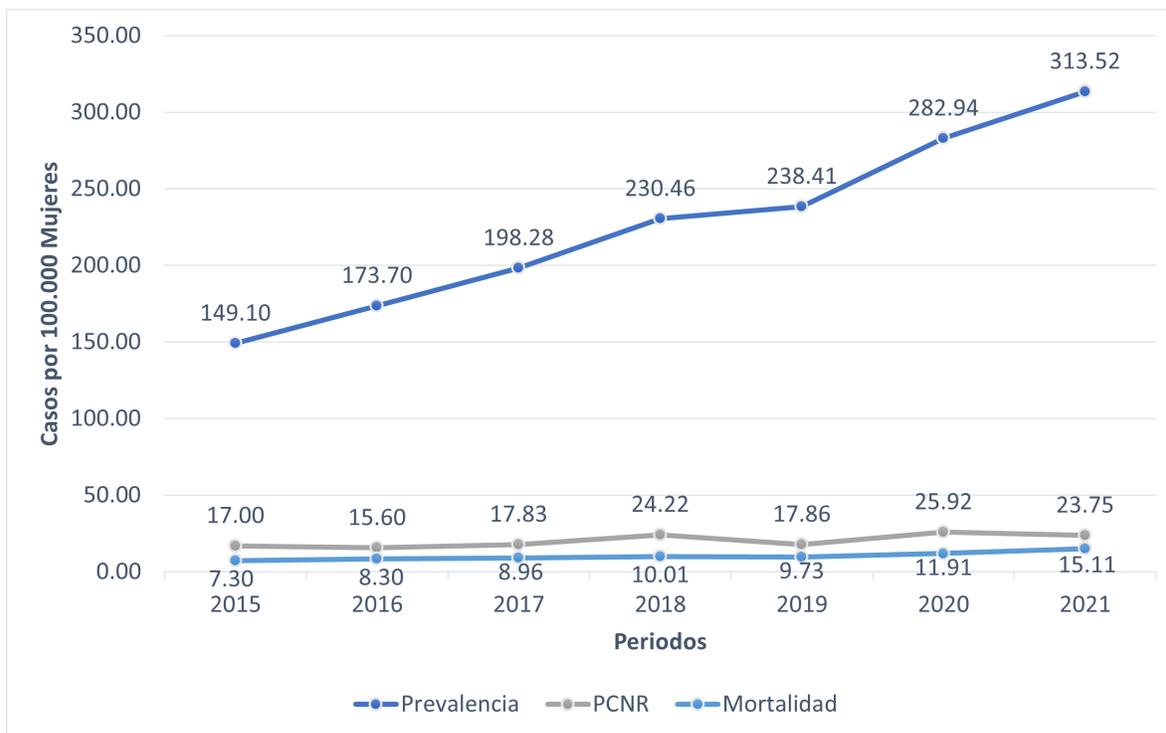


Figura 1.1: Casos de cáncer de mama en Colombia (2015-2021) [2]

De acuerdo al Plan Nacional de Salud Rural (PNSR) [4], una de las principales preocupaciones del sistema de salud colombiano es reducir las brechas entre la atención médica en el campo y en la ciudad. Aunque la cobertura universal en salud alcanza el 95 % de la población a nivel nacional, aún existen disparidades significativas en algunos territorios del país.

En particular, los municipios rurales y de baja densidad poblacional a menudo experimentan rezagos importantes en el acceso a servicios de salud de calidad. Estas comunidades también tienden a tener mayores índices de necesidades básicas insatisfechas y a veces, son afectadas por el conflicto armado. Por ejemplo, en el caso de las mamografías, solo el 26 % de las mujeres de 40 a 69 años en áreas rurales se han realizado este examen, en comparación con el 52 % de las mujeres de la misma edad en zonas urbanas [5].

Además, en las zonas rurales hay una mayor prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles, como la diabetes y la hipertensión. Por lo tanto, se necesita una atención

médica especializada y un enfoque preventivo para abordar estas condiciones de salud en estas comunidades.

Es importante destacar que la violencia y el conflicto armado también impactan el acceso a servicios de salud en algunas regiones del país, especialmente en las comunidades indígenas y afrodescendientes. Estas poblaciones a menudo experimentan desplazamientos forzados y otras dificultades que limitan su acceso a servicios de salud de calidad. A pesar de los avances en cobertura universal, sigue siendo necesario trabajar en políticas y estrategias que aborden las brechas existentes y promuevan la equidad en salud para toda la población en Colombia, independientemente de su lugar de residencia o condición socioeconómica.

Parte de la detección temprana surge a partir de un eficiente acceso a servicios de salud y a exámenes diagnósticos especializados, que proporcionan mejoras en las condiciones para empezar a tratar la enfermedad, reduciendo la tasa de mortalidad en mujeres portadoras de cáncer de mama. Cabe resaltar, que, para poder tener acceso a dichos servicios, las mujeres deben estar prestas a tomarlos, pero en algunos casos, surgen limitantes que hacen que estas detecciones no se den a tiempo. Entre estos, están las condiciones económicas, la calidad en la prestación de servicios médicos en los territorios, la distancia entre las poblaciones rurales y urbanas con respecto a los centros de salud y la falta de conocimiento respecto a la enfermedad.

Por ejemplo, existe un gradiente social en la participación en la detección del cáncer de mama en muchos países. Un nivel socioeconómico de bajos ingresos, poca o insuficiente educación, baja tasa ocupacional o seguro médico, bajo usos de los servicios de salud, unido a que las personas pertenezcan a una minoría étnica, en algunos países se asocia con una baja participación en exámenes para la detección del cáncer de mama, por ejemplo, en países como Francia, las probabilidades de participar en la detección del cáncer de mama son un 29% más bajas en las zonas más desfavorecidas en comparación con las menos desfavorecidas. También hay desigualdades geográficas que afectan la detección del cáncer de mama; las mujeres que viven en áreas rurales o lejos de los centros de mamografía participan menos en dichos exámenes [6].

También en Francia el cáncer de mama es el cáncer más común antes de los cánceres

de próstata, pulmón y colorrectal, y la tercera causa de muerte. En 2018, se estimaron 58.459 casos nuevos y 12.146 muertes por cáncer de mama. El cáncer de mama se puede diagnosticar en una etapa temprana mediante detección basada en un examen mamográfico. La mamografía organizada se ofrece en Francia desde 2004 a todas las mujeres entre 50 a 74 años con riesgo moderado. Se basa en una mamografía y un examen clínico mamario cada 2 años [6].

Asimismo, las altas tasas de mortalidad por cáncer también pueden atribuirse en parte a la falta de infraestructura de salud adecuada y personal de atención médica. Un enfoque importante para reducir las tasas de mortalidad, según estudios realizados en países en desarrollo, consiste en mejorar el acceso a las pruebas de detección del cáncer [7]. Los principales factores que influyen en la baja participación de programas organizados de detección del cáncer son: el bajo nivel socioeconómico y la ruralidad.

De los 12 millones de casos incidentes y 8 millones de muertes por cáncer en todo el mundo en 2008, el 53 % de los casos nuevos y el 65 % de las muertes ocurrieron en países menos desarrollados. Se ha encontrado que las tasas de detección del cáncer son muy bajas en los países en desarrollo; solo el 19 % de las mujeres se sometieron a pruebas de detección del cáncer de cuello uterino, en comparación con más del 60 % en los países desarrollados [7].

Reducir las desigualdades en salud es un importante desafío de salud pública para muchos países. Incluso más allá del ámbito de la salud, la persistencia o el empeoramiento de estas desigualdades es un obstáculo importante para la cohesión social y económica. Se han encontrado diferencias socioeconómicas en la incidencia y supervivencia del cáncer para muchos tipos de cáncer y en muchas poblaciones. Los pacientes socialmente más desfavorecidos muestran una supervivencia consistentemente menor que aquellos que se encuentran en mejores condiciones económicas [8].

Las unidades móviles de mamografía se utilizan para aumentar la tasa de participación en el examen de mamografías en muchos países. Las evaluaciones móviles han abordado con mayor frecuencia lo siguiente: minorías específicas de la población, poblaciones rurales y el número de cánceres detectados. Sin embargo, las tasas de participación de las unidades móviles en la población general han recibido

poca atención. Estas unidades móviles tienen como objetivo aumentar la cobertura en la prestación del servicio y generar espacios que promuevan la eficacia de estas en la reducción de las desigualdades sociales y geográficas con respecto a la participación en el examen de mamografía en una población general bien definida en un territorio francés [8].

Sin embargo, la falta de profesionales de la salud y especialistas en áreas rurales y remotas presentan desafíos para brindar la atención médica requerida a una población dispersa. Un ejemplo de ello se encuentra en Australia en 2016, una encuesta a radiólogos australianos encontró que el 85,6 % estaban ubicados en una ciudad principal, pero con la posibilidad de brindarle servicios médicos en modalidad remota, a pacientes ubicados a largas distancias de los puntos de atención. La telesalud, la telemedicina y, en particular, la teleradiología, se utilizan cada vez más en todo el mundo para facilitar la prestación de atención médica cuando el proveedor de atención médica y los pacientes o clientes están separados por la distancia [9].

Otro análisis logra identificar que cuanto más oportuna sea la prestación de servicios que diagnostican el cáncer de mama en los centros regionales, más se reduce la ansiedad que acompaña a la vía de diagnóstico. Los clientes en esta evaluación apreciaron no tener que esperar mucho para asistir a la clínica de evaluación y estaban satisfechos de que personal médico les pudiera realizar los procedimientos en el día [9].

Igualmente, en Australia el cáncer de mama fue el cáncer más comúnmente diagnosticado en mujeres australianas, con 19.535 casos confirmados para el año 2019. A las mujeres australianas de entre 50 y 74 años se les recomienda que cada dos años se practique una mamografía gratuita para mejorar la detección temprana y el tratamiento [9]. Asimismo, la incidencia del cáncer y las tasas de mortalidad han ido en aumento y se prevé que aumenten a un ritmo aún más rápido en países en desarrollo.

El cuidado de la salud es el sector donde se ha descuidado la adopción de tecnología, aun cuando en la actualidad las tecnologías disponibles pueden contribuir sustancialmente en el desarrollo y organización del sistema de salud para el bienestar de los ciudadanos. Sin embargo, aún persisten inequidades en la cobertura y el tratamiento brindado debido a las barreras geográficas, la capacidad del personal

capacitado, la capacidad tecnológica y la organización entre los sistemas de salud locales. Al aumentar la accesibilidad de la atención médica con la telemedicina, los pacientes pueden buscar tratamiento antes y adherirse mejor a los procedimientos prescritos, mejorando la calidad de vida, como ya se usa en pacientes con enfermedades crónicas [10].

Asimismo, la telemedicina facilita el contacto directo de un paciente con un especialista distante, sin requerir el desplazamiento de ninguno de los participantes, permitiendo el acceso a varios servicios de atención médica que de otro modo no serían accesibles por la distancia geográfica o la ausencia de infraestructuras sanitarias. Por lo tanto, la telemedicina puede crear una nueva colaboración entre hospitales y ubicaciones; un ejemplo de ello es la extensión del hospital a la casa de un paciente y/o permitiendo que el paciente esté virtualmente en el hospital y fácilmente accesible para exámenes de diagnóstico temprano, lo que aumenta en gran medida las posibilidades de éxito en el tratamiento de la enfermedad [10].

La telemedicina abre la posibilidad de aumentar la gama de servicios médicos disponibles, aumentando así el ahorro en términos de costos de las organizaciones de atención médica. Por ejemplo, el proyecto RAMS (*Remote and Automatic Mammogram Screening*) busca mejorar la precisión, la velocidad, el costo y la accesibilidad de las mamografías, con un programa de inteligencia artificial, el cual tiene un aprendizaje automático que se entrenó con más de 100.000 ejemplos de imágenes de mamografías. Este es capaz de detectar los tumores que puedan encontrarse en las imágenes que se suban al programa. Esto facilita y mejora la detección del cáncer en las mujeres [11].

Adicionalmente, es de resaltar que los dispositivos como celulares o tablets son grandes aliados y de suma importancia debido a que cuentan con software especializado para aprender distintas clases de procedimientos y así tener más experiencia en la realización de estos en la vida real. Esto también sirve para el mismo personal de salud, para enseñar al resto con las mismas instrucciones que la aplicación brinda, y así proveer de más conocimiento a la comunidad [12].

Asimismo, la ayuda de los teléfonos celulares y las tablets hace posible tener un aprendizaje más intuitivo y mucho mejor que leer unos textos que en muchos casos no

poseen información actualizada, lo que conlleva a realizar malos procedimientos y no salvar vidas. Estas nuevas tecnologías son soluciones para promover la salud pública en todas las regiones del mundo con difícil acceso y falta de información médica, y así subir los niveles de salud en las regiones más apartadas del mundo. Estos como mecanismos que facilitan la comunicación entre zonas remotas y permiten agilizar los procesos médicos a pesar de la distancia [12].

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se puede representar algunos datos de interés en la Tabla 1.1 en referencia a los países mencionados y las tasas de detección de cáncer y muertes en su respectivo año

Tabla 1.1: Tasas de Detección y Muertes por Año

Año	Países	Casos Nuevos de Cáncer	Muertes X Año
2018	EE.UU	254.744	42.465
2018	Francia	58.469	12.146
2018	Australia	10.756	2.999
2019	Colombia	7.047	3.056
2019	Mundial	2.2 millones	685.000

Como se mostró en la tabla 1.1, las cifras corresponden solo a la población atendida, sin considerar aquella que no fue posible atender o que no requirieron el servicio, por ejemplo, en Estados Unidos se encontró que había un gran porcentaje de mujeres mayores de 40 años que nunca se habían realizado un examen de mamografía, o no lo había realizado cada dos años. Solo dos de cada tres mujeres que se habían realizado una mamografía continuaron haciéndose las pruebas de detección con regularidad, y el doble de estas mujeres optaron por la detección anual en lugar de la detección cada dos años [13].

En Colombia, según un estudio realizado en la ciudad de Manizales y 14 municipios del departamento de Caldas, se determinó que una de los principales problemas para la toma de exámenes de mamografía es que las mujeres eran de muy bajos recursos, algunas vivían a 3 o 5 horas del casco urbano del municipio y nunca habían accedido a una mamografía [14]. El 38 % de las mujeres que sufren cáncer de mama en Colombia

tienen que recurrir a préstamos bancarios para responder a gastos de transporte, salud, vivienda, comunicaciones y alimentación. Además de esto, se identificó que algunas de ellas pierden sus empleos durante el tratamiento [15].

Después de la revisión de literatura, se logra concluir que los escenarios en los que se evidencia la oportunidad de mejora en la prestación de servicios médicos especializados de toma de imágenes de diagnóstico, en el caso particular de las mamografías móviles, ofrecen una solución para evitar diagnósticos tardíos en la detección del cáncer de mama y a su vez, la disminución de la tasa de mortalidad de mujeres que padecen esta enfermedad. Además, se logra identificar cómo las tecnologías de la información y comunicación, aportan de manera significativa a la agilización de los mismos procesos médicos, proporcionándoles oportunidad y eficiencia en la intercomunicación y obtención de resultados.

Por otro lado, el uso de tecnologías de la información y la comunicación en el ámbito de la salud ha crecido en los últimos años, y se han desarrollado soluciones para el envío y almacenamiento de imágenes médicas en tiempo real, lo que puede mejorar la calidad de la atención médica y reducir los costos de traslado y almacenamiento de las imágenes.

Basándose en un informe realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) [16], sobre la accesibilidad de los países al servicio de Internet y la brecha existente entre las zonas urbanas y rurales, evidenció que, en países en desarrollo, hay una brecha digital de entre 5 % y 10 %, mientras que en territorios poco desarrollados puede haber una diferencia de acceso de hasta 30 %, además, varios estudios de la misma organización aseguran que solo 40 % de hogares rurales acceden a Internet en América Latina. Según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) [17], y como lo señala su director, Juan Daniel Oviedo, el 56.5 % de hogares en el país tiene acceso a Internet. En las zonas rurales y las zonas urbanas, el 23.8 % y el 66,5 % de las personas pueden acceder a una conexión a Internet respectivamente.

En este contexto, se propone la implementación de una solución para el envío y almacenamiento de imágenes de mamografía en unidades móviles desde zonas rurales de Colombia. Esta solución permitiría que las mujeres en estas zonas tengan acceso a la detección temprana del cáncer de mama, mejorando así sus posibilidades de

tratamiento y supervivencia. Además, la implementación de esta solución fomentaría el uso de tecnologías de la información y la comunicación en el ámbito de la salud en Colombia, lo que puede contribuir a mejorar la calidad de la atención médica en general y reducir los costos asociados con el transporte y almacenamiento de las imágenes médicas.

1.3 Metodología

1.3.1 Diseño de investigación

El diseño de investigación que se propone para este trabajo de grado es un estudio de caso único, ya que se pretende analizar el proceso de implementación de una solución tecnológica para el envío y almacenamiento de imágenes de mamografía en unidades móviles en zonas rurales de Colombia.

1.3.2 Fases del estudio

El estudio constará de las siguientes fases:

1. **Revisión bibliográfica:** se realizará una revisión de la literatura existente sobre soluciones tecnológicas para el envío y almacenamiento de imágenes médicas, así como sobre los desafíos asociados con la atención médica en zonas rurales de Colombia. Esta revisión bibliográfica permitirá establecer el marco teórico y conceptual para la investigación.
2. **Diseño de la solución tecnológica:** se diseñará una solución tecnológica para el envío y almacenamiento de imágenes de mamografía en unidades móviles en zonas rurales de Colombia. Esta solución deberá ser eficiente, segura y adaptable a las necesidades específicas de las unidades móviles.
3. **Implementación de la solución tecnológica:** La implementación consistirá en una fase piloto, donde se aplicará la solución tecnológica en un conjunto reducido de unidades móviles. El propósito de esta etapa es demostrar la mejora que la

solución puede proporcionar. Es decir, se busca validar su efectividad antes de una posible implementación a mayor escala.

4. **Evaluación de la solución tecnológica:** Evaluar el impacto de la solución tecnológica implementada en las unidades móviles seleccionadas, tomando en cuenta diferentes métricas para medir los resultados. Se analizará la mejora en el acceso a la atención médica, la reducción de costos operativos y la calidad de la atención médica ofrecida a los pacientes.
5. **Análisis de datos:** se llevará a cabo un análisis de los datos recopilados durante la evaluación de la solución tecnológica implementada. Este análisis permitirá comprobar o refutar la solución a la problemática planteada

1.3.3 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Los instrumentos y técnicas de recolección de datos que se proponen para este estudio son los siguientes:

1. Análisis de los registros de uso de la solución tecnológica.
2. Análisis de los registros de atención médica antes y después de la implementación de la solución tecnológica.
3. Análisis de costos asociados con el transporte y almacenamiento de imágenes médicas.

1.3.4 Limitaciones del estudio

Algunas de las posibles limitaciones que podrían presentarse en este estudio incluyen:

1. Limitaciones en la disponibilidad de unidades móviles para la implementación de la solución tecnológica.
2. Limitaciones en la disponibilidad de recursos económicos para la implementación de la solución tecnológica.

3. Limitaciones en la participación de pacientes y profesionales de la salud en el estudio.

1.3.5 Conclusiones

La metodología propuesta permitirá llevar a cabo un estudio riguroso y sistemático sobre la implementación de una solución tecnológica para el envío y almacenamiento de imágenes de mamografía en unidades móviles desde zonas rurales de Colombia. Los resultados obtenidos podrían servir como referente para mejorar el acceso a la atención médica en zonas rurales.

2. Marco Teórico

El marco teórico de este estudio se basa en dos áreas principales: las imágenes médicas y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). A continuación, se describen brevemente los aspectos más relevantes de cada una de estas áreas:

2.1 Imágenes Médicas

Las entidades prestadoras de salud, bien sea hospitales o centros de salud de pequeña o mediana complejidad, deben generar y manejar múltiples fuentes de información de distintas características, así como, datos de los pacientes, imágenes diagnósticas, resultados de análisis, entre otros. Toda esa información se gestiona de manera diferenciada en tres tipos de sistemas que son:

- Sistemas de Información Hospitalaria (HIS, *Hospital Information System*).
- Sistemas de Información Radiológica (RIS, *Radiology Information System*).
- Sistema de Comunicación de Archivos de Imágenes (PACS, *Picture Archiving Communications System*).

2.1.1 Sistemas de Información Hospitalaria (HIS)

HIS se define como un sistema electrónico integrado que recopila, almacena, recupera y muestra datos e información generales de los pacientes, como su historia clínica, los resultados de las pruebas de laboratorio, los diagnósticos, la facturación y otros procedimientos relacionados con el hospital, los cuales se utilizan en varios de sus departamentos de servicio [18]. En consecuencia, HIS tiene varios componentes, por ejemplo,

- Sistema de Información Clínica (CIS, *Clinical Information System*).

- Sistema de Información Financiera (FIS, *Financial Information System*).
- Sistema de Información de Laboratorio (LIS, *Laboratory Information System*).
- Sistema de Información de Enfermería (NIS, *Nursing Information System*).
- Sistema de Información de Farmacia (PIS, *Pharmacy Information System*).
- Sistema de información de Radiología (RIS, *Radiology information system*).
- Sistema de Comunicación de Archivos de Imágenes (PACS, *Picture Archiving Communications System*)

Todos los sistemas de información utilizan una Red de Área Local (LAN, *Local Area Network*), para la comunicación de los datos con las distintas estaciones de trabajo, esto también permite comunicar bases de datos entre distintas instituciones médicas que requieran compartir la información, para el caso del trabajo de grado actual se puede realizar mediante Redes Móviles de telefonía celular, Satelitalmente o Acceso por redes WIFI públicas. Para la implementación del Sistema de Información Hospitalaria se requiere de:

- Una red de comunicaciones: Tipos de redes (Intranet e Internet).
- Equipo de cómputo (hardware): Dependiendo de la infraestructura y la posibilidad económica de las instituciones.
- Software base: Selección de plataforma con la cual se programará el sistema, que además debe ser amigable al usuario.

2.1.2 Sistemas de Información Radiológica (RIS)

El Sistema de Información de Radiología (RIS) es una herramienta clave en la gestión y flujo de trabajo de los equipos médicos en la imagenología digital. El RIS permite a los especialistas en radiología recopilar y almacenar información sobre pacientes, exámenes, diagnósticos y otros datos relevantes del departamento de imagenología. El software y hardware del RIS permiten gestionar la información

médica y técnica necesaria para llevar a cabo los estudios de diagnóstico por imágenes. Esto incluye la información del paciente, los exámenes que se deben realizar, los horarios y duración de los estudios, y los datos del personal médico, técnico y administrativo involucrado en el proceso. Además, el RIS es responsable de la creación del informe radiológico, que incluye los datos del paciente, los exámenes realizados, las imágenes médicas y el diagnóstico del especialista. Para garantizar la calidad de la información, el RIS debe seguir un protocolo de comunicación estándar y un formato de imágenes, para asegurarse de que los informes sean precisos y estén estandarizados.

El RIS está estrechamente relacionado con el Sistema de Comunicación y el sistema PACS. Ambos sistemas interactúan mediante el protocolo DICOM y el HL-7, lo que permite que los informes presentados por el RIS incluyan imágenes adjuntas de estudio relevantes para una evaluación completa. [19].

Teniendo en cuenta la figura 2.1 Entre las funciones que debe llevar a cabo un sistema RIS, se encuentran:

1. Registro de pacientes.
2. Programación y administración de la lista de pacientes.
3. Integración con equipos médicos: El sistema RIS PACS se integra con equipos médicos radiológicos, como escáneres y cámaras, para capturar y almacenar imágenes de forma automática.
4. Almacenamiento y recuperación de imágenes: El sistema RIS PACS almacena y organiza imágenes radiológicas, como radiografías, tomografías y resonancias magnéticas. Los usuarios pueden acceder a estas imágenes y recuperarlas fácilmente en cualquier momento.
5. Comunicación entre especialistas: El sistema RIS PACS permite a los especialistas en radiología compartir y colaborar en la interpretación de imágenes médicas. Los usuarios pueden compartir imágenes y comentarios, y trabajar juntos en el diagnóstico y tratamiento de pacientes.
6. Seguridad de datos: El sistema RIS PACS garantiza la seguridad y privacidad de los datos del paciente. Utiliza medidas de seguridad avanzadas, como la

encriptación de datos y el acceso restringido, para proteger la información del paciente de accesos no autorizados.

7. Gestión de información del paciente: El sistema RIS PACS también gestiona información importante del paciente, como el historial médico, resultados de pruebas y citas futuras. Esto permite a los usuarios acceder a toda la información relevante en un solo lugar y tomar decisiones informadas.

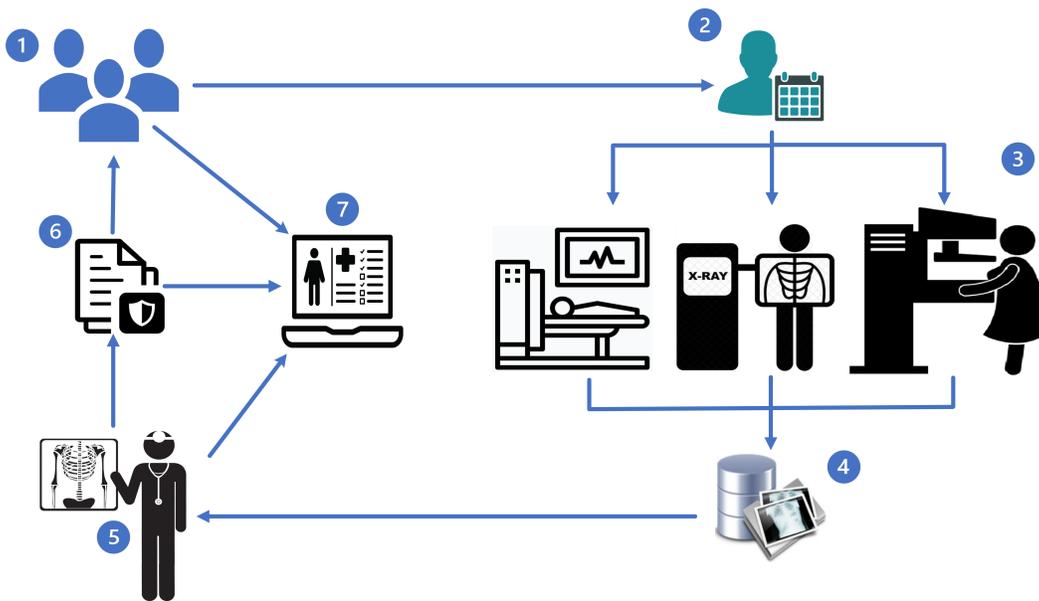


Figura 2.1: Flujo de Trabajo RIS
[19]

2.1.3 Sistemas de Comunicación y Archivo de Imágenes (PACS)

El Sistema de Comunicación y Archivo de Imágenes (PACS, *Picture Archiving and Communication System*) es el encargado del almacenamiento, gestión, distribución y visualización de todas las imágenes médicas sobre una red de comunicaciones, bien sea local o a través de Internet.

En la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de la interconexión de un sistema PACS en los centros hospitalarios.

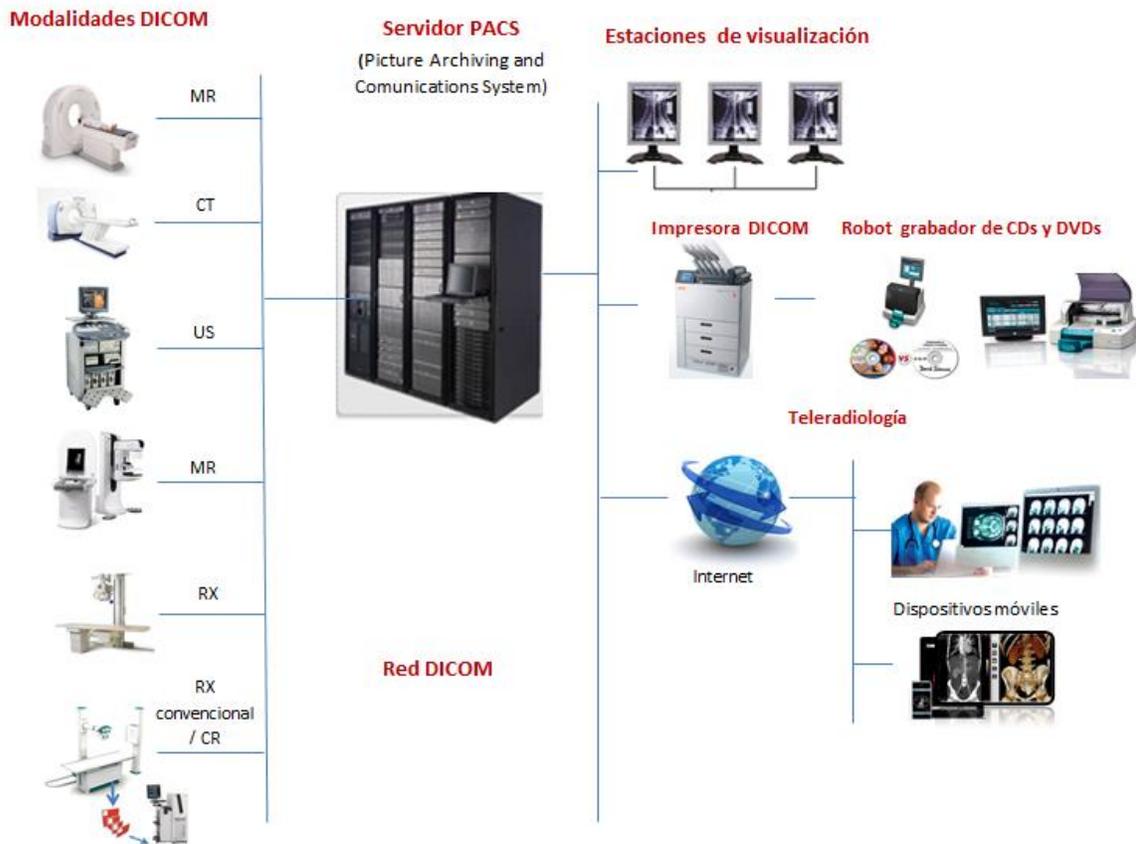


Figura 2.2: Ejemplo Sistema PACS [20]

2.1.4 Infraestructura del Sistema PACS

Los sistemas PACS tiene como principal componente de hardware, un dispositivo o interfaz de adquisición de imágenes; después están los demás componentes que conforman el sistema como los dispositivos de almacenamiento, computadoras, red de comunicación y sistemas de visualización, todo esto integrado con un estándar de imágenes y almacenamiento.

Están también los componentes de software para tener la administración de las bases de datos, los sistemas de almacenamiento y la programación, para permitir que todos los componentes de hardware y de software trabajen juntos.

1. **Imágenes Médicas:** La Imagen Médica engloba diversas técnicas para adquirir y reconstruir imágenes mediante múltiples tecnologías disponibles. Comprende la visualización, compresión y almacenamiento de estas, así como la mejora del contraste y calidad. Además, abarca el procesamiento de las imágenes para realizar tareas de registro, segmentación y extracción de información, incluyendo la cuantificación de parámetros anatómicos y fisiológicos [21].

En la figura 2.3 se muestra un ejemplo de imágenes médicas tomadas con equipos de rayos X de Diagnóstico médico

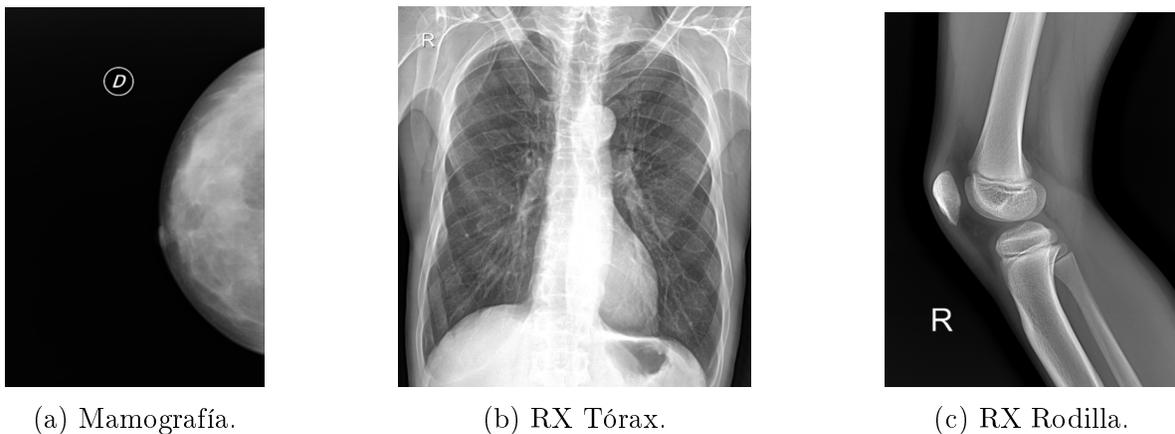


Figura 2.3: Ejemplo de Imágenes de Diagnóstico Médico [Propia]

2. **Modalidad de Imágenes Médicas:** En las imágenes médicas, los niveles de grises son una de las características principales, debido a que representa las propiedades físicas o químicas de las estructuras anatómicas y/o procesos fisiológicos para la generación de las imágenes digitales.

