



Facultad de Ingeniería en
Electricidad y Computación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO
Y COMUNICACIÓN DE IMÁGENES (PACS) PARA ESTUDIOS
RADIOLÓGICOS EN UNA RED INTRAHOSPITALARIA"**

EXAMEN COMPLEXIVO - COMPONENTE PRÁCTICO

INFORME PROFESIONAL

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

BERONICA JESSICA ROJAS PILMAUNGA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2025

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a mi madre, Grimaneza Pilamunga, por estar siempre presente en nuestro hogar, brindándonos su amor incondicional y ayudándome a sostener el equilibrio entre ser madre, esposa, trabajadora y estudiante. Su entrega me permitió contar con el tiempo y el espacio necesarios para continuar este camino.

A mi esposo, Pablo Paucar, por acompañarme con paciencia, aliento y confianza en cada etapa de este proceso. Su presencia ha sido un pilar fundamental en mi crecimiento profesional y personal.

A mi hijo Iker Paucar, con tan solo seis añitos, gracias por tu ternura y comprensión. Sé que sacrificué muchos momentos a tu lado, instantes irrepetibles, y por eso te agradezco con el alma haberme permitido avanzar sin dejar de sentir tu amor.

Y, de manera muy especial, a mi pequeña Hanna, quien desde mi vientre me acompañó silenciosamente. Su existencia me dio la fuerza, el coraje y la esperanza para no rendirme y culminar con éxito esta etapa tan significativa de mi vida.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto con todo mi amor a mis hijos, Iker y Hanna Paucar. El tiempo, el esfuerzo y la dedicación que implicó llevarlo a cabo fueron momentos valiosos que, en parte, les quité a ustedes. Instantes únicos e irrepetibles que no volverán, pero que hoy transformo en un acto de amor y perseverancia.

Este logro, que hoy se materializa en una Maestría en Ingeniería Biomédica, también es suyo. Me dieron la fuerza para seguir, me inspiraron a no rendirme y me enseñaron que ningún sueño es imposible cuando se persigue con entrega, disciplina y fe.

Sueñen siempre, y sueñen en grande, pero recuerden que los sueños no se hacen realidad solos. Construyan su camino con pasión, convicción y, sobre todo, con trabajo constante, que cada esfuerzo vale la pena y al final, la recompensa llegará.

Sigan adelante con valentía y confianza. Yo estaré aquí, siempre, para acompañarlos, apoyarlos y aplaudir cada uno de sus pasos. Los amo con todo mi ser.

COMITÉ DE EVALUACIÓN

PhD. Washington Velásquez Vargas
Miembro Principal

PhD. Edwin Valarezo Añazco
Miembro Revisor

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Beronica Jessica Rojas Pilamunga acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor. El estudiante deberá procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 30 de junio del 2025.

Ing. Beronica J. Rojas P.

Autora

RESUMEN

En muchos centros de salud públicos, la gestión de los estudios radiológicos lo realiza de forma manual como en discos compactos o mediante sistemas que no están conectados entre sí, como es el caso del equipo de rayos x que cuentan con software propio para visualizar imágenes, pero estos programas funcionan de forma aislada en una sola computadora, sin compartir información con otros sistemas o departamentos del hospital. Esta falta de conexión dificulta el acceso rápido a las imágenes, complica el trabajo conjunto entre los profesionales y aumenta el riesgo de pérdida o duplicación de datos.

En respuesta a esta necesidad se planteó el diseño e implementación de un servidor PACS mediante el uso de herramientas de código abierto. Para el desarrollo se utilizó la plataforma DCM4CHEE, que fue desplegada a través de contenedores Docker. Para el visualizador web, se enlazo y configuro el OviYam, lo cual permitió el acceso a las imágenes DICOM desde diversos puntos de la red local utilizando navegadores web. El sistema fue implementado en un servidor local con almacenamiento en disco duro, cumpliendo de manera satisfactoria con el objetivo establecido. La solución elaborada atendió la necesidad detectada y se ajustó a los recursos técnicos y económicos restringidos de la organización, demostrando ser funcional, accesible y escalable.

Durante la etapa de validación, se llevaron a cabo pruebas funcionales con el fin de garantizar el adecuado envío, recepción, almacenamiento y visualización de imágenes generadas por un equipo de rayos X digital. Adicionalmente, se administraron encuestas a los usuarios del servicio de imagenología para evaluar su experiencia de uso, la percepción de mejora en el flujo de trabajo y las posibles áreas de mejora. Los resultados indicaron que el sistema facilitó una gestión más eficaz de los estudios radiológicos, disminuyendo el tiempo de acceso a las imágenes, optimizando la organización de los archivos y favoreciendo la revisión por parte de los profesionales.

También se observó una notable aceptación por parte de los usuarios, quienes apreciaron la facilidad de uso del visualizador web y la disponibilidad inmediata de las imágenes.

En conclusión, el proyecto evidencia la viabilidad de establecer un sistema PACS básico utilizando tecnologías abiertas y accesibles, que se ajuste a las necesidades y competencias técnicas de centros de salud con recursos limitados. Esta solución es susceptible de ser replicada en otras instituciones que atraviesan desafíos similares, favoreciendo así la transformación digital de los servicios de diagnóstico por imagen, incluyendo el visualizador web y la disponibilidad inmediata de las imágenes.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA	III
COMITÉ DE EVALUACIÓN.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO 1.....	12
1. FUNDAMENTOS Y PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....	12
1.1 Descripción del problema	12
1.2 Justificación del problema	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Alcances y Limitaciones	16
1.5 Fundamentos técnicos del sistema PACS	17
1.5.1 Principios básicos de imágenes médicas.....	17
1.5.1.1 Modalidades más comunes de imágenes médicas	17
1.5.1.2 Modalidad enfocada en el proyecto: Radiografía (RX).....	19
1.5.1.3 Formatos no estandarizados en imágenes médicas	19
1.5.2 Estándar de comunicación DICOM	20
1.5.3 Sistema de almacenamiento PACS	22
1.5.3.1 Componentes principales del PACS	22
1.5.3.2 Tipos de software PACS.....	23
1.5.3.3 Tipos de almacenamiento.....	25
CAPÍTULO 2.....	26
2. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PACS.....	26
2.1 Análisis del equipamiento con el que cuenta la Institución.....	26
2.2 Requerimientos técnicos previo a la implementación	28

2.3	Implementación del servidor PACS	30
2.3.1	Preparación del entorno (Ubuntu).....	31
2.3.2	Despliegue de contenedores	33
2.3.3	Configuración del PACS	38
2.3.3.1	Acceso a la consola de administración (Keycloak)	38
2.3.3.2	Creación del cliente para DCM4CHEE en Keycloak	38
2.3.3.3	Acceso Interfaz principal del PACS (DCM4CHEE UI).....	39
2.3.3.4	Acceso y configuración de Oviyam (Visor DICOM).....	40
2.3.3.5	Definición y creación de roles en DCM4CHEE	41
2.3.3.6	Creación de usuarios en el PACS.....	42
2.3.3.7	Asignación de roles a perfiles de admin y user	44
CAPÍTULO 3.....		46
3.	VALIDACIÓN Y RESULTADOS	46
3.1	Verificación y pruebas funcionales del sistema PACS	46
3.1.1	Acceso a interfaces del sistema.....	46
3.1.2	Acceso a Oviyam desde navegador.....	47
3.1.3	Pruebas de Búsqueda y Visualización de Imágenes.....	48
3.2	Pruebas funcionales – Check list.....	52
3.3	Encuestas de satisfacción	52
3.3.1.	Análisis Cuantitativo de la encuesta aplicada	53
3.4	Análisis general de resultados.....	55
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
	ANEXO 1	60
	ANEXO 2	61

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, una buena gestión de las imágenes médicas es esencial para ofrecer un cuidado de salud adecuado y de calidad. Las entidades de salud con áreas de diagnóstico por imagen requieren sistemas que permitan almacenar, manejar y acceder a los estudios radiológicos de forma rápida y constante. En este contexto, los sistemas PACS se han vuelto herramientas clave para la transformación digital en el sector salud [1]. No obstante, en muchos hospitales de atención básica o media, la adopción de nuevas alternativas a menudo está limitada por factores como los costos, la falta de tecnología adecuada y el desconocimiento de recursos accesibles y escalables [2]. Esto lleva a problemas como la pérdida de exámenes, dificultades para compartir imágenes entre especialidades clínicas y retrasos en el diagnóstico.

Este presente proyecto propone implementar un sistema PACS básico para una red intrahospitalaria. Su objetivo es mejorar la gestión de imágenes radiológicas en un hospital con recursos limitados de primer nivel. La propuesta incluye el uso de software libre, almacenamiento local y un visor web accesible para el personal clínico autorizado.

Este documento está organizado en tres capítulos: el primero aborda los fundamentos técnicos de un sistema PACS, el segundo abarca el proceso de implementación, y el tercero las pruebas funcionales realizadas y los resultados obtenidos a través de la validación con usuarios del sistema. Con ello se espera brindar una solución a la deficiencia existente en la gestión de imágenes médicas en un hospital básico de primer nivel.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS Y PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.

1.1 Descripción del problema

En Ecuador, muchos centros médicos del Ministerio de Salud Pública enfrentan limitaciones significativas debido a la falta de infraestructura adecuada, especialmente en lo relacionado con el equipamiento sanitario, tal es el caso de los equipos de radiología digital, servidores de almacenamiento de imágenes y software especializado para implementar Sistemas de Comunicación y Archivo de Imágenes (PACS).

Partiendo de la premisa de que la mayoría de las entidades de salud pública cuentan con instalaciones antiguas, estas no se ajustan fácilmente a las nuevas reformas exigidas por los procesos de licenciamiento. Esto representa un desafío tanto por la limitación de espacios físicos como por la disponibilidad de recursos económicos necesarios para ejecutar adecuaciones que cumplan con todos los parámetros establecidos [3] [4]. En esta misma línea, el equipamiento sanitario, si bien ha experimentado avances tecnológicos, presenta un proceso de actualización lento y desigual

Con el objetivo de mejorar la prestación de servicios y alinearse con los avances en tecnología médica, muchos Centros de Salud han iniciado procesos de actualización en la digitalización de imágenes. En este contexto, para modernizar los equipos de rayos X analógicos, han optado por la adquisición e instalación de Flat Panel Detectors (FPD). Esta implementación ha permitido eliminar el uso de dispositivos como impresoras y digitalizadoras de placas, representando así un avance significativo hacia la modernización tecnológica.

Sin embargo, posterior a esta renovación no han tenido un gran avance en cuanto al sistema computarizado para el almacenamiento digital y la transmisión de imágenes médicas hacia las estaciones de visualización o estaciones de trabajo,

siendo así que el almacenamiento de las imágenes digitales se lo efectúa en extensión **.jpeg** en la nube de Google drive, lo que conlleva a tener como producto final una imagen en un formato de compresión con pérdidas.

Al guardar las imágenes en este tipo de formato, se produce una codificación de los píxeles por bloques y una eliminación de parte de la información (menor calidad) [5], esto no sería de gran impacto en imágenes comunes, pero al tratarse de imágenes médicas, donde cada detalle cuenta, es un riesgo grave y de gran importancia ya que el diagnóstico del médico se ve limitado.

Asimismo, la carencia de un sistema adecuado para el almacenamiento y distribución de imágenes médicas ha forzado a los profesionales de la salud a utilizar medios informales y no estandarizados para compartir imágenes médicas, como correos electrónicos o mensajería instantánea, lo que conlleva riesgos de pérdida de información, baja calidad de imagen y vulneración de la confidencialidad de los datos clínicos.

Esta situación impacta negativamente tanto al médico como al paciente, en la parte médica genera retrasos en el diagnóstico, decisiones clínicas menos precisas, duplicidad de exámenes, entre otros. Mientras que en el paciente se traduce en una atención fragmentada, mayores tiempos de espera, costos innecesarios por repetición de exámenes, y en algunos casos, afectaciones a su pronóstico por diagnósticos tardíos o erróneos. Además, esta problemática repercute de forma general en la calidad y eficiencia del servicio de atención médica brindado en los centros de salud.

Por tanto, se considera necesario desarrollar un prototipo de sistema PACS que facilite el almacenamiento y distribución de imágenes médicas, la cual inicialmente está enfocado a las imágenes del servicio de radiología pero que bien pueden ser ampliada hacia los otros servicios de salud.

1.2 Justificación del problema

Los PACS surgieron en la década de 1980 como respuesta a la necesidad de digitalizar y gestionar eficientemente las imágenes médicas [1], inicialmente éstos eran complejos y costosos, limitados principalmente a centros médicos académicos y grandes hospitales.

El avance tecnológico de almacenamiento, redes y visualización de imágenes PACS mejoró la eficiencia operativa en las unidades de salud. Esto ha permitido tener una mayor capacidad y velocidad de procesamiento, optimizando así el tiempo de acceso a las imágenes médicas. Este tipo de gestión permite que las imágenes se encuentren centralizadas y organizadas, reduciendo de esta manera el tiempo que los profesionales dedican a buscar y recuperar historiales de imágenes dispersos. De forma simultánea los PACS han facilitado la implementación de prácticas como la telemedicina y la radiología digital.

En resumen, los PACS han transformado radicalmente la radiología y la gestión de imágenes médicas, permitiendo avances significativos en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. En este último, el médico tiene acceso a imágenes de alta calidad y puede utilizar herramientas de visualización avanzadas para analizar las imágenes radiológicas detalladamente, y de esta manera se podría realizar una detección temprana de enfermedades y una mejor planificación del tratamiento [1]

Como se evidencia, es importante que los avances tecnológicos en la gestión radiológica lleguen cada vez más a los centros de salud de nuestro país, con la finalidad de modernizar la atención de salud, brindar mejores insumos a los médicos para la toma de decisiones en el tratamiento del paciente, mejorar tiempos, entre otros. Siendo así que este proyecto pretende realizar un prototipo de implementación PACS, en la que se aplique y comparta los conocimientos adquiridos en esta maestría, en beneficio de una institución de salud, que no posee un Sistema de Comunicación y Archivo de Imágenes.

A su vez, con el aporte y desarrollo de este proyecto, también se procura alentar a los profesionales que se relacionan con el área de la salud, a que se involucren en la comprensión e iniciativa de la implementación de los sistemas PACS,

haciendo que esta práctica sea cada vez más recurrente, y por ende cada día más centros de salud se unan a esta innovación tecnológica.

Finalmente, este proyecto pretende que no sea una limitante el costo del software y configuración del sistema, por lo que en la implementación se hará uso de un software libre. Y como apoyo en beneficio al centro de Salud y comunidad que ésta atiende, se efectuará la dotación de un servidor PACS sin costo alguno para la Institución.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de almacenamiento y comunicación de imágenes (PACS) básico utilizando herramientas de software libre para la gestión de estudios radiológicos en una red intrahospitalaria.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Reconocer las necesidades del servicio de radiología que permita la identificación de los requisitos técnicos y funcionales del sistema PACS, asegurando que la infraestructura propuesta se adapte a las demandas específicas del entorno intrahospitalario.
- Diseñar la arquitectura del sistema PACS que incluya la selección de software libre adecuado y la planificación de la infraestructura de red necesaria para su implementación.
- Implementar un sistema PACS en un entorno intrahospitalario, mediante tecnologías de vanguardia para el personal radiológico.

1.4 Alcances y Limitaciones

Alcance

Este proyecto contempla el desarrollo e implementación de un sistema PACS básico mediante el uso de software de código abierto DCM4CHEE (DICOM for Clinical Health Enterprise Environment), y un almacenamiento local, el cual orientado a la gestión de imágenes radiológicas en centros de atención primaria que no cuentan con infraestructura previa para almacenamiento y visualización de imágenes médicas. El alcance incluye la dotación e instalación de un servidor PACS local, la configuración de un visor web (OviYam), la integración con el equipo de rayos X digitales que generen imágenes en formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), y la creación de usuarios para el acceso simultáneo desde terminales dentro de la red intrahospitalaria. Se estima que el sistema tendrá capacidad de almacenamiento de uno a dos años de estudios, dependiendo del volumen de atención y configuración del disco duro.

Al finalizar la implementación, se llevará a cabo una jornada de capacitación al personal sobre el uso básico del sistema, así como pruebas funcionales para verificar la operatividad del flujo de trabajo. Además, se aplicarán encuestas de satisfacción a los usuarios para evaluar la experiencia inicial del sistema.

Limitaciones

El sistema PACS implementado no cuenta con infraestructura de alta disponibilidad, por lo que su funcionamiento depende directamente del estado del hardware local y de la red interna. No se contempla el uso de servidores en la nube ni sistemas de respaldo automático, lo cual podría limitar la continuidad del servicio ante fallos críticos. Además, el sistema está diseñado específicamente para la modalidad de radiografía, por lo que no se incluyen otras modalidades como tomografía, resonancia o ecografía.

Finalmente, se menciona que el proyecto se centra exclusivamente en la implementación funcional de un sistema PACS básico, por lo cual no se abordan de manera

detallada aspectos complementarios como la seguridad, análisis de costos, evaluación de impacto, integración con sistemas HIS/RIS ni mecanismos complejos de respaldo, que si bien es cierto son fundamentales en proyectos de mayor envergadura o a nivel institucional, quedan fuera del presente trabajo por tratarse de un proyecto de titulación enfocado en una solución técnica funcional para centros de atención primaria.

1.5 Fundamentos técnicos del sistema PACS

De acuerdo con la necesidad planteada, es importante comprender los aspectos técnicos que sustentan la implementación de un PACS. Por tal razón en esta sección se detallan los principios básicos de las imágenes médicas, el estándar DICOM como base central y el funcionamiento general de un sistema PACS. Esto permite establecer la teoría necesaria para el desarrollo del presente proyecto.

1.5.1 Principios básicos de imágenes médicas

Las imágenes médicas es una ilustración visual que se obtienen a través de varias técnicas diagnósticas que permiten observar en el interior del cuerpo humano. Estas imágenes juegan un papel crucial en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Para la obtención de estas imágenes existen un abanico de métodos y cada una tiene un principio físico y una tecnología especializada.

1.5.1.1 Modalidades más comunes de imágenes médicas

a. Radiografía (RX)

Es la técnica inicial de imagen por excelencia, es la más empleada por el médico para cualquier diagnóstico pues es considerada una imagen básica y nítida de lo queremos observar de primera instancia, se dice también que es la más empleada por su disponibilidad y bajo costo, además que es un examen de diagnóstico no invasivo. Dentro de sus aplicaciones se usa para Diagnóstico de fracturas óseas,

enfermedades pulmonares, y otras condiciones que afectan los huesos y tejidos blandos. [6]

b. Tomografía Computarizada (TC)

Es una técnica de diagnóstico no invasivo, siempre y cuando no se utilice una técnica contrastada, se puede decir que es complementaria para diagnosticar y también tratar enfermedades. [7] En la utilización de esta técnica se combina un equipo de rayos x especial con computadoras sofisticadas para producir múltiples imágenes o visualizaciones del interior del cuerpo, por lo que permite efectuar estudios dinámicos y reconstructivos. Las imágenes obtenidas a través de la TAC revelan mayor claridad y detalle que los exámenes convencionales de rayos x. [8]

c. Ultrasonido (US)

También llamado eco sonograma o ecografía, esta técnica utiliza ondas sonoras de alta frecuencia, que chocan con un blanco y regresan el sonido a través de un traductor que lo transforma en imagen, la obtención de las imágenes se lo realiza en tiempo real y sin exponer al paciente a radiaciones ionizantes. [9] Esta técnica tiene múltiples aplicaciones y es muy utilizada por su costo accesible, rapidez y la disponibilidad de mejoras tecnológicas en cuanto a los transductores, estos permiten obtener imágenes en 2D, 3D o hasta en 4D.

d. Resonancia Magnética (RM)

La resonancia magnética utiliza campos magnéticos y ondas de radio para producir imágenes detalladas del cuerpo sin exposición a radiación ionizante. Es especialmente eficaz para el estudio del sistema nervioso, articulaciones, columna y tejidos blandos, proporcionando alta resolución en múltiples planos anatómicos. [10]

1.5.1.2 Modalidad enfocada en el proyecto: Radiografía (RX)

Dentro de las diversas modalidades de adquisición de imágenes médicas, se tiene la de radiografía (RX), ésta es una de las técnicas más utilizadas en la práctica clínica, por su accesibilidad, rápida, menor costo en comparación a otras modalidades, frecuencia de uso, entre otros, siendo así que en este proyecto se centrará en la gestión, almacenamiento y transmisión de imágenes radiográficas.

La elección del área de rayos x para este proyecto responde a su alta demanda y relevancia diagnóstica, sobre todo en los hospitales básicos y centros de primer nivel, ya que son puntos de referencia inicial o puntos de partida de atención para la población, muy a menudo estas unidades son las que menos recursos posee y el acceso a innovaciones tecnológicas es limitado.

1.5.1.3 Formatos no estandarizados en imágenes médicas

La situación actual es que en hospitales que no disponen de un sistema PACS, es muy común el uso de imágenes en formato JPEG para el almacenamiento y visualización de estudios médicos. Cabe destacar que los equipos de rayos x generan inicialmente las imágenes en formato DICOM (.dcm), esto gracias a su Flat panel, sin embargo, estas son convertidas y almacenadas posteriormente en formato JPG por falta del PACS que permita gestionar de manera correcta los archivos.

Es relevante tener en cuenta que el formato .JPEG o .PNG. no fue diseñado para aplicaciones clínicas, ya que no conserva información clínica esencial, como tampoco permite la integración con sistemas de gestión hospitalaria. Esta práctica representa una limitación significativa, por ello, se profundiza en el análisis de la compresión, el almacenamiento y la transmisión de archivos JPEG en el contexto de imágenes médicas.

Los estándar JPEG utiliza **compresión con pérdida**, lo que significa

que reduce el tamaño de los archivos sacrificando parte de la información visual, es decir, que algunos detalles de la imagen se pierden [11] y puede resultar problemático en imágenes médicas donde la precisión y la calidad son esenciales para el diagnóstico.

En cuanto al **almacenamiento** están estructurados en segmentos que contienen información como metadatos de la imagen en sí (información de la cámara, ubicación GPS y ajustes de la imagen), datos comprimidos y parámetros de codificación [12]; sin embargo, no tiene un mecanismo nativo (metadatos médicos) para incluir información adicional relevante como lo es: detalles del paciente, parámetros del estudio, historia clínica, configuraciones del equipo, entre otros. Esto limita la utilidad de **JPEG** en entornos clínicos donde es necesario almacenar esta información de manera organizada.

Con respecto a la **transmisión**, el .JPEG es un formato ampliamente compatible, se transmiten en aplicaciones de Internet y redes debido a su tamaño reducido y compatibilidad universal [13], no obstante, en el uso de medicina puede presentar problemas de interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos médicos, ya que no está diseñado específicamente para el flujo de trabajo médico.

Finalmente, es muy importante notar que la calidad de las imágenes en el formato JPEG disminuye por la compresión, lo que puede producir un daño profundo e irrecuperable en las imágenes.

1.5.2 Estándar de comunicación DICOM

En la actualidad, con el avance tecnológico en equipamiento médico sobre todo el de diagnóstico por imagen y a su vez la creciente digitalización de los equipos nace la necesidad de contar con un estándar universal que permita la interoperabilidad entre los diferentes dispositivos existentes, de tal manera que permita un intercambio confiable de información clínica y

una mejora en atención de calidad en los servicios de salud. En este contexto, el estándar DICOM se ha posicionado como una solución universal para la comunicación y almacenamiento de imágenes médicas en entornos hospitalarios.

DICOM permite una comunicación y transferencia de datos entre múltiples modalidades de adquisición de imágenes, tales como: RX, TC, RM, US, entre otros; sin embargo, el presente proyecto tiene un enfoque dirigido a las salas de rayos x, por ser uno de los más comunes y representativos en hospitalarios básicos.

En las salas de radiografía, se generan grandes volúmenes de imágenes digitales, ya que son las más recurrentes y se utilizan como exámenes bases previo a continuar con otras modalidades siempre y cuando el paciente lo requiera. Es aquí donde el DICOM juega un papel importante para facilitar la integración de los equipos radiológicos con el sistema PACS, ya que no solo permite la transferencia de imágenes médicas, sino que incorpora información relevante (metadatos médicos) como información del paciente, parámetros técnicos de la captura, detalles del estudio, entre otros.

El estándar DICOM genera archivos con extensión. **dcm**, el cual generalmente es más pesado que los formatos comunes de imágenes como JPG o PNG. El tamaño del archivo dependerá de factores como la resolución, la modalidad y calidad de imagen, siendo éstos de gran importancia para el médico al momento de generar un buen diagnóstico.