Las imágenes DICOM pueden manejar hasta 16 bits, el valor del pixel equivale al nivel de grises, y este puede variar de 0 a 255 (8 bits), de 0 a 511 (9 bits), de 0 a 1023 (10 bits), de 0 a 2045 (11 bits) y de 0 a 4095 (12 bits); lo cual representaría 65536 tonos de grises en imágenes en blanco y negro. Las imágenes digitales mientras más se aproximen a la original se va a necesitar mayor espacio de almacenamiento y procesamiento [22].

En la tabla 2.1 se describen algunas de las modalidades de imágenes médicas más representativas, con sus características y tamaños por cada imagen. Se aprecia que la modalidad de Mamografía Digital es la de mayor Tamaño, tanto en Píxeles

como en MB, teniendo en cuenta que es el estudio con mayor resolución y el de principal importancia para este trabajo de grado.

Tabla 2.1: Modalidad de Imágenes Médicas

MODALIDAD	TAMAÑO (PIXELES)	IMÁGENES POR EXAMEN	TAMAÑO (MB)
Medicina Nuclear	128X128X12	30-60	1 - 2 MB
Resonancia Magnética	256X256X12	60-3000	≥ 8 MB
Ultrasonido	512X512X8	20-240	5 - 60 MB
Angiografía Digital	512X512X8	15-40	4 - 10 MB
Tomografía Computarizada	512X512X12	40-3000	≥ 20 MB
Radiografía Digital	2048X2048X12	2	16 MB
Rayos X Digitales	2048X2048X12	2	16 MB
Mamografía Digital	4000X5000	4	160 MB

2.2 Estándares

En el contexto de salud pública, se encuentran algunos estándares utilizados para el envío y almacenamiento de imágenes de diagnóstico por parte de establecimientos prestadores de servicios de salud. Entre ellos se tienen: el estándar HL7 (*Health Level Seven*), la IHE (*Integrating the Healthcare Enterprise*) y el estándar DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*). A continuación, se describen algunas de las características más relevantes de cada uno de ellos.

2.2.1 Estándar HL7

El estándar HL7 se estableció en 1987 para el intercambio de datos electrónicos en un ambiente intrahospitalario. El principal propósito de este estándar es simplificar la implementación de una interfaz entre aplicaciones computacionales de distintos fabricantes y así poder generar una integración en sistemas de salud. El “nivel siete” se refiere a la capa de aplicación del modelo OSI (*Open System Interconnection*) que es

la capa más alta que se ocupa de la definición y estructura de los datos que serán intercambiados. El estándar más usado es la versión HL7 v2.x el cual es más efectivo en la industria de la salud, migró hacia una sintaxis XML y una metodología mucho más formal para el desarrollo de las especificaciones de los mensajes [23].

2.2.2 HL7 Versión 3

Cuenta con un modelo de información denominado RIM (*Reference Information Model*) que es una especificación estructurada de la información dentro del escenario de la salud.

RIM utiliza (UML, *Unified Modeling Language*) para representar gráficamente el modelo de clases que permite contextualizar cualquier evento que ocurra dentro de la operación de los servicios de salud. HL7 V3 utiliza el lenguaje HTML para el intercambio de información estructurada entre plataformas implementando codificación en sus mensajes.

Se basa en programación orientada a objetos (OOP, *Object Oriented Programming*) y UML, el uso de estas metodologías formales, contribuyen a los procesos de desarrollo del estándar, conduciendo a un mayor detalle, claridad y precisión de las especificaciones [24].

2.2.3 Estándar DICOM

La principal función de este estándar es facilitar a los usuarios de los equipos de imágenes médicas conectar diferentes dispositivos para compartir recursos como visualización, almacenamiento, impresoras, etc. En 1983 la ACR (*American College of Radiology*) y la NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) forman un comité para lograr el desarrollo del estándar. Este comité es el encargado de buscar una interfaz entre equipos de imágenes médicas, se llamó ARC-NEMA.

La primera versión salió en 1985 en la que se especifica un estándar de transmisión de mensajes punto a punto. La AAPM (*American Association of Physicists in Medicine*)

un año antes había desarrollado un estándar para el almacenamiento de imágenes en cintas magnéticas, en donde los archivos estaban formados por cabeceras (head) y la matriz de datos. Estos conceptos se aprovecharon para definir las bases de estándar DICOM. En 1988 ACR-NEMA saca la versión 2 donde añadía nuevos datos y mejoras, pero conservando las especificaciones de hardware. En 1998 salió la versión 3 y la que se usa actualmente, incluye la definición de un formato de fichero y de un protocolo de comunicación de red. El protocolo de comunicación es un protocolo de aplicación que usa TCP/IP para la comunicación entre sistemas [24].

2.2.3.1 Características DICOM

A continuación, se mencionan algunas de las características más importantes del estándar DICOM [22][24].

- Disponible en un ambiente de red TCP/IP.
- Contiene una estructura modular permitiendo el desarrollo del estándar e incorporar nuevas características.
- Integra información de imágenes y de datos de cada paciente, también de informes, reporte de tareas, etc.
- Se estructura como documento de varias partes, facilitando la evolución del estándar en un ambiente de rápido desarrollo.

2.3 Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)

La influencia de la tecnología en la comunicación y el almacenamiento de información ha generado una revolución en varios ámbitos, incluyendo el de la salud. Las comunicaciones juegan un papel esencial en el desarrollo de numerosos proyectos contemporáneos, especialmente en el sector médico. En este contexto, surgen diversas tecnologías que pueden utilizarse para la transmisión de información médica, cada una con sus propias ventajas y limitaciones específicas. La elección adecuada entre estas tecnologías se vuelve crucial y depende directamente del propósito singular de cada

proyecto. Por lo tanto, resulta imperativo realizar un análisis exhaustivo para determinar la opción más idónea aplicable al proyecto en cuestión.

Dentro de las alternativas tecnológicas, la tecnología inalámbrica emerge como una opción viable para la transmisión de datos en varios campos, incluyendo la medicina. En Colombia, por ejemplo, zonas rurales con acceso limitado a servicios médicos de calidad, particularmente en el diagnóstico y tratamiento del cáncer de mama, encuentran en la tecnología inalámbrica una posibilidad efectiva. Sin embargo, el uso de comunicaciones a través de redes de fibra óptica para enviar imágenes médicas desde unidades móviles de mamografía en estas áreas presenta retos técnicos y costos elevados, dificultando su implementación. Uno de los principales desafíos radica en la falta de infraestructura de red en estas regiones, lo que implica la necesidad de instalar redes de fibra óptica y equipos en un territorio extenso y de difícil acceso, además de demandar la contratación de personal capacitado para el mantenimiento y la gestión de la red, lo que incrementa los costos para las entidades de salud [25].

En contraste, las tecnologías inalámbricas presentan una solución más flexible y económica para la transmisión de imágenes médicas en estas áreas rurales. Con el apoyo de tecnologías como la red móvil 4G LTE, la conexión satelital y Wi-Fi, es posible transmitir imágenes médicas con seguridad y confiabilidad a través de dispositivos móviles como smartphones y tablets, sin necesidad de invertir en infraestructura de red adicional. Para efectuar la transmisión, es necesario contar con una infraestructura, y en este aspecto, existen empresas que brindan servicios de infraestructura de comunicaciones, permitiendo que centros médicos o unidades móviles alquilen los equipos necesarios para llevar a cabo estas transmisiones de manera eficiente. Además, la tecnología inalámbrica incrementa la accesibilidad de los pacientes en zonas rurales, ya que las unidades móviles de mamografía pueden trasladarse a diferentes localidades para brindar servicios médicos a las comunidades alejadas, posibilitando así la detección temprana del cáncer de mama, lo cual aumenta las posibilidades de éxito en el tratamiento y la recuperación de los pacientes [26].

La elección de tecnologías inalámbricas para la transmisión de imágenes médicas desde unidades móviles de mamografía en zonas rurales está fundamentada en una serie de requisitos cruciales. Estas tecnologías, al abordar los desafíos técnicos y los altos costos vinculados con alternativas como las redes de fibra óptica, se erigen como una

respuesta eficaz. Al brindar flexibilidad, accesibilidad y la capacidad de ofrecer atención médica de calidad en entornos alejados, las tecnologías inalámbricas emergen como la elección preeminente para abordar los desafíos específicos del proyecto y asegurar una transmisión efectiva de imágenes médicas en contextos rurales.

En el análisis exhaustivo realizado, se compararon las tecnologías inalámbricas con otras alternativas, como las tecnologías cableadas y diferentes formas de comunicación inalámbrica. Los requisitos de las tecnologías inalámbricas seleccionadas, frente a estas otras opciones, se destacan de la siguiente manera:

Comparación con Tecnologías Cableadas:

- **Requisito de Infraestructura:** Las tecnologías inalámbricas superan las necesidades de infraestructura de las tecnologías cableadas al eliminar la instalación de cables físicos en zonas rurales de difícil acceso.
- **Facilidad de Implementación:** Las soluciones inalámbricas se destacan por su implementación sencilla en comparación con las complejidades de las tecnologías cableadas, que requieren excavaciones y tendido de cables.
- **Flexibilidad:** Las tecnologías inalámbricas sobresalen al proporcionar una movilidad y adaptabilidad inigualables, a diferencia de las conexiones cableadas que son estáticas y fijas.
- **Costos:** Las soluciones inalámbricas resultan más económicas en términos de inversión y mantenimiento frente a las costosas instalaciones de cableado.
- **Adaptabilidad:** Las tecnologías inalámbricas se ajustan con mayor facilidad a terrenos irregulares y complejos, superando a las dificultades de instalar cables en áreas geográficas complicadas.

Comparación con Otras Tecnologías Inalámbricas:

- **Capacidad de transmisión de datos:** Las tecnologías inalámbricas seleccionadas garantizan un ancho de capacidad de transmisión de datos

suficiente para transmitir imágenes médicas de alta resolución, en comparación con tecnologías inalámbricas de menor capacidad.

- **Cobertura:** Las soluciones inalámbricas elegidas ofrecen una cobertura amplia para alcanzar áreas rurales remotas, superando a tecnologías con alcance limitado.
- **Fiabilidad:** Las tecnologías inalámbricas seleccionadas destacan por su estabilidad de conexión y baja latencia, a diferencia de soluciones inalámbricas propensas a interferencias.
- **Seguridad:** Las soluciones inalámbricas elegidas ofrecen niveles superiores de seguridad en comparación con tecnologías inalámbricas menos seguras y vulnerables a ataques.
- **Eficiencia Energética:** Las tecnologías inalámbricas seleccionadas son más eficientes en términos de consumo de energía que otras alternativas inalámbricas, que pueden agotar rápidamente la batería de los dispositivos.
- **Capacidad de Escalabilidad:** Las soluciones inalámbricas seleccionadas son escalables para acomodar un aumento futuro en la carga de trabajo y el número de dispositivos conectados, a diferencia de tecnologías inalámbricas con limitaciones en esta área.
- **Compatibilidad:** Las tecnologías inalámbricas seleccionadas son compatibles con los dispositivos médicos existentes y futuros, a diferencia de tecnologías que no se integran de manera fluida.

En última instancia, los requisitos establecidos resaltan que las tecnologías inalámbricas no solo abordan los desafíos técnicos y económicos de las alternativas, sino que también ofrecen una flexibilidad, eficiencia y alcance que se ajustan perfectamente a las demandas y necesidades del proyecto en el contexto de zonas rurales.

A continuación, se llevará a cabo un análisis de las opciones de comunicación disponibles en las zonas objeto de estudio, considerando criterios económicos, de ingeniería, de mercado y tecnológicos. Las tecnologías a comparar han sido seleccionadas en función de su relevancia en el contexto de este estudio y su capacidad

para abordar las necesidades específicas del proyecto. Las tecnologías a comparar incluyen las siguientes opciones que han demostrado ser ampliamente utilizadas y reconocidas en aplicaciones similares:

- WI-Fi Long Distance (WILD).
- Enlaces Satelitales (VSAT).
- 4G (LTE).

Se han excluido otras tecnologías, debido a su alcance o limitaciones que no se ajustan a los requisitos del estudio actual.

2.3.1 WI-FI Long Distance

El Wi-Fi de Larga Distancia, también conocido como Wi-Fi de largo alcance o Wi-Fi de largo rango, es una tecnología que busca extender la cobertura y mejorar la conectividad inalámbrica en áreas más extensas, como comunidades rurales, espacios al aire libre, empresas y otras situaciones donde se requiere alcanzar distancias mayores que las que ofrece el Wi-Fi convencional.

Además, la WiLD es parte de varias asociaciones y grupos de trabajo que se dedican a promover el acceso a internet en áreas sin conexión. Entre estas se encuentra la Wireless Internet Service Providers Association (WISPA), que aboga por el acceso a internet de alta velocidad en zonas rurales y remotas de Estados Unidos.

2.3.1.1 Características y ventajas

El principal objetivo del Wi-Fi de Larga Distancia es superar las limitaciones de alcance de las redes Wi-Fi estándar, brindando una conexión más estable y confiable en distancias considerables. Para lograrlo, se utilizan dispositivos y antenas especiales que ofrecen mayor potencia de transmisión y sensibilidad en la recepción de señales, lo que permite extender la cobertura a áreas más amplias [29].

Algunas de las características y ventajas del Wi-Fi de Larga Distancia son:

1. **Mayor Alcance:** El Wi-Fi de Larga Distancia puede alcanzar distancias de varios kilómetros, lo que lo hace ideal para conectar áreas alejadas o con poca infraestructura de red.
2. **Potencia de Transmisión:** Los dispositivos de largo alcance cuentan con una mayor potencia de transmisión, lo que mejora la señal y la capacidad para atravesar obstáculos físicos.
3. **Sensibilidad de Recepción:** La sensibilidad en la recepción de señales de estos dispositivos es más alta, lo que permite captar señales más débiles y garantiza una conexión estable incluso en áreas remotas.
4. **Utilización de Bandas Específicas:** Algunos equipos de largo alcance pueden operar en bandas no convencionales, lo que evita la interferencia con otras redes Wi-Fi cercanas.
5. **Costo-Efectividad:** En comparación con el despliegue de infraestructuras cableadas, el Wi-Fi de Larga Distancia ofrece una solución más económica y rápida de implementar para extender la cobertura.

2.3.1.2 Estándares Wi-Fi de Larga Distancia

El Wi-Fi de Larga Distancia no es un estándar único, sino una categoría que incluye diferentes tecnologías y estándares que han sido optimizados para alcanzar mayores distancias.

Es importante tener en cuenta que el alcance teórico mencionado en la tabla 2.2 puede variar según factores ambientales y condiciones locales. En la elección del estándar adecuado para cada situación, es esencial considerar la distancia requerida, las necesidades de velocidad y rendimiento, así como la interferencia potencial de otras redes cercanas.

Tabla 2.2: Comparación de Estándares Wi-Fi de Larga Distancia [29]

Estándar	Frecuencia	Alcance Teórico	Ventajas
802.11b/g (Wi-Fi 4)	2.4 GHz	Hasta 100 metros	Amplia compatibilidad, costo asequible
802.11n (Wi-Fi 4)	2.4 GHz	Hasta 250 metros	Mayor velocidad y rendimiento
802.11ac (Wi-Fi 5)	5 GHz	Hasta 500 metros	Alta velocidad y ancho de banda
802.11ax (Wi-Fi 6)	2.4 GHz / 5 GHz	Hasta 600 metros	Mejora de la eficiencia y capacidad

La WiLD ha abierto nuevas posibilidades para las personas que viven en zonas rurales, permitiéndoles acceder a Internet de alta velocidad desde sus hogares y negocios. Sin embargo, existen algunas dificultades que deben ser consideradas al implementar esta tecnología en estas áreas. En zonas rurales, la línea de vista es un factor crítico para la conexión Wi-Fi de larga distancia. En áreas montañosas, los obstáculos naturales como colinas, montañas y árboles pueden tener un impacto en la propagación de la señal Wi-Fi y potencialmente debilitar la calidad de la conexión. Sin embargo, la magnitud de esta interferencia varía según la topografía específica y la planificación de la infraestructura de red. En algunos casos, se pueden implementar soluciones de diseño de red que permitan superar los desafíos de línea de vista y garantizar una conectividad confiable en entornos montañosos.

A pesar de los desafíos que presenta, la Wi-Fi de Larga Distancia sigue demostrando ser una herramienta valiosa para las comunidades en zonas rurales. Numerosos casos de éxito [27] [28] [29], han resaltado cómo esta tecnología ha permitido a los residentes conectarse a Internet de alta velocidad desde sus hogares y negocios, transformando su acceso a información y creando nuevas oportunidades de empleo. Los informes indican que la implementación de WiLD ha contribuido significativamente a la reducción de la brecha digital en estas áreas, habilitando un acceso más equitativo a recursos educativos, servicios en línea y plataformas de emprendimiento.

Además, la viabilidad económica de la conexión Wi-Fi de larga distancia resulta atractiva para estas comunidades rurales. En comparación con alternativas como la conexión por satélite, la implementación y el mantenimiento de redes WiLD pueden requerir inversiones iniciales más bajas y costos operativos más asequibles. Al evitar

la necesidad de infraestructuras costosas y complejas, como la instalación de antenas parabólicas en cada hogar, las soluciones WiLD aprovechan infraestructuras existentes y ofrecen un enfoque más rentable para extender la conectividad.

Es importante señalar que tanto la implementación de redes móviles 4G como la WiLD tienen sus propias complejidades técnicas. La expansión de redes móviles implica la instalación de un mayor número de estaciones base y torres de comunicación, lo que puede ser más complejo y costoso en términos de infraestructura. Por otro lado, la WiLD se basa en tecnologías inalámbricas de largo alcance, que pueden resultar más sencillas de implementar en ciertos entornos geográficos o donde la infraestructura de torres de comunicación ya está presente.

En última instancia, la elección entre estas tecnologías dependerá de diversos factores, como las necesidades de velocidad, la topografía local y la disponibilidad de recursos para la implementación y el mantenimiento. Cada tecnología tiene sus ventajas y limitaciones, y la selección adecuada debe considerar tanto los aspectos técnicos como las condiciones específicas de la zona rural en cuestión.

2.3.2 Enlaces Satelitales

En áreas rurales con limitado acceso a servicios y atención médica debido a la falta de infraestructura y la topografía, los enlaces satelitales son soluciones cruciales. Capaces de abarcar amplias extensiones y ofrecer conexiones veloces, han ganado importancia en la última década, situación que también se aplica a Colombia y su compleja geografía. En este contexto, los enlaces satelitales son una opción destacada para este trabajo. Su flexibilidad es ventajosa en un país donde tres cordilleras cruzan el territorio, dificultando el despliegue de redes tradicionales en zonas montañosas y selváticas.

En cuanto a costos, surge la pregunta si los enlaces satelitales son más costosos que lanzar un satélite propio o usar servicios de operadores. Aunque ambas opciones conllevan gastos, el despliegue propio es sin duda más caro que emplear enlaces ya existentes a través de operadores. Además, esta alternativa puede ser más ágil y eficiente, evitando desafíos técnicos y logísticos.

Los enlaces satelitales operan empleando un satélite que orbita la Tierra y se conecta con una estación en tierra. La señal se origina en la estación terrestre y se dirige al satélite, el cual la retransmite hacia otra estación en una ubicación distinta. Este proceso es efectivo para transmitir la señal a través de diferentes bandas de frecuencia, tales como la banda Ku o la banda Ka. Sin embargo, en regiones con climas de alta lluvia, estas condiciones pueden tener un impacto significativo en la calidad de la transmisión a través de estas bandas. La lluvia puede absorber y dispersar parte de la señal, lo que resulta en una atenuación de la señal recibida en la estación terrestre. Este fenómeno es conocido como atenuación por lluvia y es una consideración importante al diseñar y operar enlaces satelitales en áreas propensas a fuertes precipitaciones.

La banda Ka, con una frecuencia entre 26,5 y 40 GHz, es capaz de transmitir grandes volúmenes de datos a velocidades muy altas. Sin embargo, debido a su alta frecuencia, la señal puede ser vulnerable a la interferencia atmosférica, lo que podría afectar la calidad de la conexión. Para configurar un enlace satelital utilizando la banda Ka, se implementa una infraestructura que comprende dos antenas fundamentales: una instalada en la estación terrestre y la otra en el satélite en órbita. Estas antenas desempeñan un papel esencial en la transferencia de datos entre la Tierra y el espacio. En la estación terrestre, la antena actúa como emisora y receptora de señales. Transmite la información a través de la banda Ka hacia el satélite en órbita, enviando datos y comunicaciones. Por otro lado, el satélite lleva consigo una antena que recibe la señal proveniente de la estación terrestre y, a su vez, la retransmite de regreso a la Tierra.

Cabe mencionar que la banda Ka opera en una frecuencia alta, lo que le permite transmitir una cantidad significativa de datos a velocidades extremadamente rápidas. Sin embargo, esta alta frecuencia también hace que la señal sea más susceptible a la interferencia atmosférica, lo que puede afectar la calidad del enlace en ciertas condiciones climáticas, como la lluvia intensa. Por tanto, el diseño y la implementación de estas antenas juegan un papel crucial en garantizar una conexión confiable y estable a través de la banda Ka, particularmente en lugares con climas adversos.

En cuanto a la capacidad de transmisión, los enlaces satelitales han mejorado significativamente en los últimos años. Según un informe de la Comisión Europea, la velocidad promedio de los enlaces satelitales ha aumentado a 20 Mbps, lo que es

comparable a las velocidades de la banda ancha convencional [30]. Además, se espera que la tecnología de satélites de alta capacidad, como la constelación de satélites de banda ancha de Elon Musk, SpaceX Starlink, proporcione velocidades de descarga de hasta 1 Gbps en el futuro cercano.

En el campo de la medicina, los enlaces satelitales ofrecen una solución viable para la transmisión de imágenes médicas y diagnósticos en áreas rurales. Según un estudio de la Universidad de Antioquia en Colombia, los enlaces satelitales proporcionaron una calidad de imagen comparable a las imágenes tomadas en hospitales urbanos [31]. Además, la tecnología satelital también se ha utilizado para la telemedicina en áreas rurales de Pakistán, mejorando la accesibilidad y calidad de la atención médica [32].

2.3.3 4G (LTE)

4G LTE (*4th Generation Long Term Evolution*) es la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil, misma que es la evolución de las tecnologías 2G (*GSM/EDGE*) y 3G (*UMTS/HSPA/HSDPA*), que fueron desarrolladas por la organización 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), para permitir a los usuarios más calidad y mayor rapidez de servicio [33]. LTE está basado en el protocolo IP, soportando tanto IPv4 e IPv6, la principal diferencia con la tecnología 3G se aprecia en los siguientes aspectos:

- Uso de la tecnología OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).
- Uso de la técnica MIMO (*Multiple Input Multiple Output*).
- Definición de una Evolución de la Arquitectura del Sistema (SAE - *System Architecture Evolution*).

MIMO permite tener una alta eficiencia espectral, SAE mejora la capacidad de datos, reduciendo la latencia experimentada por el usuario, además utiliza Duplexación por División de Tiempo y Frecuencia TDD y FDD respectivamente, con lo cual se mejora el uso del espectro, haciendo una gestión más eficiente del mismo, incluyendo servicios

unicast y broadcast; y por último el uso de codificación de canal, brinda seguridad y reduce la probabilidad de error en la transmisión [33].

Características:

- Con la tecnología de 4 G LTE será posible llegar a una velocidad teórica máxima de 450 Mbps.
- El retardo en la respuesta desde la red, será menor a 10 milisegundos.
- Arquitectura de red basada en protocolo IP.
- Eficiencia en costos de operación de las redes.

2.4 Almacenamiento de imágenes Médicas

El almacenamiento de información es una actividad fundamental para cualquier organización o institución que maneje datos importantes. La correcta gestión y almacenamiento de la información es vital para garantizar la protección de los datos personales y la privacidad de las personas.

En el ámbito médico, el almacenamiento de imágenes médicas es especialmente relevante. Estas imágenes son utilizadas en diagnósticos, tratamientos y seguimiento de pacientes, por lo que su correcto almacenamiento es fundamental para garantizar la calidad de la atención médica.

En Colombia, existen normas y leyes que regulan el almacenamiento de información, como la Ley 1581 de 2012, la cual establece los principios y normas para la protección de datos personales y la responsabilidad de quienes los manejan. También se encuentra la Ley 1273 de 2009, que regula los delitos informáticos y establece sanciones para quienes incurran en ellos. La Resolución 1441 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social establece los requisitos técnicos y científicos para el almacenamiento de historias clínicas y registros médicos en formato digital, incluyendo las imágenes médicas.

Sin embargo, no se especifica un tiempo mínimo obligatorio de almacenamiento de las imágenes médicas en esta normativa; es importante mencionar que, aunque no haya una norma específica que establezca un tiempo mínimo para el almacenamiento de imágenes médicas, las instituciones médicas y los profesionales de la salud están sujetos a otras regulaciones y leyes que podrían requerir el almacenamiento de esta información por un período determinado. Por ejemplo, la Ley 100 de 1993 establece que los registros médicos deben ser conservados durante un período mínimo de 20 años. Asimismo, el Código de Ética Médica en Colombia establece que los médicos deben conservar las historias clínicas y los registros médicos durante un tiempo prudencial, que puede ser superior a 20 años.

Teniendo en cuenta el largo periodo de almacenamiento, las imágenes médicas pueden requerir grandes cantidades de espacio de almacenamiento debido a su tamaño y resolución. A medida que se acumulan más imágenes médicas, se necesita una mayor capacidad de almacenamiento. Afortunadamente, hay varias tecnologías y estrategias que se pueden implementar para reducir el tamaño de las imágenes médicas y maximizar la capacidad de almacenamiento.

A continuación, se presenta la tabla 2.3 con los tamaños promedio de algunos estudios de imágenes diagnósticas y la capacidad de almacenamiento requerida para 20 y 30 años de almacenamiento, asumiendo un promedio de 5000 pacientes por año y una tasa de crecimiento anual del 5%:

Tabla 2.3: Estimación de peso de información de imágenes médicas

Tipo de estudio	Estudios diarios	Diario (GB)	Semanal (GB)	Mensual (TB)	Anual (TB)
Radiografía simple	80	3.75	26.25	1.05	12.6
Mamografía	10	6.75	47.25	1.89	22.68
Tomografía axial	5	310	2170	86.8	1041.6
Resonancia magnética	2	520	3640	145.6	1747.2
Ecografía	150	0.75	5.25	0.21	2.52
Tomografía (PET)	1	24	168	6.72	80.64
Tomografía (CT)	2	31.2	218.4	8.74	104.83

Las imágenes y los registros de pacientes generados por las instituciones médicas pueden consumir una gran cantidad de espacio de almacenamiento y requerir una gestión de datos cuidadosa y confiable. Por lo tanto, es importante elegir la mejor solución de almacenamiento que cumpla con los requisitos de seguridad, capacidad y

accesibilidad.

Una opción común para el almacenamiento de información médica es la tecnología on-premise, que implica la implementación y administración de servidores y almacenamiento en las instalaciones de la institución médica. Esta solución puede ofrecer mayor control y seguridad sobre los datos del paciente, ya que la información no se almacena en un servidor de terceros. Además, esta solución es ideal para instituciones que manejan grandes volúmenes de información médica y necesitan un acceso rápido y confiable a ella.

Sin embargo, la tecnología cloud también se ha convertido en una opción popular para el almacenamiento de información médica. El almacenamiento en la nube permite el acceso a la información desde cualquier lugar y en cualquier momento, lo que facilita la colaboración y la comunicación entre los proveedores de atención médica. Además, las soluciones de almacenamiento en la nube pueden ser escalables, lo que significa que pueden expandirse para satisfacer las necesidades de almacenamiento en constante crecimiento. Además, muchas soluciones de almacenamiento en la nube ofrecen características avanzadas de seguridad y protección de datos, que pueden ser esenciales para cumplir con las normas de seguridad y privacidad de la información médica.

3. Diseño y Desarrollo de la Solución

En esta etapa se presenta una propuesta para el envío de imágenes de diagnóstico médico desde zonas rurales utilizando unidades móviles. Para ello, se ha seleccionado un municipio de prueba, del cual se describe su ubicación geográfica en la figura 3.2, la población y las características socioeconómicas, así como las condiciones actuales del sistema de salud y las necesidades de la población en cuanto al acceso a servicios médicos.

Durante el diseño y desarrollo de la solución, se han presentado diferentes restricciones que se deben tener en cuenta, entre las que se encuentran limitaciones geográficas, como la falta de infraestructura de telecomunicaciones en algunas zonas rurales, así como restricciones de proveedores, como la disponibilidad y el costo de los equipos y tecnologías necesarios para la implementación del sistema.

Para la implementación exitosa del sistema de envío de imágenes de diagnóstico médico desde zonas rurales utilizando unidades móviles, se han establecido los requerimientos mínimos necesarios, los cuales incluyen aspectos técnicos, como la capacidad de transmisión de datos y la seguridad de la información, así como los requisitos legales y regulatorios necesarios para la operación del sistema.

3.1 Ubicación del Proyecto

La geografía y el relieve montañoso de Colombia han sido factores determinantes en la brecha digital que existe en el país [34]. A pesar de los esfuerzos realizados para mejorar la conectividad, aún se presentan limitaciones en cuanto al acceso a datos y servicios de Internet en zonas rurales y veredales.

El territorio colombiano se caracteriza por su fragmentación geográfica, lo cual ha generado desafíos significativos para establecer infraestructuras de comunicación en zonas remotas y de acceso complicado. Además, las condiciones adversas del terreno montañoso han complicado aún más la propagación de señales de radio y

telecomunicaciones, lo que consecuentemente ha impactado negativamente en la calidad de los servicios de Internet.

A pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno y los proveedores de servicios de telecomunicaciones para mejorar la conectividad en estas zonas, aún subsisten brechas tecnológicas que impiden el acceso a datos y servicios de Internet en muchas regiones del país. Esto ha generado desigualdades en términos de desarrollo y ha afectado la calidad de vida de las personas que habitan en estas zonas.

Para afrontar este desafío de manera integral, resulta fundamental implementar estrategias que vayan más allá de la mera instalación de infraestructuras. Si bien desplegar torres de telecomunicaciones, antenas de radio y repetidores de señal constituye un paso inicial esencial, es crucial reconocer que estas estructuras físicas son solo una parte del conjunto necesario para garantizar una conectividad efectiva. Además de estos elementos, se requiere un enfoque completo que incluya la configuración y optimización de equipos, el establecimiento de enlaces de comunicación eficientes, y el desarrollo de tecnologías de transmisión avanzadas, asequibles y adaptables a las condiciones específicas de las zonas rurales y veredales. Esta combinación de componentes físicos y tecnológicos, respaldada por una planificación cuidadosa y fundamentada, asegurará una mejora genuina en la conectividad de estas áreas.

3.1.1 Descripción del Municipio de prueba e Identificación de los usuarios

Las localidades desde donde se realizarán los envíos de información corresponden a zonas rurales del departamento de Nariño. En este contexto, y particularmente para este trabajo de grado, se enfocará en los lugares donde la EPS de esta población ofrece servicios de salud, que son los municipios de Samaniego, La Unión y La Cruz. El mapa del departamento y las localidades desde donde se hace el envío de información se ilustran en la figura 3.1.

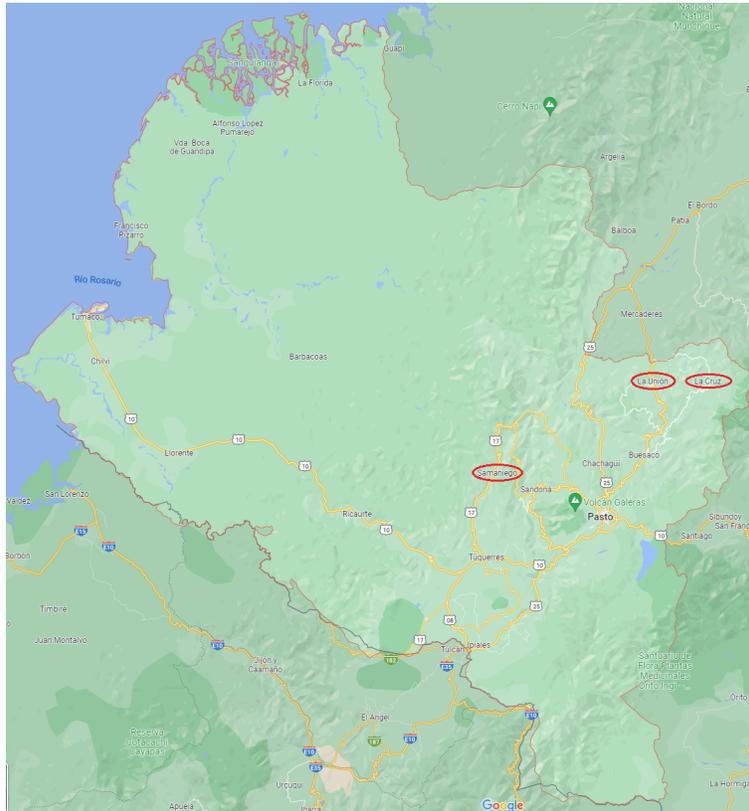


Figura 3.1: Departamento de Nariño
[35]

Este trabajo de grado tiene como objetivo beneficiar a las comunidades vulnerables de Nariño que podrían necesitar mamografías para exámenes médicos, los cuales forman parte del plan nacional de salud y deben ser cumplidos por cada EPS para mejorar la prevención del cáncer de mama. A pesar de que se mencionan varias poblaciones del departamento, se tomará como ejemplo la población de Samaniego para llevar a cabo todas las pruebas y estudios necesarios para definir la solución al problema planteado.