Finalmente se puede decir que DICOM es un pilar fundamental para la interoperabilidad de imágenes médicas en entornos clínicos digitales, posee capacidad para integrar en un solo archivo los metadatos clínicos, parámetros técnicos y la imagen, trabaja sobre protocolos de red conocido como TCP/IP, mantiene comunicación con estaciones de visualización y servidores PACS, todo esto lo hace eficiente y una herramienta esencial en cualquier infraestructura moderna de imágenes médicas.

1.5.3 Sistema de almacenamiento PACS

En términos médicos, **PACS** significa **Sistema de Archivo y Comunicación de Imágenes**, es un término muy común utilizado en el campo de la salud, esta herramienta tecnológica se basa esencialmente en el almacenamiento, visualización y gestión de imágenes médicas de forma centralizada [14]. Su función es reemplazar los métodos tradicionales de almacenamiento en películas físicas, optimizar el acceso a estudios desde cualquier lugar de un centro médico, lo que permite tener un diagnóstico oportuno, reduce tiempos de espera y mejora la gestión clínica de imágenes.

1.5.3.1 Componentes principales del PACS

Un PACS consta principalmente de:

- **Modalidades de imágenes:** Son los dispositivos de adquisición de imágenes, es decir todos aquellos que generan las imágenes médicas en formato digital (DICOM). Para nuestro caso es el equipo rayos x incorporado el flat panel.
- **Servidor PACS:** Es la parte más vital de un PACS. En este se distribuyen y procesan todas las imágenes.
- **Estaciones de trabajo:** Son los dispositivos en las cuales el médico podrá observar las imágenes capturadas y estudiarlas, para posteriormente emitir un diagnóstico.
- **Red de comunicación:** Infraestructura que conecta las modalidades, servidores y estaciones, asegurando una transmisión rápida y segura.
- **Sistema de respaldo:** Se trata del sistema de almacenamiento de datos en el que se guarda las imágenes y los informes, este puede ser un servidor local o un servidor conectado a Internet.

1.5.3.2 Tipos de software PACS

El sistema PACS presentan el núcleo funcional para el almacenamiento, recuperación y distribución de imágenes médicas digitales. Existen diferentes tipos de software PACS, tanto comerciales como de código abierto, que se diferencian por su nivel de complejidad, escalabilidad y facilidad de implementación.

Los sistemas PACS comerciales son soluciones robustas, de propiedad de empresas y ofrecen soporte profesional, son más utilizadas por Hospitales grandes o clínicas privadas. Los PACS de código abierto son gratuitos, con posibilidad de personalización, ideales para instituciones con recursos limitados, como centros pequeños, investigación o formación. También existen los PACS híbridos o mixtos, estos en cambio combinan versiones gratuitas con opciones de pago para ampliar sus funcionalidades, en este se puede mencionar las clínicas medianas o proyectos escalables.

En el presente proyecto se hace uso de un PACS de código abierto, con la finalidad de brindar una solución a la limitante económica frecuente en estas entidades, la cual ha frenado el acceso a tecnologías avanzadas de gestión de imágenes médicas. A su vez este sistema PACS es una solución viable y adaptable a las necesidades técnicas de un centro de atención primaria.

Dentro de los sistemas PACS de código abierto existen varias opciones ampliamente utilizadas, dentro de las más conocidas se tiene DCM4CHE, Orthanc, ClearCanvas, Osiris y Horos, entre otras. Cada una de estas posee sus propias consideraciones, lenguaje de programación y ventajas, tales como se muestra en Tabla I.

Tabla I. Sistema PACS de código abierto

Software	Ventajas destacadas	Consideraciones / Limitaciones	Escalabilidad
Orthanc [15]	- Fácil instalación y uso- Interfaz web integrada- Ideal para pequeños centros o pruebas	- Limitada para implementaciones grandes- Escalabilidad técnica reducida- Menor integración con HCE o RIS	Baja a media (crece con plugins pero tiene límites)
DCM4CHE [16]	- Arquitectura modular y robusta- Amplio soporte DICOM- Integración con HCE, RIS y HL7- Código abierto y flexible	- Requiere conocimientos técnicos para configuración- Demanda más recursos de hardware	Alta (permite expansión con múltiples nodos, clústeres, nube)
ClearCanvas [17]	- Interfaz amigable- Opción gratuita y comercial- Buen visor de imágenes	- Principalmente orientado a entornos Windows- Menor soporte para expansión en red	Media (mejor en versión comercial)
OsiriX / Horos [18]	- Potente visualización en macOS- Herramientas de análisis avanzadas	- Solo disponible para Mac- Funciones PACS limitadas- Uso clínico más que institucional	Baja (principalmente visor, no PACS completo)

Para el presente proyecto, se ha optado por el uso del software DCM4CHE ya que es ideal para una instalación local con proyección de crecimiento futuro, recordemos que la demanda en atención médica cada vez es más creciente, siendo así que el DCM4CHE se ajusta a esta necesidad y ofrece la posibilidad de crecer según las necesidades futuras y conectarse con otros sistemas clínicos como RIS, HCE, HL7. Otro aspecto para considerar es que refiere a una implementación sólida del estándar DICOM, es compatible con diversas modalidades de adquisición y visores web, como también permite gestionar estudios desde múltiples estaciones de trabajo.

1.5.3.3 Tipos de almacenamiento

El almacenamiento de los archivos se basa según la frecuencia de uso de las imágenes y el volumen de estudios generados por cada institución, es así como se tiene tres tipos principales de almacenamiento de PACS: ON premise (local), en la nube (cloud) e híbrido (mixto) [19] [20]. A continuación, en Tabla II se brinda un aspecto de cada uno.

Tabla II. Tipos de almacenamiento para PACS

Tipo de almacenamiento	Descripción	Ejemplo	Ventaja
On premise (local)	Servidor físico ubicado en la institución	Disco duro en hospital	Control total, no necesita internet
En la nube (cloud)	Almacenamiento y acceso a través de servidores externos (internet)	Google cloud, AWS, etc	Acceso desde cualquier lugar, escalabilidad
Híbrido (mixto)	Combinación de almacenamiento	Servidor local + respaldo cloud	Seguridad y disponibilidad de mejoras

En este contexto, el servidor PACS propuesto en este proyecto este clasificado como un sistema on-premise (local) básico, que ofrece acceso simultáneo a través de un visor web, su disponibilidad está sujeta a las condiciones del hardware local y no cuenta con una infraestructura de alta disponibilidad, como fuentes de energía redundantes, tolerancia a fallos, respaldo automático de datos o balanceo de carga para múltiples usuarios concurrente. No obstante, el servidor local planteado se encuentra dimensionado de acuerdo con la capacidad operativa de los centros de primer nivel de atención.

Este sistema permite el almacenamiento eficiente de los estudios radiológicos generados durante al menos uno o hasta dos años, esto dependerá del volumen de pacientes y la resolución de las imágenes gestionadas (éstas últimas están sujetas al tipo de estudio realizado). Además, representa una solución escalable que podría evolucionar hacia una infraestructura más robusta en caso de que la demanda creciera.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PACS

Dentro del desarrollo del proyecto de implementación de un sistema PACS básico, destinado a la gestión, almacenamiento y visualización de imágenes médicas, específicamente en la modalidad de radiografía (RX), se utilizó como solución un servidor PACS de código abierto ampliamente utilizado en entornos hospitalarios, el **dcm4chee**, desplegado mediante contenedores **Docker**. Para la visualización de los estudios, se enlaza con el visor web **OviYam**, el cual permite acceder a las imágenes médicas desde cualquier estación conectada a la red local, sin necesidad de instalar software adicional.

La solución desarrollada está diseñada para adaptarse a entornos clínicos pequeños o medianos, con la posibilidad de escalar e incorporar nuevas modalidades de imagen, estaciones de trabajo adicionales y funcionalidades según las necesidades futuras de la institución.

2.1 Análisis del equipamiento con el que cuenta la Institución

Antes de iniciar con la instalación y configuración del sistema PACS, se llevó a cabo un estudio del equipamiento existente en la entidad, con el propósito de valorar las condiciones técnicas para su incorporación. Este estudio abarcó tanto el equipo generador de imagen como la infraestructura de red e informática existente.

En el área de diagnóstico por imagen, la institución dispone de un equipo de radiografía convencional con su consola de mando, el equipo es marca TXR. Como una mejora tecnológica, la institución ha efectuado la compra e instalación de un flat panel digital, el cual permite la conversión de imágenes analógicas a formato digital, y capturar imágenes directamente en formato DICOM, cumpliendo con los estándares actuales de imagen médica.

El flat panel cuenta con un sistema propio licenciado, que incluye un software especializado para la selección del tipo de estudio, adquisición y visualización de las imágenes captadas. Este sistema funciona como una estación de trabajo básica, facilitando la revisión de los estudios efectuados, sin embargo, no dispone de funciones de servidor para la gestión, almacenamiento centralizado ni distribución de las imágenes.

Hoy en día, las imágenes permanecen almacenadas de forma local en el equipo del flat panel, lo que representa una limitación operativa, dado que no se tiene una infraestructura que permita un acceso remoto ni la visualización desde otras estaciones de trabajo, efectuando la distribución de imágenes en extensión *jpeg* a través de mensajería instantánea común. A continuación, en la Fig 1. se muestra una ilustración de la distribución de imágenes que realizan actualmente previo a la implementación del PACS básico.

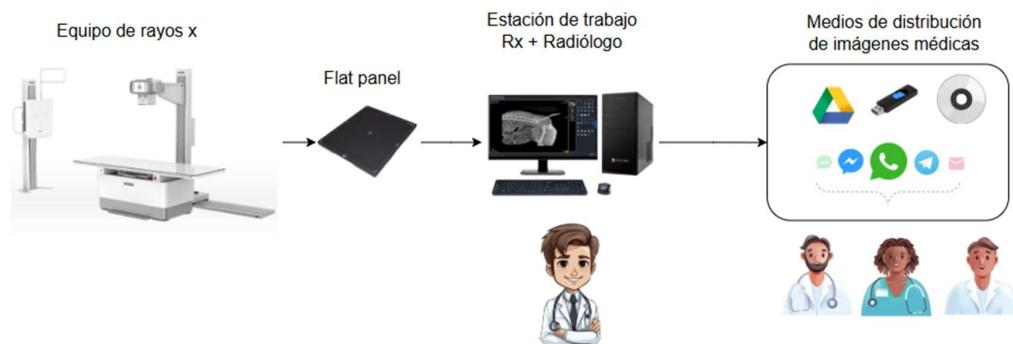


Fig. 1. Distribución de imágenes antes de la implementación.

En vista a esta necesidad, se procedió a dotar al área con un equipo informático (CPU) destinado alojar el PACS básico propuesto, permitiendo establecer un sistema para el almacenamiento y visualización de imágenes dentro de la red intrahospitalaria.

Finalmente, en cuanto a la red institucional utilizada para el manejo de estudios radiológicos de tamaño moderado, se puede mencionar que posee conectividad interna promedio superior a 100 Mbps, lo cual permite la implementación inicial

del sistema PACS tomando en cuenta que no se contempla requerimientos de infraestructura avanzada ni configuraciones de alta disponibilidad.

Cabe destacar que un estudio de rayos X en formato DICOM puede tener un tamaño aproximado de 5 a 25 MB por imagen, dependiendo de la resolución, técnica utilizada y cantidad de proyecciones, por lo que la red disponible es suficiente para su transferencia y visualización fluida en el entorno local.

2.2 Requerimientos técnicos previo a la implementación

Previo a la instalación e integración del sistema PACS, se llevó a cabo una evaluación técnica de los recursos requeridos para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Esta evaluación tomó en cuenta el alcance inicial del proyecto, enfocado en la modalidad de radiografía (RX), con capacidad de almacenamiento local, visualización en línea y administración de usuarios.

Como punto de partida para la implementación del sistema PACS, se tiene la selección del hardware en la que se requiere considerar factores fundamentales como la cantidad de pacientes atendidos, el tipo de estudios realizados y el período de tiempo durante el cual se almacenarán dichos estudios, estos criterios permiten dimensionar adecuadamente el servidor. Para este propósito, se ha tomado como base la estadística de un hospital básico, en el cual se analiza la evolución mensual del tamaño de archivos de imágenes médicas en el servicio de radiología, mismo que se detalla a continuación:

Tabla III. Evolución mensual del tamaño de archivos de imágenes médicas en el servicio de Radiología (oct. 2023 – oct. 2024)

No.	FECHA	Número de pacientes atendidos	Almacenamiento ocupado	
			Capacidad	Medida
1	nov 23	982	103,8	GB
2	dic 23	1280	132,4	GB
3	ene 24	926	88,9	GB
4	feb 24	396	36,7	GB
5	mar 24	0	0	GB
6	abr 24	217	19,5	GB
7	may 24	548	51,5	GB
8	jun 24	600	57	GB
9	jul 24	638	61,5	GB
10	ago 24	552	54,4	GB
11	sep 24	938	98,6	GB
12	oct 24	962	99,3	GB
Total, de capacidad utilizada en 1 año			803,6 GB	

Según este estudio histórico del atenciónes y almacenamiento en disco, se estableció que la media de almacenamiento necesario en disco duro llegó a 803,6 GB. Esta cantidad se refiere a la acumulación de imágenes DICOM producidas en alrededor de un año de funcionamiento, considerando únicamente estudios de radiografía.

Según esta proyección y considerando un margen adicional para el desarrollo, se ha optado por equipar al servidor PACS con un disco duro tipo SSD de 2 TB, procesador Intel Core i5 y Memoria RAM de 16 GB. Esto permite la ejecución simultánea de varios contenedores de servicios y asegurará un almacenamiento local adecuado para al menos dos años de funcionamiento, dependiendo de la cantidad, tipo de estudios realizados y la resolución de las imágenes.

Es importante destacar que este tiempo proyectado puede fluctuar dependiendo de la complejidad de los exámenes realizados (por ejemplo, estudios sencillos vs. serios o de mayor resolución), además de la frecuencia diaria de adquisición. Si la institución necesita mantener estudios con una antigüedad que supere el periodo abarcado por el almacenamiento local, será imprescindible establecer un sistema de respaldo externo, como copias regulares en discos duros externos,

almacenamiento en red (NAS) o soluciones en la nube.

Como medida a futuro, en el caso de existir la necesidad de expansión del sistema, se aconseja a la Unidad de Salud considerar la implementación de soluciones de almacenamiento secundario o redundante, como arreglos RAID, almacenamiento SAN/NAS, o la integración con servidores de respaldo, con el objetivo de asegurar la continuidad de las operaciones y la protección de la información médica guardada.

En cuanto a los requerimientos de red para la conectividad se tiene como mínimo una velocidad de 100 Mbps, disponer de una IP estática para el servidor PACS, y el personal de TICS deberá brindar los permisos necesarios en los equipos de comunicación con la finalidad de efectuar las configuraciones de puertos en el firewall.

2.3 Implementación del servidor PACS

La implementación del sistema PACS básico inicia desde la adquisición de las imágenes médicas a través del equipo de rayos x disponible en la unidad. Estas imágenes en formato DICOM son transmitidas al servidor PACS, el cual ha sido implementado con la utilización de tecnologías de software libre, específicamente con el servidor dcm4chee-arc a través de contenedores Docker.

Para la gestión de datos del servidor PACS, se ha integrado una base de datos PostgreSQL, encargada del manejo estructurado de la información médica. El almacenamiento de los archivos DICOM se realiza en un sistema de almacenamiento físico local, garantizando el acceso rápido y seguro a los estudios.

Para la visualización de las imágenes médicas se hizo uso del visor web Oviyam, el cual está conectado al PACS y permite el acceso desde las diferentes estaciones de trabajo dentro de la red hospitalaria o institucional, permitiendo así el acceso distribuido a los estudios por parte del personal clínico autorizado.

En la Fig. 2 se presenta la arquitectura de la implementación del sistema PACS en el servicio de Rayos X, detallando la interacción entre el equipo de adquisición,

los contenedores que alojan los servicios (DCM4CHEE), el sistema de almacenamiento, el visor web (Oviyam) y las estaciones de trabajo clínicas.

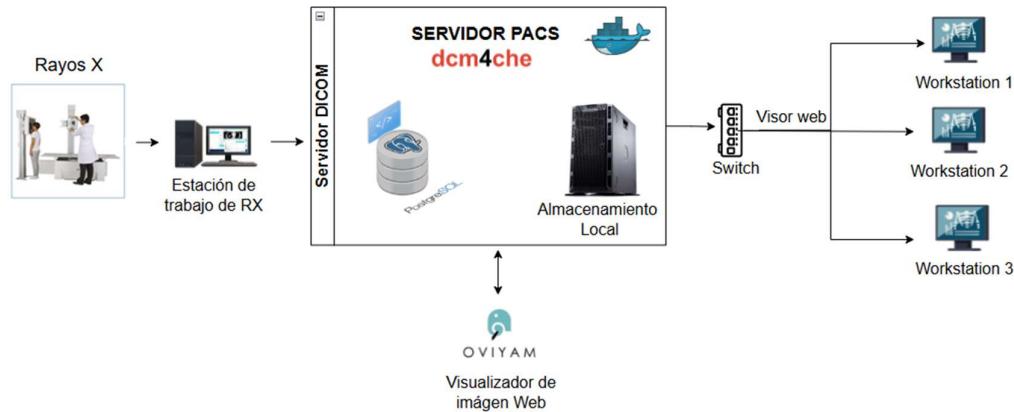


Fig. 2. Arquitectura de implementación del sistema PACS en el servicio de Rayos X

2.3.1 Preparación del entorno (Ubuntu)

Para la implementación del sistema PACS, se utilizó el sistema operativo Ubuntu 24.04 LTS, instalada sobre una arquitectura de 64 bits. A continuación, se describen las configuraciones básicas realizadas en el sistema después de la instalación:

- **Configuración Básica del Sistema Operativo**

- Su nombre: `server-pacs`
- Nombre del servidor: `server-pacs`
- Nombre de usuario: `bero`
- Elija una contraseña: `*****`
- Confirme la contraseña: `*****`
- Actualización del sistema

```
Sudo apt update  
sudo apt upgrade -y
```

- **Instalación de Docker y Docker Compose**

Se instalaron Docker y Docker Compose en Ubuntu 24.04 siguiendo los pasos recomendados por Docker:

1. Instalación de dependencias: Instalación de paquetes y Docker desde su repositorio oficial.

```
sudo apt install -y ca-certificates curl gnupg
```

2. Creación del directorio para claves

```
sudo install -m 0755 -d /etc/apt/keyrings
```

3. Descarga y almacenamiento del oficial de Docker

```
curl -fsSL https://download.docker.com/linux/ubuntu/gpg |  
sudo gpg --dearmor -o /etc/apt/keyrings/docker.gpg
```

4. Asignación de permisos de lectura

```
sudo chmod a+r /etc/apt/keyrings/docker.gpg
```

5. Adición del repositorio oficial de Docker: En este caso se utilizó noble, correspondiente a Ubuntu 24.04

```
echo \  
"deb [arch=$(dpkg --print-architecture) signed-by=/etc/apt/keyrings/docker.gpg] https://download.docker.com/linux/ubuntu noble stable" | \  
sudo tee /etc/apt/sources.list.d/docker.list > /dev/null
```

6. Actualización de paquetes

```
sudo apt update
```

7. Instalación de Docker y sus componentes

```
sudo apt install -y docker-ce docker-ce-cli containerd.io docker-buildx-plugin docker-compose-plugin
```

8. Verificación de instalación: Una vez instalado, se verifica la versión del Docker instalado y el estado de estos.

```

serverpacs@serverpacs:~$ docker --version
Docker version 28.2.2, build e6534b4
serverpacs@serverpacs:~$ docker compose --version
Docker Compose version v2.36.2
serverpacs@serverpacs:~$ sudo systemctl status docker
[sudo] password for serverpacs:
● docker.service - Docker Application Container Engine
   Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/docker.service; enabled; preset: enabled)
   Active: active (running) since Mon 2025-06-16 03:17:12 UTC; 52min ago
     TriggeredBy: ● docker.socket
     Docs: https://docs.docker.com
   Main PID: 1402 (dockerd)
      Tasks: 219
        Memory: 151.0M (peak: 152.2M)
          CPU: 6.284s
        CGroup: /system.slice/docker.service
                ├─1402 /usr/bin/dockerd -H fd:// --containerd=/run/containerd/containerd.sock
                ├─2114 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip 0.0.0.0 -host-port 2575 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 2575
                ├─2121 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip :: -host-port 2575 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 2575
                ├─2129 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip 0.0.0.0 -host-port 8080 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 8080
                ├─2136 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip :: -host-port 8080 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 8080
                ├─2143 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip 0.0.0.0 -host-port 8443 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 8443
                ├─2150 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip :: -host-port 8443 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 8443
                ├─2159 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip 0.0.0.0 -host-port 9990 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 9990
                ├─2167 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip :: -host-port 9990 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 9990
                ├─2174 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip 0.0.0.0 -host-port 11112 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 11112
                ├─2182 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip :: -host-port 11112 -container-ip 172.18.0.3 -container-port 11112
                └─2208 /usr/bin/docker-proxy -proto tcp -host-ip 0.0.0.0 -host-port 389 -container-ip 172.18.0.2 -container-port 389

```

Fig. 3. Verificación de versión de Dockers instalados

2.3.2 Despliegue de contenedores

A continuación, se describe la creación del archivo Docker-Compose.yml y el despliegue de los contenedores necesarios para el sistema PACS.

Creación del archivo Docker-Compose.yml

El archivo define los siguientes servicios:

- Base de Datos: PostgreSQL:** Para el almacenamiento de los metadatos asociados a los estudios DICOM y configuraciones del sistema.

```

db:
  image: dcm4che/postgres-dcm4chee:11.2-16 # Imagen de PostgreSQL
  container_name: db                         # Nombre del contenedor
  networks:
    - dcm4chee_pacs      # Conexión a la red llamada 'dcm4chee_pacs'
  ports:
    - "5432:5432"       # Puerto 5432 del contenedor y del host
  environment:
    POSTGRES_DB: pacs      # Nombre de la base de datos
    POSTGRES_USER: pacs    # Usuario para acceso a base de datos
    POSTGRES_PASSWORD: pacs # Contraseña del usuario
  volumes:
    - /etc/localtime:/etc/localtime:ro
    - /etc/timezone:/etc/timezone:ro

```

```

- /home/serverpacs/dcm4chee-setup/db:/var/lib/postgresql/data
  # Guarda los datos de PostgreSQL en el host (persistencia)
restart: unless-stopped
healthcheck:      # Comando para verificar que PostgreSQL está disponible
  test: ["CMD-SHELL", "pg_isready -U pacs"]
  interval: 10s
  timeout: 5s
  retries: 5

```

- **Servicio de Directorio: LDAP:** Proporciona un servicio de directorio utilizado por dcm4chee para almacenar y gestionar la configuración de dispositivos, Application Entities (AEs), conexiones y usuarios del sistema.

```

ldap:          # Imagen de contenedor basada en OpenLDAP
image: dcm4chee/slapd-dcm4chee:2.4.44-16.0
container_name: ldap # Nombre del contenedor
networks:
- dcm4chee_pacs    # Conecta a la red 'dcm4chee_pacs'
ports:
- "389:389"        # Puerto LDAP (389) al mismo puerto en el host
volumes:
- /etc/localtime:/etc/localtime:ro
- /etc/timezone:/etc/timezone:ro
- /home/serverpacs/dcm4chee-setup/ldap:/var/lib/ldap
- /home/serverpacs/dcm4chee-setup/slapd.d:/etc/ldap/slapd.d
  # Monta la configuración de OpenLDAP
restart: unless-stopped  # Se reinicia automáticamente si falla

```

- **Sistema de Autenticación:** Keycloak: en este se realiza la autenticación y autorización centralizada de usuarios, permitiendo gestionar roles y accesos.

```

keycloak:
image: dcm4chee/keycloak:4.6.0-16.0  # Imagen de Keycloak + versión
container_name: keycloak
networks:
- dcm4chee_pacs  # Se conecta a la red con ldap, db, dcm4chee
ports:
- "8880:8880"  # Puerto HTTP público para acceso web a Keycloak
- "8990:8990"  # Puerto de administración del servidor

environment:
HTTP_PORT: 8880           # Puerto HTTP dentro del contenedor
HTTPS_PORT: 8843            # Puerto HTTPS interno
MANAGEMENT_HTTP_PORT: 8990  # Puerto para administración
KEYCLOAK_WAIT_FOR: ldap:389
# Espera que el contenedor LDAP esté disponible antes de iniciar
KEYCLOAK_USER: admin       # Usuario administrador
KEYCLOAK_PASSWORD: admin    # Contraseña del usuario admin

```

```

volumes:
- /etc/localtime:/etc/localtime:ro
- /etc/timezone:/etc/timezone:ro
- /home/serverpacs/dcm4chee-setup/keycloak:/opt/keycloak/standalone
restart: unless-stopped
depends_on:
- ldap # Asegura que 'ldap' se inicie antes que Keycloak