Las poblaciones distantes como Samaniego, La Unión y La Cruz enfrentan problemas de acceso debido a vías terciarias en mal estado, lo que coincide con las preocupaciones del Ministerio de Transporte. Las vías deterioradas generan altos costos para los usuarios en términos de consumo de combustible, repuestos y tiempos de viaje, además de impactar negativamente en el medio ambiente y en la economía local. (Referencia: Ministerio de Transporte, [36]).

Samaniego

La población de Samaniego, situada en el departamento de Nariño con coordenadas geográficas (Latitud: 1° 20' 11" Norte, Longitud: 77° 35' 33" Oeste), está compuesta aproximadamente por 49,992 habitantes, cuya actividad principal es la agricultura. A pesar de ser considerada una comunidad rural, carece de la infraestructura necesaria para ofrecer servicios de imágenes diagnósticas de mamografía. No obstante, como cabecera municipal, Samaniego presta servicios a poblaciones cercanas como El Salado, Guadual, La Mesa, Tanama, Chinchal, entre otras, las cuales son principalmente veredas o localidades más pequeñas sin servicios de salud. Aunque Samaniego brinda estos servicios a poblaciones circundantes, no dispone de imágenes diagnósticas de mamografía en su localidad.

Vías de Acceso

Esta población se ubica aproximadamente a una distancia de 114 KM desde la Capital de Nariño (Pasto), el recorrido tiene un tiempo aproximado de 2 horas y media. En la figura 3.2 se muestra un aproximado del recorrido por vía terrestre desde la ciudad de Pasto.

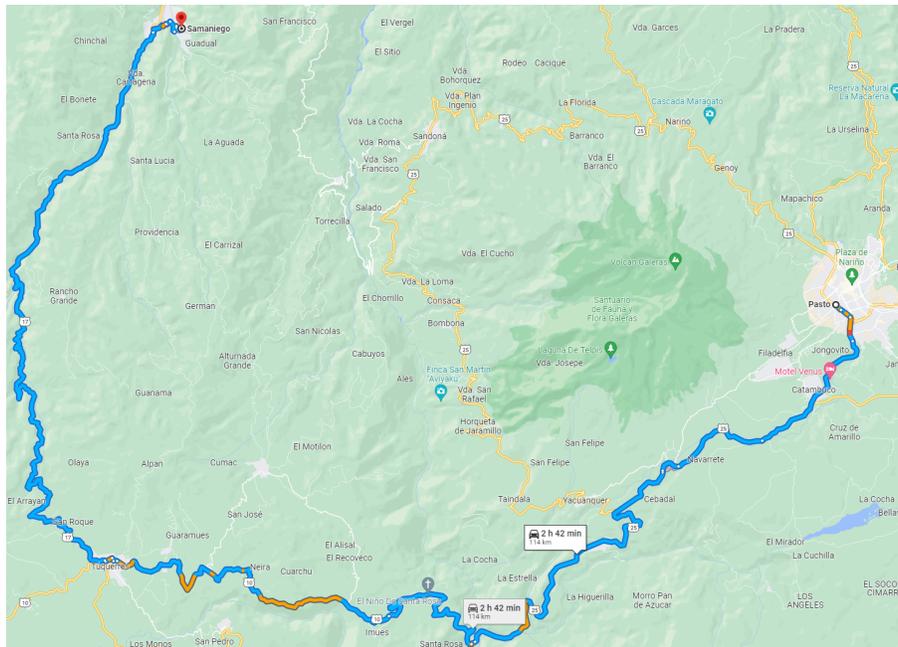


Figura 3.2: Recorrido Entre Pasto y Samaniego [37]

Tipos de entidades Hospitalarias en el área

El municipio de Samaniego cuenta con un hospital público de nivel 1 (**E.S.E Hospital Lorencita Villegas De Santos**), que presta el servicio a la comunidad en general. Por otro lado, cuenta con varias IPS (Institucion Prestadora de Salud) privadas que prestan servicios de consulta general, laboratorio clínico, odontología, entre otros servicios básicos para la comunidad. El hospital cuenta con un área básica de imágenes diagnósticas de Rayos X, el cual solo funciona para estudios básicos de estructura ósea.

3.2 Sistemas de Comunicación

En este escenario, los sistemas de comunicación juegan un papel central al brindar soluciones que permiten superar barreras geográficas y conectar a personas y comunidades, incluso en lugares remotos o de difícil acceso.

Este trabajo de grado se enfoca en tres elementos clave que han transformado de

manera significativa la forma en que la sociedad se comunica y accede a la información: internet satelital, redes 4G y el uso de radioenlaces. Estos elementos han demostrado su eficacia en diversos contextos y han contribuido de manera notable a la expansión de la conectividad global. A lo largo de este estudio, se abordará en detalle la planificación estratégica de cada uno de estos elementos con el objetivo de ampliar su despliegue y potenciar al máximo su impacto en términos de alcance y calidad de la comunicación.

3.2.1 Planificación de Radioenlaces

La planificación de radioenlaces implica una evaluación minuciosa de varios aspectos clave. En primer lugar, se requiere un análisis de la topografía del terreno y las características geográficas de la región a cubrir. Esto permite identificar ubicaciones adecuadas para la instalación de torres de transmisión y recepción, logrando la línea de visión y mitigando los efectos adversos que puedan afectar la señal, en lugar de minimizar los obstáculos físicos directamente.

En el municipio de Samaniego, se realiza una visita de campo con el objetivo de identificar las zonas más propicias y evaluar las condiciones para la eventual instalación de la infraestructura destinada a un sistema de radioenlace. En el desarrollo de la proyección teórica y el estudio de campo, es de vital importancia tener en cuenta la topografía del área. Se busca asegurar la existencia de puntos elevados que permitan establecer una línea de visión directa entre las antenas encargadas de la propagación de datos por radio, evitando posibles interferencias causadas por obstáculos. Esta consideración no solo es esencial para el diseño óptimo del radioenlace, sino también para garantizar la eficiente provisión de datos a las Unidades móviles, asegurando así una implementación exitosa del sistema.

La elección estratégica de la ubicación tendrá un impacto significativo en la eficacia y calidad general de la conexión. Se destaca el perfil de elevación entre la ciudad de Pasto y Samaniego, el cual exhibe notables variaciones de altitud, como se ilustra en la figura 3.3.

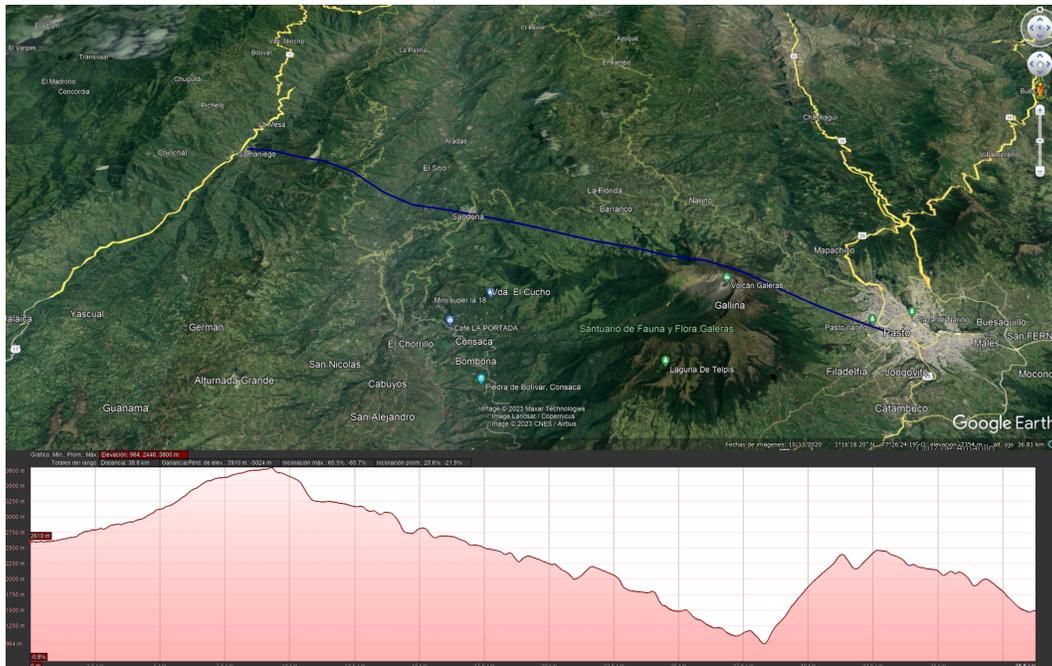


Figura 3.3: Perfil de elevación Pasto - Samaniego [38]

En el proceso de ubicación de las estaciones de comunicación, se partió del hecho de que ya existían torres de comunicación instaladas previamente por otros operadores. Una vez tomada esta premisa, se procedió a determinar los puntos adecuados para la instalación de las estaciones, teniendo en cuenta la ubicación de estas torres preexistentes, como se describe en la tabla 3.1. Posteriormente, para establecer la ubicación exacta de estas estaciones, se utilizó un dispositivo GPS con el fin de obtener las coordenadas precisas. Estos datos de coordenadas se introdujeron en un software de mapas, como Google Earth Pro, que permitió trazar de manera eficiente una trayectoria coherente entre las diferentes ubicaciones georeferenciadas.

Tabla 3.1: Ubicación de los radioenlaces

Lugar Geográfico	Latitud	Longitud	Estación
Sede Principal Pasto - RX	1,20423200	-77,2876190	RX
Estación Repetidor Gallinas - Volcán	1,20976700	-77,3574240	Repetidor
Estación Repetidor Sandona	1,30883060	-77,5378805	Repetidor
Estación Repetidor Samaniego	1,34205280	-77,5991444	Repetidor
Samaniego - TX	1,33815000	-77,5928583	TX

De acuerdo con el estudio topográfico realizado, el plan consiste en implementar estratégicamente las estaciones de comunicación considerando los hallazgos expuestos en la tabla 3.2. Este plan toma en cuenta las condiciones geográficas y topográficas de la región, así como la ubicación específica de las torres preexistentes, para garantizar una cobertura óptima y una comunicación eficiente entre las diferentes localidades.

Tabla 3.2: Perfil de Elevación de las Estaciones

Población	Altitud	Unidad
Sede Principal Pasto - RX	2635	msnm
Estación Repetidor Gallinas - Volcán	4035	msnm
Estación Repetidor Sandona	2574	msnm
Estación Repetidor Samaniego	1608	msnm
Samaniego - TX	1496	msnm

En este contexto, se destaca la importancia de la ubicación geográfica de la Estación de Gallinas, que opera como un repetidor en lo alto del volcán Galeras. Esta estación, al encontrarse en una posición elevada y con un perfil de elevación considerable, se convierte en un punto de referencia vital para diversas poblaciones. Se determina que su ubicación es idónea para instalar una estación repetidora que brinde cobertura a Samaniego.

Dada la distancia geográfica entre las localidades y las características topográficas del terreno, se hace evidente la necesidad de implementar repetidores adicionales para garantizar una conexión efectiva hasta Pasto (RX), desde donde se transmitirá la información. Esta estación repetidora en Pasto se encargará precisamente de recibir y procesar la información transmitida desde Samaniego (TX).

En la Figura 3.4, muestra un trazado libre de obstáculos geograficos que puedan interferir. Esta circunstancia facilita una comunicación ininterrumpida entre las estaciones involucradas, asegurando así la fiabilidad y eficiencia del sistema en su conjunto.

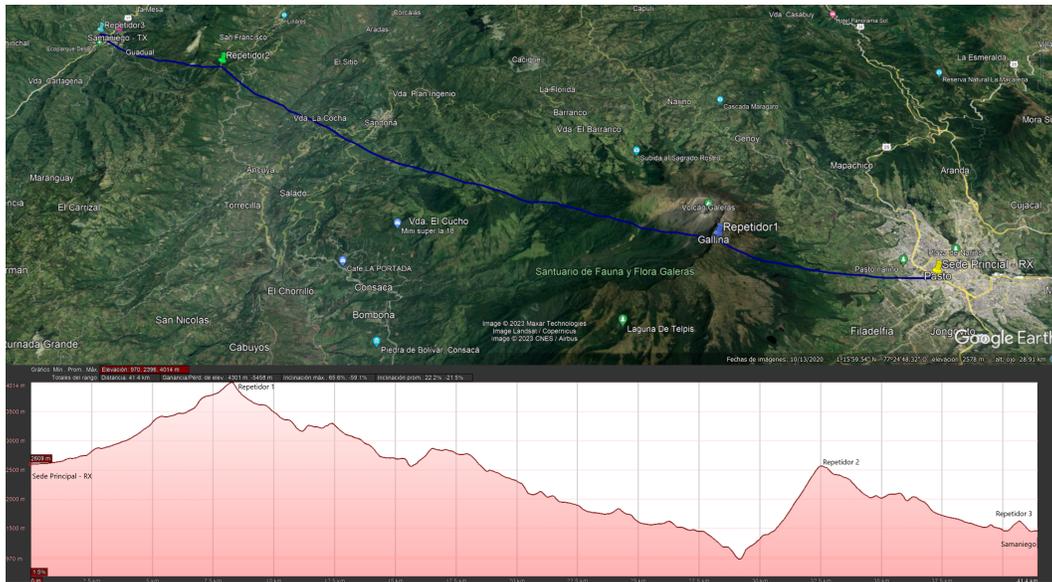


Figura 3.4: Estaciones de Comunicación Pasto - Samaniego [38]

Para determinar los puntos necesarios para la instalación de antenas y llevar a cabo una evaluación de la topografía de la zona mediante imágenes satelitales y por visitas a estos lugares, se consideraron varios factores clave. Estos incluyen los perfiles de elevación a lo largo del trayecto desde Samaniego hasta Pasto, donde se busca establecer una comunicación efectiva a pesar de terrenos accidentados u obstáculos naturales. La selección de estos puntos se basó en la necesidad de garantizar una línea de vista clara entre las estaciones, lo que implica identificar ubicaciones estratégicas que permitan una transmisión de señal sin obstrucciones.

Además, se evaluó la opción de instalar múltiples estaciones repetidoras en puntos intermedios para mejorar la cobertura y mantener una línea de vista constante, especialmente en áreas con terrenos irregulares. Estos puntos intermedios se seleccionaron para lograr la comunicación a lo largo de la ruta y garantizar una conectividad efectiva entre Samaniego y Pasto.

Es importante destacar que la selección de los sitios toma en cuenta la infraestructura preexistente de antenas de operadores con radioenlaces ya instalados. Esto significa que se aprovecha y se tiene en cuenta la ubicación de estas antenas existentes para determinar si se ajustan a los requerimientos del nuevo sistema de radioenlace. Los sitios

elegidos deben garantizar una óptima calidad de señal y una conectividad confiable.

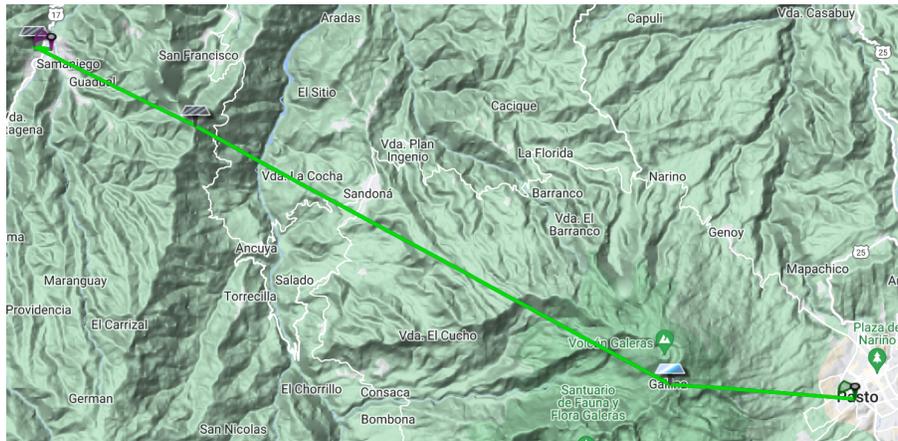


Figura 3.5: Ubicación de los radioenlaces TX y RX

[38]

La potencia y frecuencia adecuadas se determinan en función de la distancia entre las estaciones, la interferencia electromagnética existente en la zona y los requisitos específicos del servicio. Estos cálculos aseguran que el nuevo sistema de radioenlace pueda operar en armonía con la infraestructura y sistemas preexistente, para brindar una conexión estable y de alta calidad que satisfaga las necesidades de los usuarios.

Para validar la potencia de transmisión del sistema en relación con los parámetros técnicos y teóricos, se requiere la realización de cálculos. Inicialmente, se consideran las especificaciones técnicas para calcular la potencia de salida de transmisión del enlace de radio.

Tabla 3.3: Distancia entre Estaciones

Estaciones	Valor	Unidad
Pasto - Repetidor1	8.30	Km
Repetidor1 - Repetidor2	24.2	Km
Repetidor2 - Repetidor3	8.2	Km
Repetidor3 - Samaniego	0.7	Km

3.2.1.1 Análisis Teórico

La elección de frecuencias adecuadas y la eficaz reutilización de estas constituyen pilares fundamentales en la planificación de sistemas de comunicación inalámbrica. Estas estrategias son esenciales para maximizar la eficiencia del espectro radioeléctrico disponible y garantizar un rendimiento óptimo del sistema en términos de calidad de la señal, capacidad y cobertura.

Al abordar la elección de frecuencias para enlaces de radio, es crucial considerar diversos factores. Entre ellos se encuentra el espectro disponible, las regulaciones gubernamentales, la interferencia electromagnética y la capacidad del enlace. La selección cuidadosa de frecuencias que minimicen la interferencia y maximicen la calidad de la señal en el entorno específico de implementación es fundamental para el éxito del sistema.

Por otro lado, la reutilización de frecuencias es una estrategia para aumentar la capacidad del espectro radioeléctrico. Esta técnica implica asignar las mismas frecuencias a múltiples enlaces de radio, siempre y cuando estén suficientemente separados espacialmente para evitar interferencias entre ellos. Una gestión adecuada de la reutilización de frecuencias permite aumentar la capacidad del sistema y mejorar la cobertura sin necesidad de adquirir espectro adicional.

Para implementar con éxito estas estrategias, es necesario realizar un detallado diseño del sistema que considere la distribución geográfica de los enlaces, las características del terreno y la demanda de tráfico de datos. La aplicación de técnicas de planificación de frecuencias que asignen adecuadamente las frecuencias disponibles a cada enlace resulta crucial. Esto permite minimizar la interferencia y tener un mejor rendimiento global del sistema.

En consonancia con las estrategias mencionadas, se sugieren las siguientes frecuencias para diferentes distancias de enlaces de radio:

1. **Distancias de 8.3 km y 8.2 km:** Se recomienda el uso de frecuencias en la banda de UHF (*Ultra High Frequency*), específicamente las bandas de frecuencia de uso

libre, como 2.4 GHz. Estas frecuencias ofrecen un buen rendimiento en condiciones típicas y no requieren licencias específicas, lo que simplifica considerablemente el proceso y reduce los costos asociados con la adquisición de licencias. [39].

2. **Distancia de 24.2 km:** Para enlaces de mayor alcance, se sugiere la utilización de frecuencias en la banda de UHF, específicamente las bandas de uso libre de 900 MHz. Estas frecuencias ofrecen una penetración efectiva en distancias más largas y evitan la necesidad de trámites burocráticos y costosas licencias, agilizando la implementación y reduciendo los gastos operativos. [40].
3. **Distancias Muy Cortas (menos de 1 km):** En casos de enlaces extremadamente cortos, se recomienda el uso de frecuencias de 5.8 GHz. Estas frecuencias son adecuadas para transmitir datos a corta distancia sin requerir licencias especiales, lo que simplifica el proceso legal y reduce los costos asociados, resultando en una solución eficiente en términos de tiempo y recursos. [41].

La elección adecuada de frecuencias y la eficiente reutilización de estas son elementos fundamentales en la planificación de sistemas de comunicación inalámbrica. Estas estrategias contribuyen a maximizar la eficiencia del espectro radioeléctrico y garantizan un desempeño óptimo del sistema en términos de eficiencia y confiabilidad.

3.2.1.2 Análisis Técnico

El uso del software en línea gratuito UISP Design Center permite simular radioenlaces para conectar la estación transmisora en la ciudad de Pasto con la estación receptora en el municipio de Samaniego con el fin de confirmar el perfil de elevación, la distancia entre las estaciones en kilómetros, y la línea de visión. Para ello, se introducen los datos de ubicación exacta de las zonas objetivo donde se instalarán todas las estaciones. Esto permite que el software cuente con la información necesaria para simular el camino que tomará la señal electromagnética al ser transmitida por el sistema de radioenlace. El objetivo principal de la simulación es identificar los obstáculos que pueden causar interferencias, ya que las señales inalámbricas pueden tener dificultades para atravesar objetos sólidos. Cuantos más obstáculos haya entre el transmisor y el receptor, mayor será la posibilidad de que la

señal pierda potencia y se degrade a lo largo del camino. Además, el software recomienda el tipo de antenas necesarias de acuerdo con las especificaciones técnicas del enlace y las características físicas del entorno, garantizando así una planificación precisa y eficiente del radioenlace.

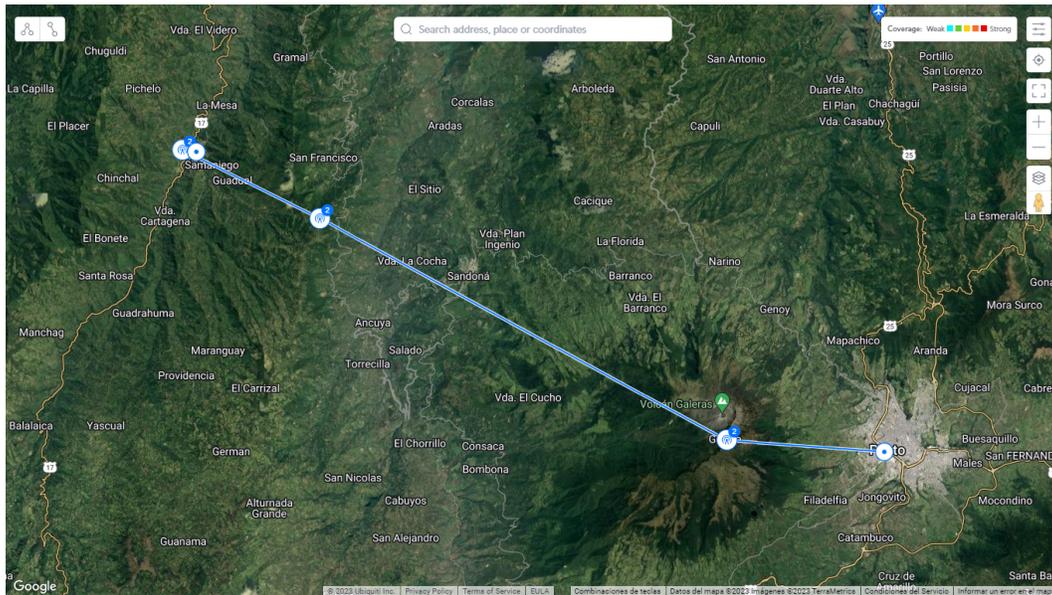


Figura 3.6: Radioenlace entre Pasto - Samaniego [38]

En la implementación de los radioenlaces para las distintas distancias especificadas, se ha realizado una selección de canales y frecuencias para optimizar el rendimiento de cada enlace. Para los radioenlaces de 8.3 km (figura 3.7) y 8.2 km (figura 3.8), se ha optado por utilizar la banda de UHF, específicamente la banda de 2.4 GHz, y el canal seleccionado es de 40MHz de ancho de banda. Este canal es ideal para distancias cortas a medias, ya que las frecuencias en la banda de 2.4 GHz ofrecen un buen rendimiento en condiciones típicas y no requieren licencias específicas, simplificando el proceso y reduciendo costos asociados.

Primera sección (entre el punto inicial y el primer repetidor):



Figura 3.7: Primera sección Pasto - Repetidor 1 [38]

Tercera sección (entre el segundo repetidor y el tercer repetidor):



Figura 3.8: Tercera sección Repetidor 2 - Repetidor 3 [38]

Para el radioenlace de 24.2 km (figura 3.8), se ha seleccionado la banda de UHF de 900 MHz y el canal utilizado es de 100 MHz de ancho de banda. Las frecuencias en la banda de UHF de 900 MHz ofrecen una penetración efectiva en distancias más largas y evitan trámites burocráticos y licencias, agilizando la implementación y reduciendo gastos operativos.

Segunda sección (entre el primer repetidor y el segundo repetidor):



Figura 3.9: Segunda sección Repetidor 1 - Repetidor 2 [38]

Para los radioenlaces de distancias muy cortas (menos de 1 km), se ha seleccionado nuevamente la banda de UHF de 2.4 GHz y el canal utilizado es de 40MHz de ancho de banda. Las frecuencias de 2.4 GHz son adecuadas para enlaces muy cortos y no requieren licencias especiales, optimizando la capacidad de transmisión para estas distancias y simplificando el proceso legal.

Cuarta sección (entre el tercer repetidor y punto final):



Figura 3.10: Cuarta sección Repetidor 3 - Samaniego [38]

En cada caso, la elección del canal y la frecuencia se ha basado en las características específicas de la distancia del radioenlace, optimizando así la transmisión de datos. Estas decisiones también han considerado la compatibilidad con las antenas seleccionadas.

3.2.2 Enlaces satelitales

En la actualidad, la conectividad es fundamental para garantizar la comunicación efectiva en diversas aplicaciones, especialmente en áreas remotas y en situaciones de emergencia donde la infraestructura de comunicaciones terrestres puede ser limitada o

inexistente. Los enlaces satelitales desde unidades móviles ofrecen una solución viable para mantener la comunicación en tiempo real desde vehículos terrestres, permitiendo así el despliegue de servicios críticos de emergencia y salud en áreas remotas y de difícil acceso.

3.2.2.1 Análisis Teórico

Los enlaces satelitales desde unidades móviles se basan en la transmisión y recepción de señales de radio entre una unidad móvil y un satélite en órbita. Estos enlaces aprovechan la capacidad de los satélites geoestacionarios o de órbita baja para proporcionar cobertura global y comunicación bidireccional desde cualquier ubicación en la Tierra. Estos enlaces se basan en los siguientes principios fundamentales:

- **Comunicación por Satélite:** Los enlaces satelitales utilizan satélites artificiales en el espacio para transmitir y recibir señales de radio entre una unidad móvil y una estación terrestre. La señal viaja desde la unidad móvil hasta el satélite en órbita, donde es amplificada y retransmitida a la estación terrestre, permitiendo la comunicación bidireccional.
- **Órbitas Satelitales:** Los satélites pueden operar en diferentes órbitas, como órbitas geoestacionarias o de órbita baja. Los satélites geoestacionarios permanecen fijos sobre una posición específica en la Tierra, lo que facilita la comunicación con unidades móviles en áreas remotas. Los satélites de órbita baja se mueven sobre la Tierra y pueden proporcionar cobertura global a unidades móviles en movimiento.
- **Frecuencias de Operación:** Los enlaces satelitales pueden operar en diferentes bandas de frecuencia, como Ku-band, Ka-band o L-band. La elección de la banda de frecuencia depende de factores como la disponibilidad de espectro, la capacidad de transmisión requerida y las condiciones atmosféricas.
- **Latencia:** La latencia en los enlaces satelitales puede ser significativamente mayor en comparación con otros tipos de enlaces, debido a la distancia adicional que debe recorrer la señal hasta el satélite y viceversa.

- **Compatibilidad con Movilidad:** Los enlaces satelitales desde unidades móviles están diseñados para ser compatibles con la movilidad, lo que permite la comunicación continua incluso en vehículos terrestres, aviones y barcos en movimiento.

3.2.2.2 Análisis Técnico

El análisis técnico de los enlaces satelitales desde unidades móviles se centra en los siguientes aspectos prácticos relacionados con la implementación y operación de estos enlaces:

- **Equipamiento y Antenas:** Para establecer enlaces satelitales desde unidades móviles, se requiere equipamiento específico, incluyendo antenas satelitales de seguimiento automático y modems satelitales. Estos equipos deben ser diseñados para operar en entornos móviles y cumplir con las regulaciones de la industria de las comunicaciones satelitales.
- **Requerimientos de Instalación y Mantenimiento:** La instalación y el mantenimiento de los equipos de enlaces satelitales desde unidades móviles pueden ser más complejos que los sistemas terrestres, especialmente en entornos móviles y cambiantes.
- **Ancho de Banda y Capacidad de Transmisión:** Los enlaces satelitales pueden ofrecer anchos de banda variables dependiendo del servicio y el proveedor. Si bien los enlaces satelitales tradicionalmente han tenido limitaciones de ancho de banda en comparación con las tecnologías terrestres, los avances tecnológicos están permitiendo un aumento en la capacidad de datos disponible.
- **Costo:** Los enlaces satelitales pueden ser más costosos que otras tecnologías de conectividad, tanto en términos de equipamiento inicial como de tarifas de servicio. Sin embargo, para aplicaciones que requieren conectividad en áreas remotas o en movimiento, los enlaces satelitales pueden ser la única opción viable, lo que justifica su costo en muchos casos.

- **Compatibilidad con Aplicaciones Específicas:** Los enlaces satelitales desde unidades móviles son ideales para aplicaciones que requieren conectividad en áreas remotas o en movimiento, siempre y cuando el equipo tenga la capacidad de autodireccionamiento con el satélite.

3.2.3 Relevancia en la elección de una tecnología de comunicación

La elección de la tecnología de comunicación para unidades móviles es un aspecto crítico que puede tener un impacto significativo en la eficiencia y confiabilidad de las operaciones móviles. Entre las opciones disponibles, como los radioenlaces, la conexión satelital y las redes móviles 4G, cada una tiene sus propias ventajas y consideraciones que deben tenerse en cuenta al tomar una decisión. A continuación, se presenta un listado de factores que pueden influir en la elección de estas tecnologías:

- **Conectividad:** Los radioenlaces ofrecen una conectividad confiable y de alta velocidad entre dos puntos fijos, pero pueden tener limitaciones en términos de alcance y capacidad de datos. Si bien son una opción viable para aplicaciones que requieren conectividad en distancias cortas a medias, pueden no ser adecuados para unidades móviles que necesitan comunicación en movimiento o en áreas remotas donde no hay infraestructura terrestre disponible.
- **Cobertura:** La conexión satelital ofrece una cobertura global y la capacidad de comunicación en cualquier lugar del mundo, lo que la convierte en una opción ideal para unidades móviles en áreas remotas o en movimiento. Sin embargo, la latencia y el costo asociado con los enlaces satelitales pueden ser desafíos importantes a considerar al tomar esta decisión.
- **Costos:** Las redes móviles 4G pueden ser más rentables en términos de costos de implementación y operación en comparación con las conexiones satelitales, que pueden requerir una inversión inicial más alta y tarifas de servicio más elevadas.
- **Facilidad de Implementación:** Las redes móviles 4G pueden ser más fáciles de implementar y mantener en comparación con las conexiones satelitales y los radioenlaces, que pueden requerir equipos especializados y una infraestructura más compleja.

- **Capacidad de Transmisión:** Las redes móviles 4G pueden ofrecer una mayor capacidad de transmisión de datos en comparación con los radioenlaces y las conexiones satelitales, lo que puede ser importante para aplicaciones que requieren una gran cantidad de datos, como la transmisión de Imágenes Diagnósticas de alta definición.

Finalmente, las redes móviles 4G, como la opción elegida en este trabajo de grado, ofrecen una combinación de cobertura, velocidad y confiabilidad que las hace adecuadas para una amplia gama de aplicaciones en unidades móviles. Con una infraestructura terrestre establecida y una amplia disponibilidad de servicios, las redes móviles 4G pueden proporcionar conectividad rápida y confiable incluso en entornos móviles y áreas remotas.

En este contexto, la elección de las redes móviles 4G como tecnología de comunicación para unidades móviles puede ser la opción más adecuada, considerando su combinación de cobertura, velocidad y confiabilidad. Al proporcionar una conectividad robusta y estable, las redes móviles 4G pueden satisfacer las necesidades de comunicación de unidades móviles en una variedad de entornos y escenarios operativos.