```

- **Servidor de Aplicaciones: Wildfly + DCM4CHEE-ARC:** Componente principal del sistema, encargado de recibir, almacenar, indexar y servir las imágenes DICOM. Actúa como el motor central del PACS, con servicios DICOM como C-STORE, C-FIND, C-MOVE, etc.

```

arc:
image: dcm4chee/dcm4chee-arc-psql:5.16.0-secure
# Imagen del servidor PACS DCM4CHEE, versión 5.16.0

container_name: arc # Nombre del contenedor
networks:
- dcm4chee_pacs
ports:
- "8080:8080" # Puerto HTTP para acceso a la interfaz web
- "8443:8443" # Puerto HTTPS para acceso seguro
- "9990:9990" # Puerto de administración (Wildfly)
- "11112:11112" # Puerto DICOM estándar para recibir imágenes
- "2575:2575" # Puerto para DICOM over TLS

environment:
POSTGRES_DB: pacs
POSTGRES_USER: pacs
POSTGRES_PASSWORD: pacs
WILDFLY_WAIT_FOR: "ldap:389 db:5432 keycloak:8843"
# Antes de iniciar Wildfly, espera que los servicios estén listos

AUTH_SERVER_URL: https://192.168.100.38:8843/auth
# Dirección del servidor de autenticación (Keycloak)

KEYCLOAK_CLIENT_ID: dcm4chee-arc-ui
# ID del cliente configurado en Keycloak

volumes:
- /etc/localtime:/etc/localtime:ro
- /etc/timezone:/etc/timezone:ro
- /home/serverpacs/dcm4chee-setup/wildfly:/opt/wildfly/standalone

restart: unless-stopped
depends_on:
- db
- ldap
- keycloak

```

- **Visor Web: Oviyam.**- Proporciona una interfaz web ligera y accesible desde navegador para visualizar estudios DICOM almacenados en el PACS, permitiendo su revisión desde múltiples estaciones de trabajo.

```
oviyam:
  image: informaticamedica/oviyam:2.7.1    # Imagen de Docker de Oviyam
  container_name: oviyam
  networks:
    - dcm4chee_pacs      # Se conecta a la red donde está 'arc'
  ports:
    - "8081:8080"        # Expone el puerto 8080 interno (interfaz web de Oviyam) al 8081 del host
    - "1025:1025"        # Puerto usado por Oviyam para recibir comandos

  environment:
    - OV_SERVER_AET=DCM4CHEE          # Application Entity Title del servidor PACS al que se conecta
    - OV_SERVER_HOST=arc              # Nombre del contenedor del PACS
    - OV_SERVER_PORT=11112            # Puerto DICOM del servidor PACS

  volumes:
    - /home/serverpacs/dcm4chee-setup/storage:/usr/local/tomcat/work
      # Volumen donde se almacenan archivos temporales

  depends_on:
    - arc  # Asegura que 'arc' (servidor PACS) inicie antes que Oviyam

  restart: unless-stopped
```

- **Creación de la red para la conexión de los contenedores.**

Para permitir la comunicación interna entre los contenedores del sistema PACS, se creó una red personalizada de Docker llamada `dcm4chee_pacs`. Esta red es utilizada por todos los servicios definidos en el archivo `docker-compose.yml` para garantizar una conectividad adecuada entre servicios como la base de datos, el servidor de aplicaciones y los módulos de autenticación.

La red fue creada con el siguiente comando:

```
sudo docker network create dcm4chee_pacs
```

A continuación, se muestra una imagen donde se visualiza el nombre de la red activa que interconecta los contenedores del sistema:

```

serverpacs@serverpacs:~$ sudo docker network create dcm4chee_pacs
759905ed3861f29a1c76135d57d04be54eb92455700e4975be9dcf110bc67abc
serverpacs@serverpacs:~$ docker network ls
NETWORK ID      NAME        DRIVER      SCOPE
c41cc560ce9a   bridge      bridge      local
759905ed3861   dcm4chee_pacs  bridge      local
c8f2467aa628   host        host        local
6c04192620bd   none        null       local
serverpacs@serverpacs:~$ 

```

Fig. 4. Creación manual de la red Docker dcm4chee_pacs

- **Ejecución del archivo Docker -compose.yml**

Una vez configurado el archivo *docker-compose.yml*, se procedió a ejecutar todos los contenedores del sistema PACS utilizando el siguiente comando:

```
docker compose up -d
```

La figura que acontinuación se muestra refiere a la inicialización de los contenedores con los servicios definidos.

```

serverpacs@serverpacs:~/dcm4chee-setup$ docker compose up -d
WARN[0000] /home/serverpacs/dcm4chee-setup/docker-compose.yml: the attribute 'version' is obsolete, it will be ignored, please
remove it to avoid potential confusion
WARN[0000] networks.default: external.name is deprecated. Please set name and external: true
[+] Running 4/4
✓ Container dcm4chee-setup-db-1    Started          0.5s
✓ Container dcm4chee-setup-ldap-1  Started          0.5s
✓ Container dcm4chee-setup-keycloak-1 Started          0.6s
✓ Container dcm4chee-setup-arc-1   Started          0.9s
serverpacs@serverpacs:~/dcm4chee-setup$ 

```

Fig. 5. Inicialización de contenedores configurados

Posteriormente, se verificó que todos los contenedores estén en ejecución utilizando el comando:

```
docker ps
```

La salida de este comando se muestra en la Figura 6, donde se puede observar el estado activo de cada contenedor del sistema PACS.

CONTAINER ID	IMAGE	COMMAND	CREATED	STATUS	PORTS
77743d468f93	dcm4chee/dcm4chee-arc-psql:5.31.2-secure	"docker-entrypoint..."	52 seconds ago	Up 51 seconds	0.0.0.0:2575->2575/tcp, [::]:2575->2575/tcp, 0.0.0.0:2762->2762/tcp, [::]:2762->2762/tcp, 0.0.0.0:8080->8080/tcp, [::]:8080->8080/tcp, 0.0.0.0:8443->8443/tcp, [::]:8443->8443/tcp, 0.0.0.0:9990->9990/tcp, [::]:9990->9990/tcp, 0.0.0.0:9993->9993/tcp, [::]:9993->9993/tcp, [::]:11112->11112/tcp, [::]:11112->11112/tcp, 0.0.0.0:12575->12575/tcp, [::]:12575->12575/tcp dcm4chee-setup-arc-1
c5f54b451e76a	dcm4chee/slappd-dcm4chee:2.6.5-31.2	"docker-entrypoint..."	52 seconds ago	Up 51 seconds	0.0.0.0:389->389/tcp, [::]:389->389/tcp, 0.0.0.0:636->636/tcp, [::]:636->636/tcp
1	dcm4chee-setup-ldap-				

Fig. 6. Estado de los contenedores configurados

2.3.3 Configuración del PACS

2.3.3.1 Acceso a la consola de administración (Keycloak)

Para la gestión de usuarios y autenticación del sistema PACS, se accede a la consola de administración de Keycloak:

URL: <https://192.168.100.38:8843/auth/admin/dcm4che/console>

Usuario: admin

Password: admin



Fig. 7. Acceso a la consola de Keycloak

2.3.3.2 Creación del cliente para DCM4CHEE en Keycloak

- Client ID: dcm4chee-arc-ui
- Client Protocol: openid-connect
- Root URL: <https://192.168.100.38:8443/dcm4chee-arc/ui2/>
- Valid Redirect URLs: http://192.168.100.38:8080/dcm4chee-arc/ui2/*

Dcm4chee-arc-ui

Settings	Roles	Client Scopes	Mappers	Scope	Revocation	Sessions	Offline Access	Installation
Client ID	dcm4chee-arc-ui							
Name								
Description								
Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> ON							
Consent Required	<input type="checkbox"/> OFF							
Login Theme								
Client Protocol	openid-connect							
Access Type	public							
Standard Flow Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> ON							
Implicit Flow Enabled	<input type="checkbox"/> OFF							
Direct Access Grants Enabled	<input checked="" type="checkbox"/> ON							
Authorization Enabled	<input type="checkbox"/> OFF							
Root URL	https://192.168.100.38:8443/dcm4chee-arc/ui2							
* Valid Redirect URIs	http://192.168.100.38:8080/dcm4chee-arc/ui2/* https://192.168.100.38:8443/dcm4chee-arc/ui2/*	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 8. Configuración del cliente DCM4CHEE en Keycloak

2.3.3.3 Acceso Interfaz principal del PACS (DCM4CHEE UI)

URL:<http://192.168.100.38:8080/dcm4chee-arc/ui2>

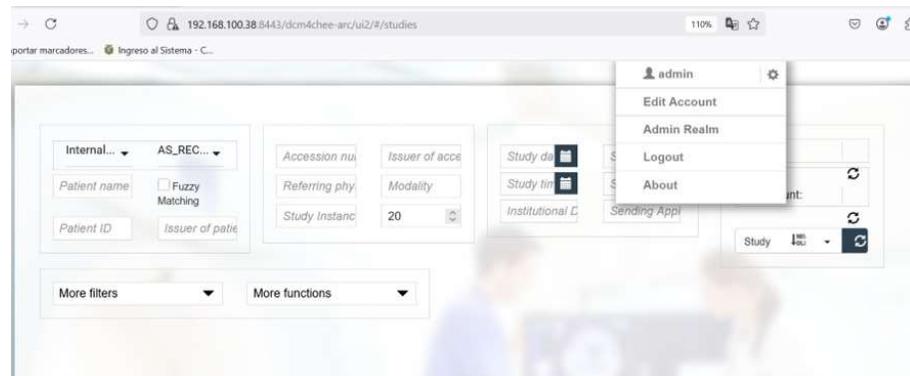


Fig. 9. Interfaz principal del PACS (DCM4CHEE UI)

2.3.3.4 Acceso y configuración de Oviyam (Visor DICOM)

- **Acceso al Visor**

URL: <http://192.168.100.38:8081/>

Usuario: admin

Password: adm1n



Fig. 10. Pantalla de inicio del visor Oviyam

- **Configuración el servidor DICOM en OVIYAM**

Se debe ingresar el AE Title, IP y puerto del servidor PACS para permitir la visualización de estudios.

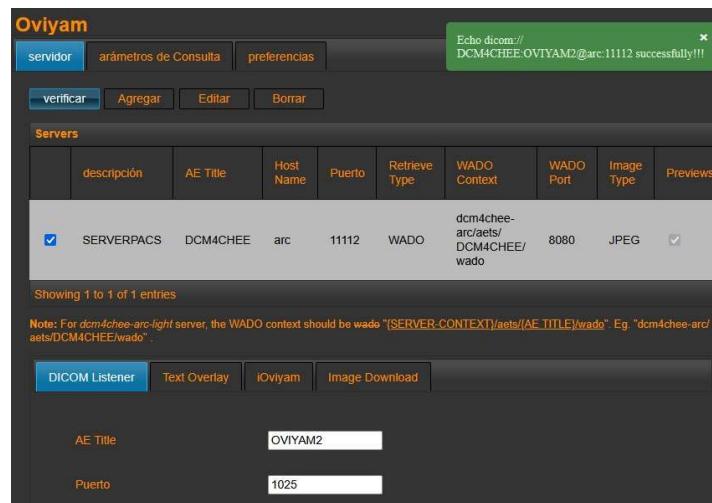


Fig. 11. Configuración del servidor DICOM en Oviyam

2.3.3.5 Definición y creación de roles en DCM4CHEE

A continuación, se describen los roles de acceso configurados en el sistema, junto con sus permisos y restricciones:

- **user – Usuario estándar**

Permisos: Ver estudios, ver datos del paciente, búsqueda de estudios.

Restricciones: Modificar, eliminar, subir estudios, no accede a logs.

- **Admin - Administrador**

Permisos: acceso completo a todos los estudios, imágenes y funciones, gestión de usuarios, roles y configuraciones, acceso a logs. Permite ver, subir, eliminar y modificar estudios/pacientes. Composite Role que incluya: user, audit, manager, patient

- **Manager – Gestor Clínico**

Administración operativa del PACS (sin acceso de sistema)

Permisos: Modificar información de pacientes, asociar o desvincular estudios, aprobar o rechazar estudios

Restricciones: No puede ver logs o configuración interna, no puede acceder a funciones de administración del sistema

- **Audit – Auditor**

Permisos: Ver logs de auditoría, consultar quién accedió a qué y cuándo, solo lectura.

Restricciones: No puede ver imágenes, No modificar

➤ **Consola para creación de roles**

Una vez que se tiene un detalle de la función que cumple cada rol, ingresar a la Consola de creación de roles:

URL: <https://192.168.100.38:8843/auth/admin/dcm4che/console>

A continuación, se muestra la consola utilizada para la creación del rol de administrador. De forma similar, se realiza la creación de roles para los demás usuarios, considerando los conceptos previamente descritos sobre niveles de acceso, permisos y perfiles de usuario.

The screenshot shows the 'Admin' role creation page. At the top, there are tabs for 'Details' (selected) and 'Attributes'. The 'Role Name' field contains 'admin'. The 'Description' field is empty. The 'Composite Roles' section has a switch set to 'ON'. Below this are 'Save' and 'Cancel' buttons. A collapsed section titled 'Composite Roles' is expanded, showing two lists: 'Available Roles' (auditlog, offline_access, uma_authorization) and 'Associated Roles' (admin, user). There are 'Add selected' and 'Remove selected' buttons for each list. A dropdown menu for 'Client Roles' is open, showing 'dcm4chee-arc-ui'.

Fig. 12. Creación de rol administrador

2.3.3.6 Creación de usuarios en el PACS

A continuación, se muestra un ejemplo del proceso de creación de un rol de acceso mediante la consola de administración del servidor DCM4CHEE, para este caso se efectuará la creación del rol admin el cual tienen acceso completo y está compuesto por otros subroles (user, audit, manager, etc.).

The screenshot shows the 'Details' tab of a user creation form for 'Adminpacs'. The form includes fields for ID (4962375d-0969-4f8e-8874-c7ceff118412), Created At (6/15/25 10:12:50 PM), Username (adminpacs), Email (adminpacs@gmail.com), First Name (Beronica), Last Name (Rojas), User Enabled (ON), Federation Link (ldap), Email Verified (OFF), Required User Actions (Select an action...), and Impersonate (Impersonate). At the bottom are Save and Cancel buttons.

Fig. 13. Creación del usuario administrador en la consola del servidor PACS

Para la creación de los demás usuarios, se sigue una lógica similar a la aplicada para el usuario de administrador, ajustando los permisos de acuerdo con la definición detallada en la sección “Definición y creación de roles”.

Como ejemplo, en la Fig. 14 se muestra una pantalla con los usuarios creados bajo el rol de especialistas.

The screenshot shows a table of users under the 'Users' tab. The table has columns for ID, Username, Email, Last Name, First Name, and Actions (Edit, Impersonate, Delete). The users listed are admin (ID: 57d81465-2085-4...), adminpacs (ID: 4962375d-0969-4f8e-8874-c7ceff118412), especialista-01 (ID: 5f41422d-61ab-4c...), especialista-02 (ID: bbaeb24f-087b-43...), and especialista-03 (ID: c53b671f-8ad0-4f...).

ID	Username	Email	Last Name	First Name	Actions		
57d81465-2085-4...	admin				Edit	Impersonate	Delete
4962375d-0969-4f8e-8874-c7ceff118412	adminpacs	adminpacs@gmail...	Rojas	Beronica	Edit	Impersonate	Delete
5f41422d-61ab-4c...	especialista-01	especialista-01@ik...		Especialista-01	Edit	Impersonate	Delete
bbaeb24f-087b-43...	especialista-02	especialista-02@ik...		Especialista-02	Edit	Impersonate	Delete
c53b671f-8ad0-4f...	especialista-03	especialista-03@ik...		Especialista-03	Edit	Impersonate	Delete

Fig. 14. Visualización de usuarios creados con rol de especialista

2.3.3.7 Asignación de roles a perfiles de admin y user

- Perfil: Administrador

En la Fig. 15 se muestra el proceso de asignación del rol de administrador (admin) al **usuario** denominado Adminpacs.

The figure consists of three screenshots. The top-left screenshot shows the 'Roles' section of the Keycloak interface, with 'admin' selected in the list. The top-right screenshot shows the 'Role Mappings' tab for the 'Adminpacs' user, with 'realm roles' 'auditing' and 'client roles' 'oviyam' mapped to the 'Available Roles' 'admin'. The bottom screenshot shows the Oviyam server configuration interface, with the 'servidor' tab active, displaying a table of servers. A red box highlights the 'actualizar' button in the bottom right of the configuration panel.

Fig. 15. Validación exitosa del usuario Adminpacs con privilegios de administrador

Como se evidencia, el visor Oviyam autentica y valida correctamente al usuario **Adminpacs** con el rol de administrador, lo que le otorga acceso completo a las funcionalidades del sistema, incluyendo la visualización, edición y gestión de estudios médicos.

- **Perfil: Usuario**

Igualmente, se llevó a cabo la asignación del rol de usuario estándar (user) al perfil llamado Especialista01, cuya función en el sistema se restringe al acceso y visualización de investigaciones médicas, sin privilegios administrativos.

The figure consists of three screenshots. The top-left screenshot shows the Keycloak 'Roles' page with the 'user' role selected. The top-right screenshot shows the 'Role Mappings' tab for the user 'Especialista-01', where the 'user' role is assigned. The bottom screenshot shows the Oviyam application interface, confirming the user has access restricted to consultation functions.

Fig. 16. Autenticación del usuario Especialista01 con acceso restringido como usuario user.

Como se ilustra en la Figura 16, después de autenticar al usuario Especialista01, el sistema confirma el papel otorgado, permitiéndole solo realizar funciones de consulta, manteniendo limitadas las alternativas de gestión y configuración del sistema.

CAPÍTULO 3

3. VALIDACIÓN Y RESULTADOS

3.1 Verificación y pruebas funcionales del sistema PACS

3.1.1 Acceso a interfaces del sistema

Para acceder a la interfaz principal del sistema PACS, se utiliza el siguiente enlace:

DCM4CHEE: <http://192.168.100.38:8080/dcm4chee-arc/ui>

Una vez ingresado, se despliega la pantalla inicial donde se puede navegar por las diferentes funciones del sistema, como la búsqueda de estudios, la gestión de imágenes médicas, usuarios, entre otros.

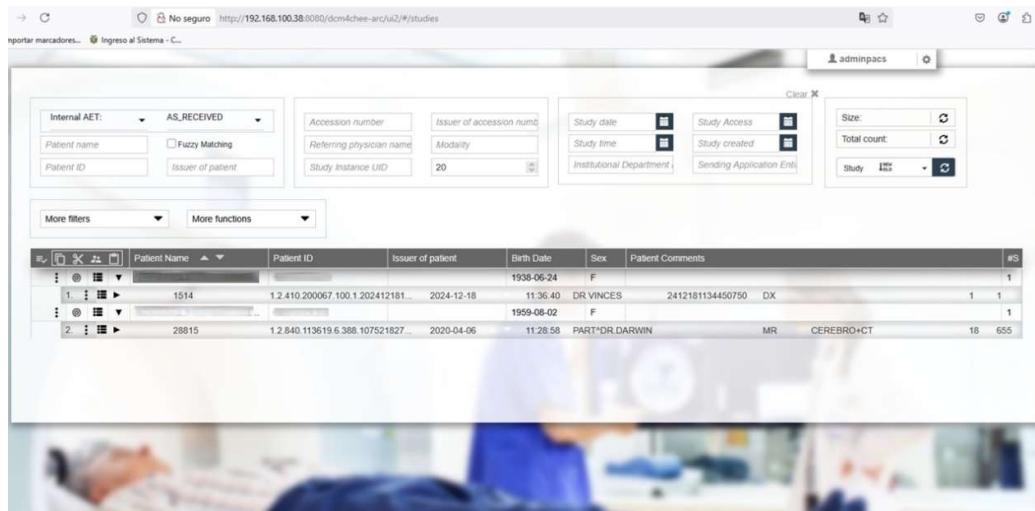


Fig. 17. Inicio de interfaz de DCM4CHEE

Posteriormente, al seleccionar un estudio, se puede acceder al contenido de los archivos en formato **DICOM (.dcm)**. En la siguiente imagen se muestra un archivo médico abierto, evidenciando la visualización de una imagen diagnóstica directamente desde la plataforma.



Fig. 18. Visualización de un archivo DICOM dentro de la plataforma DCM4CHEE

3.1.2 Acceso a Oviyam desde navegador

El visor médico Oviyam permite acceder y visualizar estudios en formato DICOM desde el navegador. Para ingresar, se utiliza el siguiente enlace:

URL: <http://192.168.100.38:8081/>

Al acceder a la plataforma, se presenta la interfaz inicial, la cual permite realizar búsquedas de estudios DICOM almacenados en el servidor PACS.



Fig. 19. Interfaz de acceso inicial del visor web Oviyam

3.1.3 Pruebas de Búsqueda y Visualización de Imágenes

- **Búsquedas.** - Una vez que se accede al visualizador DICOM, se pueden visualizar las imágenes médicas almacenadas en el sistema PACS. El software brinda la posibilidad de realizar diversos tipos de búsqueda, entre las cuales se incluyen: Por nombre del paciente, por número de identificación, por fecha del estudio o rango de fechas, por modalidad de imagen (por ejemplo: RX, CT, MR, US, etc) En nuestro caso nos enfocaremos a imágenes de rayos x, sin embargo, como prueba de visualización se cargó imágenes de otras modalidades comprobándose que el sistema si admite su visualización y manipulación), por tipo de estudio o descripción del procedimiento realizado y por número de serie o número de acceso del examen.

Como parte de la etapa de búsqueda de estudios en Oviyam, se realiza una consulta utilizando distintos criterios, tales como el nombre del paciente, número de identificación, o cualquier otro parámetro previamente descrito.

A continuación, se presenta una captura de pantalla a modo de ejemplo, en la cual —por motivos de confidencialidad y resguardo de datos personales— solo se visualizan parcialmente algunos identificadores del paciente, mostrando únicamente los primeros seis dígitos.

Esta imagen tiene como finalidad evidenciar que el sistema responde correctamente a las búsquedas realizadas, aunque la información completa del paciente haya sido deliberadamente ocultada para proteger su privacidad.

The screenshot shows the Oviyam SERVERPACS search interface. At the top, there are search fields for 'ID del paciente' (Patient ID) containing '0940224', 'Nombre del paciente' (Patient Name), 'fecha del estudio (Desde)' (Study Date From), and 'fecha del estudio (Hasta)' (Study Date To). Below these are filters for 'descripción del estudio' (Study/Procedure name) and 'Modality'. A table displays search results with columns: Patient ID, Patient Name, Gender, Study Date, Study Description, Modality, and Instances. The first row in the table is highlighted with a red circle around the 'Patient ID' value '0940224'.

Fig. 20. Resultado de búsqueda por Id del paciente (datos anonimizados)



Fig. 21. Resultado de búsqueda por nombre del paciente (datos anonimizados)

- **Visualización.** - Una vez realizada la búsqueda y seleccionado alguno de los resultados, el visualizador permite acceder al estudio correspondiente, mostrando las imágenes médicas asociadas. A modo de ejemplo, en la Fig. 20 se ilustran diversos estudios realizados.