3.3 Sistemas de almacenamiento de Imágenes Médicas

En el contexto de la atención médica en zonas rurales, la necesidad de una solución de almacenamiento eficiente y accesible para las imágenes médicas se vuelve aún más crucial. Las unidades móviles de mamografía representan una valiosa herramienta para llevar servicios de diagnóstico a comunidades remotas, aunque plantean desafíos en cuanto a la conectividad y el almacenamiento de las imágenes capturadas. Este estudio tiene como objetivo contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas que mejoren el acceso a la atención médica de calidad en zonas rurales, facilitando el almacenamiento y la gestión eficiente de las imágenes médicas desde unidades móviles de mamografía.

A continuación, se presentarán los diferentes elementos y consideraciones relevantes en el diseño y desarrollo de la solución de almacenamiento para imágenes médicas en unidades móviles de mamografía en zonas rurales.

3.3.1 Requerimientos de la Entidad

Con el objetivo de abordar la problemática del Servicio de almacenamiento de imágenes médicas desde unidades móviles en zonas rurales, se han establecido una serie de requerimientos detallados a continuación:

- La solución debe contar con la capacidad suficiente para almacenar las imágenes médicas generadas en los diferentes tipos de estudios realizados diariamente, semanalmente, mensualmente y anualmente. Se deben tener en cuenta los siguientes requisitos de capacidad mostrados en la tabla 3.4

Tabla 3.4: Estimación de tamaño para los estudios de mamografía en cada unidad móvil

Tipo de estudio	Estudios diarios	Diario (GB)	Semanal (GB)	Mensual (GB)	Anual (TB)
Mamografía	60	40.5	141.75	567	6.8

Estos valores son estimaciones y pueden variar según diferentes factores, como la resolución de las imágenes y el nivel de compresión aplicado.

Al diseñar la solución de almacenamiento, es fundamental considerar la capacidad necesaria para almacenar los datos generados por los estudios médicos. Además, es importante tener en cuenta la escalabilidad de la solución, es decir, su capacidad para crecer y adaptarse a medida que se acumulan más imágenes médicas con el tiempo. Se recomienda contar con un margen adicional de capacidad para tener en cuenta posibles aumentos en el volumen de datos y para cumplir con los requisitos normativos y legales relacionados con la retención de imágenes médicas.

- El sistema debe proporcionar al personal asistencial los recursos necesarios para la visualización clínica de las imágenes, así como herramientas básicas para su tratamiento, como se muestra en la tabla 3.5 se requieren 12 puntos de acceso para visualización de las imágenes cuando se requieran.

Tabla 3.5: Puntos de Acceso

Área	Puntos de Acceso
Unidad Móvil	1
Sede Pasto	3
Sede Principal - Cali	4
Médicos	4

- El sistema debe permitir el intercambio de imágenes producidas en el servicio de diagnóstico por imágenes del Centro Asistencial con otros establecimientos o instituciones.
- El sistema debe tener la capacidad de conectar y comunicarse con todos los equipos biomédicos que cumplan con el estándar DICOM en las áreas del servicio de Diagnóstico por Imágenes.
- El sistema debe estar disponible para todo el personal asistencial que requiera acceder a las imágenes médicas para la interpretación de diagnósticos o la planificación de tratamientos.

3.3.1.1 Acceso al Sistema

El acceso al Sistema estará disponible para todo el personal asistencial de la entidad, incluyendo:

1. Servicio de Diagnóstico por Imágenes:

- Permiso de almacenamiento de Imágenes Médicas generadas por los equipos biomédicos a cargo de los tecnólogos médicos.
- Acceso para descargar estudios con el objetivo de elaborar informes radiológicos por parte de los especialistas médicos.
- Posibilidad de descargar estudios para su reproducción en medios extraíbles y entrega a los pacientes que lo requieran.

2. Personal asistencial de consultorios externos, hospitalización y servicio de emergencia:

- Acceso al sistema a través del visor ligero, utilizando un navegador de Internet compatible con los complementos requeridos por el software.

El Sistema se utilizará en diferentes áreas, incluyendo la estación de la sede Pasto, áreas de grabación de imágenes en CD para la entrega de resultados de estudios, médicos radiólogos en servicio, sede principal en Cali y unidades móviles.

3.3.1.2 Alcance

El alcance del sistema de Almacenamiento y Distribución de Imágenes Médicas para unidades móviles en zonas rurales incluye:

- Gestionar el almacenamiento, acceso y visualización de imágenes médicas generadas en el servicio de diagnóstico por imágenes.
- Proporcionar herramientas básicas para el tratamiento de las imágenes.
- Facilitar la distribución de imágenes desde las unidades móviles a la sede principal del Centro Asistencial.
- Apoyar el flujo de trabajo radiológico y el acceso a las imágenes por parte del personal asistencial.
- No abarcará la adquisición de imágenes ni la interpretación o diagnóstico clínico.

3.3.2 Requerimientos de Funcionamiento

Los requerimientos funcionales del sistema, que abarcan las necesidades que debe cubrir, se detallan a continuación:

1. Requerimientos Generales:

- Capacidad para gestionar imágenes médicas adquiridas mediante estudios de Mamografía.
- Funcionalidades de gestión de imágenes, como almacenamiento en archivo intermedio, eliminación automática del almacenamiento en línea, recuperación de imágenes del archivo intermedio, respuesta a consultas específicas, envío a dispositivos externos, soporte de query/retrieve DICOM y soporte de Copy DICOM.
- Soporte de gestión de worklist DICOM para cualquier modalidad de adquisición de imágenes.
- Compatibilidad y soporte con el estándar HL7.
- Integración de servidores adicionales.
- Administración de usuarios y roles.
- Administración de privilegios de usuarios y accesos.

2. Visualización Diagnóstica de Imágenes Médicas:

- Interfaces adaptadas según el tipo de usuario y perfil.
- Soporte de worklist y query/retrieve DICOM.
- Funcionalidades de manipulación en escala de grises.
- Herramientas para cambio de orientación, ajuste de porcentaje de acercamiento y magnificación de imágenes.
- Funcionalidades para medición de zonas de interés, ángulos y distancias.
- Vista de imágenes en resoluciones originales.

3. Visualización Clínica de Imágenes Médicas:

- Capacidad de cambio de orientación, ajuste de magnificación de imágenes y niveles de acercamiento.
- Operaciones en escala de grises.
- Herramientas para medición de zonas de interés, ángulos y distancias.

3.3.3 Requerimientos de Servicio

En esta sección se describen las expectativas de tiempo de respuesta del servicio, confiabilidad y tiempos de servicio. El servicio se compone de tres componentes: Almacenamiento y distribución, visualización clínica y visualización diagnóstica.

A continuación se detallan los requerimientos de nivel de servicio para cada componente:

1. Requerimientos Generales

- Horario de funcionamiento: 24 horas al día, los 7 días de la semana.
- Requerimientos de tiempos de servicio mensual:
 - Cantidad máxima de interrupciones permitidas: 4.
 - Duración máxima de interrupción por evento: 1 hora.
 - Tiempo programado OFFLINE: 4 horas.
 - Tiempo total OFFLINE por mes: 4 horas.
 - Comunicación de las interrupciones: Aviso por correo electrónico a los Servicios en los Centros Asistenciales.
- Requerimientos de desempeño:
 - Capacidad: Disponibilidad de imágenes durante el tiempo mínimo según la ley.
 - Carga de trabajo: 10 modalidades / 10 estaciones de diagnóstico + 40 consultas simultáneas vía WEB.
 - Tiempo de respuesta: 4 minutos para descarga o almacenamiento de imágenes.
 - Tiempo de resolución: 30 minutos para soluciones parciales y 3 días para soluciones definitivas.
- Requerimientos de recuperación:
 - En situaciones imprevistas, se deberá recuperar las imágenes de los últimos 5 días de manera inmediata y la totalidad del periodo en un plazo máximo de 5 días.

2. Almacenamiento y distribución

- Funcionalidades disponibles:
 - Almacenamiento de imágenes.
 - Consulta de imágenes.
 - Servicios WEB de consulta.

3. Visualización Diagnóstica

- Funcionalidades ofrecidas:
 - Búsqueda de las imágenes.
 - Descarga de las imágenes o estudios.
 - Manipulación y visualización de las imágenes.
 - Registro de los informes.
- Requerimientos de recuperación:
 - En situaciones imprevistas, se deberá recuperar la totalidad de las funcionalidades del sistema.

4. Requerimientos Operacionales

- La red LAN debe garantizar el tiempo de servicio de todos los puntos de acceso, con un tiempo máximo de recuperación de 3 horas.
- El enlace de datos IP-VPN debe estar disponible, con un tiempo máximo de recuperación de 3 horas.
- Se establecerá un cronograma de mantenimiento de servidores en producción que permita reemplazar equipos en un plazo máximo de 72 horas después de ocurrida la incidencia.
- Elementos de monitorización y reportes requeridos:
 - **Nivel de uso de la Solución:**
 - **Concurrencia:** cantidad de usuarios conectados simultáneamente.
 - **Transferencias realizadas:** cantidad de transferencias de datos realizadas.
 - **Consultas concurrentes:** cantidad de consultas realizadas de forma simultánea.

- **Servidor PACS:**
 - **Espacio de almacenamiento:** espacio libre y utilizado en el servidor PACS.
 - **Espacio de memoria:** espacio libre y consumido en la memoria del servidor PACS.
 - **Espacio de procesamiento:** capacidad de procesamiento libre y utilizada en el servidor PACS.
- **Red de Datos:**
 - **Tráfico desde y hacia el PACS:** cantidad de datos transferidos entre el PACS y otros dispositivos.
 - **Tráfico en la red LAN:** cantidad de datos transmitidos en la red local.
- **Base de Datos:**
 - **Tiempo de respuesta:** tiempo necesario para responder a las transacciones de la base de datos.
 - **Cantidad de transacciones:** número de transacciones realizadas en la base de datos.
 - **Espacio de almacenamiento:** espacio utilizado y disponible en la base de datos.
- **Tiempo de funcionamiento:**
 - Verificación del tiempo de funcionamiento por componente del servicio.

3.3.4 Definición del Servicio

El Sistema de Almacenamiento y Distribución de Imágenes Médicas es un servicio tecnológico diseñado para mejorar el proceso de atención a pacientes en áreas rurales, con el fin de mejorar la accesibilidad y disponibilidad de estudios e imágenes médicas esenciales para diagnósticos precisos y tratamientos adecuados.

Este sistema incluye software especializado que permite la visualización y análisis de imágenes médicas a nivel clínico y diagnóstico, con funciones avanzadas para la

manipulación y procesamiento de las imágenes. Esto facilita a los profesionales de la salud la interpretación de los resultados y la toma de decisiones informadas.

Basado en el estándar DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), el sistema asegura la interoperabilidad y el intercambio de imágenes entre dispositivos en la red de equipamiento biomédico radiológico. Esto posibilita una integración fluida de datos y una colaboración eficiente entre profesionales de la salud, mejorando el flujo de trabajo y la calidad de la atención médica.

3.3.4.1 Almacenamiento y distribución

DCM4CHEE es un sistema de almacenamiento y comunicación de imágenes médicas que utiliza hardware específico. El software es de código abierto y se distribuye bajo la Licencia GPL.

DCM4CHEE es una colección de aplicaciones de codificación abierta desarrollada en JAVA. Es compatible con múltiples plataformas y ofrece servicios para el almacenamiento y recuperación de imágenes médicas. Se ejecuta sobre un contenedor de aplicaciones JBoss.

Para llevar a cabo la tarea de archivamiento de información de las cabeceras DICOM, índices y datos clínicos, DCM4CHEE requiere el uso de una Base de Datos. En este caso, se recomienda utilizar PostgreSQL 8.4 para la implementación del sistema. PostgreSQL es una base de datos robusta y escalable que ofrece capacidades avanzadas para el almacenamiento y recuperación de datos.

DCM4CHEE, como sistema de almacenamiento y comunicación de imágenes médicas, tiene varias características funcionales que lo hacen útil y eficiente en entornos de atención médica. Aquí hay algunas de sus características funcionales principales:

1. Almacenamiento y recuperación de imágenes DICOM: DCM4CHEE ofrece capacidades completas de almacenamiento y recuperación de imágenes médicas en formato DICOM. Permite la importación, almacenamiento y recuperación

eficientes de imágenes de diferentes modalidades y estudios.

2. Indexación y búsqueda avanzada: El sistema proporciona funcionalidades de indexación y búsqueda que permiten la rápida localización de imágenes médicas basadas en criterios como el identificador del paciente, fecha, estudio, modalidad, entre otros. Esto facilita la recuperación y visualización de imágenes específicas de manera ágil.
3. Integración con estándares y sistemas externos: DCM4CHEE se integra con estándares de interoperabilidad, como HL7, que facilitan la integración con otros sistemas de información de salud. Permite la comunicación y el intercambio de datos clínicos entre diferentes sistemas, mejorando la colaboración y la continuidad de la atención médica.
4. Gestión de datos clínicos: Además de las imágenes DICOM, DCM4CHEE también permite la gestión y el almacenamiento de datos clínicos relacionados. Esto incluye información demográfica del paciente, informes médicos, notas y otra documentación clínica relevante.
5. Funciones de seguridad y privacidad: DCM4CHEE ofrece mecanismos de seguridad y privacidad para garantizar la protección de los datos de los pacientes y cumplir con los estándares y regulaciones de seguridad de la información en salud. Esto incluye el acceso controlado a las imágenes y datos clínicos, el registro de auditoría y el cifrado de datos sensibles.
6. Capacidades de escalabilidad: El sistema está diseñado para ser escalable y puede adaptarse a entornos con grandes volúmenes de imágenes y datos médicos. Permite el crecimiento y la expansión del sistema a medida que aumentan los requisitos de almacenamiento y procesamiento.

4. Solución Propuesta y Arquitectura

La propuesta planteada consiste en aprovechar las redes 4G-LTE para la transmisión y resguardo de imágenes médicas provenientes de mamografías. Esta elección se basa en diversos factores detallados previamente, incluyendo la cobertura de las redes 4G-LTE que hay en las cabeceras municipales donde se presta el servicio de salud, su alta velocidad de transferencia de datos, su eficaz gestión del ancho de banda y su versatilidad para integrarse con otros sistemas médicos.

En cuanto a las soluciones de almacenamiento, se consideran opciones como el almacenamiento en la nube, dispositivos de almacenamiento en red (NAS, *Network Attached Storage*) y servidores de almacenamiento en dispositivos móviles. Estas soluciones deben cumplir rigurosamente con los estándares de seguridad y privacidad requeridos para el manejo de imágenes médicas. La combinación de estas tecnologías permitirá llevar a cabo de manera eficaz el diagnóstico, tratamiento, prescripción y seguimiento de los pacientes, lo que conllevará una mejora significativa en la atención médica y los servicios de salud en áreas rurales.

Las unidades móviles utilizadas para la captura de imágenes médicas de mamografía estarán conectadas a la red 4G-LTE para transmitir las imágenes de forma veloz y segura a través de una VPN hacia un servidor principal, que actuará como punto de acceso para la visualización de las imágenes en las estaciones de trabajo de los médicos. Además, toda la información se respaldará en la nube. El almacenamiento en la nube proporciona la escalabilidad necesaria para gestionar grandes volúmenes de datos y permite el acceso a estos datos desde cualquier lugar con conexión a Internet. Además de esto, su uso garantiza la seguridad de los datos al ofrecer copias de seguridad y protección contra pérdidas o daños. No obstante, también se contemplará la posibilidad de implementar dispositivos de almacenamiento en red (NAS) o servidores de almacenamiento en dispositivos móviles si se requiere disponer de una copia local de los datos para mejorar el acceso a los datos.

La arquitectura propuesta para la transmisión de información de imágenes médicas a través de las redes 4G-LTE incluye los siguientes componentes:

1. **Unidades móviles de mamografía:** equipos portátiles que capturan imágenes médicas en el lugar donde se realiza el diagnóstico.
2. **Modems 4G-LTE:** dispositivos que permiten la conexión de las unidades móviles a la red 4G-LTE.
3. **Servidor central:** un servidor central que recibe y almacena las imágenes médicas enviadas desde las unidades móviles.
4. **Aplicación de visualización:** una aplicación móvil que permite enviar y recibir imágenes médicas desde las unidades móviles.

En resumen, la solución 4G-LTE y almacenamiento híbrido brinda una combinación óptima de velocidad, flexibilidad, escalabilidad, seguridad y eficiencia de costos para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de envío y almacenamiento de imágenes médicas de mamografía en zonas rurales de Colombia.

4.1 Implementación

4.1.1 Configuración Conexión 4G

Para conectarse a las redes 4G, se emplea el módem **Huawei-router LTE CPE B315 modem4G LTE**, el cual facilita la conexión a Internet de forma inalámbrica gracias a las siguientes características:

- Acceso a datos de alta velocidad:
 1. LTE FDD: DL 150 Mbps, UL 50 Mbps.
 2. LTE TDD: DL 112 Mbps, UL 10 Mbps.
 3. 2. 2 +: DL 42 Mbps, UL 5,76 Mbps.
 4. HSPA +: DL 21 Mbps (64QAM) / 28 Mbps (MIMO), UL 5,76 Mbps.
 5. HSPA: DL 14,4 Mbps, UL 5,76 Mbps.
 6. WCDMA PS: 384 Kbps.

- Velocidad de descarga LTE a 150Mbps, velocidad de carga a 50Mbps.
- WiFi 802.11 b/g/n, velocidad inalámbrica a 300Mbps.
- Dos conectores para antenas externas (tipo SMA).



Figura 4.1: Router 4G
[44]

Este dispositivo, al contar con conectores para antenas, resulta ideal para la conexión en unidades móviles. Debido a que estas unidades están plomadas por el uso de radiación ionizante, la señal dentro de ellas tiende a ser débil y puede presentar interferencias. Por esta razón, se utilizan estos puertos para establecer conexiones mediante antenas externas como la mostrada en la figura 4.2, las cuales se sitúan en el techo de las unidades móviles, mejorando así la calidad y estabilidad de la señal.



Figura 4.2: Antena 4G
[45]

4.1.2 Conexión VPN

Para establecer una comunicación efectiva entre las unidades móviles y el centro médico, se requiere la configuración de una conexión VPN (Red Privada Virtual). Esta configuración se lleva a cabo exclusivamente en el centro principal, que actúa como el punto central para la recepción de todas las imágenes generadas por las unidades móviles.

La conexión VPN se establece utilizando una dirección IP pública que permite redirigir de manera segura y eficiente toda la información proveniente de las unidades móviles hacia el centro médico. Para llevar a cabo esta configuración (Apéndice A), se utiliza un enrutador TP-LINK ER605 (TL-R605) como el referenciado en la figura 4.3, reconocido por su capacidad para gestionar conexiones VPN de manera confiable y segura.

La implementación de una conexión VPN a través del TP-LINK ER605 (TL-R605) es esencial para garantizar la confidencialidad y la integridad de los datos médicos transmitidos desde las unidades móviles al centro médico. Esta medida de seguridad es crucial en el entorno de la atención médica, donde la privacidad de la información del paciente es una prioridad. Además, estas conexiones VPN también desempeñan un papel fundamental al brindar acceso a los médicos desde cualquier ubicación. Esto permite a los profesionales de la salud visualizar las imágenes médicas



Figura 4.3: Antena 4G
[46]

de manera remota, agilizando la lectura y el diagnóstico de los exámenes.

4.1.3 Servidor DICOM

En el sector de la salud, la búsqueda constante de tecnologías efectivas y económicamente viables ha dado lugar a la aparición de alternativas de código abierto desarrolladas por diversos expertos en el campo. Uno de los ejemplos más destacados en este contexto es el sistema Orthanc, el cual se especializa en el almacenamiento y la gestión de imágenes médicas, incluyendo radiografías y resonancias magnéticas. Orthanc, producto del esfuerzo colaborativo de una comunidad activa de desarrolladores, ofrece una solución eficiente, precisa y veloz para la gestión de información médica. el servidor DICOM tiene las siguientes características:

- **Procesador:** Intel Xeon 3.10 Ghz
- **Memoria RAM:** 16 GB
- **Sistema Operativo:** Windows Server
- **Almacenamiento:** 2 TB
- **Tarjeta de Red:** Broadcom NetXtreme Gigabit Ethernet

Esta solución open source, Orthanc que se presenta en la figura 4.4, no solo destaca por su eficacia, sino también por su capacidad de integración y su arquitectura modular. Esto lo hace especialmente idóneo para su implementación en

hospitales y clínicas que requieren una plataforma versátil y adaptable para la administración de imágenes médicas. La integración de Orthanc en el entorno de atención médica se alinea perfectamente con la necesidad de mantener la seguridad y confidencialidad de los datos del paciente.

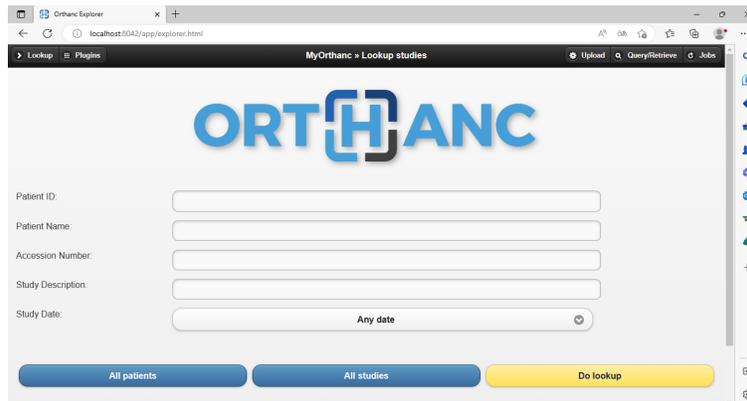


Figura 4.4: Servicio WEB de Orthanc
[Propia]

Para reforzar aún más la seguridad de los datos médicos en el contexto de Orthanc, resulta imperativo considerar la implementación de una zona desmilitarizada (DMZ) ((Apéndice A)) en la infraestructura de red. Esto se torna particularmente esencial debido a la naturaleza del flujo de información, que proviene de unidades móviles ubicadas en zonas rurales y que se dirigen hacia la dirección IP pública del servidor principal.

Este enfoque de seguridad en dos niveles, donde Orthanc opera como el sistema de gestión de imágenes médicas y la DMZ resguarda la red, se erige como una fortaleza en la salvaguarda de los datos confidenciales de los pacientes. La combinación de Orthanc como sistema de gestión de imágenes médicas y la DMZ junto con la configuración de Virtual Server en el router representa una salvaguarda integral que garantiza la seguridad de los datos sensibles del paciente.

Una vez que se ha configurado la DMZ y el Virtual Server, el tráfico entrante que llega a los puertos públicos especificados se redirige hacia el dispositivo y puerto privado configurado en la red local. La DMZ asume la responsabilidad de dirigir cualquier tráfico

no especificado por las reglas del Virtual Server hacia la dirección IP interna configurada en la DMZ.

Esta configuración permite que el dispositivo ubicado en la DMZ y los dispositivos sujetos a las reglas del Virtual Server sean accesibles desde Internet de manera segura, al tiempo que se resguarda el resto de la red interna. Es fundamental asegurarse de configurar las reglas del Virtual Server de manera apropiada, de manera que solo se permita el tráfico necesario. Además, se recomienda mantener actualizado el firmware del router para garantizar la seguridad continua de la red.

4.1.4 Almacenamiento de la Información

En el contexto del almacenamiento de información de imágenes médicas, se implementan dos estrategias con el fin de asegurar la redundancia de los datos y, por lo tanto, fortalecer la seguridad de la información. Estas estrategias se llevan a cabo simultáneamente para garantizar una protección integral de los datos médicos.

La primera de estas estrategias involucra la instalación de un “disco espejo” en el servidor principal de imágenes médicas (Anexo C). Esta técnica implica la configuración de dos discos duros idénticos, de manera que, en tiempo real, todos los datos almacenados en el disco principal se copien automáticamente en el segundo disco, creando así una duplicación exacta de la información. Esta implementación permite una transición transparente al disco espejo en caso de un fallo en el disco principal, lo que asegura la continuidad del acceso a las imágenes médicas sin pérdida de datos ni interrupción en la atención médica.

La segunda estrategia se centra en la utilización de servicios de almacenamiento en la nube. En este enfoque, todas las imágenes médicas se cargan y almacenan en servidores remotos altamente seguros y con alta disponibilidad. Esta opción proporciona ventajas adicionales, como la accesibilidad desde cualquier ubicación con conexión a Internet, lo que facilita la colaboración entre profesionales de la salud y la posibilidad de acceder a las imágenes desde dispositivos móviles. La redundancia en la nube se logra mediante técnicas avanzadas de replicación y copias de seguridad periódicas, lo que garantiza que los datos estén resguardados contra pérdidas incluso en situaciones de desastre.

La fortaleza de esta estrategia radica en la implementación conjunta de ambas alternativas. Mientras que el disco espejo en el servidor local asegura una copia inmediata y local de los datos, la copia de seguridad en la nube proporciona una capa adicional de protección y redundancia. Esta combinación ofrece un enfoque completo para garantizar la seguridad de la información de imágenes médicas.

4.1.5 Propuesta de Solución: Envío y Almacenamiento

En la figura 4.5, se presenta la solución propuesta para el envío y almacenamiento de imágenes médicas de mamografía en zonas rurales de Colombia.

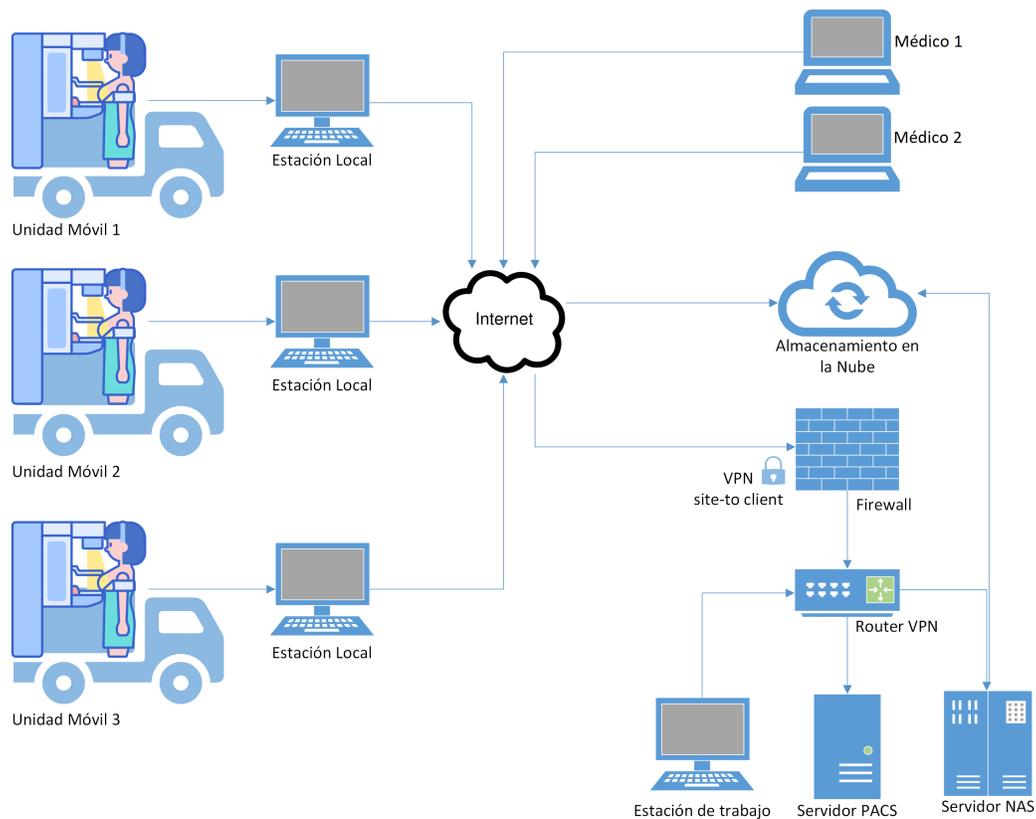


Figura 4.5: Arquitectura propuesta [Propia]

La solución propuesta consta de tres etapas para el desarrollo del proceso de envío de estudios médicos desde las unidades móviles:

1. **Utilización de redes 4G-LTE:** En esta etapa, se sigue el esquema mostrado en la figura 4.6:

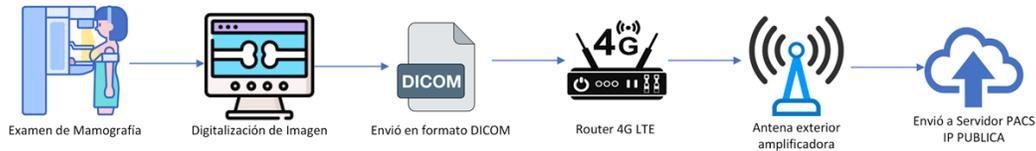


Figura 4.6: Esquema de conexión 4G [Propia]

Después de que el paciente ingresa y se realiza el estudio de mamografía, la información en formato DICOM del paciente se envía a través del router 4G con conexión a internet, utilizando una antena exterior amplificadora de señal debido a la falta de señal de redes 4G dentro de la unidad móvil, posteriormente se envía al servidor PACS a través de la dirección IP pública de la entidad médica.

2. **Recepción de Imágenes:** En esta etapa, se recibe la información de la etapa anterior según el esquema representado en la figura 4.7:



Figura 4.7: Esquema de recepción de imágenes [Propia]

Una vez que las imágenes llegan a través de la dirección IP pública, pasan por el firewall del router, donde se ha implementado previamente una DMZ para que toda la información de las imágenes llegue directamente al servidor PACS. Este servidor, a través del router con firewall para la red local, evita el acceso de malware hacia la red interna. Una vez que la información está dentro del PACS, se puede realizar la visualización simultánea de toda la información desde cualquier estación de trabajo de la entidad.

3. **Almacenamiento:** En esta última etapa, se realiza el respaldo de toda la información que llega al servidor PACS, que implementa el almacenamiento híbrido y permite la visualización simultánea de imágenes, como se muestra en el siguiente esquema (Figura 4.8):

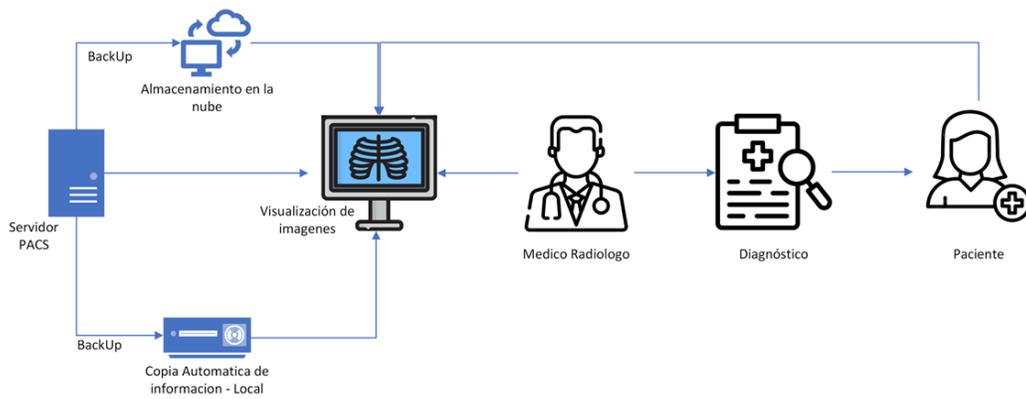


Figura 4.8: Esquema de almacenamiento híbrido [Propia]

Para el almacenamiento de la información, se implementa la solución híbrida realizando el respaldo de la información local de forma simultánea con el almacenamiento en la nube, lo que genera una redundancia de información para garantizar la seguridad de todos los estudios de los pacientes. Además, se logra una visualización simultánea de los estudios tanto para los médicos radiólogos como para los pacientes que necesiten acceder a sus estudios.

Este enfoque permitirá mejorar significativamente la atención médica en áreas remotas al agilizar la disponibilidad de imágenes médicas, mejorando la seguridad de los datos y brindando flexibilidad para el acceso y respaldo de la información. La solución propuesta incluye unidades móviles de mamografía, modems 4G-LTE, un servidor central y una aplicación de visualización, formando un sistema integral que beneficia a profesionales de la salud y pacientes por igual.

5. Pruebas y resultados

Para implementar una solución integral que permita transferir imágenes médicas desde unidades móviles a un servidor PACS, es fundamental realizar pruebas que aseguren la confiabilidad y seguridad de la gestión de datos médicos, así como mejorar la atención médica. Estas pruebas incluyen la evaluación de la velocidad de transferencia, seguridad, accesibilidad remota y capacidad de almacenamiento. Al comparar estos resultados con métodos tradicionales, se pueden destacar las ventajas en eficiencia y seguridad que ofrece la solución, lo cual es crucial para garantizar su éxito en entornos móviles y rurales.

Estas pruebas se llevaron a cabo durante varias jornadas de trabajo a lo largo de una semana en distintas poblaciones. Se registró el tiempo de envío de cada estudio, realizado justo después de finalizar el examen de diagnóstico. Se calculó el tiempo promedio de envío en cada población y se confirmó la recepción del envío en el centro de salud principal. Allí, se verificó la copia de seguridad tanto local como en la nube para comprobar el funcionamiento del sistema híbrido de almacenamiento.