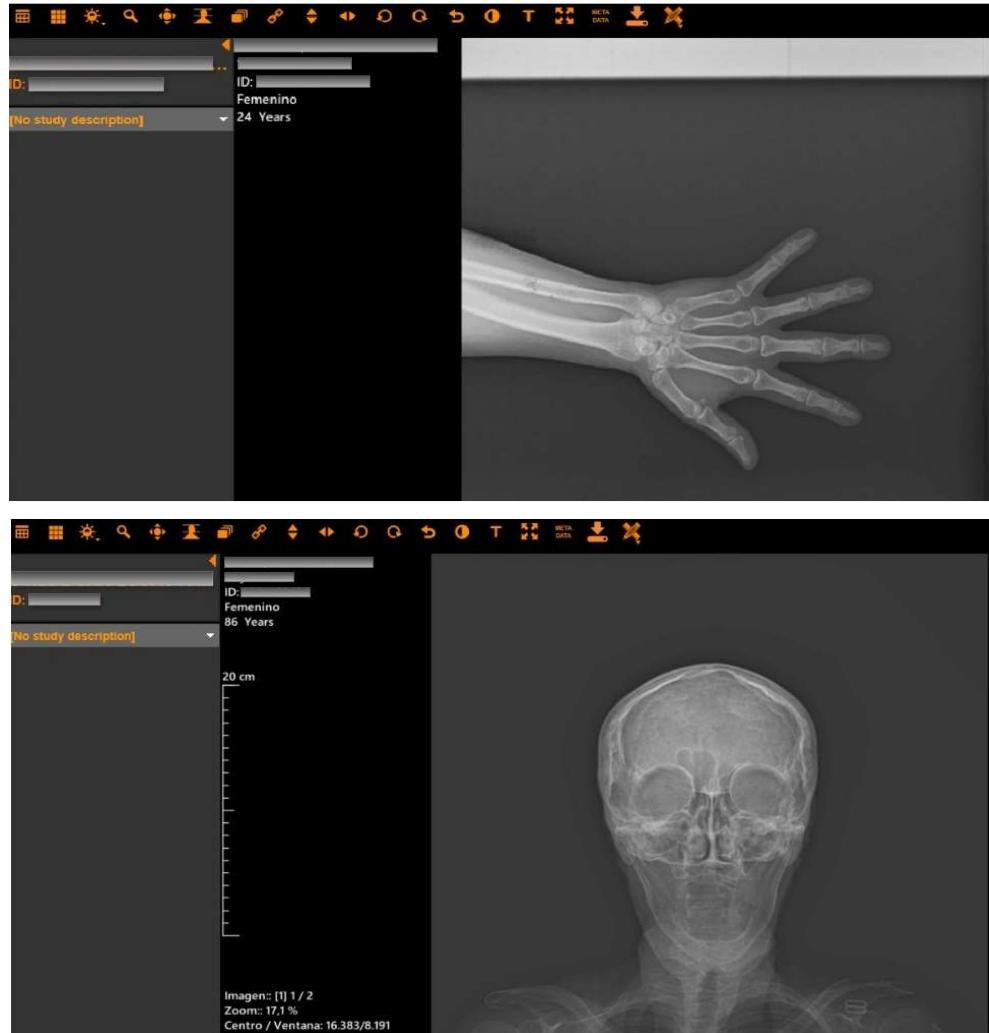


Fig. 22. Visualización de un estudio DICOM

- **Herramientas básicas de visualización.** - El especialista puede interactuar con las imágenes mediante herramientas básicas de visualización como zoom, desplazamiento, ajuste de brillo y contraste, mediciones, entre otras funciones que facilitan la interpretación clínica.

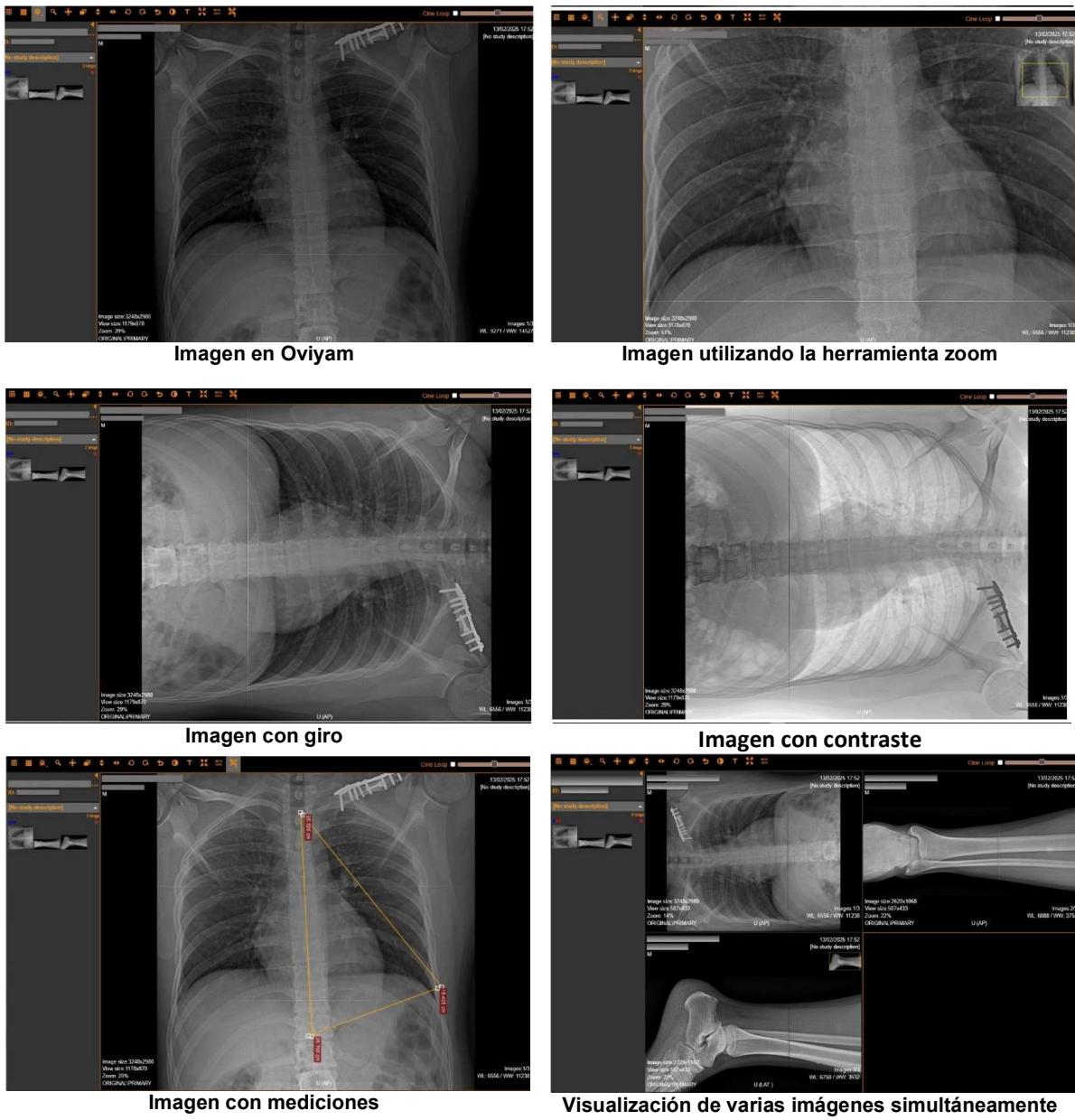


Fig. 23. Herramientas del visualizador OviYam

3.2 Pruebas funcionales – Check list

Con el objetivo de verificar el correcto desempeño del sistema PACS implementado en un entorno real, se efectuó un checklist estructurado por etapas, el cual contiene: carga de imágenes, almacenamiento, visualización de imágenes, búsqueda y recuperación de estudios, y gestión de usuarios. Cada una de estas etapas fue evaluada individualmente, evidenciándose que el sistema cumple con los requisitos funcionales previstos. El checklist empleado para esta validación se adjunta como Anexo 1 al presente documento.

Es importante mencionar que este proyecto brinda una solución a la falencia crítica de almacenamiento y distribución de imágenes radiológicas que existía inicialmente en un Hospital de primer nivel de atención. Actualmente, los médicos previamente configurados en el sistema tienen acceso directo a las imágenes en formato DICOM desde cualquier estación dentro de la red local, en cualquier momento, sin depender de procesos físicos o intermediarios.

Asimismo, se verificó que el sistema ofrece una arquitectura flexible, permitiendo la escalabilidad, tanto para la incorporación de nuevas modalidades de estudio (como tomografía o ecografía), como para la integración de un mayor número de usuarios y estaciones de trabajo en la red intrahospitalaria.

3.3 Encuestas de satisfacción

Como parte del proceso de verificación del sistema PACS, se hizo una encuesta de satisfacción a 100% del personal radiólogo. La encuesta tuvo tres partes: Evaluación del sistema, Experiencia del usuario, Problemas y Mejoras. Los resultados fueron generalmente positivos en casi todos los aspectos. Los usuarios destacaron que el sistema es fácil de usar, rápido para ver los estudios y permite el acceso a las imágenes en formato DICOM desde cualquier estación en la red local. En la sección de sugerencias, especialmente en la pregunta “*¿Qué mejoras consideraría necesarias en el sistema PACS?*”, los encuestados expresaron su interés en tener acceso remoto al sistema con la finalidad de compartir imágenes con otros profesionales, tanto locales como del extranjero, fomentando la

colaboración y el intercambio de conocimientos para beneficiar a la comunidad atendida. La encuesta empleada para esta actividad se adjunta como Anexo 2 al presente documento.

3.3.1. Análisis Cuantitativo de la encuesta aplicada

Etapa 1: Evaluación del Sistema

A continuación, se tiene una frecuencia de calificaciones por 3 médicos radiólogos en las 5 preguntas referentes a evaluación del sistema, del cual se desprende la Fig. 24

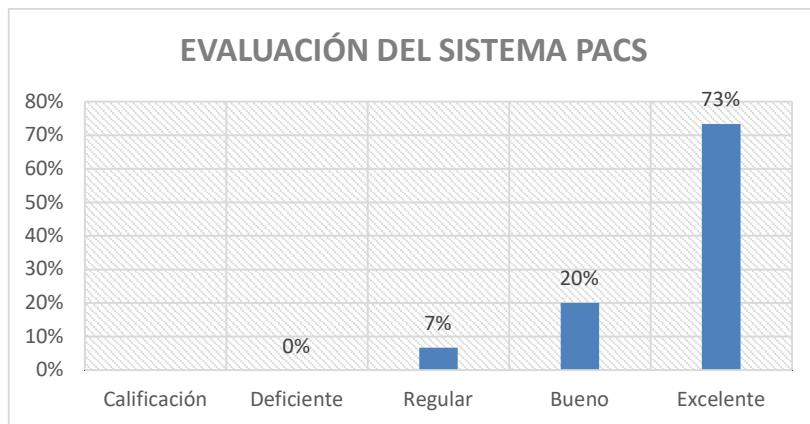


Fig. 24. Resultados de evaluación al sistema PACS

Como se puede notar, la gran parte de las respuestas se agrupan en la categoría de “Bueno” y “Excelente”, sumando un total de 3 puntos en bueno y 11 en excelente, lo que demuestra una aceptación mayoritaria de los médicos que participaron en la encuesta.

Respecto a la clasificación “Regular” solamente se obtuvo una respuesta para la pregunta ¿El sistema permite añadir o gestionar usuarios para que accedan y visualicen las imágenes médicas? Esta información indica una posible restricción en la accesibilidad del sistema, ya que se mencionó la necesidad de facilitar el acceso remoto a otros médicos fuera de la red local, lo que podía

ser un área por mejorar.

Es importante señalar que no se registraron respuestas en la categoría “Deficiente”, lo que indica una aceptación general y positiva del sistema por parte de los encuestados en esta fase de evaluación.

Etapa 2: Experiencia del Usuario

En relación con la experiencia de los usuarios con el sistema PACS, la Fig.25 refleja un alto grado de satisfacción: se obtuvieron 13 marcaciones como “Muy satisfactorio” y 2 como “Satisfecho”. Este resultado muestra que el sistema es considerado como sencillo e intuitivo de utilizar.



Fig. 25. Resultados de encuesta de experiencia del usuario

Asimismo, se proporcionó asistencia técnica adecuada para atender preguntas que surgieron durante su uso, lo que contribuyó de manera significativa a la experiencia positiva. En resumen, estos elementos no solo dejaron al usuario satisfecho con la implementación, sino que también establecieron al sistema como un recurso que mejora el trabajo diario del médico.

Etapa 3: Problemas y Mejoras

En esta fase final de la encuesta, se obtuvo que un 67% de los encuestados realizaron sugerencias de mejoras, la cual propone que el sistema ofrezca acceso remoto a usuarios que estén fuera de la red local, con el fin de promover una colaboración más efectiva entre los médicos que no se encuentren en la misma institución o red físicamente. Este resultado se refleja en la Fig. 26.

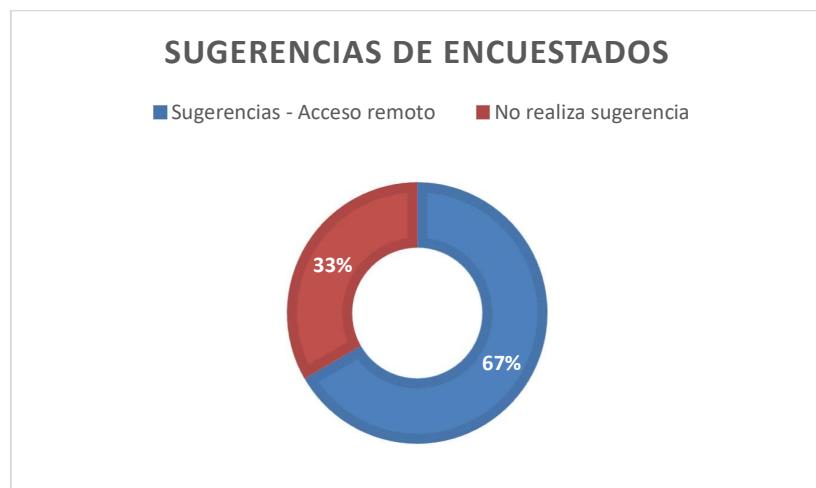


Fig. 26. Sugerencias de mejoras según encuestas

3.4 Análisis general de resultados

El análisis de los resultados enfocado en la etapa de validación del sistema PACS, revela que la implementación ha sido satisfactoria y de gran ayuda para el entorno clínico actual. En esta fase se confirmó que el sistema cumple adecuadamente con los procesos esenciales de un PACS básico, permitiendo la recepción de estudios desde el equipo de rayos X, su almacenamiento en el servidor, y la visualización web en OviYam, desde estaciones de la red local.