5.1 Prueba de Velocidad de Transferencia de Datos

Esta evaluación se enfoca en analizar la velocidad de transferencia de datos mediante dos enfoques distintos: la nueva tecnología que permite la transferencia en tiempo real a través de la red 4G y el método tradicional que implica el transporte físico de datos. Al medir estos tiempos de transferencia, se obtendrá información relevante sobre cómo la nueva tecnología mejora la eficiencia en el acceso a imágenes médicas, destacando así las ventajas que ofrece en comparación con el método tradicional.

A través de este estudio, se busca resaltar la importancia de la velocidad de transferencia de datos en la atención médica móvil, demostrando cómo el nuevo método con tecnología 4G puede marcar la diferencia en términos de eficiencia operativa y atención médica oportuna.

Procedimiento:

1. **Método Tradicional (Transporte Físico):** Involucra el transporte físico de un disco duro con imágenes desde la unidad móvil hasta el servidor PACS. Se medirá el tiempo total que lleva completar este proceso, incluyendo el desplazamiento del mensajero.
2. **Uso de una Solución Tecnológica basada en datos móviles:** Se realizarán transferencias de imágenes médicas desde una unidad móvil equipada con acceso a Internet 4G al servidor PACS. Se medirá el tiempo necesario para cargar una cantidad predefinida de imágenes al servidor.

5.1.1 Método Tradicional

En el contexto de la atención médica actual, la eficiencia y la accesibilidad en la gestión de imágenes médicas se han convertido en elementos críticos para proporcionar atención de calidad y tomar decisiones clínicas fundamentadas. La comparación entre la nueva tecnología y el método tradicional es esencial para comprender cómo diferentes enfoques pueden tener un impacto significativo en la eficiencia, rapidez y calidad de la atención médica, especialmente en áreas rurales y remotas.

El método tradicional implica una secuencia de eventos que se desarrolla desde la captura de imágenes médicas en unidades móviles en zonas rurales hasta su entrega a un médico en una sede principal. Este proceso involucra el transporte físico de datos por un mensajero desde la ubicación remota hasta el servidor local y, finalmente, a la sede principal. A lo largo de esta cadena, surgen etapas que pueden resultar en retrasos, ineficiencias y posibles riesgos para la integridad de los datos.

El proceso del método tradicional se detalla a continuación:

1. **Creación de proyecto¹ (20 - 25 minutos):** Después de concluir la jornada de mamografías, es necesario crear un proyecto en formato de CD. Este proceso

¹Archivo ejecutable de toda la jornada para visualización completa en cualquier equipo sin el programa de visualización instalado

genera un archivo ejecutable que contiene toda la información relevante y que posteriormente se copiará en un disco duro (ver Figura 5.1).

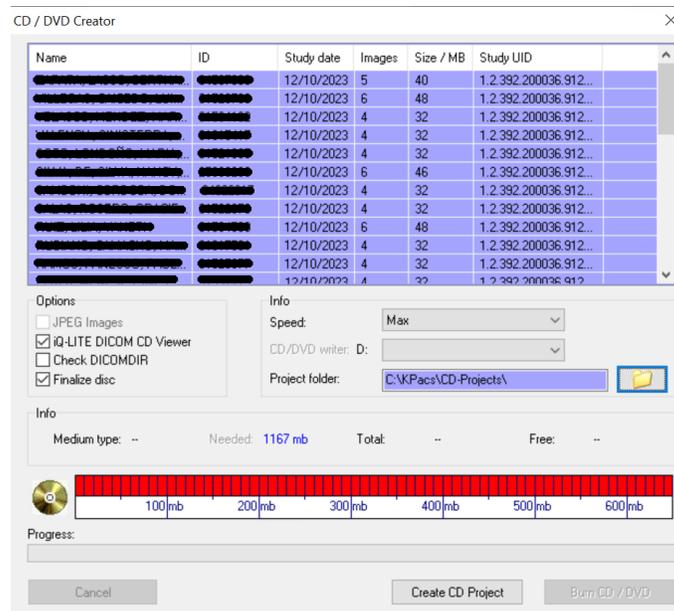


Figura 5.1: Creación de jornada completa para copia [Propia]

2. **Copia del Proyecto a disco duro (5 - 10 minutos):** Para facilitar el envío al centro médico, se realiza una copia completa del proyecto (ver Figura 5.2). Esta operación generalmente se completa en menos de 10 minutos (ver Figura 5.2).

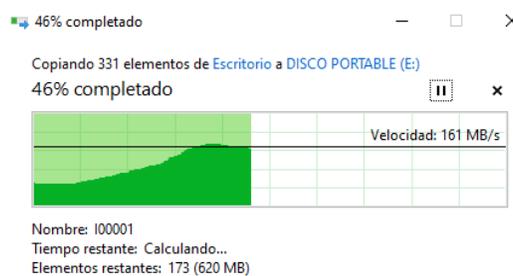


Figura 5.2: Copia de jornada [Propia]

3. **Transporte de información (1 - 2 horas):** En esta etapa, la información viaja desde el municipio de Sandona hasta Pasto. La última paciente suele ser atendida alrededor de las 5:00 PM, momento en el que se inician los pasos previos. Dependiendo de la distancia, se pueden presentar dos escenarios: si la ubicación es

lejana, por razones de seguridad, se espera hasta el día siguiente para transportar los estudios; en otro caso, se realiza el transporte de información en el disco duro portable tan pronto como se complete la copia de la información (ver Figura 5.3).

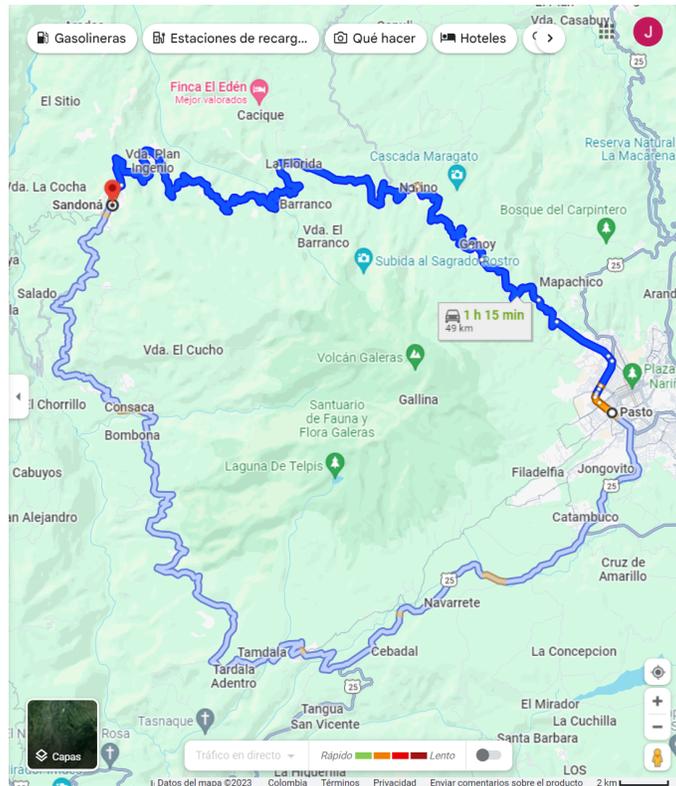


Figura 5.3: Distancia de Viaje a centro médico [47]

4. **Carga de imágenes en el Servidor (15 - 20 minutos):** Después de que el disco duro llega al centro médico, se procede a su integración en el sistema de comunicaciones. En primer lugar, se conecta el disco duro al servidor designado. Una vez que esta conexión se establece con éxito, se procede a la apertura del proyecto que fue copiado previamente en el disco duro portátil.

En este punto, se inicia la transferencia de las imágenes médicas desde el disco duro al servidor. Estas imágenes son cuidadosamente incorporadas en el sistema PACS, que actúa como un repositorio central. Esta integración en el sistema PACS es esencial, ya que permite que las imágenes sean accesibles desde cualquier ubicación con conexión a Internet, lo que facilita a los profesionales médicos su revisión y análisis de manera oportuna y eficiente. La configuración precisa de esta etapa y

la efectiva integración de las imágenes son cruciales para garantizar la continuidad de la atención médica y la toma de decisiones clínicas fundamentadas.

5. **Visualización de las imágenes:** Una vez que los estudios se han cargado en el sistema, los médicos tienen acceso inmediato a las imágenes para su evaluación y diagnóstico.

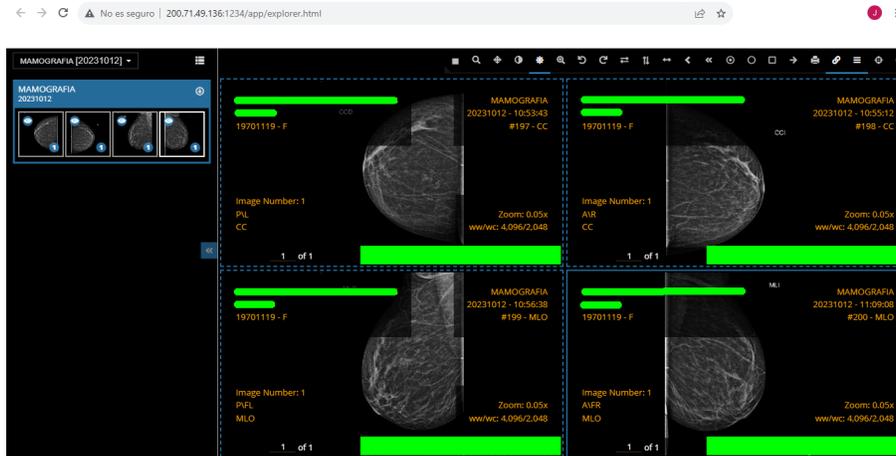


Figura 5.4: Imagen en PACS [Propia]

Este proceso ilustra los pasos involucrados en el método tradicional del manejo de imágenes médicas y destaca que, a pesar de ser un procedimiento establecido, puede ser susceptible a demoras y desafíos logísticos. La adopción de nuevas tecnologías, como la transmisión de imágenes a través de redes 4G-LTE y el almacenamiento en la nube, puede superar estas limitaciones y mejorar significativamente la eficiencia en la atención médica.

5.1.1.1 Mejor y Peor de los Casos en Tiempo de Envío de Imágenes al Servidor PACS

En el contexto de la gestión de imágenes médicas desde unidades móviles a un servidor PACS, se presentan dos escenarios hipotéticos que representan el mejor y el peor de los casos en cuanto al tiempo de envío de las imágenes:

- **Mejor Caso - Mismo Día de la Jornada:** En este escenario ideal, se alinean

todas las circunstancias para garantizar una entrega eficiente. Después de concluir la jornada de mamografías, los procesos de creación del proyecto y copia de la información al disco duro se completan en tiempo récord. Además, el transporte de las imágenes al centro médico se realiza en el mismo día de la jornada desde la población de Sandona, lo que ahorra tiempo y recursos. Si el trayecto toma una hora y media y que la carga de imágenes en el servidor se ejecuta de manera expedita. En este caso, las imágenes médicas pueden estar disponibles para los médicos en un tiempo mínimo, lo que agiliza la atención médica y la toma de decisiones clínicas.

- **Peor Caso - Espera hasta el Día Siguiente:** En este escenario desfavorable, varios factores se combinan para ralentizar el proceso. Después de finalizar la jornada, los procesos de creación del proyecto y copia de la información pueden demorar más de lo esperado. Además, debido a la lejanía del lugar de la jornada, la seguridad del transporte dicta que el envío debe esperar hasta el día siguiente. Esto implica una espera adicional durante la noche antes de que las imágenes lleguen al centro médico. En este caso, se produce una demora considerable en la disponibilidad de las imágenes para su visualización en el servidor PACS, lo que afecta significativamente la eficiencia de la atención médica y la rapidez en la toma de decisiones clínicas.

En el mejor escenario, donde se logra la entrega el mismo día de la jornada, se estima que las imágenes estarían disponibles para los médicos en aproximadamente 2 horas. Sin embargo, es esencial destacar que este tiempo debe complementarse con la duración de la jornada de atención, que se extiende desde las 7 de la mañana hasta las 5 de la tarde. Durante este prolongado período, los profesionales de la salud carecen de acceso a las imágenes, lo que impacta significativamente en su capacidad para tomar decisiones clínicas fundamentadas a lo largo de toda la jornada.

5.1.2 Uso de Solución Tecnológica basada en datos móviles

Para la prueba de velocidad es necesario realizar la configuración en los equipos médicos de adquisición de imágenes. Para este escenario se hace uso de un equipo de digitalización de imágenes de mamografía de la marca Kodak.



Figura 5.5: Digitalizador Kodak CR850
[48]

Se configura la dirección de destino hacia la IP pública previamente configurada en el router del centro médico principal (ver anexo A), en el equipo de digitalización de mamografías, como se muestra a continuación:



Figura 5.6: Configuración de destino en Digitalizador [Propia]

Para llevar a cabo pruebas de envío de imágenes DICOM, es imprescindible simular los estudios de manera que emulen situaciones clínicas reales. Dado que la privacidad de los datos de los pacientes prohíbe el uso de estudios auténticos, se ejecuta este proceso utilizando imágenes de prueba en equipos de calibración especializados. Esto permite obtener una imagen de prueba (figura 5.7 que simula un estudio de rayos X o mamografía.

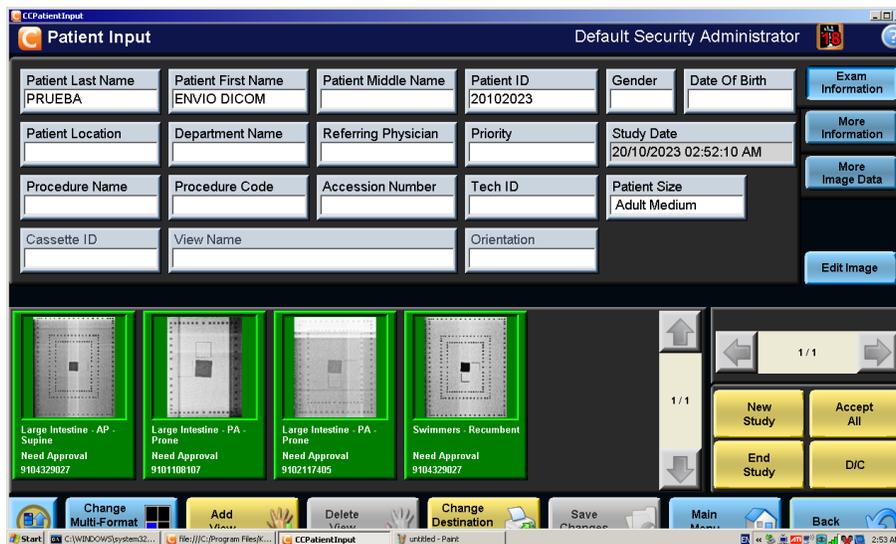


Figura 5.7: Creación de estudio y a espera de enviar [Propia]

5.1.2.1 Prueba de Envío y Recepción de Estudios

En esta sección, se explorará el proceso de envío y recepción de estudios médicos², que involucra la transmisión de imágenes DICOM, un elemento fundamental en el ámbito de la atención médica. Para una comprensión más visual, se presenta un diagrama de flujo que ilustra cada paso del proceso (ver Figura 5.8).

²Conjunto de imágenes constituye el examen médico esencial para la evaluación integral del paciente. En el contexto de este trabajo, el término 'estudio médico' engloba la captura, procesamiento, envío y almacenamiento de las imágenes pertinentes para garantizar un análisis exhaustivo.

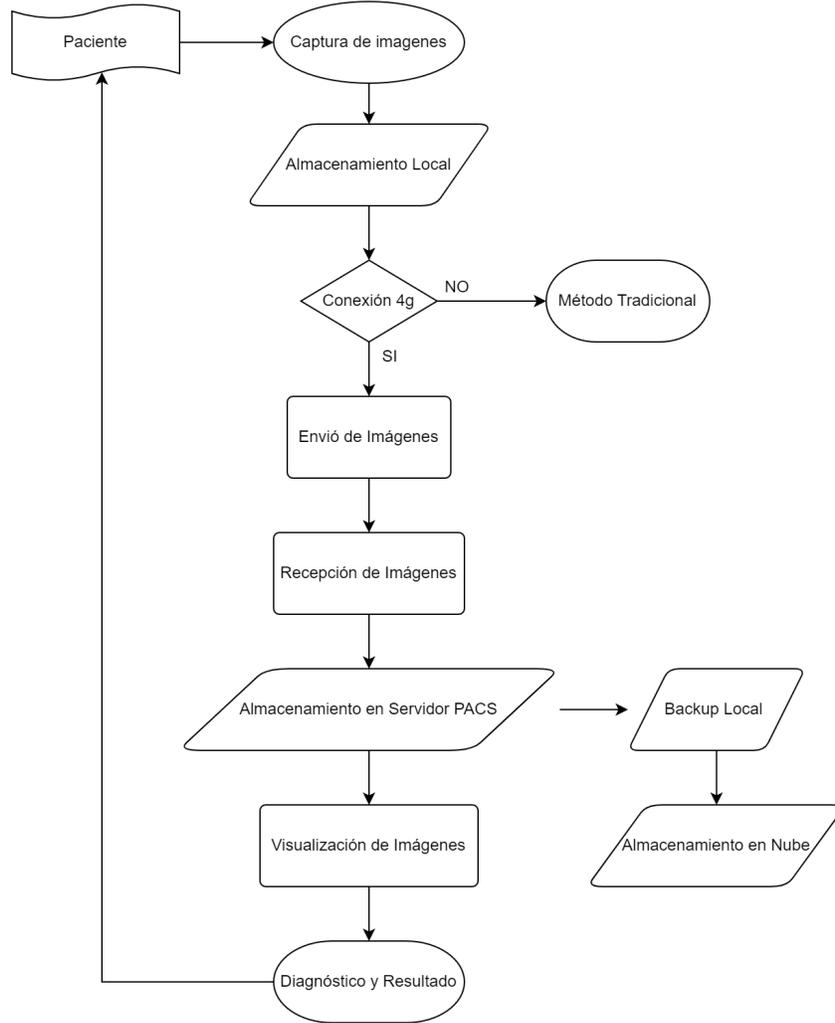


Figura 5.8: Diagrama de flujo envío DICOM [Propia]

El diagrama de flujo describe el proceso de captura, almacenamiento y transmisión de imágenes médicas en un entorno que involucra tanto la conectividad 4G como el método tradicional de transporte físico de datos.

1. **Paciente:** Inicia el proceso al someterse a la captura de imágenes médicas, como radiografías o resonancias magnéticas.
2. **Captura de Imágenes:** Las imágenes médicas son capturadas utilizando equipos médicos especializados.

3. **Almacenamiento Local:** Las imágenes capturadas se almacenan inicialmente en un dispositivo de almacenamiento local, como una unidad de disco duro o un servidor local.
4. **Conexión 4G:** Se verifica si hay acceso a conexión de Internet a través de la red 4G. Si existe conexión, el flujo continúa con el siguiente paso. Si no hay conexión 4G disponible, se procede al método tradicional de transporte de datos.
5. **Envío de Imágenes:** Las imágenes médicas almacenadas localmente se transmiten a través de la conexión 4G para su envío a un servidor PACS (Picture Archiving and Communication System).
6. **Recepción de Imágenes:** El servidor PACS recibe las imágenes médicas enviadas desde el dispositivo de almacenamiento local.
7. **Almacenamiento en Servidor PACS:** Las imágenes recibidas se almacenan en el servidor PACS. Este servidor tiene dos salidas:
 - **Back-Up Local y Almacenamiento en Nube:** Las imágenes se almacenan como copia de seguridad localmente y también se pueden almacenar en la nube para asegurar la disponibilidad y redundancia de los datos.
 - **Visualización de Imágenes, Diagnóstico y Resultado:** Las imágenes almacenadas en el servidor PACS están disponibles para su visualización por parte de los profesionales médicos. Después de su revisión y diagnóstico, se generan los resultados que se comparten con el paciente.
8. **Finalización y Vuelta al Paciente:** Una vez que se ha completado el proceso de almacenamiento, visualización, diagnóstico y resultado, el flujo de datos finaliza y el paciente puede recibir la atención médica necesaria basada en los resultados obtenidos de las imágenes médicas.

5.1.2.1.1. **Envío de imágenes al Centro Médico:** El proceso de envío de imágenes médicas al centro médico es un paso crítico en el flujo de trabajo, ya que garantiza que los resultados estén disponibles para su revisión por parte de los médicos radiólogos. Este proceso se inicia una vez que se completa un estudio médico. La Figura 5.9 ilustra

este proceso. Es relevante mencionar que esta prueba se basa en un estudio realizado con un dispositivo de calibración, y las imágenes tienen un tamaño aproximado de 10 MB.

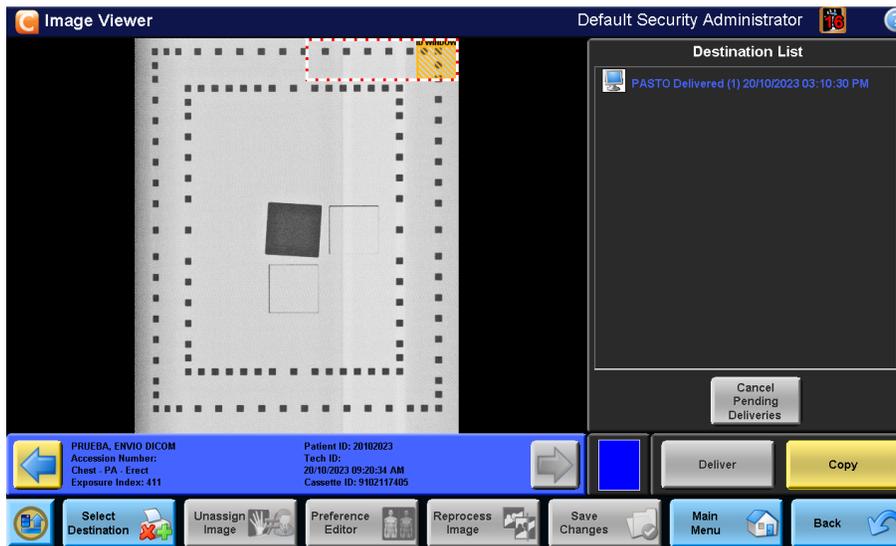


Figura 5.9: Envío del estudio al centro médico [Propia]

5.1.2.1.2. Capacidad de Transmisión de datos: Para evaluar el rendimiento de la red y determinar su capacidad de transmisión de datos, se utiliza la aplicación Iperf. Esta herramienta desempeña un papel crucial al medir tanto la capacidad de transmisión como el desempeño del puerto utilizado para la transferencia de datos. Iperf ofrece una visión precisa de la capacidad de la red en función de la tasa de transferencia de datos, lo que permite identificar posibles cuellos de botella y mejorar el rendimiento tanto desde el servidor (ver Figura 5.10) como desde el cliente (ver Figura 5.11).

```

Server listening on 1234
-----
Accepted connection from 191.106.149.28, port 1234
[ 5] local 192.168.10.147 port 1234 connected to 191.106.149.28 port 1234
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 0.00-1.01    sec 218 KBytes  1.77 Mbits/sec
[ 5] 1.01-2.01    sec 475 KBytes  3.88 Mbits/sec
[ 5] 2.01-3.01    sec 441 KBytes  3.62 Mbits/sec
[ 5] 3.01-4.00    sec 504 KBytes  4.15 Mbits/sec
[ 5] 4.00-5.00    sec 429 KBytes  3.53 Mbits/sec
[ 5] 5.00-6.01    sec 390 KBytes  3.16 Mbits/sec
[ 5] 6.01-7.01    sec 498 KBytes  4.11 Mbits/sec
[ 5] 7.01-8.01    sec 447 KBytes  3.65 Mbits/sec
[ 5] 8.01-9.00    sec 441 KBytes  3.63 Mbits/sec
[ 5] 9.00-10.00   sec 441 KBytes  3.63 Mbits/sec
[ 5] 10.00-10.16  sec 63.0 KBytes 3.26 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 0.00-10.16   sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 5] 0.00-10.16   sec 4.25 MBytes 3.51 Mbits/sec
-----
Server listening on 1234

```

Figura 5.10: transmisión Servidor [Propia]

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Version 5.1.26001
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.
C:\Documents and Settings\Administrator>:
E:\>dir
Volume in drive E is LOCAL DISK
Volume Serial Number is 0CEE-D36C

Directory of E:\

01/20/2012  12:33 PM  <DIR>          Images
01/20/2012  12:33 PM  <DIR>          inetpub
10/20/2023  02:13 PM  <DIR>          iperf
               0 File(s)    0 bytes
               3 Dir(s)  420,086,050,816 bytes free

E:\>cd iperf
E:\iperf>iperf3.exe -c 190.147.110.81 -p 1234
Connecting to host 190.147.110.81, port 1234
[ 41] local 192.168.92.140 port 1831 connected to 190.147.110.81 port 1234
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 41] 0.00-1.00    sec 315 KBytes  2.58 Mbits/sec
[ 41] 1.00-2.00    sec 441 KBytes  3.61 Mbits/sec
[ 41] 2.00-3.00    sec 441 KBytes  3.61 Mbits/sec
[ 41] 3.00-4.00    sec 504 KBytes  4.13 Mbits/sec
[ 41] 4.00-5.00    sec 441 KBytes  3.61 Mbits/sec
[ 41] 5.00-6.00    sec 378 KBytes  3.10 Mbits/sec
[ 41] 6.00-7.00    sec 504 KBytes  4.13 Mbits/sec
[ 41] 7.00-8.00    sec 441 KBytes  3.61 Mbits/sec
[ 41] 8.00-9.00    sec 441 KBytes  3.61 Mbits/sec
[ 41] 9.00-10.00   sec 441 KBytes  3.61 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 41] 0.00-10.00   sec 4.25 MBytes 3.56 Mbits/sec
[ 41] 0.00-10.00   sec 4.25 MBytes 3.56 Mbits/sec
-----
iperf Done.
E:\iperf>ipconfig

```

Figura 5.11: transmisión cliente [Propia]

Los resultados revelan un rendimiento satisfactorio de la red 4G en términos de transferencia de datos, con velocidades promedio registradas entre 3,10 y 4,15 megabits por segundo (Mbps). Estos valores indican la capacidad de la solución 4G para mantener una velocidad de transferencia constante y eficiente a lo largo del tiempo, facilitando así una transmisión de las imágenes médicas desde las unidades móviles hasta el servidor PACS.

5.1.2.1.3. **Recepción y Verificación en el Servidor:** Después de que toda la información se ha transmitido al servidor, se procede a realizar un proceso de verificación para confirmar la recepción exitosa del estudio. Este paso resulta crucial para determinar cuándo las imágenes estarán disponibles para los médicos radiólogos, lo que, a su vez, agiliza la generación de diagnósticos y resultados de los exámenes. La Figura 5.12 ilustra el proceso de recepción de la imagen en el servidor PACS a través de la página web, mientras que en la Figura 5.13 se verifica la información en el disco duro confirmando la recepción de la imagen.

The screenshot displays a web interface for a DICOM instance. On the left, there is a sidebar with a 'PA' header and various fields: 'Series (Instance)', 'BodyPartExamined: CHEST', 'ContrastBolusAgent', 'Modality: CR', 'SeriesInstanceUID: 1.2.840.113564.19216892140.2023102015102643715', 'SeriesNumber: 26', and 'StationName: OEM-4EMG1GWY8V'. Below this is an 'Instance' section with 'Instance: 1' and 'SOPInstanceUID: 1.2.840.113564.121001.202310200920545464.1903000225902'. A green button labeled 'Send to DICOMweb server' is present. Underneath are sections for 'Interact' (with 'Delete this instance' and 'Send to DICOM modality' buttons) and 'Access' (with 'Download the DICOM file', 'Download the JSON file', and 'Preview the instance' buttons).

On the right side, a list of DICOM tags is displayed, including: 0008.0032 (AcquisitionTime) 092034.593, 0008.0033 (ContentTime) 092034.687, 0008.0050 (AccessionNumber), 0008.0050 (Modality) CR, 0008.0070 (Manufacturer) CARESTREAM, 0008.0090 (ReferringPhysicianName), 0008.1010 (StationName) OEM-4EMG1GWY8V, 0008.1030 (StudyDescription), 0008.1036 (SeriesDescription) PA, 0008.1090 (ManufacturerModelName) CR0825, 0008.1111 (ReferencedPerformedProcedureStepSequence) [], 0008.1140 (ReferencedImageSequence) [], 0008.2112 (SourceImageSequence) [], 0008.2218 (AnatomicRegionSequence) [], 0010.0010 (PatientName) PRUEBA*ENVIO DICOM, 0010.0020 (PatientID) 201022923, 0010.0030 (PatientBirthDate), 0010.0040 (PatientSex) O, 0018.0010 (ContrastBolusAgent), 0018.0015 (BodyPartExamined) CHEST, 0018.1000 (DeviceSerialNumber) 12345678, 0018.1004 (PlateID) S102117405, 0018.1020 (SoftwareVersions) 5.6.10.40, 0018.1104 (ImagerPixelSpacing) 0.1150:0.115, 0018.1403 (CassetteSize) 24CM:35CM, 0018.1405 (RelativeXRayExposure) 411, 0018.1411 (ExposureIndex) 6.15, 0018.1412 (TargetExposureIndex) 382.53, 0018.1413 (DeviationIndex) -17.94, 0018.5101 (ViewPosition) PA, 0020.0004 (StudyInstanceUID) 1.2.840.113564.19216892140.2023102015102643715, 0020.0006 (SeriesInstanceUID) 1.2.840.113564.19216892140.2023102015102643715, 0020.0010 (StudyID), 0020.0011 (SeriesNumber) 20, 0020.0012 (AcquisitionNumber) 2, 0020.0013 (InstanceNumber) 1, 0020.0020 (PatientOrientation) LIF, 0020.1002 (ImagesInAcquisition) 1, 0028.0002 (SamplesPerPixel) 1, 0028.0004 (PhotometricInterpretation) MONOCHROME2, 0028.0010 (Rows) 2500, 0028.0011 (Columns) 2048, 0028.0030 (PixelSpacing) 0.1150:0.115, 0028.0034 (PixelAspectRatio) 1:1, 0028.0100 (BitsAllocated) 16, 0028.0101 (BitsStored) 12, 0028.0102 (Height) 11, 0028.0103 (PixelRepresentation) 0.

Figura 5.12: Verificación de recepción en el PACS [Propia]

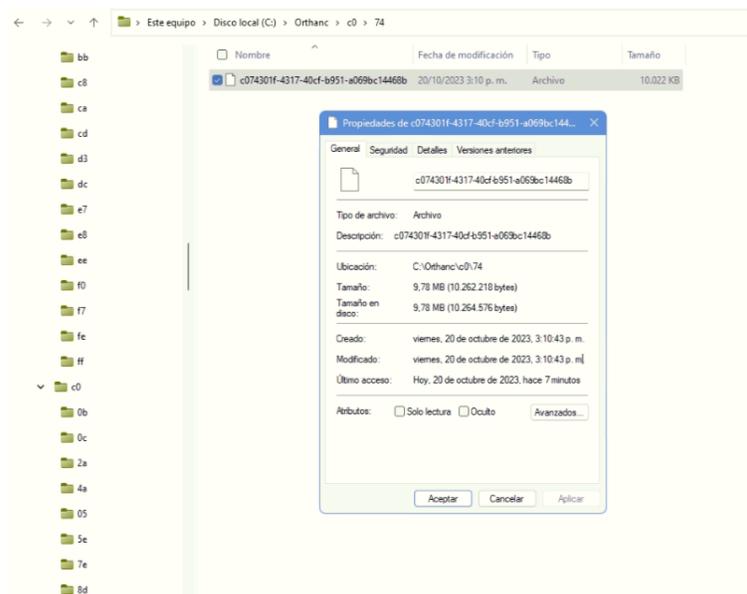


Figura 5.13: Hora exacta de recepción en servidor [Propia]

Analizando la información recopilada, se ha observado que el estudio de prueba (figura 5.9), se encuentra disponible en el servidor (figura 5.13), en aproximadamente 13 segundos después de su envío. Este tiempo de envío eficiente se beneficia de la capacidad en la transmisión de datos, lo que contribuye a la rapidez del proceso.

Para un estudio de un paciente real, se tiene un tiempo promedio de 15.18 minutos, como se muestra en la tabla 5.1. La Figura 5.14 ejemplifica un paciente cuyo tiempo de envío fue de 17 minutos y 16 segundos.

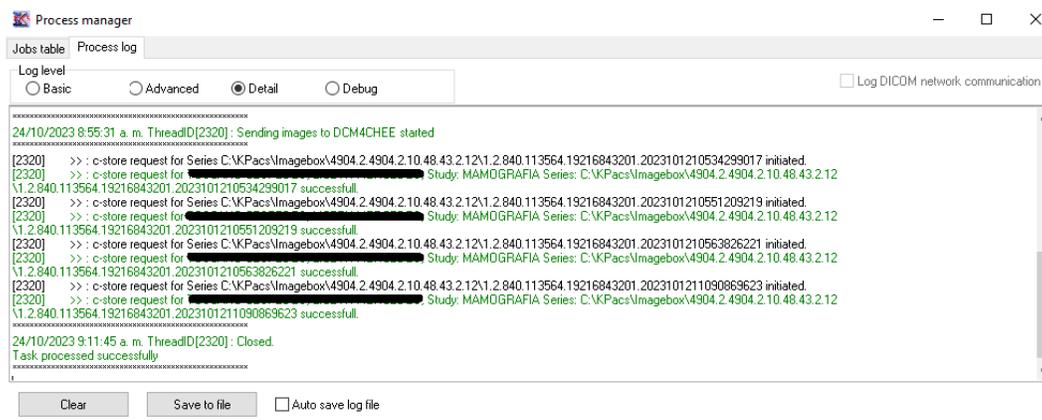


Figura 5.14: Confirmación de envío de Estudio [Propia]

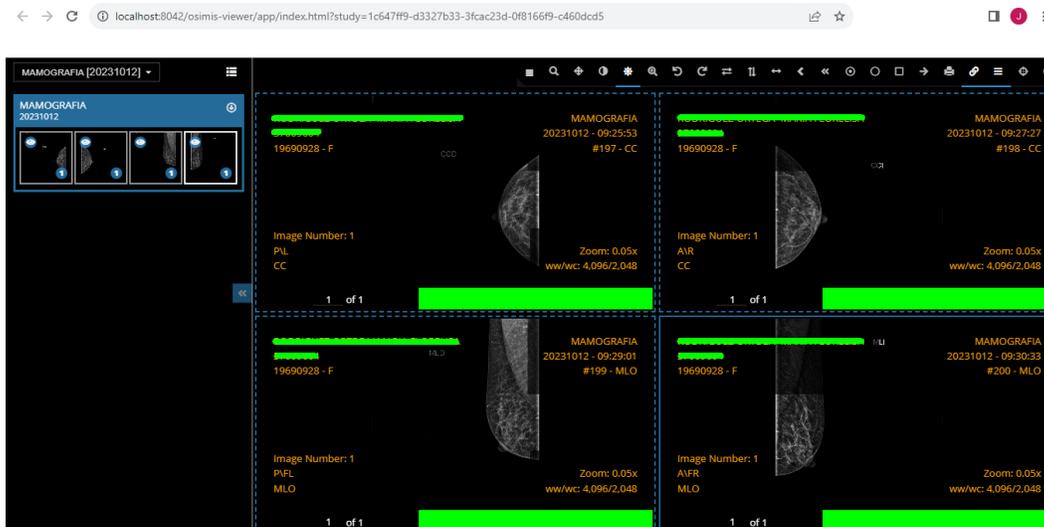


Figura 5.15: Confirmación de recepción de Estudio [Propia]

Además, la tabla 5.1 compara varios estudios reales en distintas poblaciones durante diferentes horas del día, proporcionando una visión más completa de los tiempos de envío.

Tabla 5.1: Tiempos de envío por estudio

Ubicación	Hora	Fecha	Tamaño Mb	Hora de Envío	Hora de Finalizado	tiempo de envío
Ipiales	8:55:00 a. m.	12/10/2023	213	8:55:31 a. m.	9:11:45 a. m.	17'16"
Ipiales	9:25:00 a. m.	12/10/2023	212	9:25:20 a. m.	9:37:12 a. m.	12'33"
Ipiales	10:53:00 a. m.	12/10/2023	213	10:53:35 a. m.	11:08:10 a. m.	15'45"
Ipiales	2:10:00 p. m.	12/10/2023	212	2:10:08 p. m.	2:22:18 p. m.	12'26"
Ipiales	2:46:00 p. m.	12/10/2023	211	2:46:50 p. m.	2:59:50 p. m.	14'40"
Sandona	7:20:00 a. m.	17/10/2023	214	7:20:13 a. m.	7:33:20 a. m.	13'33"
Sandona	7:35:00 a. m.	17/10/2023	213	7:35:40 a. m.	7:44:58 a. m.	10'38"
Sandona	9:05:00 a. m.	17/10/2023	210	9:05:16 a. m.	9:20:21 a. m.	15'37"
Sandona	12:12:00 p. m.	17/10/2023	212	12:12:24 p. m.	12:30:05 p. m.	17'29"
Sandona	3:07:00 p. m.	17/10/2023	214	3:07:41 p. m.	3:16:36 p. m.	10'17"
Tuqueres	7:10:00 a. m.	19/10/2023	212	7:10:25 a. m.	7:21:32 a. m.	11'57"
Tuqueres	7:30:00 a. m.	19/10/2023	213	7:30:52 a. m.	7:41:20 a. m.	12'02"
Tuqueres	8:40:00 a. m.	19/10/2023	212	8:40:10 a. m.	8:52:24 a. m.	12'34"
Tuqueres	2:05:00 p. m.	19/10/2023	212	2:05:20 p. m.	2:14:25 a. m.	9'45"
Tuqueres	2:20:00 p. m.	19/10/2023	213	2:20:25 p. m.	2:34:10 a. m.	14'35"

Este análisis detallado del proceso de envío y recepción de estudios médicos proporciona información valiosa sobre la eficiencia y el rendimiento de la solución en

uso, destacando su capacidad para agilizar la atención médica y mejorar la toma de decisiones clínicas.

5.1.3 Comparación entre el método tradicional y nuevo método

En la evaluación de la gestión de imágenes médicas en el contexto de la atención médica móvil, es fundamental comprender las diferencias clave entre el enfoque tradicional y el nuevo método basado en tecnología 4G. Estas diferencias se traducen directamente en la eficiencia, rapidez y calidad de la atención médica en áreas rurales y remotas, siendo determinantes en la toma de decisiones clínicas.

- **Nuevo método basado en 4G:** El nuevo método ha mejorado la gestión de imágenes médicas, en varios aspectos significativos:
 1. **Envío rápido después de cada toma de examen:** Con la nueva tecnología, el envío de imágenes médicas se ha mejorado con respecto al método tradicional. Ahora, las imágenes están disponibles en promedio en tan solo 15 minutos después de cada toma de examen de mamografía. Esta velocidad es crucial, ya que acelera la toma de decisiones clínicas y la atención médica, permitiendo un diagnóstico más oportuno.
 2. **Flujo continuo de datos:** La nueva tecnología permite un flujo constante de datos a lo largo del día. A medida que se completan los estudios, las imágenes se transmiten de inmediato al servidor PACS. Este flujo continuo garantiza que las imágenes estén disponibles a solo minutos de haber finalizado el estudio de mamografía. Como resultado, se mejora significativamente la atención médica, ya que los médicos pueden acceder a las imágenes de manera oportuna.
- **Método tradicional:** En contraste, el método tradicional involucra procesos manuales que pueden generar demoras significativas en la transferencia de imágenes:
 1. **Procesos manuales y demoras:** En el método tradicional, los procesos manuales son el estándar, lo que resulta en demoras notables en la disponibilidad de las imágenes. En el peor caso, el tiempo estimado para

que las imágenes estén disponibles para los médicos se extendía a aproximadamente 13 horas y 50 minutos debido a la espera nocturna y la duración de la jornada. Esto puede impactar negativamente la calidad y la rapidez de la atención médica.

2. **Impacto en la eficiencia:** Las demoras en el método tradicional afectan negativamente la eficiencia de la atención médica. Además, conllevan riesgos relacionados con la calidad de la atención y la toma de decisiones clínicas, ya que los médicos no pueden acceder de manera oportuna a las imágenes.

A continuación, se presenta una tabla comparativa de los tiempos de envío de imágenes por jornada entre la nueva tecnología basada en 4G y el método tradicional. La tabla incluye información de diferentes ubicaciones y fechas para ilustrar las diferencias en los tiempos de envío de imágenes entre ambos métodos.

Tabla 5.2: Comparación de tiempos de envío

Ubicación	Fecha	Tecnología 4G (Tiempo de Envío Promedio)	Método Tradicional (Tiempo de Envío Estimado)	
Ipiales	12/10/2023	14 minutos y 36 segundos	13 horas y 50 minutos (Mejor Caso)	>24 Horas (Peor Caso)
Sandona	17/10/2023	12 minutos y 45 segundos	13 horas y 50 minutos (Mejor Caso)	>24 Horas (Peor Caso)
Tuqueres	19/10/2023	11 minutos y 24 segundos	13 horas y 50 minutos (Mejor Caso)	>24 Horas (Peor Caso)

La comparación entre el método tradicional y el nuevo método basado en redes 4G revela diferencias significativas en los tiempos de envío de imágenes médicas en todas las ubicaciones y fechas evaluadas. Mientras que el método tradicional puede demorar más de 13 horas y 50 minutos, llegando incluso a superar las 24 horas en el peor de los casos, el nuevo método 4G permite el envío rápido de imágenes en promedio de 11 a 14 minutos. Esta diferencia en los tiempos de envío se debe a la capacidad de transferencia continua y rápida de imágenes que ofrece la tecnología 4G, en contraste con el enfoque masivo y al final del día del método tradicional.

Aunque el método tradicional puede parecer más eficiente en términos de tiempo de envío por volumen masivo de información, es importante tener en cuenta que la transferencia de imágenes médicas se realiza por estudio en los pacientes durante la jornada, similar al flujo de trabajo intramural en un hospital. Por otro lado, la tecnología

4G permite una entrega individual y continua de imágenes médicas a lo largo del día, lo que resulta en una atención médica más ágil y eficiente en entornos móviles.

En resumen, mientras que el método tradicional ofrece simplicidad operativa y capacidad de transferencia en volumen masivo, el nuevo método 4G proporciona agilidad y flexibilidad al permitir la transferencia continua y rápida de imágenes en tiempo real. La elección entre estas dos tecnologías dependerá de las necesidades específicas de cada situación, considerando factores como la urgencia de la atención médica, la disponibilidad de infraestructura de red y las condiciones ambientales.

5.2 Almacenamiento de Imágenes médicas

La gestión eficiente de imágenes médicas es fundamental en el campo de la atención de la salud. La creación y el acceso a registros médicos precisos y oportunos son cruciales para el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de los pacientes. En este contexto, la implementación de un sistema híbrido de almacenamiento de imágenes médicas, que combina un enfoque local (“on-premise”) mediante una configuración de espejo (RAID 1) (Anexo C) y el almacenamiento en la nube (Anexo D), se presenta como una solución integral y segura.

Este enfoque híbrido aprovecha lo mejor de ambos mundos: la velocidad y la redundancia del almacenamiento en espejo local (RAID 1) y la flexibilidad, escalabilidad y accesibilidad del almacenamiento en la nube. Con este sistema, se garantiza que las imágenes médicas estén disponibles de manera rápida y confiable en el entorno médico local, mientras se respaldan de forma segura en la nube para una mayor protección y accesibilidad. Además, esta configuración permite la redundancia de datos, lo que resulta esencial para la continuidad de la atención médica, ya que la pérdida de datos puede ser crítica.

Configuración RAID 1 (Espejo):

En el contexto de la gestión de imágenes médicas, RAID 1 es una tecnología que se utiliza para crear un disco espejo (anexo C). Bajo esta configuración, se emplean dos discos duros que funcionan simultáneamente, almacenando exactamente la misma

información. Cada vez que se guarda una imagen médica o se actualiza un registro, la información se escribe en ambos discos al mismo tiempo en tiempo real. Esto crea una copia idéntica de todos los datos, lo que garantiza la redundancia y, por lo tanto, la protección de los archivos en caso de falla de uno de los discos.

La configuración RAID 1 es una solución de almacenamiento que proporciona una capa adicional de seguridad al asegurar que los datos estén disponibles en todo momento. En caso de que uno de los discos falle, el otro sigue funcionando sin interrupciones, lo que asegura la continuidad de la atención médica.

Funcionamiento en Tiempo Real:

Este sistema de almacenamiento híbrido opera en tiempo real. Cada vez que se agrega nueva información, ya sea una imagen médica o un registro de paciente, esta se almacena simultáneamente tanto en el disco local en espejo (RAID 1) como en la nube. No hay demora en la duplicación de datos; es un proceso instantáneo.

Esto significa que, en el momento en que la información llega al sistema, ya se ha duplicado y respaldado, lo que garantiza que los datos sean accesibles y seguros en todo momento. La redundancia de datos y la disponibilidad inmediata son esenciales en el entorno médico, donde la rapidez y la integridad de la información pueden marcar la diferencia en la atención y el diagnóstico de los pacientes.

5.2.1 Prueba de almacenamiento

las imágenes se van almacenando en el disco del servidor, al mismo tiempo se hace copia en el disco espejo. Cada estudio tiene 4 imágenes las cuales van llegando en orden de envío como se muestra en la figura 5.14, el servicio de PACS de Orthanc almacena las imágenes médicas en archivos DICOM en una estructura de directorio organizada, utilizando identificadores únicos DICOM y una base de datos de índice para facilitar la gestión y recuperación de imágenes (Figura 5.16). Esto garantiza que las imágenes se almacenen y administren de manera eficiente de acuerdo con los estándares de DICOM en un entorno de atención médica.

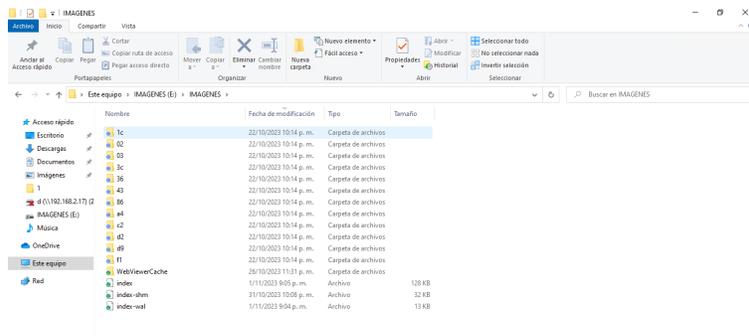


Figura 5.16: Directorio de archivos DICOM [Propia]

La implementación de un disco espejo (5.17) para los archivos DICOM en el sistema Orthanc se erige como una práctica fundamental en entornos de atención médica. Las imágenes DICOM representan información crítica para el diagnóstico de pacientes, y cualquier pérdida de estos archivos conlleva consecuencias potencialmente graves. Al mantener una réplica exacta de los archivos en una ubicación independiente, se reduce sustancialmente el riesgo de pérdida de datos debido a fallos del sistema, errores humanos o problemas técnicos. Esta práctica esencial asegura la continuidad de la atención médica y respalda avances científicos y clínicos significativos.

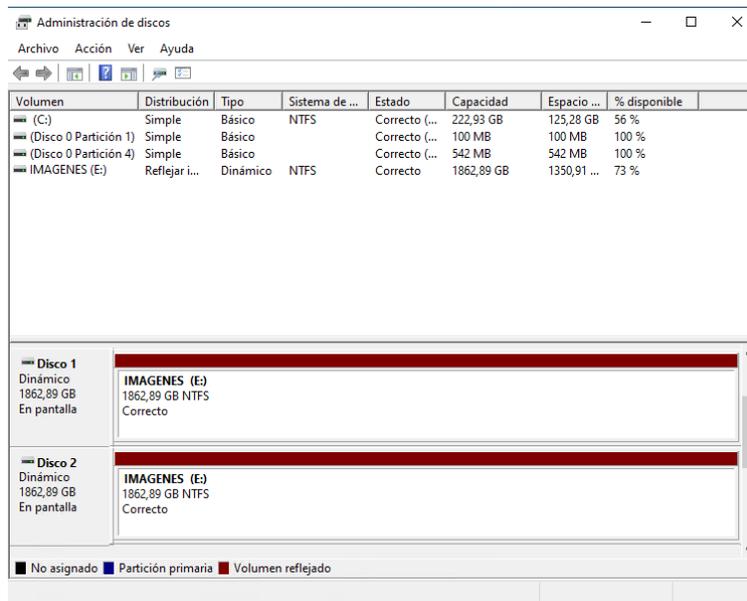


Figura 5.17: Disco espejo habilitado [Propia]

La implementación de una estrategia de redundancia en la nube, utilizando Google Drive para respaldar información crítica en entornos de atención médica, se erige como un componente esencial en la gestión de datos y la garantía de continuidad de la atención.

La elección de incorporar Google Drive en el ámbito de la atención médica se percibe como una decisión estratégica clave que provee una solución altamente efectiva para el almacenamiento y resguardo de información médica. La sólida infraestructura de Google Drive, respaldada por su capacidad de escalabilidad, se alza como un escudo contra los riesgos asociados a pérdidas de datos. Este blindaje se materializa mediante la creación de copias redundantes de los datos en la nube, lo que resguarda contra fallos de hardware, errores humanos y desastres naturales. La redundancia en la nube, como se ilustra en la Figura 5.18, asegura que los archivos permanezcan siempre disponibles, incluso en situaciones de emergencia, lo que se erige como un pilar fundamental para la continuidad de la atención médica.

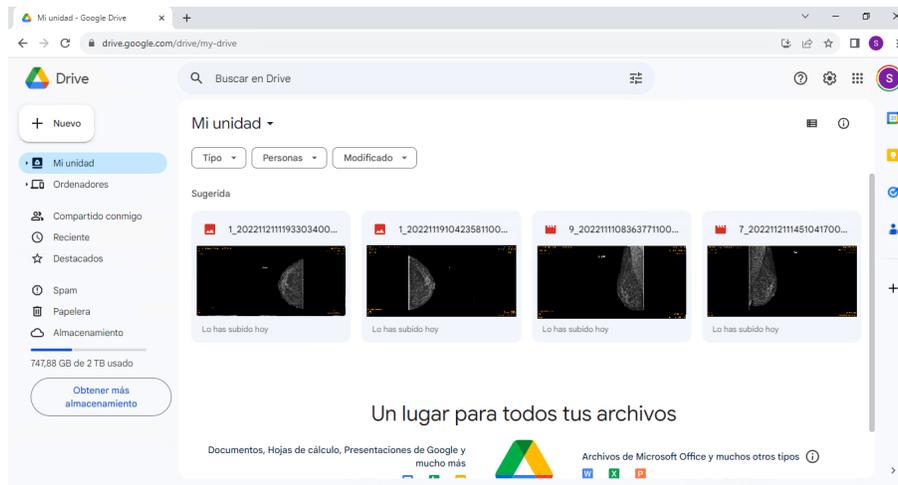


Figura 5.18: Almacenamiento en la Nube [Propia]

Además de la seguridad y disponibilidad, Google Drive también fomenta la colaboración y la eficiencia en el entorno médico. Facilita el intercambio de información entre profesionales de la salud, lo que contribuye a una atención más coordinada y basada en evidencia. La plataforma también promueve el avance de la investigación y la práctica clínica al proporcionar un espacio centralizado para el almacenamiento y acceso a datos médicos.

Es importante destacar que, si bien Google Drive es una parte fundamental de esta estrategia de almacenamiento en la nube, existen otras aplicaciones y servicios en el ecosistema de Google, como *Google Workspace for Healthcare and Life Sciences*, que pueden ofrecer funcionalidades adicionales específicas para el sector de la salud. Sin embargo, en el contexto de una entidad de atención médica de menor tamaño, como la planteada en este trabajo de grado, la implementación de la plataforma completa de Google Workspace puede plantear desafíos tanto en términos de uso de la plataforma como el de costos. Por esta razón, se opta por Google Drive como una solución más accesible y de alto rendimiento para el almacenamiento y la redundancia de datos médicos. La elección de Google Drive se basa en su capacidad para cumplir con los requisitos clave de seguridad y continuidad de la atención médica, sin agregar complejidad innecesaria a la infraestructura de TI de la entidad.

5.2.2 Visualización de los estudios

Para la prueba de visualización, se realiza el acceso a la VPN (Anexo A). Una vez iniciada la VPN, se procede a configurar los servicios de acceso para la visualización a través del programa (Figura 5.19). Este programa busca imágenes del servidor y, por lo tanto, es necesario configurar los siguientes elementos para el acceso exitoso:

1. **AETitle (Nombre de la Entidad de Aplicación):** Cada dispositivo o sistema DICOM debe tener un AETitle único que lo identifique en la red. Este nombre se utiliza para dirigir y autenticar las solicitudes y respuestas entre dispositivos. Al configurar un AETitle, se garantiza que los sistemas sepan a quién están enviando o desde quién están recibiendo datos.
2. **Puerto:** El puerto DICOM se utiliza para establecer una conexión entre dispositivos y transmitir datos. Al igual que en muchas otras aplicaciones de red, el puerto DICOM se encarga de direccionar las solicitudes entrantes y salientes. La configuración de un puerto específico garantiza que los dispositivos se comuniquen a través del canal adecuado en la red.
3. **Dirección IP:** La dirección IP es la ubicación física o lógica de un dispositivo en una red. Cada dispositivo en una red tiene una dirección IP única. Configurar la dirección IP asegura que los datos se envíen al dispositivo correcto en la red. Además, la dirección IP también puede ser utilizada para gestionar la seguridad y el acceso.

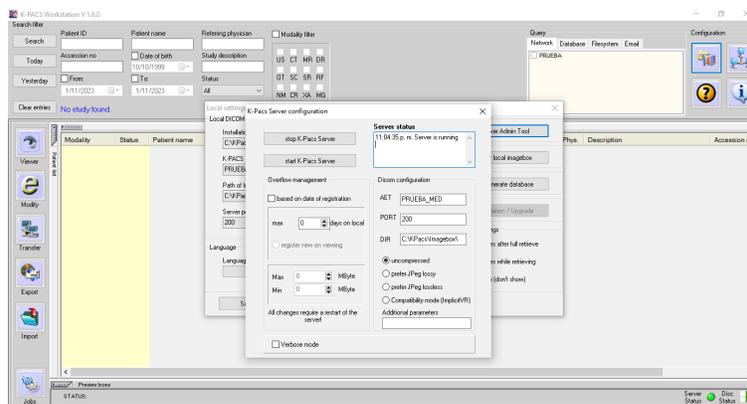


Figura 5.19: Configuración programa de visualización DICOM [Propia]

Una vez que se ha completado la configuración en el programa de visualización, es esencial llevar a cabo la configuración de los mismos datos anteriores, pero esta vez se refieren al servidor PACS. Esta configuración es crucial para establecer el enlace adecuado entre los dos puntos y permitir la función de recuperación de imágenes a través del proceso de Query/Retrieve (consulta/recuperación) (Figura 5.20).

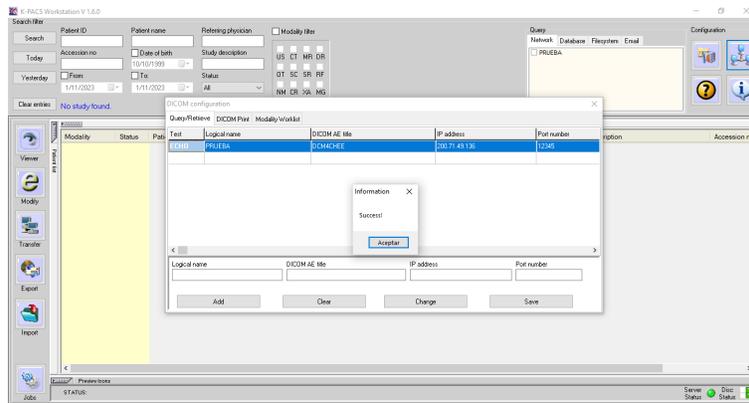


Figura 5.20: Configuración Query/Retrieve [Propia]

En este proceso, el programa de visualización envía una consulta al servidor PACS, especificando los parámetros de búsqueda como el nombre del paciente, el estudio, la fecha, entre otros. El servidor PACS utiliza esta información para buscar y recuperar las imágenes médicas correspondientes. Una vez que se han recuperado las imágenes solicitadas, se presentan en el programa de visualización (Figura 5.21) para que el médico las revise y analice. La configuración precisa de los datos de ambos extremos, junto con la funcionalidad del Query/Retrieve, es esencial para garantizar un acceso efectivo y eficiente a las imágenes médicas almacenadas en el servidor PACS.

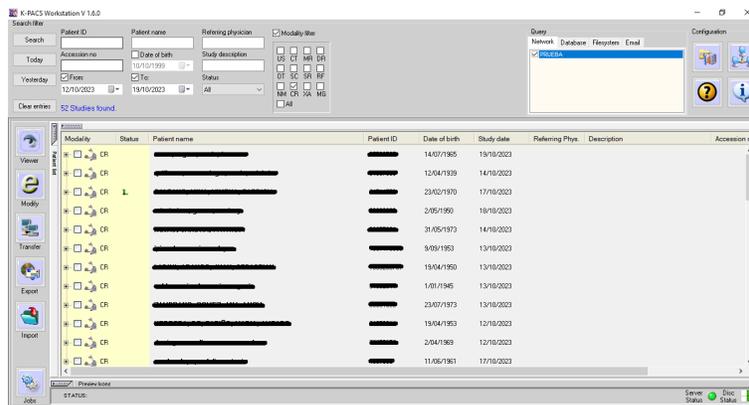


Figura 5.21: Visualización de pacientes [Propia]

Además del acceso local y la VPN para la visualización de imágenes médicas, el sistema implementa un método adicional de visualización remota más ágil sin la necesidad de las configuraciones anteriores. Este método permite a los profesionales médicos y radiólogos acceder a las imágenes desde ubicaciones remotas, como consultorios médicos externos o incluso desde sus hogares, lo que facilita una atención médica más flexible y eficiente.

Para lograr esto, se aprovecha el servicio web proporcionado por Orthanc, que es una característica integral del servidor PACS. La clave para esta modalidad de visualización radica en la dirección IP pública estática del centro médico. Esta dirección IP pública asegura que el servidor Orthanc sea accesible desde cualquier ubicación con acceso a Internet.

El proceso de visualización a través del servicio web de Orthanc implica que el profesional médico o radiólogo inicie un navegador web en su dispositivo y, a través de la dirección IP pública estática del centro médico, acceda al servicio web de Orthanc, se requiere usuario y contraseña (Figura 5.22).

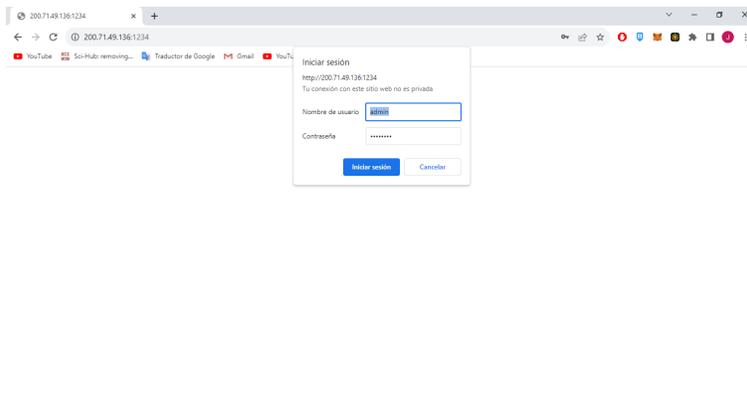


Figura 5.22: Acceso a la visualización WEB [Propia]

Una vez dentro de la interfaz web, el usuario puede realizar consultas y buscar estudios médicos específicos utilizando los parámetros de búsqueda disponibles, como el nombre del paciente, el estudio, la fecha, entre otros. El servidor Orthanc procesa estas consultas y recupera las imágenes médicas correspondientes de su almacenamiento (Figura 5.23).

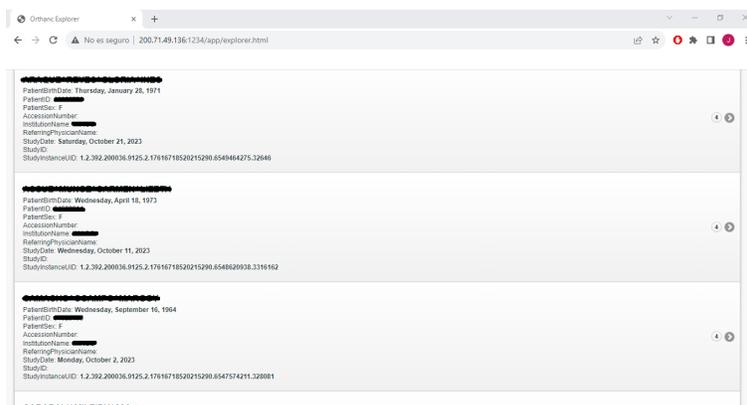


Figura 5.23: Visualización WEB [Propia]

Una vez que las imágenes se han recuperado, se presentan en la interfaz web del servicio, lo que permite al usuario revisar, analizar y realizar diagnósticos desde la ubicación remota. Además, el servicio web de Orthanc proporciona herramientas de visualización y manipulación de imágenes que facilitan la revisión detallada.

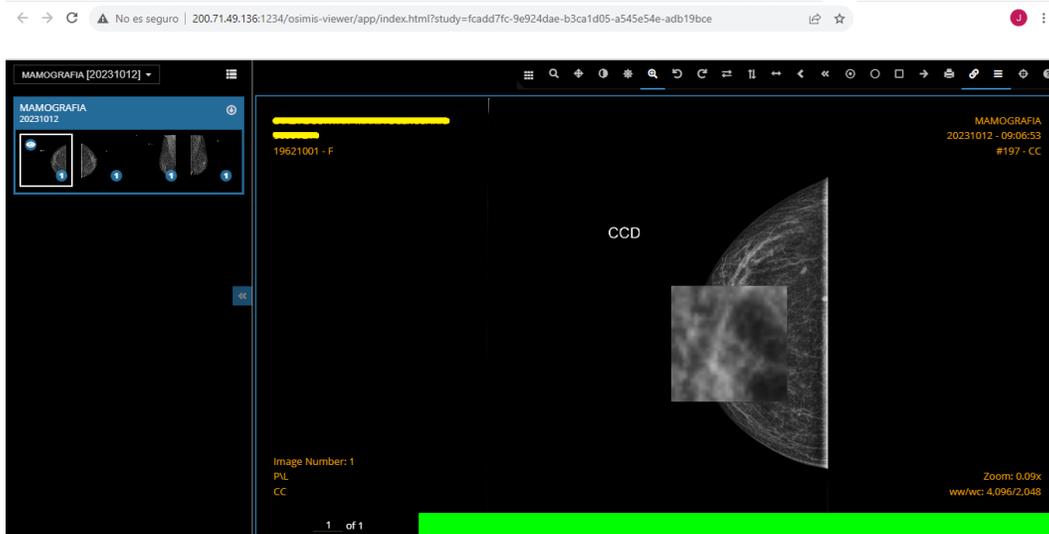


Figura 5.24: Manipulación de imágenes en WEB [Propia]

La capacidad de acceder a las imágenes médicas a través de un navegador web y la dirección IP pública estática del centro médico agiliza significativamente la atención médica y la toma de decisiones clínicas al eliminar la necesidad de estar físicamente presente en la instalación médica. Esto es especialmente valioso en situaciones de telemedicina, consultas remotas y para brindar atención médica en áreas geográficamente dispersas.

La combinación de la transmisión de imágenes médicas a través de redes 4G y el sistema de almacenamiento propuesto representa un avance significativo en la gestión y disponibilidad de imágenes médicas, con un enfoque especial en áreas rurales y remotas. Este enfoque proporciona una solución integral que aborda los desafíos de la atención médica en entornos móviles, mejorando la velocidad y la seguridad en la gestión de imágenes críticas para el diagnóstico y el tratamiento de los pacientes.

El uso de redes 4G garantiza una transmisión de datos rápida y confiable desde las unidades móviles de mamografía hasta el servidor PACS en el centro médico. Esta velocidad de transferencia acorta significativamente el tiempo en el que se tienen las imágenes disponibles, lo que se traduce en una atención médica más ágil y una toma de decisiones clínicas más oportuna.

Por otro lado, el sistema de almacenamiento propuesto ofrece una estrategia híbrida que aprovecha el poder de la nube junto con dispositivos locales, como el disco espejo RAID 1. Esta combinación garantiza la disponibilidad y la redundancia de imágenes médicas críticas. Además, la implementación de un sistema de almacenamiento en la nube proporciona escalabilidad, flexibilidad y accesibilidad desde cualquier ubicación con conexión a Internet, lo que facilita la colaboración médica y la continuidad en la atención.

6. Conclusiones

El presente trabajo de grado ha explorado y analizado la implementación de un sistema de gestión de imágenes médicas en entornos móviles, con un enfoque especial en áreas rurales y remotas. A lo largo de este estudio, se han investigado y comparado dos enfoques fundamentales: el método tradicional de gestión de imágenes médicas y la nueva tecnología basada en 4G. Las conclusiones extraídas de este análisis son las siguientes:

1. **Eficiencia Operativa:** La implementación del nuevo método basado en 4G ha demostrado tener un impacto transformador en la gestión de imágenes médicas. La capacidad de enviar imágenes después de cada toma de examen de mamografía ha mejorado significativamente la eficiencia y la rapidez en la atención médica.
2. **Tiempos de Envío:** El nuevo método implementado ha reducido drásticamente los tiempos de envío de imágenes. Los tiempos estimados de envío han disminuido de horas a minutos, lo que ha impulsado una toma de decisiones clínicas más oportuna y una atención médica de mayor calidad, logrando tener similitud a la prestación del mismo servicio de manera intramural en un hospital.
3. **Impacto Significativo en áreas rurales:** La implementación de esta nueva tecnología ha tenido un impacto especialmente significativo en áreas rurales y remotas, donde ha logrado superar las barreras tradicionales de distancia y recursos, facilitando un acceso mejorado a la atención médica.
4. **Mejora de la Atención al Paciente:** La capacidad de enviar imágenes médicas a través de redes 4G mejora la atención al paciente al permitir un diagnóstico y tratamiento más oportunos, especialmente en áreas remotas donde el acceso a servicios médicos especializados puede ser limitado.
5. **Acceso Remoto a Especialistas:** La conectividad 4G permite a los médicos y especialistas acceder a imágenes médicas remotas desde cualquier lugar, lo que facilita la colaboración y la toma de decisiones médicas rápidas y precisas.

Referencias

- [1] M. de Salud de Colombia, “Detecte el cáncer de mama a tiempo,” 10 2020.
- [2] M. A. Vivas, “Panorama del cáncer de mama en colombia 2020,” 10 2021.
- [3] F. colombiano de enfermedades de alto costo, “Día mundial de la lucha contra el cáncer de mama 2022,” 10 2022.
- [4] M. de Salud y Protección Social, “Plan nacional de salud rural,” 7 2018.
- [5] M. de Salud y Protección Social, “Plan nacional de salud rural,” tech. rep., Ministerio de Salud y Protección Social, 7 2018.
- [6] R. D. Mil, E. Guillaume, L. Launay, L. Guittet, O. Dejardin, V. Bouvier, A. Notari, G. Launoy, and C. Berchi, “Cost-effectiveness analysis of a mobile mammography unit for breast cancer screening to reduce geographic and social health inequalities,” *Value in Health*, vol. 22, pp. 1111–1118, 10 2019.
- [7] T. F. Akinyemiju, “Socio-economic and health access determinants of breast and cervical cancer screening in low-income countries: analysis of the world health survey.,” *PloS one*, vol. 7, p. e48834, 2012.
- [8] E. Guillaume, L. Launay, O. Dejardin, V. Bouvier, L. Guittet, P. Déan, A. Notari, R. D. Mil, and G. Launoy, “Could mobile mammography reduce social and geographic inequalities in breast cancer screening participation?,” *Preventive medicine*, vol. 100, pp. 84–88, 7 2017.
- [9] D. Smith, K. Johnston, K. Carlisle, R. Evans, R. Preston, J. Beckett, D. Geddes, H. Naess, M. Poole, and S. Larkins, “Client perceptions of the breastsreen australia remote radiology assessment model,” *BMC Women’s Health*, vol. 21, p. 30, 12 2021.
- [10] M. M. Marino, M. Rienzo, N. Serra, N. Marino, R. Ricciotti, L. Mazzariello, C. A. Leonetti, M. P. Ceraldi, A. Casamassimi, F. Capocelli, G. Martone, and A. L. Caracciolo, “Mobile screening units for the early detection of breast cancer and cardiovascular disease: A pilot telemedicine study in southern italy.,” *Telemedicine journal and e-health : the official journal of the American Telemedicine Association*, vol. 26, pp. 286–293, 2020.

- [11] T. Cogan, M. Cogan, and L. Tamil, “Rams: Remote and automatic mammogram screening.,” *Computers in biology and medicine*, vol. 107, pp. 18–29, 2019.
- [12] M. Linder, “Mobile health technology: touching lives across the globe.,” *Health management technology*, vol. 33, pp. 6–7, 6 2012.
- [13] S. Boyles, “Many women don’t get recommended mammograms,” 9 2015.
- [14] N. P. Bravo, “Baja calidad de mamografías, un problema que empieza a inquietar en colombia,” 7 2021.
- [15] M. L. Mesa Pedreros, “Carga financiera familiar asociada al cuidado de la mujer con cáncer de mama,” *Facultad de Enfermería*.
- [16] L. Republica, “El acceso a redes de internet en las zonas rurales de latinoamérica es de al menos 40
- [17] F. Staff, “Solo el 56,5 % de los hogares en colombia tiene internet: Dane,” 11 2021.
- [18] N. I. Ismail, N. H. Abdullah, and A. Shamsuddin, “Adoption of hospital information system (his) in malaysian public hospitals,” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 172, pp. 336–343, 2015.
- [19] J. L. E. Mora, “Diseño de una red interna de telemedicina para el hospital universitario de motupe,” 5 2013.
- [20] O. Ramos Núñez, m. villareal, and n. angel, “Sistema de archivo y comunicaciÓn de imÁgenes en una unidad de imagenologia (file system and communication of images in a imaging unit),” *Revista Electrónica Facultad de Ingeniería UVM*, vol. Volumen 8, p. 1109, 08 2014.
- [21] M. A. B. Pérez, *Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imagen avanzado para interpretación de imágenes médicas. Aplicación a segmentación de hígado sobre imágenes de Resonancia Magnética multiseuencia*. PhD thesis, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, 2016.
- [22] D. C. C. Montalván, “desarrollo e implementacion de una arquitectura prototipo que permita almacenar y procesar imagenes medicas dicom sobre un entorno grid,” 2019.

- [23] O. S. Pianykh, *Digital imaging and communications in medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide*. Springer, 2012.
- [24] G. B. C. León, “Diseño e implementación de una aplicación dicom cliente / servidor para el transporte de imágenes radiológicas digitales en un ambiente hospitalario,” 5 2016.
- [25] J. O. Plata-Rueda, J. J. Gómez-López, and J. L. Villa-Murillo, “Modelo de comunicación inalámbrica de imágenes médicas basado en dispositivos móviles,” *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 13, no. 25, pp. 9–18, 2019.
- [26] A. T. Iqbal, S. S. Khan, and M. A. Rashid, “Design and implementation of a wireless communication system for medical images transmission,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 78929–78938, 2019.
- [27] I. D. Ramírez Cruz *et al.*, “Análisis del acceso a internet en zonas rurales del municipio de marinilla para el desarrollo de una jornada de actividades académicas de la escuela de ciencias básicas, tecnología e ingeniería de la unad,”
- [28] I. Cano, F. Almeida, R. Lara-Cueva, and G. Olmedo, “Análisis del desempeño de una red con tecnología wi-fi para largas distancias en la región costa del ecuador,” *línea*, *Tesis dirigida por R. Lara, Facultad de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército*, 2012.
- [29] S. E. Rosero Arévalo, “Diseño de una red inalámbrica mediante la tecnología wifi long distance para los establecimientos educativos del área andina del cantón cotacachi,” B.S. thesis, 2015.
- [30] C. Europea, “Conectividad de banda ancha para todos: velocidad de los enlaces satelitales,” 2018.
- [31] U. de Antioquia, “Telemedicina por satélite: un proyecto de la universidad de antioquia,” 2014.
- [32] A. Khan, S. Mushtaq, R. Rehman, N. Ullah, and G. M. Kundi, “Telemedicine in pakistan: Where do we stand?,” *Telemedicine and e-Health*, vol. 24, no. 11, pp. 843–848, 2018.

- [33] C. D. Radicelli-García, M. Pomboza-Floril, and L. Cepeda-Astudillo, “Conectividad a internet en zonas rurales mediante tecnologías de tdt (dvb-rct2), o telefonía móvil (4g-lte),” *Dyna*, vol. 85, no. 204, pp. 319–324, 2018.
- [34] C. G. Orrego Suárez *et al.*, “Brecha digital en la educación media de colombia: Una perspectiva desde la cuarta revolución industrial,” 2022.
- [35] “Captura de pantalla del mapa de departamento de nariño.” Captura de pantalla, 2023.
- [36] M. de transporte, “Plan nacional de vías para la integración regional,” 2018.
- [37] “Captura de pantalla recorrido pasto - samaniego.” Captura de pantalla, 2023.
- [38] UISP, *UISP Design Center*. Ubiquiti, 685 Third Avenue, New York, 2023.
- [39] B. Furht, A. Escalante, *et al.*, *Handbook of cloud computing*, vol. 3. Springer, 2010.
- [40] B. Foubert and N. Mitton, “Long-range wireless radio technologies: A survey,” *Future internet*, vol. 12, no. 1, p. 13, 2020.
- [41] P. Series, “Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 mhz to 100 ghz,” *ITU recommendations*, pp. 1411–9, 2017.
- [42] J. M. Rodríguez Bermúdez, “Estudio de la viabilidad de radioenlaces,” 2019.
- [43] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of wireless communication*. Cambridge university press, 2005.
- [44] Huawei, “Huawei-router lte cpe b315 modem4g lte,” 2023. Fecha de acceso: 15 de noviembre de 2023.
- [45] Eifagur, “Antena 10-12dbi dual sma macho 698-2700 mhz 3g/4g lte,” 2023. Fecha de acceso: 15 de noviembre de 2023.
- [46] Tp-Link, “Router vpn gigabit omada,” 2023. Fecha de acceso: 15 de noviembre de 2023.
- [47] “Captura de pantalla recorrido pasto - sandona.” Captura de pantalla, 2023.
- [48] Bimedis, “Kodak directview cr 850,” 2023. Fecha de acceso: 19 de noviembre de 2023.

Apéndice A

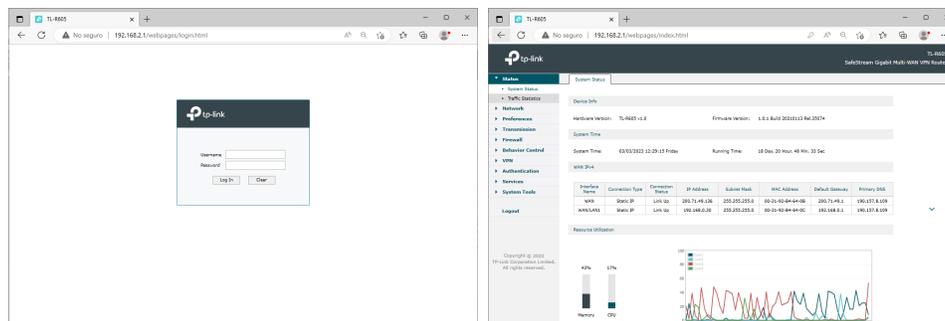
Configuración del Router VPN

Este anexo tiene como objetivo guiar la configuración del router para dirigir el tráfico de imágenes desde las unidades móviles hacia el servidor DICOM. Se utiliza una dirección IP pública estática a la cual se envían todas las imágenes a través de un puerto específico. Además, se implementan medidas de seguridad adicionales mediante la utilización de conexiones a través de la zona desmilitarizada (DMZ) y la función de Virtual Server. Estas medidas garantizan la protección y la integridad de la información durante el proceso de transferencia de datos médicos.

Para configurar la comunicación entre las unidades móviles y el centro médico, se sigue el siguiente procedimiento para el envío y recepción de imágenes médicas.

1. **Configuración del Router:** En el centro médico, es necesario tener una IP pública estática, ya que toda la información apunta a esta dirección y no puede cambiar. Para este proyecto de grado, se realiza la configuración en un router TP-LINK TL-R605VPN, el cual permite configurarlo para las funciones necesarias.

Se accede al panel de administración del router en el navegador web y se escribe la dirección IP del router en la barra de direcciones con el nombre de usuario y la contraseña para acceder al panel de administración.



(a) Acceso al panel de Administración (b) Estado del Router.

Figura A.1: Panel de Administración del Router

- **IP Pública Estática:** Esta dirección la proporciona directamente el operador de servicio de internet contratado por el centro médico. El router de la empresa operadora se pone en modo Bridge o puente para poder ser administrado por el router TP-LINK. Para esta configuración, se realiza configurando todos los parámetros en la pestaña WAN del router.

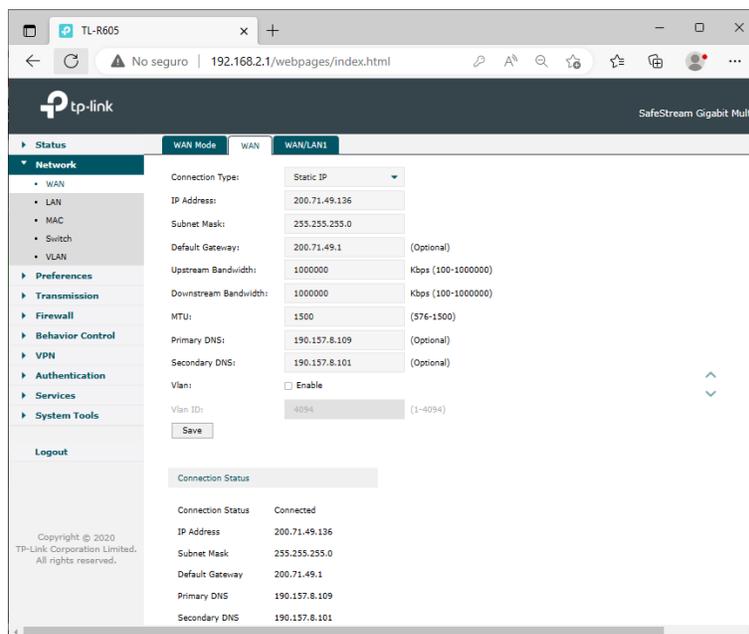


Figura A.2: Configuración de IP Pública Estática

- **Configuración NAT:** La configuración NAT Virtual Server se utiliza para redirigir el tráfico de red desde la dirección IP pública a la dirección IP local del servidor PACS. La dirección IP del servidor es **192.168.2.140**, y el puerto del servicio web del PACS es el **8042**. Para configurar NAT Virtual Server para la recepción de imágenes médicas, se realiza la siguiente configuración:

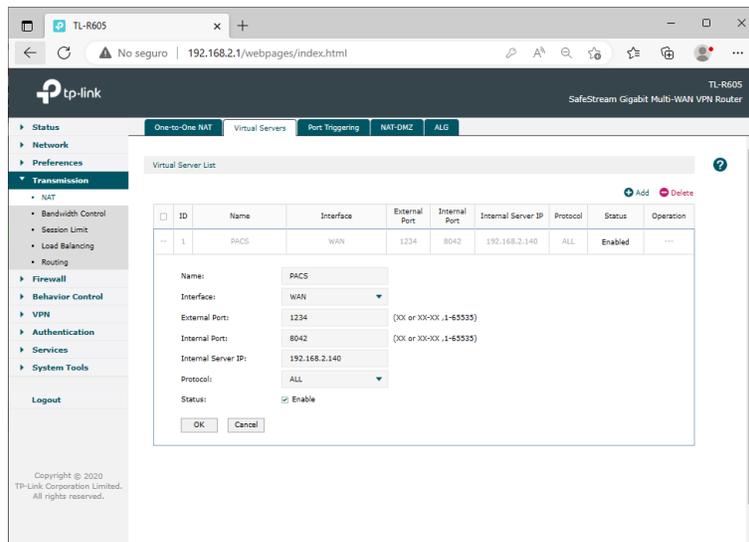


Figura A.3: Configuración NAT

- Configuración DMZ:** La DMZ, en este escenario, adquiere una relevancia crítica al añadir una capa adicional de protección. Actúa como un escudo protector que aísla el tráfico de datos médicos proveniente de unidades remotas y rurales, protegiéndolo de posibles amenazas externas, como ataques cibernéticos y accesos no autorizados.

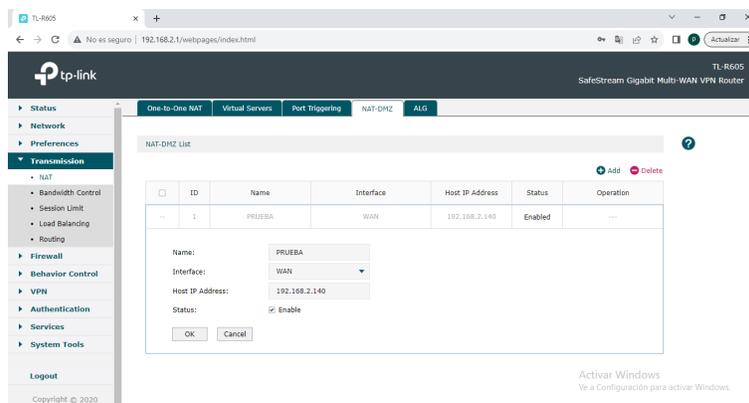


Figura A.4: Configuración DMZ

- Configuración Virtual Server:** Este servicio permite que los paquetes de datos que llegan a un puerto específico en el router se reenvíen a un dispositivo específico en la red local.

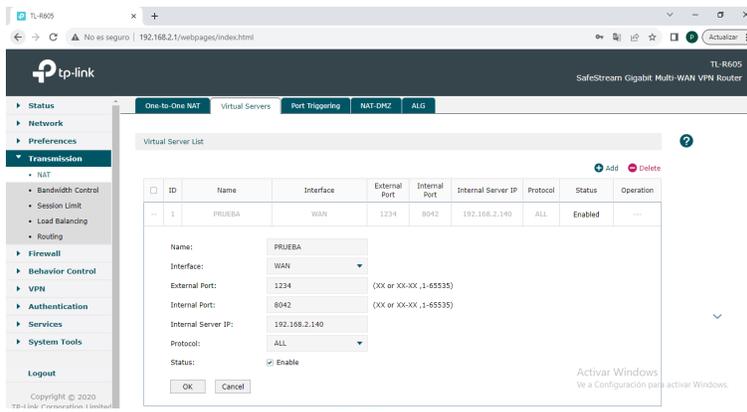


Figura A.5: Configuración Virtual Server

Apéndice B

Instalación y Configuración Servidor DICOM

Este anexo proporciona una guía detallada para la instalación y configuración de un servidor DICOM utilizando la versátil y potente plataforma Orthanc. El intercambio y almacenamiento eficiente de imágenes médicas es esencial en el campo de la atención médica moderna, y Orthanc se ha convertido en una elección popular para implementar soluciones de almacenamiento y comunicación de imágenes médicas. Desde la instalación inicial hasta la configuración avanzada, esta guía proporcionará una base sólida para implementar y aprovechar al máximo esta poderosa solución de imágenes médicas.

1. **Descarga de Orthanc:** Se puede descargar Orthanc desde la página oficial de Orthanc (<https://www.orthanc-server.com/download-windows.php>) o desde el repositorio de GitHub (<https://github.com/jodogne/OrthancServer/releases>).
2. **Instalación de dependencias:** Antes de instalar Orthanc, es necesario instalar las dependencias necesarias. El paquete de dependencias varía según el sistema operativo, por lo que se recomienda consultar la documentación oficial de Orthanc.
3. **Instalación de Orthanc:** Una vez descargado Orthanc y las dependencias necesarias, se debe proceder a la instalación. El proceso de instalación varía según el sistema operativo, pero en general se puede realizar mediante un instalador o mediante la compilación del código fuente.

- **Paso 1:** Ejecutar el instalador con permisos de administrador



Figura B.1: Instalador Windows Orthanc

- **Paso 2:** Se abre la ventana de instalación, dar clic en next.



Figura B.2: Setup Orthanc

- **Paso 3:** Aceptar todos los términos y condiciones del programa.

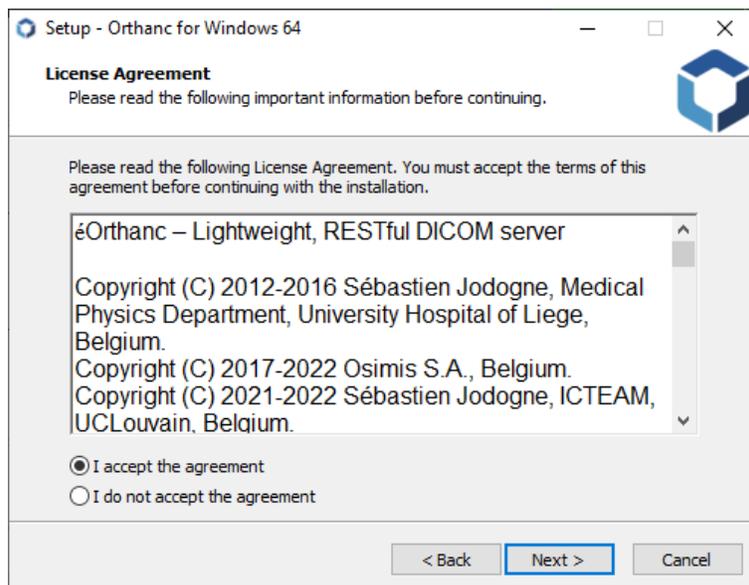


Figura B.3: Términos y condiciones Orthanc

- **Paso 4:** Elegir la ubicación de instalación del programa.

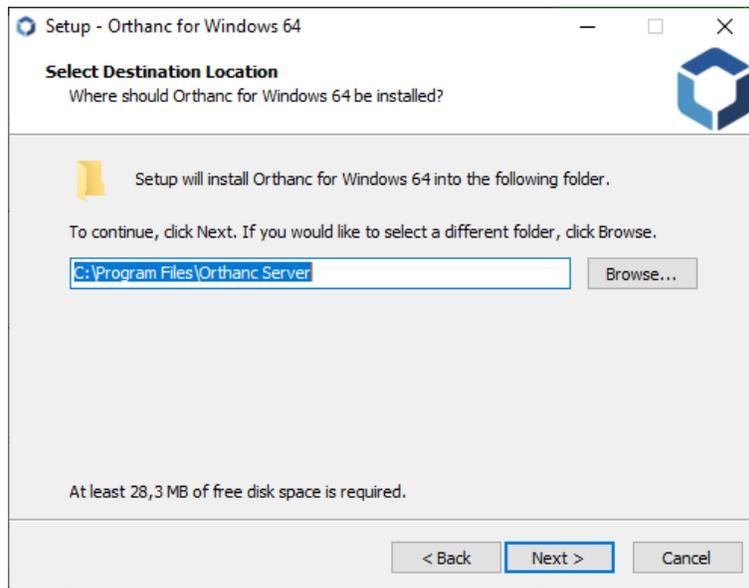


Figura B.4: Ubicación de instalación Orthanc

- **Paso 5:** Elegir la ubicación de almacenamiento en el servidor de las imágenes médicas.

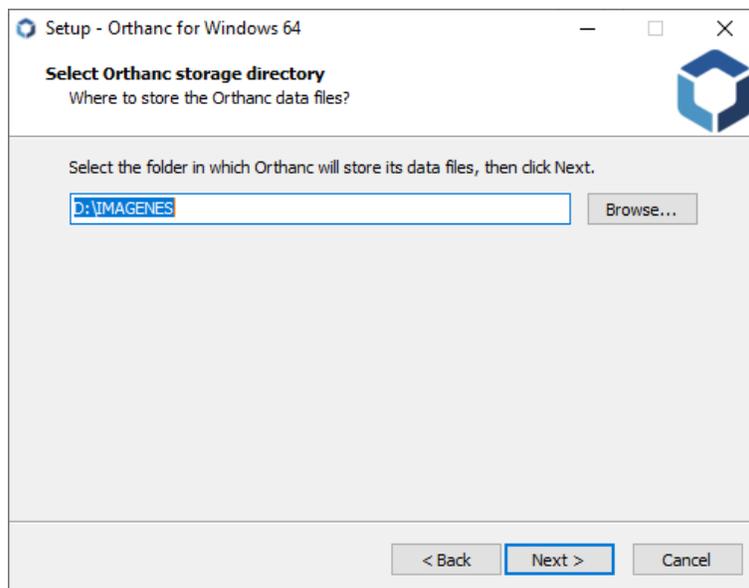


Figura B.5: Ubicación almacenamiento Orthanc

- **Paso 6:** Seleccionar todos los componentes del programa.

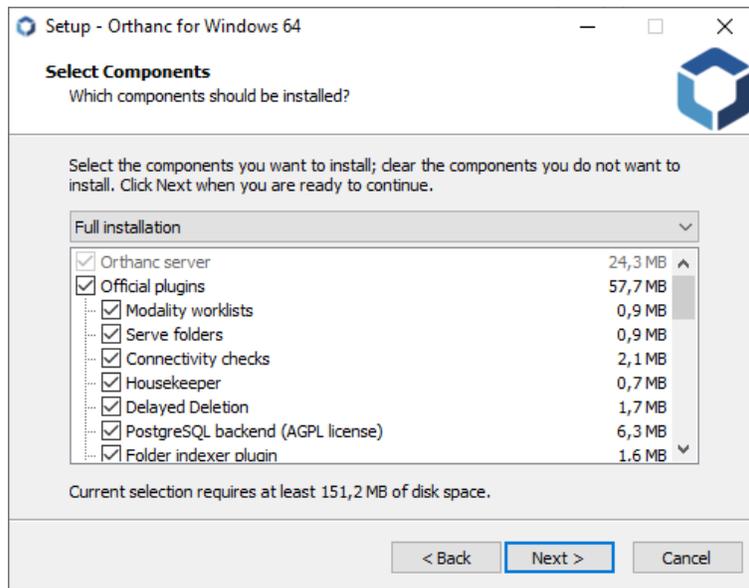


Figura B.6: Componentes Orthanc

- **Paso 7:** Ubicación de la carpeta con los archivos de configuración del programa.

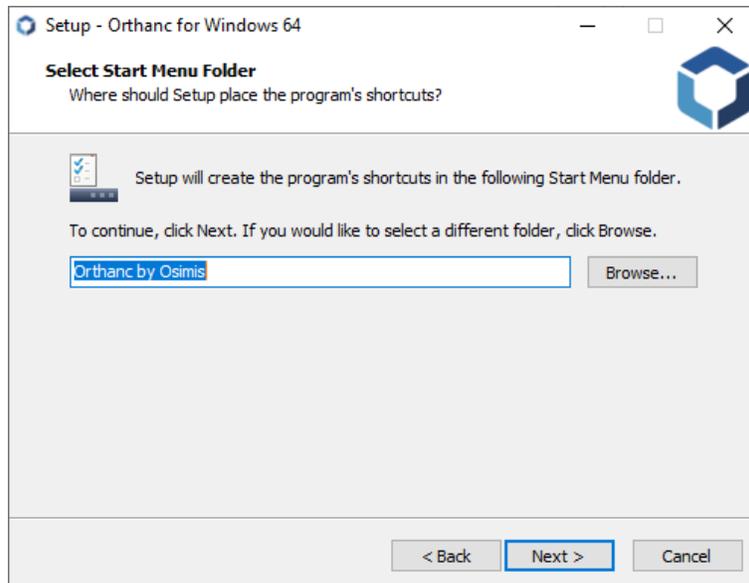


Figura B.7: Carpeta de configuración

- **Paso 8:** Confirmación de ubicación de los archivos de programa y almacenamiento de las imágenes.

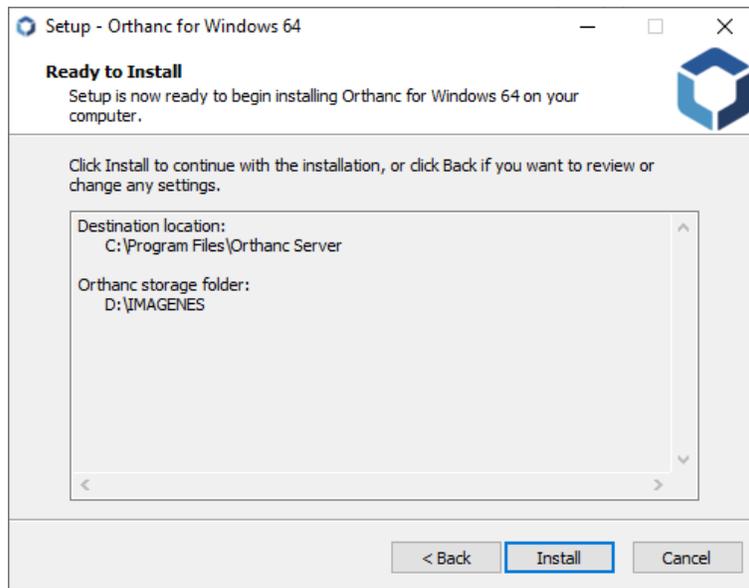


Figura B.8: Instalación del Programa

■ **Paso 9:** Finalizar



Figura B.9: Instalación Correcta

4. **Configuración de Orthanc:** Para configurar Orthanc, se debe modificar el archivo `orthanc.json`. Este archivo contiene la configuración del servidor, los destinos de almacenamiento, la creación de usuarios, contraseñas, entre otros

aspectos claves. A continuación, se describen los aspectos más importantes a configurar en el archivo orthanc.json:

- **Configuración del servidor:** En la sección "DicomServer" del archivo orthanc.json se debe especificar el puerto en el que Orthanc escuchará las conexiones entrantes. Por defecto, Orthanc escucha en el puerto 4242, pero se puede especificar otro puerto si se desea. Además, se puede configurar el número máximo de conexiones simultáneas que se permitirán en el servidor.

```
1 "DicomServer": {  
2   "Enabled": true,  
3   "Port": 4242,  
4   "MaximumConcurrentAssociations": 10  
5 }
```

Código Fuente B.1: Configuración puerto en el servidor

- **Destinos de almacenamiento:** En la sección de instalación se define la ubicación de la información, en caso de requerir hacer un cambio, en la sección "Storage" del archivo orthanc.json se pueden configurar uno o varios destinos de almacenamiento para las imágenes DICOM. Cada destino de almacenamiento se configura mediante una sección en el archivo orthanc.json. Se debe especificar el tipo de almacenamiento (local o remoto), la ubicación del destino de almacenamiento y las credenciales necesarias para acceder al destino de almacenamiento.

Para el almacenamiento local, se debe especificar la ruta de la carpeta en la que se almacenarán las imágenes DICOM. En la instalación se especificó la ruta de almacenamiento; sin embargo, si se requiere cambiar, se debe editar el archivo orthanc.json y se especifica una dirección de almacenamiento local que se requiera, como se muestra a continuación:

```
1 "Storage": {  
2   "DataDir": "D:\\IMAGENES",  
3   "EnableIndex": true  
4 }
```

Código Fuente B.2: Configuración almacenamiento local

Para el almacenamiento remoto, se especifica la dirección IP y el puerto del servidor remoto, así como las credenciales necesarias para acceder al servidor.

```
1 "Storage": {
2     "Backend": "Remote",
3     "RemoteAet": "PACS",
4     "RemoteHost": "192.168.1.10",
5     "RemotePort": 104,
6     "ConnectionTimeout": 30,
7     "RetrieveTimeout": 180,
8     "MoveTimeout": 180,
9     "User": "admin",
10    "Password": "admin123"
11 }
```

Codigo Fuente B.3: Configuración almacenamiento remoto

- **Creación de usuarios:** En la sección ".Authentication" del archivo orthanc.json se crean los usuarios para acceder al servidor de Orthanc. Cada usuario se configura mediante una sección en el archivo orthanc.json. Se debe especificar el nombre de usuario y la contraseña.

```
1 "Authentication": {
2     "Users": [
3         {
4             "Name": "medico1",
5             "Password": "medico1"
6         },
7         {
8             "Name": "medico2",
9             "Password": "medico2"
10        }
11    ]
12 }
```

Codigo Fuente B.4: Configuración para creación de usuarios

- **Políticas de contraseñas:** En la sección “Passwords” del archivo orthanc.json se especifican las políticas de contraseñas para los usuarios. Para el proyecto se tiene que las contraseñas deben tener una longitud mínima o que deben incluir caracteres especiales.

```
1 "Passwords": {
2     "MinimumLength": 8,
3     "RequireUppercase": true,
4     "RequireLowercase": true,
5     "RequireDigit": true,
6     "RequireSpecial": true
7 }
```

Código Fuente B.5: Configuración para políticas de contraseñas

- **Configuración de HTTPS:** Para utilizar HTTPS en el servidor de Orthanc, se hace la configuración correspondiente en el archivo orthanc.json. Se debe especificar la ruta del archivo de certificado y la clave privada correspondiente. Además, se puede especificar la dirección IP y el puerto en el que Orthanc escuchará las conexiones HTTPS entrantes.

```
1 "Https": {
2     "Enabled": true,
3     "Port": 8443,
4     "Certificate": "C:/certs/server.crt",
5     "PrivateKey": "C:/certs/server.key",
6     "Ciphers": "HIGH:!aNULL:!eNULL:!EXPORT:!DES:!
7     RC4:!MD5:!PSK:!SRP:!DSS",
8     "HstsMaxAge": 31536000
9 }
```

Código Fuente B.6: Configuración para políticas de contraseñas

5. **Inicio de Orthanc:** Una vez configurado el archivo orthanc.json se guarda con permisos de administrador, y se puede iniciar Orthanc. El proceso de inicio varía según el sistema operativo, pero en general se puede realizar mediante el comando orthanc o mediante un servicio de sistema. Para sistemas windows se

puede reiniciar el equipo o ir al administrador de tareas y finalizar la aplicacion
Orthanc.exe

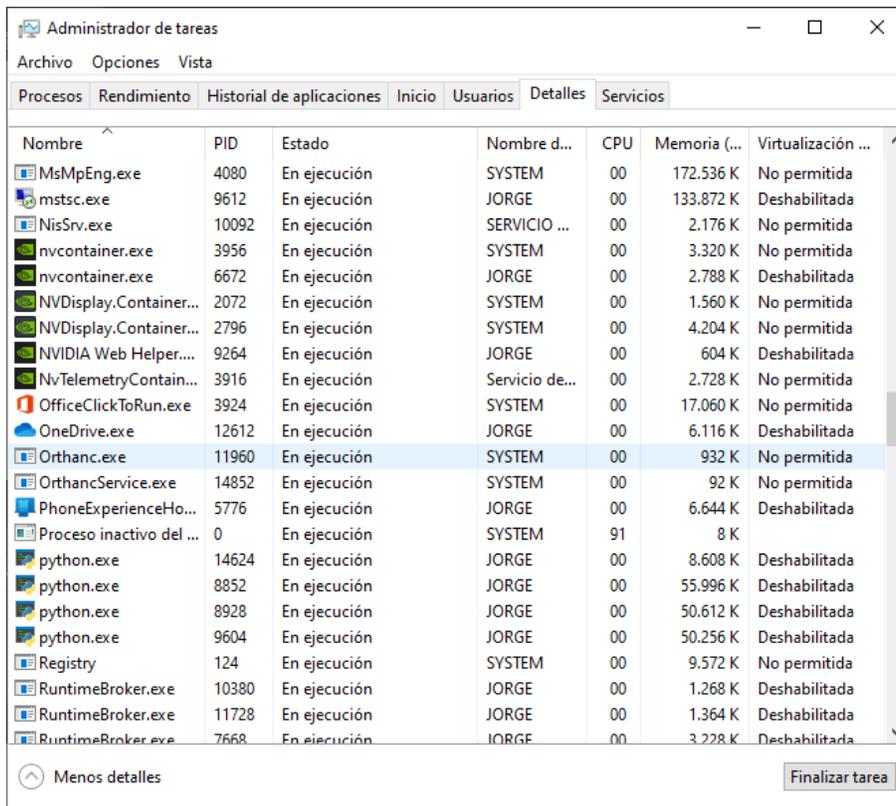


Figura B.10: Reinicio de Orthanc

En caso de que el archivo **orthanc.json** no tenga errores en el código, arrancara los servicios nuevamente con los cambios realizados. Después de iniciar el servidor de Orthanc, se puede acceder a la interfaz web de Orthanc a través del navegador web utilizando la dirección URL "https://localhost:8042". Si se ha habilitado la autenticación en el archivo **orthanc.json**, se debe proporcionar las credenciales de autenticación correspondientes para acceder a la interfaz web de Orthanc.

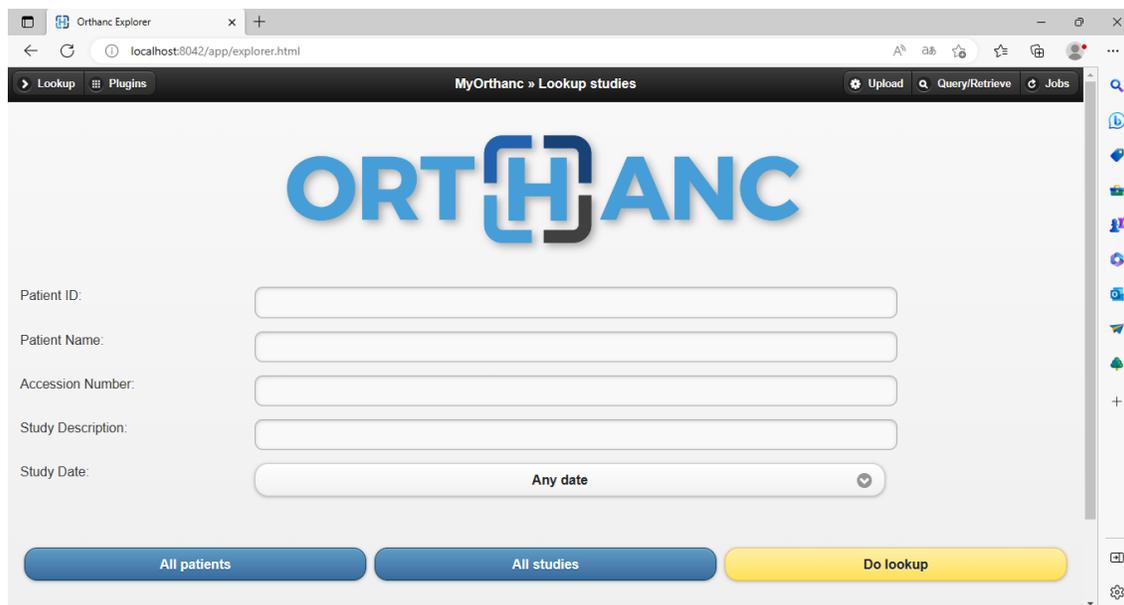


Figura B.11: Servicio WEB de Orthanc

En Orthanc, es posible configurar scripts Lua para personalizar el comportamiento del servidor. Los scripts Lua se pueden utilizar para implementar nuevos endpoints REST, modificar la respuesta de un endpoint existente o procesar eventos internos del servidor.

Para configurar scripts Lua en Orthanc, se debe agregar una sección "LuaScripts"^{en} el archivo de configuración orthanc.json. En la sección "LuaScripts", se pueden agregar múltiples scripts Lua, cada uno con una etiqueta única y la ruta del archivo Lua correspondiente. Por ejemplo:

```
1  
2 "LuaScripts" : [ "D:/Orthanc/Scripts/Script.lua" ],
```

Código Fuente B.7: Configuración Ubicación Scripts LUA

Una vez que se han agregado los scripts Lua en el archivo de configuración, se pueden utilizar en Orthanc. Los scripts Lua pueden ser llamados en varias partes del servidor de Orthanc, como en un endpoint REST personalizado o en una función que se ejecuta en respuesta a un evento interno del servidor. Para el trabajo de grado se hace una configuración para crear distintos roles de usuario y para el acceso al servicio web. En el script para el desarrollo del trabajo de grado se realiza el siguiente código:

```

1 function IncomingHttpRequestFilter(method, uri, ip, username,
  httpHeaders)
2   if username == 'admin' then
3     return true
4   elseif method == 'DELETE' and string.match(uri, '/patients/'
  ) then
5     local patientInfo = ParseJson(RestApiGet(uri))
6     PrintRecursive(patientInfo)
7
8     print('usuario ' .. username .. ' quiere borrar el
  PatientID: ' .. patientInfo["MainDicomTags"]["PatientID"])
9
10    return false
11  elseif method == 'DELETE' then -- forbid all other deletes
12    return false
13  else -- everything else is allowed
14    return true
15  end
16 end

```

Codigo Fuente B.8: Funcion Roles de usuarios

Apéndice C

Configuración Almacenamiento Disco Espejo

Este anexo se enfoca en la configuración del almacenamiento en disco espejo, una estrategia esencial en la gestión de datos críticos y la garantía de la disponibilidad de información en entornos empresariales. El disco espejo, también conocido como RAID 1, es un método confiable para duplicar los datos en tiempo real en dos unidades de disco duro idénticas, proporcionando redundancia y protección contra fallos de disco.

Para realizar esta configuración, Primero, se debe asegurar de que se cuenten con dos discos duros de igual capacidad y que estén correctamente instalados en la computadora. Estos discos se denominarán “Disco 2” y “Disco 3” para simplificar la explicación.

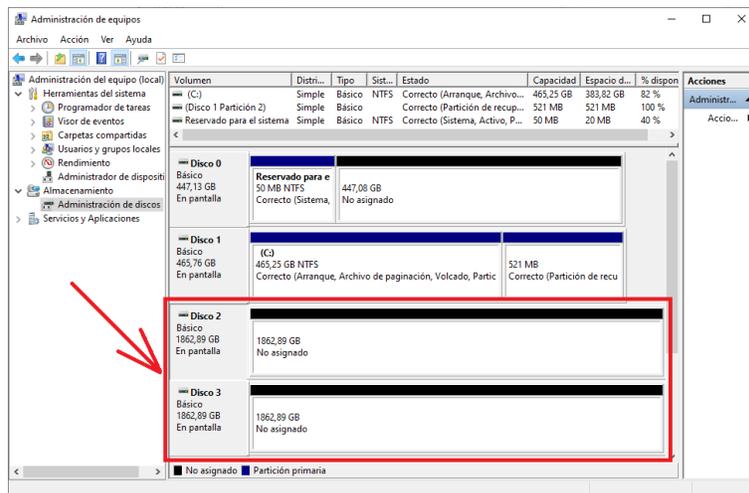


Figura C.1: administrador de discos

Acceder a «Almacenamiento» y a «Administración de discos» (1). Pulsaremos con el botón derecho del ratón sobre el disco duro que queremos convertir a dinámico (2) y pulsar en «Convertir en disco dinámico...» (3):

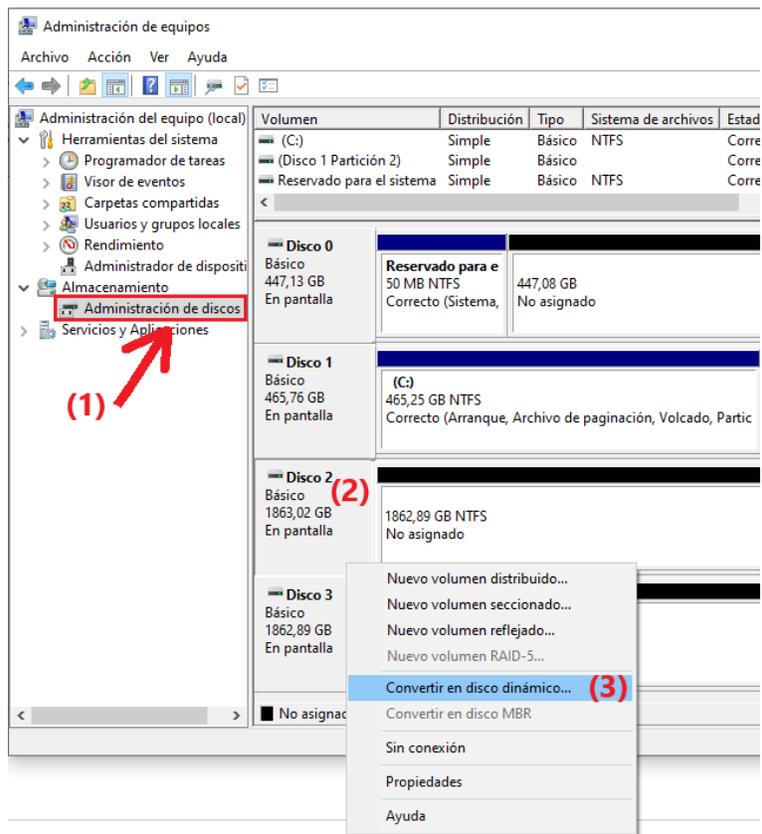


Figura C.2: Convertir Disco Dinámico

Continuación se selecciona el disco 2

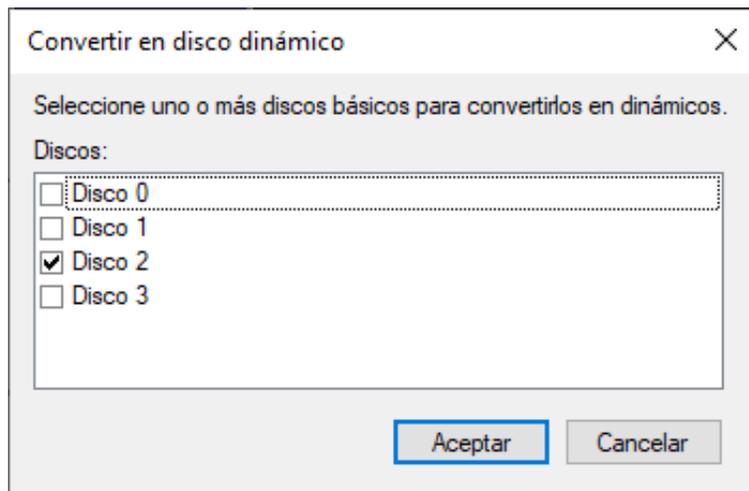


Figura C.3: Disco Dinámico

El disco 2 cambia de “Disco Básico” a “Disco Dinámico”

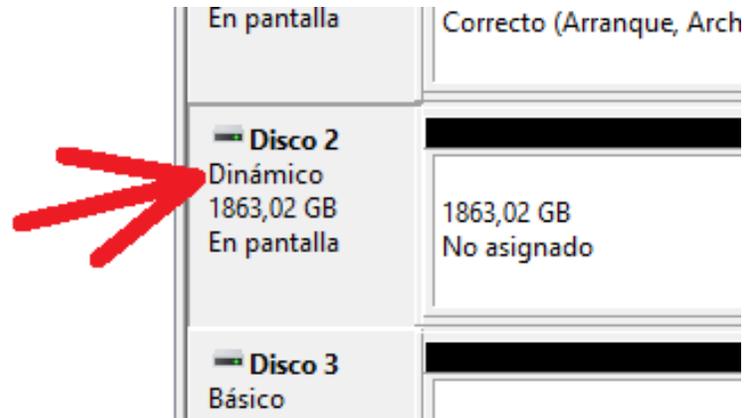


Figura C.4: Disco Dinámico creado

Pulsar con el botón derecho sobre el espacio no asignado del disco duro dinámico y se elige «Nuevo volumen simple...»:

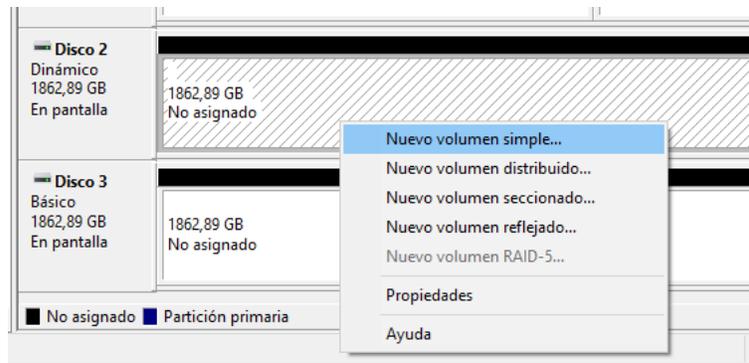


Figura C.5: Crear Volumen Simple

El tamaño se deja por defecto, tal como aparece en la ventana:

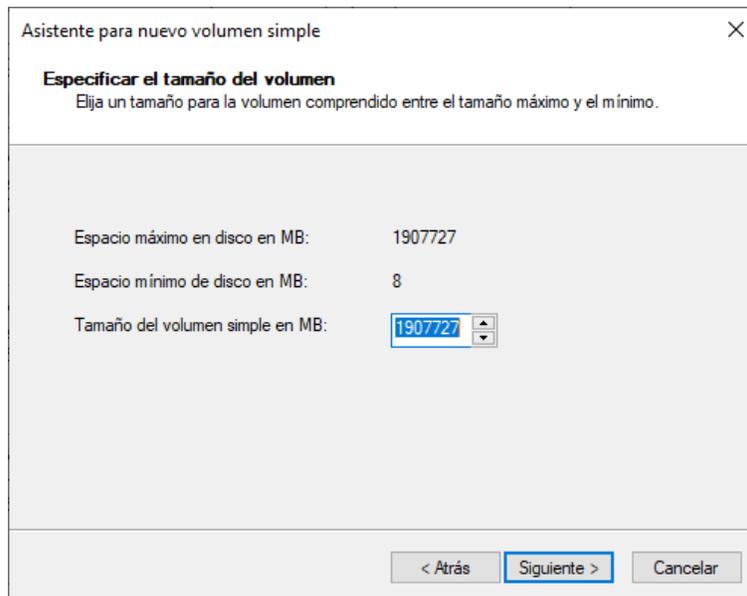


Figura C.6: Tamaño de Disco

Asignar letra de al Unidad:

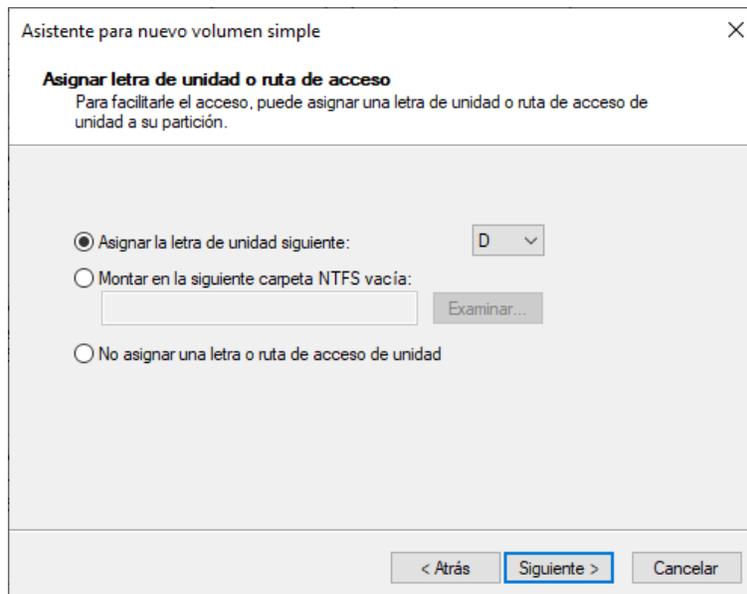


Figura C.7: Asignar letra de Unidad

Se elige el tipo de formato NTFS y Seleccionar «Dar formato rápido». Se puede también asignar la etiqueta del volumen:

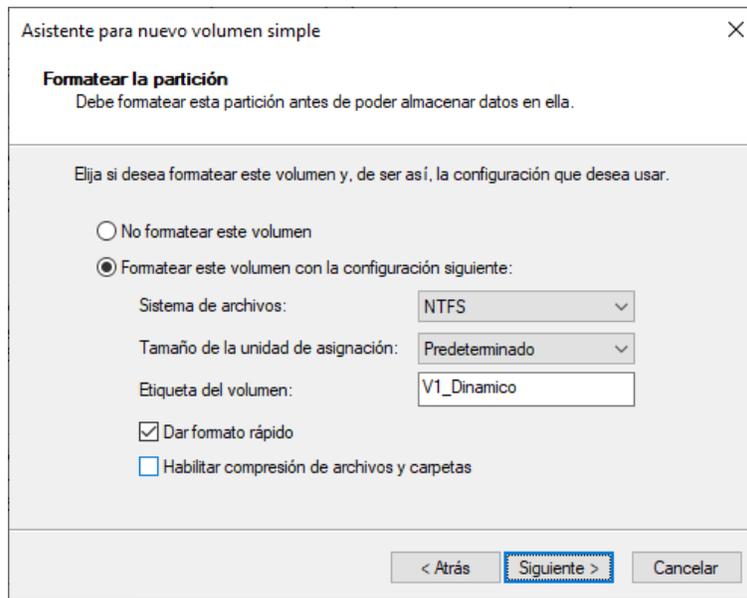


Figura C.8: Formateo de la Unidad

Cumplido con los pasos anteriores para el nuevo volumen, pulsar en «Finalizar» para crear el nuevo volumen:

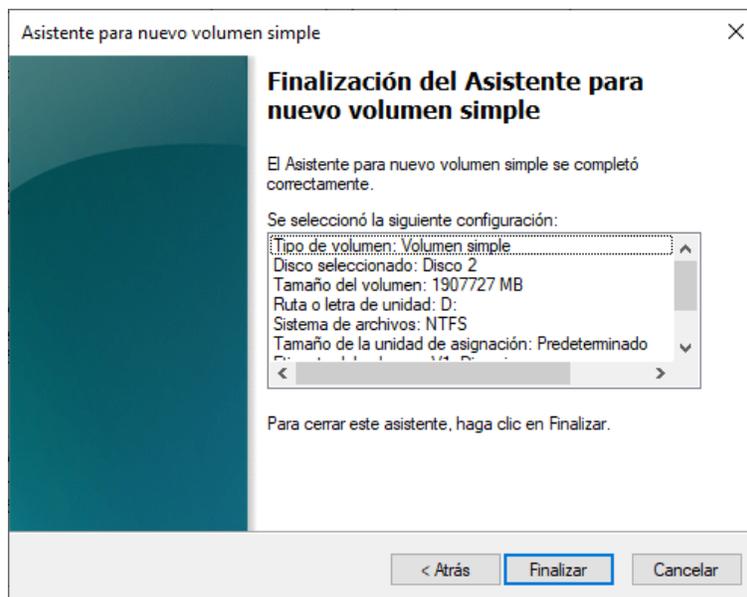


Figura C.9: Finalizar nuevo volumen de Disco

Clic derecho en la partición del disco 2, y pulsar, Agregar reflejo.

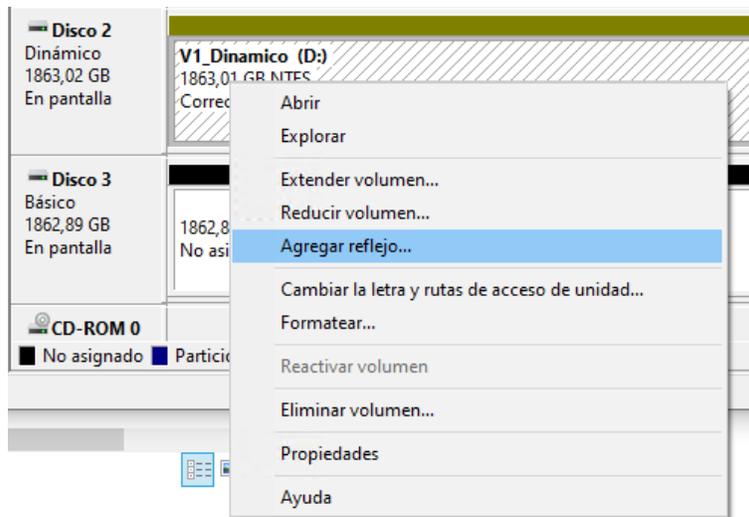


Figura C.10: Seleccionar agregar reflejo

Seleccionar el Disco 3 que actuara como espejo del Disco 2

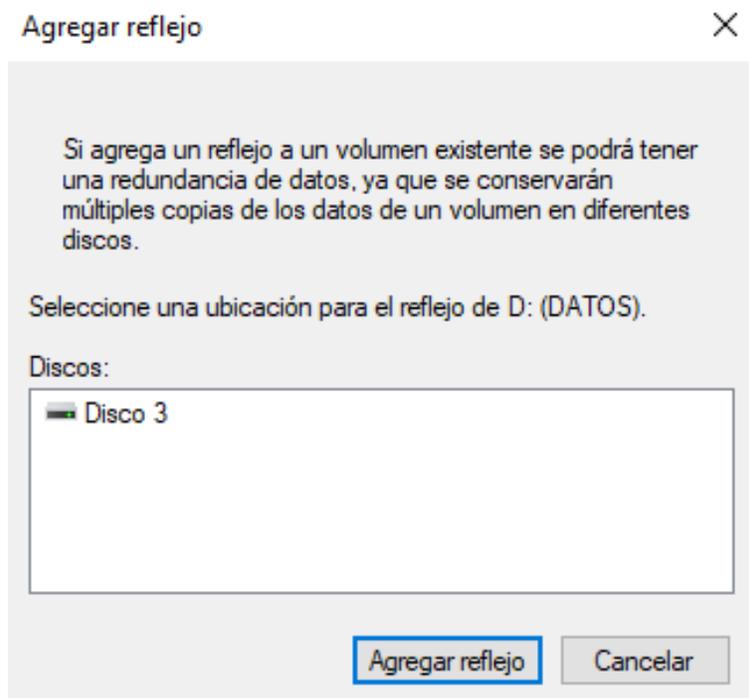


Figura C.11: Agregar reflejo Disco 3

aparece una advertencia, advirtiendo que se convertirá en disco dinámico, pulsar si

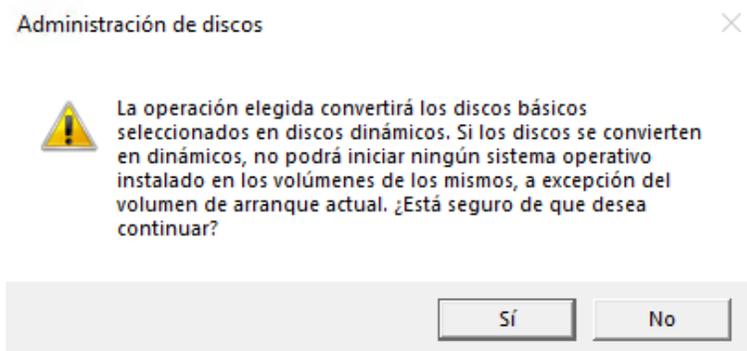


Figura C.12: Advertencia creación discos Dinamicos

Inmediatamente, aparece un nuevo volumen en el disco nuevo, y comenzará un proceso de sincronización de los discos

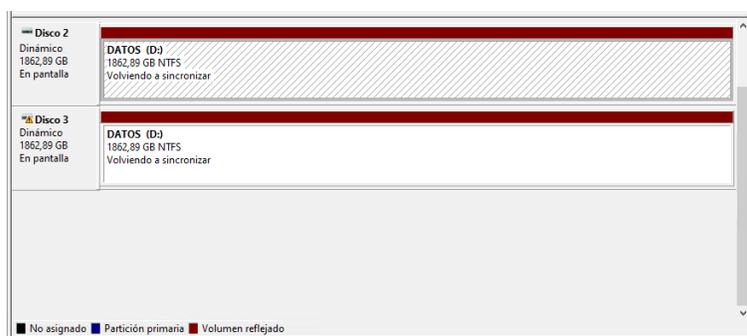


Figura C.13: Sincronización de los discos

Apéndice D

Configuración del Almacenamiento en la Nube con Google Drive

En este anexo, se proporcionará una guía paso a paso para configurar el almacenamiento en la nube utilizando Google Drive como parte del sistema híbrido de almacenamiento de imágenes médicas en el entorno de atención médica. Google Drive es una solución de almacenamiento en la nube ampliamente utilizada que ofrece facilidad de uso, escalabilidad y opciones de colaboración, lo que lo convierte en una elección atractiva para respaldar y acceder a imágenes médicas de manera segura.

1. **Requisitos Previos:** Antes de comenzar con la configuración de Google Drive para almacenar imágenes médicas, asegúrese de contar con los siguientes requisitos previos:

- **Cuenta de Google:** Cuenta de Google para acceder a Google Drive.
- **Conexión a Internet:** Acceso a Internet para acceder y configurar Google Drive.

2. **Descargar Google Drive para ordenador:**

- Abrir navegador web e ir a Google Drive.
- Descargar Drive para Ordenadores.

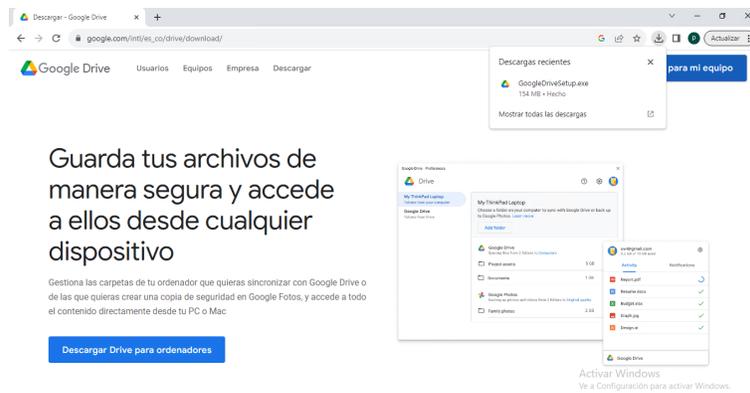


Figura D.1: Descarga Google Drive

3. Instalar Google Drive:

- Ejecutar como administrador el archivo descargado
- Instalar

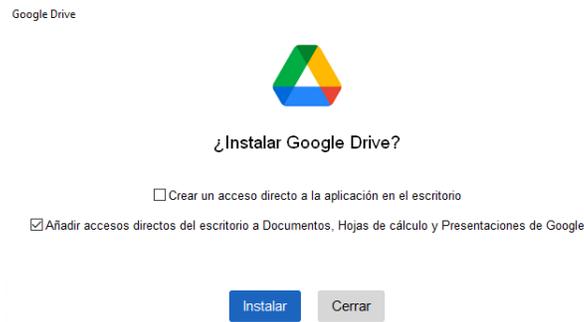


Figura D.2: Instalación Google Drive

- Iniciar sesión

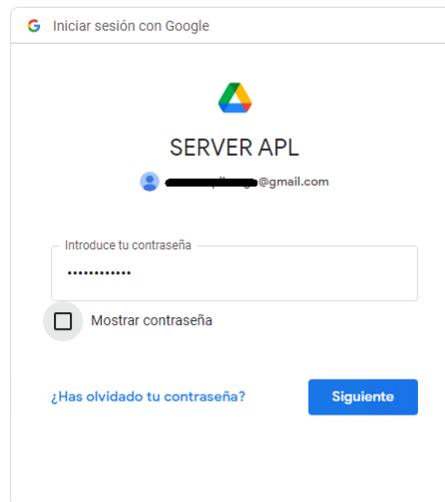


Figura D.3: Iniciar Sesión

4. Seleccionar Carpetas para cargar

- Seleccionar la carpeta Imágenes para cargar a la nube

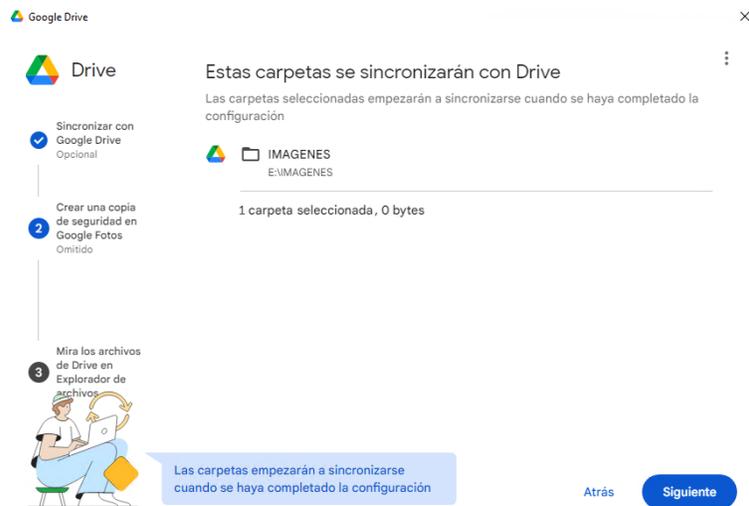


Figura D.4: Selección de carpeta para cargar

- Carpeta sincronizada

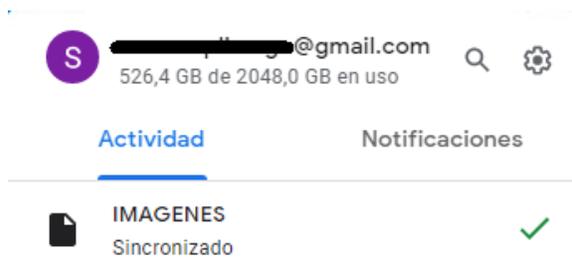


Figura D.5: Sincronización de carpeta

5. Verificación de información

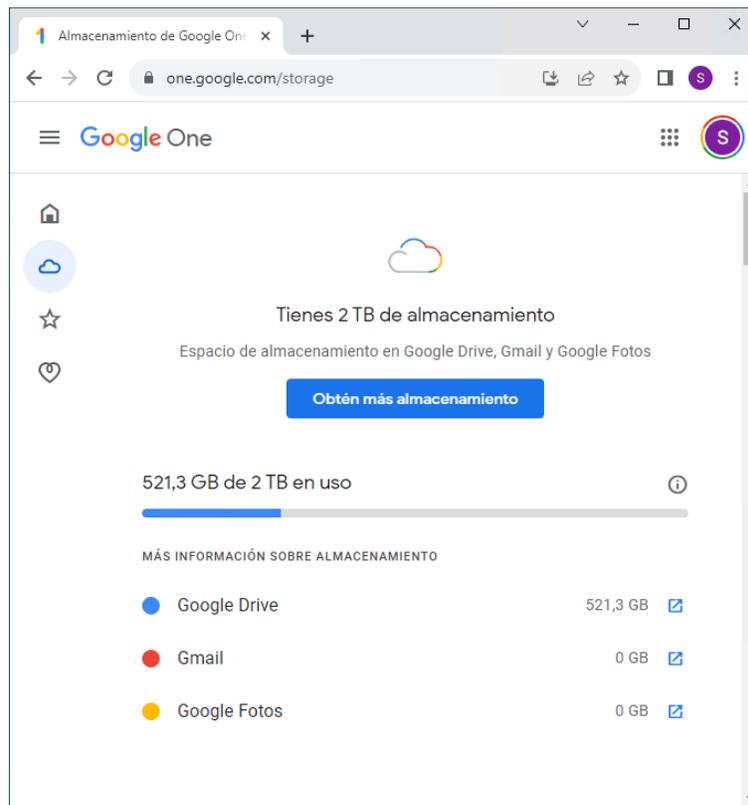


Figura D.6: Información en la nube