Complementariamente, se llevó a cabo una encuesta de satisfacción al 100% de los médicos radiólogos, en los que el resultado mostró una gran aceptación del

sistema, destacando la velocidad, accesibilidad instantánea a las imágenes médicas y facilidad de uso del sistema. En cuanto a mejoras sugeridas referente al acceso remoto para compartir estudios con expertos externos y fomentar el diagnóstico colaborativo, se puede decir que esta observación solo demuestra el interés que tiene el personal en utilizar el sistema a mayor escala.

En resumen, tanto la validación técnica como la retroalimentación de los usuarios corroboran que el sistema PACS implementado satisface los objetivos del presente proyecto, que es solucionar la deficiencia actual en cuanto a la gestión, almacenamiento, distribución y visualización de imágenes radiológicas. Si bien es cierto que el sistema corresponde a una implementación básica, un valor agregado importante es que su arquitectura y configuración permiten un desarrollo gradual hacia soluciones más avanzadas, como la integración de nuevas modalidades de imagen, acceso remoto seguro o sistemas de respaldo redundante, conforme a las necesidades y capacidades de la institución.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación del sistema PACS básico en el servicio de radiología ha permitido cubrir una necesidad latente en cuanto al almacenamiento, gestión, disponibilidad y visualización de imágenes médicas dentro de una red intrahospitalaria. Mediante el uso de software libre, y teniendo en cuenta la infraestructura existente, se consiguió crear una solución funcional y adaptada al centro médico de primer nivel de atención.

El estudio previo de las condiciones técnicas de la infraestructura permitió establecer de manera clara los requerimientos del sistema, lo cual facilitó el diseño de una arquitectura adecuada conforme a la realidad de la Entidad. La implementación del servidor DCM4CHEE, el uso de contenedores Docker, y el visualizador OviYam, demostró ser eficiente, funcional y adaptable a futuras necesidades.

Durante la validación, se comprobó que el sistema PACS se acopla eficientemente al flujo de trabajo clínico y responde a las necesidades operativas del servicio. El personal médico tuvo una experiencia positiva, resaltando la facilidad de uso y mejora en el acceso y organización de los estudios radiológicos. Las sugerencias de retroalimentación recogidas a través de las encuestas demostraron tanto el impacto favorable de la implementación como el interés del personal para el desarrollo de mejoras relacionadas con el acceso remoto, siendo así que el sistema actual puede ampliarse hacia versiones más completas conforme lo demande el servicio.

En este contexto, se concluye que el sistema PACS básico implementado para una Unidad de salud de primer nivel de atención, no solo cubre las demandas actuales del servicio de radiología, sino que también brinda un beneficio adicional al facilitar su expansión progresiva hacia configuraciones más robustas.

Como recomendaciones, se sugiere implementar una política de respaldo periódico de los estudios y base de datos, así como supervisar el incremento del volumen de imágenes para planificar futuras ampliaciones de almacenamiento. Además, se recomienda evaluar la incorporación de sistemas de seguridad de acceso remoto (VPN) y formar al personal en la utilización y gestión del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Costache, «PACS (Sistema de archivado y comunicación de imágenes) una guía completa,» medicai.io, 2024. [En línea]. Available: <https://www.medicai.io/es/pacs-sistema-de-archivado-y-comunicacion-de-imagenes-una-guia-completa>.
- [2] P. A. V. , E. C. M. ohana Alcívar López, «Salud Digital: Transformación de la atención médica ecuatoriana a través de tecnologías digitales,» RIEMAT, 2024.
- [3] Ministerio de Salud Pública, «Manual de Mantenimiento de infraestructura sanitaria y sus componentes, Acuerdo Ministerial N.º 00099-2020,» 2020. [En línea]. Available: <https://almacenamiento.msp.gob.ec/index.php/s/LKvfQPC8oc0d0rs?path=%2F1.%20NORMATIVA%20LEGAL>.
- [4] Ministerio de Salud Pública, «Manual de Gestión de mantenimiento de equipos biomédicos,» 2028. [En línea]. Available: https://instituciones.msp.gob.ec/images/Documentos/Manuales/manual_de_gestion_de_mantenimiento_de_equipos_biomedicos.pdf.
- [5] ADOBE, «Optimización de imágenes para el formato JPEG,» helpx.adobe.com, 2021. [En línea]. Available: <https://helpx.adobe.com/es/photoshop-elements/using/optimizing-images-jpeg-format.html>.
- [6] D. C. Castilla, «Radiography: Basics and Applications,» 04 diciembre 2024. [En línea]. Available: https://www.doctoralia.es/blog/radiografia-todo-lo-que-necesitas-saber?utm_source.
- [7] Northside Radiology Associates, «Imagenología y radiología,» medlineplus.gov, 7 enero 2023. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007451.htm>.
- [8] Radiological Society of North America, Inc, «TC del tórax,» radiologyinfo.org, 30 09 2024. [En línea]. Available: <https://www.radiologyinfo.org/es/info/chestct>.
- [9] Jason Levy, Northside Radiology Associates, Atlanta, «Ecografía abdominal,» medlineplus.gov, 15 7 2024. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003777.htm>.
- [10] Radiological Society of North America (RSNA), «RMN del cuerpo,» radiologyinfo.org, 2024) 08 (05. [En línea]. Available: <https://www.radiologyinfo.org/es/info/bodymr>.
- [11] R. Nanwani, «The Not-So-Perfect Picture: Understanding the Realities of JPEG Degradation,» imagekit.io, 2023. [En línea]. Available: <https://imagekit.io/blog/jpeg-image-degradation/>.

- [12] R. Mills, «The Metadata in JPEG files,» dev.exiv2.org, 2021. [En línea]. Available: https://dev.exiv2.org/projects/exiv2/wiki/The_Metadata_in_JPEG_files.
- [13] OVHcloud , «¿Qué es el formato JPEG?,» ovhcloud.com, 2025. [En línea]. Available: <https://www.ovhcloud.com/es/learn/what-is-jpeg/>.
- [14] H. K. Huang, «PACS and Imaging Informatics: Basic Principles and Applications, 2nd ed,» NJ, USA, Wiley-Blackwell, 2010.
- [15] Orthanc Team SA, «Orthanc en pocas palabras,» orthanc-server.com, 2024. [En línea]. Available: <https://www.orthanc-server.com/static.php?page=about>.
- [16] J. GmbH, «Gestión de imágenes de código abierto dcm 4 che,» dcm4che.org, 2024. [En línea]. Available: <https://web.dcm4che.org/>.
- [17] OffiDocs Group OU, «ClearCanvas para Windows,» onworks.net, 2024. [En línea]. Available: <https://www.onworks.net/es/software/windows/app-clearcanvas>.
- [18] Pixmeo, «La edición completa de OsiriX certificada para imágenes médicas,» osirix-viewer.com, 2025. [En línea]. Available: <https://www.osirix-viewer.com/osirix/overview/>.
- [19] Svitla Team, «Hybrid Cloud vs On-Premises: Making the Right Infrastructure Choice,» svitla.com, 2023. [En línea]. Available: <https://svitla.com/blog/hybrid-cloud-on-premises/>.
- [20] J. Valero, «Cómo funciona el almacenamiento en la nube híbrida,» blog.beservices.es, 2020. [En línea]. Available: <https://blog.beservices.es/blog/como-funciona-el-almacenamiento-en-la-nube-hibrida>.
- [21] Henar, «Imágenes Médicas: casos de estudio,» Origen diagnostico y traumatologia, 23 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.origensalud.com/imagenes-medicas/>.
- [22] C. Castilla, «Radiografía Todo lo que necesitas saber sobre esta técnica de diagnóstico,» doctoralia.es, 04 diciembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.doctoralia.es/blog/radiografia-todo-lo-que-necesitas-saber>.

ANEXO 1

CHECK DE PRUEBAS FUNCIONALES DEL PACS

1. Adquisición y envío de imagen DICOM (Modalidad RX)	
<input type="checkbox"/>	Existe conectividad entre el equipo de RX y el servidor PACS.
<input type="checkbox"/>	¿El sistema admite la carga de imágenes en formatos DICOM?
<input type="checkbox"/>	¿Se realizó correctamente el envío de estudios desde el equipo de RX al PACS?
2. Almacenamiento de Imágenes	
<input type="checkbox"/>	El estudio se almacenó correctamente y está disponible para su consulta posterior
<input type="checkbox"/>	Los metadatos asociados (ID de paciente, fecha, tipo de estudio, etc.) se almacenan junto con las imágenes.
<input type="checkbox"/>	El almacenamiento es persistente (los estudios no se pierden tras reiniciar el sistema)
3. Visualización de Imágenes	
<input type="checkbox"/>	El visor de imágenes se abre correctamente para todos los estudios almacenados.
<input type="checkbox"/>	Funcionalidades de visualización como zoom, rotación, ajuste de contraste y brillo funcionan correctamente.
<input type="checkbox"/>	Se pueden realizar mediciones sobre las imágenes (distancias, ángulos, áreas, etc.).
<input type="checkbox"/>	La calidad de imagen es suficiente para interpretación visual
<input type="checkbox"/>	El visor admite múltiples imágenes (e.g., comparación de estudios anteriores con actuales).
<input type="checkbox"/>	Se pueden exportar imágenes a otros formatos si es necesario.
4. Búsqueda y Recuperación	
<input type="checkbox"/>	El sistema permite búsquedas basadas en criterios como: Nombre del paciente, ID, Fecha de estudio, Tipo de modalidad
<input type="checkbox"/>	El sistema muestra resultados rápidos y correctos según los filtros aplicados
<input type="checkbox"/>	Es posible recuperar y visualizar estudios antiguos correctamente
6. Gestión de Usuarios y Seguridad	
<input type="checkbox"/>	Existe control de acceso basado en roles (administrador, radiólogo, técnico, etc.).
<input type="checkbox"/>	Los accesos están protegidos con credenciales
<input type="checkbox"/>	Se puede añadir o eliminar usuarios en el sistema PACS

ANEXO 2

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL PACS

DATOS GENERALES

Cargo que ejerce:

Frecuencia de uso del PACS: Diario Semanal Mensual Rara vez

EVALUACIÓN DEL PACS

Se evaluará utilizando la escala de 1 a 5, donde:

1 = Deficiente, 2 = Regular, 3 = Bueno, 4 = Excelente

Evaluación del sistema

1. Qué tan fácil le resulta utilizar el sistema PACS para visualizar estudios radiológicos?
 2. Cómo califica el tiempo que tarda el sistema en cargar y mostrar un estudio médico?
 3. La calidad de las imágenes visualizadas es adecuada para su interpretación diagnóstica?
 4. El sistema permite añadir o gestionar usuarios para que accedan y visualicen las imágenes médicas?
 5. ¿Cómo califica la estabilidad y rendimiento del sistema durante su uso (en cuanto a cierres inesperados, errores o lentitud)?

1	2	3	4

1=Nada Satisfecho. 2=Poco satisfecho. 3=Satisfecho. 4=Muy satisfecho

Experiencia del usuario

6. ¿ Le resulta fácil navegar por las opciones y herramientas del sistema PACS?
 7. ¿El visor permite realizar funciones básicas como: zoom, contraste, desplazamiento, de forma sencilla?
 8. ¿ Qué tan intuitivo le pareció el sistema para usuarios sin experiencia técnica?
 9. ¿Considera que el sistema implementado mejora la eficiencia en su trabajo?
 10. ¿Está satisfecho con el soporte técnico recibido para resolver problemas con el PACS?

1	2	3	4

Problemas y Mejoras:

11. ¿Ha experimentado algún problema técnico con el PACS?
(Marque todas las opciones que apliquen)

- Carga lenta de imágenes ()
- Errores en la visualización de imágenes ()
- Problemas de conectividad ()
- Interfaz difícil de usar ()
- Otros (especificar): _____

12. ¿Qué mejoras consideraría necesarias en el sistema PACS?

13. ¿Comentarios adicionales o sugerencias:
