



Desarrollo de un sistema de imágenes, archivos y comunicaciones radiológicas (PACS) mediante el protocolo DICOM e implementado con python.

Adrián Nicolás Guzmán Hernández

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

Desarrollo de un sistema de imágenes, archivos y comunicaciones radiológicas (PACS) mediante el protocolo DICOM e implementado con python.

Adrián Nicolás Guzmán Hernández

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

Ingeniero Biomédico

Director:

PhD. Sergio Andrés Díaz Salas

Línea de Investigación:

Telemedicina

Grupo de Investigación:

GIBIO

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2020

Dedico este trabajo a:

*Mis abuelitas Blanca margarita ríos y Yolanda
posso.*

Agradecimientos

A mis padres, por apoyarme en mi proceso de formación profesional y motivarme a seguir adelante; a mi hermana por su compañía y paciencia durante todo este proceso.

Agradezco a todos y cada uno de los docentes e ingenieros que estuvieron durante este proceso, en especial a mi tutor de tesis, el profesor Sergio Díaz, por guiarme en este trabajo de grado.

Resumen

Los sistemas de imágenes, archivos y comunicaciones radiológicas (PACS) son de vital importancia en la telemedicina, debido a que permiten el almacenamiento de información médica, en mayor medida imágenes de tipo DICOM; una gran parte de los PACS en el mercado emplean bases de datos privadas, por lo cual sus costos de implementación son elevados. La mayoría de instituciones de la salud cuentan con un sistema PACS, teniendo en cuenta esto el presente trabajo de grado busca implementar un sitio web con la funcionalidad de un PACS para uso educativo, debido a que permitirá fortalecer los conocimientos adquiridos de forma teórica por los estudiantes y darles una base académica con respecto al uso de este tipo de sistemas, que podrán ser de utilidad en su futuro entorno laboral. El PACS implementado utilizara tres componentes fundamentales: i) Base de datos en MySQL, ii) Lenguaje de programación Python (pynetDicom) y iii) HTML. Para la evaluación del software se utilizaron instrumentos de recolección de información (rubricas), estos fueron diligenciados por nueve voluntarios. Para analizar los resultados se obtuvieron los valores de puntuación media de opinión, desviación típica y coeficiente de variación de las áreas a evaluar; por medio de los valores obtenidos se estableció que las áreas relacionadas con la visualización de informes e imágenes de tipo DICOM presentaron los resultados más bajos, y se presenta una gran dispersión en la mayoría de áreas a evaluar, lo cual puede deberse a los diferentes enfoques de los voluntarios.

Palabras clave: PACS, bases de datos, DICOM, python, HTML, MySQL.

Abstract

Image, file and radiological communications systems (PACS) are of vital importance in telemedicine, because they allow the storage of medical information, to a greater extent DICOM-type images; a large part of the PACS on the market use private databases, which is why their implementation costs are high. The health institutions have a PACS system, taking into account this the present degree work seeks to implement a website with the function of a PACS for educational use, due to the fact that the knowledge acquired in a theoretical way by the students improved. and give them an academic foundation regarding the use of this type of system, which may be useful in their future work environment. The implemented PACS uses three fundamental components: i) MySQL database, ii) Python programming language (pynetDicom) and iii) HTML. Information collection instruments (survey) were used to evaluate the software, these were filled out by nine volunteers. To analyze the results, the mean opinion score values, standard deviation and coefficient of variation were obtained from the areas to be evaluated; Through the values obtained, it was established that the areas related to the visualization of reports and images of the DICOM type presented the lowest results, and there is a great dispersion in most areas to be evaluated, which may be due to the different approaches of The volunteers.

Keywords: PACS, databases, DICOM, python, HTML, MySQL.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XV
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XVI
1. Introducción	1
2. Planteamiento el problema.....	4
2.1 Problemática.....	4
2.2 Justificación	5
2.3 Objetivos.....	8
2.3.1 Objetivo general	8
2.3.2 Objetivos específicos	8
2.4 Alcance.....	8
3. Marco conceptual y teórico	9
3.1 DICOM (Digital imaging and Communications in Medicine)	9
3.1.1 Servicios DICOM.....	10
3.1.1.1 C – Echo (verificación)	10
3.1.1.2 C – Store.....	12
3.1.1.3 C – Find	14
3.1.1.4 C – Get	16
3.1.1.5 C – Move.....	17
3.1.1.6 Modality worklist.....	20
3.1.1.7 C – Cancel	20
3.1.2 Asociaciones DICOM	20
3.2 Telemedicina	21
3.2.1 Telemedicina a nivel internacional.....	21
3.2.2 Telemedicina en Colombia	23
3.3 PACS en el mercado	25
3.4 Python	26
3.4.1 Librerías python:	26
3.4.1.1 Flask	26
3.4.1.2 CV2.....	27
3.4.1.3 PynetDicom.....	27
3.4.1.4 mysql.connector	27
3.5 Bases de datos (MySQL).....	28

3.6	HTML	28
3.6.1	HTML en telemedicina	28
3.6.2	Bootstrap	29
4.	Planteamiento de la solución.....	30
4.1	Requerimientos del PACS	30
4.2	Metodología SCRUM.....	31
4.3	Diagrama de funcionamiento.....	34
4.4	Librería PynetDicom.....	36
4.4.1	Modificación de los parámetros en el transfer Syntax de los servicios.....	36
4.4.2	Cambio de los puertos e IP de destino.....	37
4.4.3	Parámetros de búsqueda y de retorno.....	38
4.4.4	Lectura de las imágenes en la base de datos.....	39
4.5	Base de datos MySQL.....	40
4.5.1	Creación de base de datos y tablas.....	40
4.5.2	Envío y retorno de la información.....	42
4.5.2.1	Imagen Dicom.....	43
4.5.2.2	Informe del usuario	43
4.6	Visualización	44
4.6.1	Imágenes DICOM	45
4.7	Página web	45
4.7.1	Diseño página web	46
4.7.2	Framework FLASK y HTML	46
4.8	Desarrollo de guías de apoyo (Laboratorios).....	50
5.	Resultados	51
5.1	Capturas de pantalla de la solución final.....	51
5.2	ISO 25000.....	55
5.3	Puntuación media de opinión (MOS).....	57
5.3.1	Formula de la MOS.....	57
5.4	Desviación típica	57
5.5	Coficiente de variación	58
5.6	Descripción de la población.....	58
5.7	Descripción de la encuesta: Diseño de rubricas de evaluación	60
5.8	Análisis de resultados de la rúbrica.....	60
6.	Conclusiones y trabajos futuros.....	67
6.1	Conclusiones.....	67
6.2	Recomendaciones para trabajos futuros	68
A.	Anexo: rúbrica diseñada para la recolección de información con respecto al PACS.....	69
B.	Anexo: Laboratorio 1	71
C.	Anexo: Laboratorio 2.....	73
	Bibliografía	75

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1.1: Componentes del PACS, imagen del autor.....	3
Figura 2.1: Grafica de cantidad de productos del conocimiento por organización en Colombia, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).....	7
Figura 3.1: Campos del C-Echo-Rq.....	12
Figura 3.2: Campos del C-Echo-Rsp.....	12
Figura 3.3: Campos del C-Store-Rq.....	13
Figura 3.4: Campos del C-Store-Rsp.....	14
Figura 3.5: Campos del C-Find-Rq.....	15
Figura 3.6: Campos del C-Find-Rsp.....	16
Figura 3.7: Campos del C-Get-Rq.....	17
Figura 3.8: Campos del C-Get-Rsp.....	17
Figura 3.9: Funcionamiento del servicio C-Move, tomada de (Pianykh, 2012).....	18
Figura 3.10: Campos del C-Move-Rq.....	19
Figura 3.11: Campos del C-Move-Rsp.....	19
Figura 3.12: Número de solicitantes de patentes versus su actividad inventiva entre 1970 y 2016, tomado de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).....	22
Figura 3.13: Año de publicación versus actividad inventiva de tres diferentes aspectos en la telerradiología, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).	22
Figura 3.14: Impacto a la industria con respecto a la actividad inventiva diversos aspectos de la telerradiología, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).....	23
Figura 3.15: Visualización de sitio web a base de HTML, tomado de (Krejcar et al., 2009).....	29
Figura 3.16: Ejemplo de sitio web diseñado junto con bootstrap, tomado de ('Bootstrap Themes Built & Curated by the Bootstrap Team.', n.d.).....	29
Figura 4.1: Diagrama con metodología SCRUM a seguir, imagen de autor.....	31
Figura 4.2: Diagrama de flujo PACS, imagen de autor.....	35
Figura 4.3: Visión general de la tesis de grado resaltando el componente "Python", imagen de autor.....	36
Figura 4.4: Contextos de presentación en el servicio C-Get, obtenidos al imprimir las características del AE del SCP – Get final, imagen de autor.....	37
Figura 4.5: Ejemplo comunicación entre dos equipos, imagen de autor.....	38
Figura 4.6: Parámetros retornados de una imagen Dicom, por medio del código diseñado en el servicio C-Mwl, imagen de autor.....	39

Figura 4.7: Comparación entre lectura por defecto (original de la librería) y la lectura diseñada para el PACS, imagen de autor.	39
Figura 4.8: Componentes PACS (MySQL), imagen de autor.....	40
Figura 4.9: Base de datos en MySQL y sus tablas, imagen del autor.....	40
Figura 4.10: Base de datos que contiene las imágenes Dicom, imagen del autor.	41
Figura 4.11: Base de datos que contienen los informes, imagen del autor.....	42
Figura 4.12: Parámetros para asociación con MySQL, imagen autor.....	42
Figura 4.13: Envío y retorno de imagen Dicom desde la base de datos, imagen de autor.	43
Figura 4.14: Envío y retorno del informe del usuario desde la base de datos imagen de autor.	44
Figura 4.15: Visualización imagen Dicom en el PACS desarrollado, imagen de autor....	45
Figura 4.16: Componentes PACS (HTML), imagen de autor.....	46
Figura 4.17: Parte 1: Diagrama de funcionamiento del PACS implementado, imagen del autor.	47
Figura 4.18: Parte 2: Diagrama de funcionamiento del PACS implementado, imagen del autor.	48
Figura 4.19: Parte 3: Diagrama de funcionamiento del PACS implementado, imagen del autor.	49
Figura 4.20: Parte 4: Diagrama de funcionamiento del PACS implementado, imagen del autor.	50
Figura 5.1: Pestaña inicial del sitio web, imagen del autor.	51
Figura 5.2: Plantilla de habilitación de servicios, función "Habilitar envío de imágenes (segura)" del Data Center, imagen del autor.	52
Figura 5.3: Condiciones de búsqueda de la función "Recibir imagen (segura)" del personal de la salud, imagen del autor.....	52
Figura 5.4: Respuesta del sitio a la búsqueda de una imagen por medio del servicio "Recibir imagen (segura)" , imagen del autor.	53
Figura 5.5: Respuesta del sitio a la búsqueda de una imagen por medio del servicio "Buscar información", imagen del autor.....	53
Figura 5.6: Interfaz de reportes imágenes, imagen del autor.....	54
Figura 5.7: Interfaz de reportes informes, imagen del autor.	54
Figura 5.8: Diagrama para implementación de las rubricas, en función de la ISO 25040, imagen de autor.	57
Figura 5.9: MOS en los aspectos de organización y presentación de la plataforma.	63
Figura 5.10: MOS en los aspectos de funcionalidad del PACS.	64
Figura 5.11: : MOS en los aspectos de visualización de la información.	65
Figura 5.12: MOS promedio en cada grupo, imagen del autor.	66

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3.1: Factores políticos, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).....	24
Tabla 3.2: Factores Socioeconómicos, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).....	24
Tabla 3.3: Factores Tecnológicos, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).....	25
Tabla 3.4: Clasificación de PACS en el mercado y características.....	25
Tabla 4.1: Requerimientos para el PACS diseñado, tabla del autor.	30
Tabla 4.2: Spints, revisión de los Sprints y resultados, tabla del autor.	32
Tabla 4.3: Parejas de funciones del sitio web.	49
Tabla 5.1: Descripción de la población encuestada.	59
Tabla 5.2: Resultados de las rubricas y valores de dispersión.	61
Tabla 5.3: Calificación MOS de cada aspecto en la rúbrica, tabla del autor.	62

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>AE</i>	Entidad de aplicación
<i>CT</i>	Tomografía computarizada
<i>DICOM</i>	Digital Imaging and Communication On Medicine (Imagen digital y comunicación en medicina).
<i>DIMSE</i>	Elementos del servicio de mensajes DICOM
<i>ECG</i>	Electrocardiografía
<i>HIS</i>	Sistema de información hospitalaria
<i>IOD</i>	Definiciones de objetos de información
<i>MOS</i>	Puntuación media de opinión.
<i>MWL</i>	Modality worklist (modalidad de lista de trabajo)
<i>PACS</i>	Sistema de comunicación y archivo de imágenes
<i>RIS</i>	Sistema de información radiológica
<i>RQ</i>	Request (solicitud)
<i>RSP</i>	Response (respuesta)
<i>SCP</i>	Servicio de clase proveedor
<i>SCU</i>	Servicio de clase usuario
<i>SOP</i>	Pares de objetos de servicio

1. Introducción

El sistema de imágenes, archivos y comunicaciones radiológicas (PACS) se ha vuelto un parte crucial para el adecuado funcionamiento de la telerradiología, esto se debe a que por medio de este sistema las instituciones de salud pueden tener un manejo ordenado y seguro de su información radiológica. En(Aldosari, Saddik, & Al Kadi, 2017) se observa que un sistema PACS incrementa la productividad en el área de la salud, principalmente en radiología, dado que un facilita el almacenamiento, la transmisión y visualización de la información médica de los pacientes.

En Colombia, la telerradiología ha cobrado relevancia y se ha regulado mediante la resolución 2654 de 2019 donde se plantean los deberes de las instituciones o empresas que ejercen este tipo de actividades (PROTECCIÓN, 2019). Con el fin de atender los requerimientos de dicha resolución, las instituciones de salud han implementado el estándar DICOM, el cual tiene validez internacional y se utiliza para transmitir, guardar, recuperar, imprimir, procesar y visualizar imágenes médicas. De hecho, en el Hospital Universitario Sahlgrenska (SU), en Gotemburgo, se implementó un sistema PACS basados en el estándar DICOM, dando como resultado una mejora en el servicio (Kurspahić, Gustavsson, & Carlsson, n.d.).

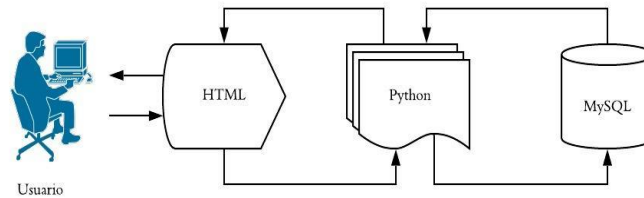
DICOM no es el único estándar de transferencia de información médica, aunque si es uno de los más reconocidos; otro estándar ampliamente utilizado es HL7 el cual permite el intercambio y recuperación de información electrónica entre distintos servicios en el ámbito de la salud, pero a diferencia de DICOM está dirigido a datos textuales o alfanuméricos('Health Level Seven International - Homepage | HL7 International', n.d.); en el artículo (Šumak, Štumpfl, & Pušnik, 2015) se implementa la comunicación del PACS/RIS (Sistema de información radiológica) con el Sistema de información hospitalaria (HIS) por medio del estándar HL7, para mejorar el procesamiento automatizado de la práctica de atención médica; esta implementación se realizó por medio de dos etapas, en la primera

se reúnen la información en la base de datos PACS/RIS y en la segunda se crean y envían mensajes bajo el estándar HL7 al HIS cuando se detecta un pedido electrónico del mismo.

La mayor ventaja de DICOM frente a HL7 es su servicio Modality Worklist (Oosterwijk, 1998), el cual permite el intercambio de listas de trabajo entre el servidor y los equipos biomédicos. Las listas de trabajo facilitan el flujo de trabajo, evitan errores humanos y permiten conocer los antecedentes médicos de los pacientes.

Para la implementación del estándar DICOM, Python cuenta con la librería llamada pynetDicom ('Documentación de pynetdicom - documentación de pynetdicom 1.4.1', n.d.), la cual facilita la comunicación entre los usuarios (SCU) y los proveedores (SCP), adicional a esto, permite llevar a cabo la ejecución de diversos servicios, entre los que se encuentran:(Pianykh, 2012)

- **C-Echo**, se utiliza para verificar la conectividad entre dos entidades de aplicación (AE).
- **C-Storage**, se encarga de guardar imágenes de tipo DICOM entre los usuarios.
- **C-Find**, se encarga de buscar datos DICOM específicos, dependiendo de los criterios de búsqueda.
- **C-Get**, ayuda a recuperar una imagen médica en función de la información de paciente.
- **C-Move**, su función es mover imágenes médicas. Es un servicio similar al C-get, pero C-Move cuenta con una mayor seguridad, ya que tiene una lista de usuarios seguros a los que les puede mandar información; si un usuario no está en dicha lista no se realizara el envío de los datos.
- **C-Cancel**, permite cancelar un servicio de manera inmediata;
- **Modality Worklist**, se encarga de precargar la lista de pacientes, su información y horarios establecidos. En algunos casos la información de la lista de pacientes es cargada desde un sistema de información radiológica (RIS) al proveedor de modality worklist.

Figura 1.1:Componentes del PACS, imagen del autor.

Por lo tanto, este trabajo pretende implementar un PACS que cuente con los servicios anteriormente mencionados: C-Echo, C-Storage, C-Find, C-Get, C-Move, C-Cancel y modality worklist. En otras palabras, el objetivo es implementar un PACS que sea capaz de proveer servicios básicos de almacenamiento, transmisión y visualización de información médica usando el estándar DICOM. La implementación del PACS se realizará a través de software libre como HTML, python y MySQL (Figura 1.1).

Los usuarios directos del PACS serán los estudiantes de las materias telemedicina y bioinstrumentación II: imágenes médicas de la Universidad Antonio Nariño, esto se debe a que en dichas asignaturas se estudian los sistemas de comunicación que permiten prestar servicios de medicina entre actores remotos. Específicamente, en estas asignaturas se estudia la concepción, el diseño, la implementación y la operación de PACS. Teniendo en cuenta lo anterior, la herramienta de software diseñada en el trabajo de grado va a ser integrada a estas clases con el fin de que los estudiantes puedan interactuar con un PACS para facilitar el entendimiento del mismo.

2. Planteamiento el problema

2.1 Problemática

Los PACS o Sistemas de Imágenes, Archivos y Comunicaciones Radiológicas son un sistema de almacenamiento de imágenes y archivos médicos, cuya implementación en las instituciones hospitalarias es fundamental para la organización de la información de cada uno de los pacientes atendidos. Actualmente, los PACS que se encuentran disponibles en el mercado colombiano presentan un costo de adquisición elevado, como se observa en la Tabla 3.4. En varios casos, dicho costo no puede ser asumido por las instituciones hospitalarias debido a que no cuentan con la capacidad financiera para la adquisición de estos servicios.

Según la Superintendencia de Industria y Comercio (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018), la falta de financiación en este campo es uno de los factores que retrasa el avance e innovación de las entidades de salud, debido a que la implementación de los sistemas PACS trae beneficios para las instituciones tales como:

- Reducción en los tiempos de entrega y análisis de información médica.
- Mayor capacidad de almacenamiento por parte de la institución.
- Disponibilidad de acceso a la información en todo momento.
- Seguridad en el almacenamiento de datos médicos.
- Disminución de costos de infraestructura.

Actualmente y con el auge de las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TICs) se hace necesario que las instituciones universitarias cuenten con materias en las que se impartan conocimientos sobre la Telesalud y los procesos de sistemas PACS. Este es el caso de la Universidad Antonio Nariño en la carrera de Ingeniería Biomédica específicamente en las materias de Telemedicina y Bioinstrumentación II: imágenes médicas, dichos cursos presentan la información sobre los PACS en forma de cátedra, es decir, no se realiza una contextualización práctica sobre este tema, esto puede influenciar en el proceso de enseñanza de los estudiantes, debido a que el aprendizaje es la combinación de varios componentes, y como se menciona en el artículo (Villalobos, 2003)

uno de los componentes vitales en este proceso son las actividades de enseñanza, las cuales facilitan el desarrollo del aprendizaje por medio de actividades y recursos.

Teniendo en cuenta la importancia de los PACS en el ámbito hospitalario y el ámbito académico, con este proyecto se busca diseñar e implementar un software que permita a los estudiantes del programa de Ingeniería Biomédica de la Universidad Antonio Nariño interactuar con un PACS en tiempo real, esto con el fin de permitirles aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en las materias de Telemedicina y Bioinstrumentación II. El generar interacciones con un PACS en el proceso de formación académica permitirá que los estudiantes establezcan una base con respecto al uso de este tipo de sistemas, lo cual podrá ser de utilidad en su futuro entorno laboral.

2.2 Justificación

La necesidad de almacenar datos de tipo hospitalario ha llevado a diversas instituciones de salud a adquirir sistemas de imágenes, archivos y comunicaciones radiológica (PACS), los cuales les permiten a las instituciones almacenar, transmitir y visualizar dichos datos de forma eficiente. De acuerdo con (Silva, Costa, & Oliveira, 2012) la implementación de una arquitectura PACS con almacenamiento en la nube genera beneficios económicos y facilita la escalabilidad del sistema.

El número de PACS que se encuentran actualmente en el mercado internacional es elevado. Por ejemplo, podemos mencionar el caso de Medisoft Clinical EMR ('Medisoft Clinical Electronic Medical Records', n.d.), el cual es un software encargado de guardar distintos datos del paciente, como por ejemplo, citas médicas, informes y otras clases de información. Medisoft Clinical EMR funciona por medio de un software propietario el cual se debe instalar en los equipos del hospital. Sin embargo, este servicio carece de conectividad con la nube, lo cual limita su funcionalidad.

Aunque diversos PACS en el mercado cuentan con los servicios pertinentes y su interacción es amigable con el usuario, no todas las instituciones de salud los pueden adquirir por sus elevados costos. Por ejemplo, el PACS de nombre Qualifacts CareLogic Software ('Qualifacts | Behavioral Health & Human Services EHR Software', n.d.) es una plataforma de registros para el área de la salud, que cuenta con servicios como programación de

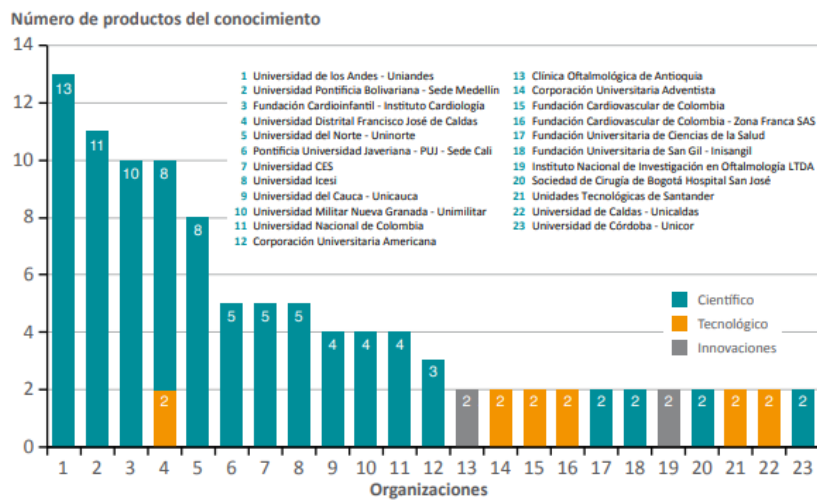
tratamientos, visualización de la información y almacenamiento en la nube. Es importante resaltar que Qualifacts CareLogic incluye la infraestructura de los centros de datos y el software de los mismos, lo cual aumenta su costo.

La mayoría de PACS comerciales son de código cerrado, esto quiere decir que el código de programación no es disponible para el público en general. Sin embargo, algunos autores han desarrollado PACS de código abierto, como se evidencia en (Cardozo, Rotger, Solarz, Salas, & Olivera, 2014). Este artículo implementa un PACS que almacena y transmite imágenes de tipo DICOM de un punto a otro. La principal desventaja de este PACS es la pérdida de calidad de la imagen DICOM, dado que la imagen DICOM es convertida en otro formato dando lugar a pérdida de información. Adicionalmente, este PACS no presenta una variedad de servicios adecuada. El tipo de servicios que presta un PACS es importante, como se puede observar en el artículo (Gale & Gale, 2000) donde resaltan la importancia del servicio DICOM Modality Worklist para mejorar la productividad, o en el (Kaspar et al., 2020) donde el servicio C-Find es útil para la extracción de metadatos DICOM del servidor PACS. Vale la pena resaltar que la cantidad de servicios en un PACS es proporcional a su valor comercial. En el artículo (Silva, Costa, & Oliveira, 2013) realizan un PACS bajo el estándar DICOM, en el cual varias instituciones de salud tienen la posibilidad de compartir datos sobre pacientes. El estudio concluye que este método se podría implementar en cualquier estructura PACS/DICOM disponible actualmente. Sin embargo, el inconveniente de este artículo es que necesita contar con una base de datos con una gran capacidad de almacenamiento, lo cual genera costos elevados para algunas instituciones.

En Colombia existen varias empresas prestadoras de uno o más servicios de telemedicina, aproximadamente 35 entidades según (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018), esto evidencia la importancia que se le está dando a la telemedicina en el país; además de estas empresas, los principales generadores de productos en telemedicina son universidades colombianas que están adoptando la telemedicina como una tecnología innovadora y de interés en el futuro. Teniendo en cuenta que los principales generadores de productos relacionados al campo de la telerradiología son las universidades o instituciones educativas (figura (2.1)), la idea de implementar un software en el cual los estudiantes puedan interactuar con un sistema PACS en las materias de telemedicina y bioinstrumentación II, busca beneficiar el desarrollo del aprendizaje por medio de actividades de enseñanza, las cuales generan resultados positivos en los procesos de adquisición y permanencia de la información por parte de los estudiantes; como se

menciona en el artículo (Villalobos, 2003) donde se resaltan los recursos interactivos como un factor crucial en el proceso de aprendizaje y formación de los estudiantes. Este tipo de metodología de enseñanza por medio de simulaciones o programas interactivos se ha implementado en algunas instituciones con el fin de facilitar el aprendizaje de los estudiantes, esto queda en evidencia en el artículo (Alfonso-Mora et al., 2018) donde se realizó una revisión bibliográfica de simulaciones como un apoyo de aprendizaje, en este artículo llegaron a la conclusión que las simulaciones como herramientas de aprendizaje permitían mejorar diversas habilidades del profesional en formación, debido a que el estudiante por medio de las simulaciones se iba adaptando a los entornos con los que podría interactuar al terminar su proceso formativo.

Figura 2.1: Grafica de cantidad de productos del conocimiento por organización en Colombia, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).



2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Implementar un sistema de imágenes, archivos y comunicaciones radiológicas (PACS) basado en el estándar DICOM.

2.3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar los servicios de transmisión y almacenamiento de imágenes radiológicas en el PACS.
- Implementar la visualización y generación de reportes en el PACS.
- Evaluar la funcionalidad del PACS por medio de un instrumento de recolección de información.

2.4 Alcance

El alcance de este proyecto será implementar un PACS basado en el estándar DICOM y su interfaz, buscando beneficiar a los estudiantes de la asignatura telemedicina. Aunque como se menciona anteriormente en la actualidad se están implementando sistemas PACS/RIS, el alcance de este proyecto no abarca la implementación o la comunicación del PACS con un sistema RIS. Se realizará la evaluación de una manera cuantitativa mediante una rúbrica, ya que debido a la pandemia no se cuenta con un espacio o laboratorio que albergue varios equipos con los que se pueda probar distintos parámetros de manera cuantitativa.

El PACS se dejará corriendo en los computadores de la facultad (bloque 8), sala de computo 701, debido a que el almacenamiento del PACS en un servidor externo se sale del alcance de este proyecto, por sus costos.

3. Marco conceptual y teórico

Este capítulo se divide en seis secciones: 3.1) Se habla sobre la teoría de DICOM, sus servicios y las componentes de estos; 3.2) Se mencionan que es la telemedicina e información sobre telemedicina a nivel internacional y en Colombia; 3.3) Un resumen de las ventajas, desventajas y precios de algunos PACS en el mercado; 3.4) Se explica que es python y las librerías que se utilizaron en este trabajo de grado; 3.5) Que es MySQL y 3.6) Se habla de HTML, complementos y su uso en la telemedicina.

3.1 DICOM (Digital imaging and Communications in Medicine)

DICOM es conocido principalmente por ser el formato de imágenes médicas más utilizado a nivel mundial, pero además de esto es un protocolo de transferencia, almacenamiento y visualización de datos médicos, que ayudo a el mejoramiento de la medicina digital moderna.

Este protocolo tiene definidos una serie de términos los cuales se establecieron para facilitar la utilización del mismo, a continuación, se mencionan los términos básicos necesarios para entender el protocolo DICOM.

- **DICOM Information Object Definitions (IODs):**

Corresponden a los datos o información relevante relacionada al objeto de interés, ya sean estos pacientes, imágenes, estudios, etc.; un ejemplo del IOD de una imagen seria la modalidad del examen al que corresponde la imagen, el tamaño, la fecha, la posición del paciente, etc., los datos que se encuentran almacenados en una imagen DICOM variados dependiendo de la modalidad del examen.

- **Application Entities (AEs)**

Es la identificación o nombre que se le da a una aplicación o programa DICOM para identificarlo de manera exclusiva, teniendo en cuenta esto es recomendable tener un nombre diferente para cada AE, ya que al realizar asociaciones o comunicaciones entre distintos Aes puede ocurrir algún problema.

- **Servicios de clase usuario (SCU) y Servicios de clase proveedor (SCP)**

Un AE puede desempeñar distintas funciones, ya sea solicitando un servicio (SCU) o siendo el proveedor de uno (SCP), en algunos casos un AE puede llegar a ser tanto solicitando como un proveedor de servicios, esto dependerá de la función que se le desea dar al AE.

- **DICOM Message Service Elements (DIMSE)**

Son comandos de servicio utilizados en la solicitud o envío de información; estos comandos se dividen en dos clases, la primera envía una solicitud de cualquier tipo desde un SCU, mientras la segunda clase se encarga de dar respuesta a dicha solicitud SCP; un ejemplo de esto puede ser el envío de un paquete, la primera clase envía dicho paquete a la ubicación de la segunda clase, la segunda clase tiene el trabajo de informar a la primera si llegó el paquete y en qué estado o en el peor de los casos que no llegó el paquete.

- **Service Object Pairs (SOPs)**

Para poder utilizar correctamente los comandos de servicio (DIMSE) es necesario una serie de datos que correspondan a la función del servicio, para esto se implementan los pares de objeto de servicio (SOPs) los cuales son la asociación de diversos servicios con objetos IOD.

3.1.1 Servicios DICOM

3.1.1.1 C – Echo (verificación)

La SCU de Verificación envía una solicitud de Verificación (C-Echo-Rq) a otra aplicación. Si ese otro dispositivo está conectado correctamente y es compatible con Verificación SCP, responde con un C-Echo-Rsp para confirmar que está conectado.

La SCU de Verificación le pregunta a su compañero: "¿Entiendes lenguaje DICOM? y espera escuchar un "Sí. entiendo lenguaje Dicom". Pero si el SOP de verificación falla pueden ocurrir dos situaciones.

- a. Tiene un error de conectividad de red, como un cable de red desconectado, una dirección IP incorrecta, comunicación bloqueada (firewall), tiempo de inactividad de la red o un problema similar. Para solucionar problemas, asegúrese de que sus AA estén conectados en red correctamente y que pueda hacer ping a un AE desde el otro.
- b. La red está bien, pero la configuración DICOM es incorrecta. Esto generalmente significa que uno de los dos dispositivos de comunicación DICOM no conoce la dirección IP, el puerto o el título DICOM correctos del otro dispositivo. Si alguno de estos parámetros es incorrecto, el AE C-Echo-Rq que envía simplemente está tocando la puerta equivocada.

En la mayoría de interfaces DICOM debe existir algún botón de verificación que asegura que el dispositivo remoto aún se encuentre disponible para DICOM. Si en este proceso algo sale mal, se debe solucionar el problema con el SOP de verificación.

IOD C-Echo:

El SOP de verificación no transmite datos de imágenes ni información confidencial lo que se traduce en que no se puede utilizar para robar información propia o externa, entonces es una unidad confiable y segura de utilizar.(Pianykh, 2012)

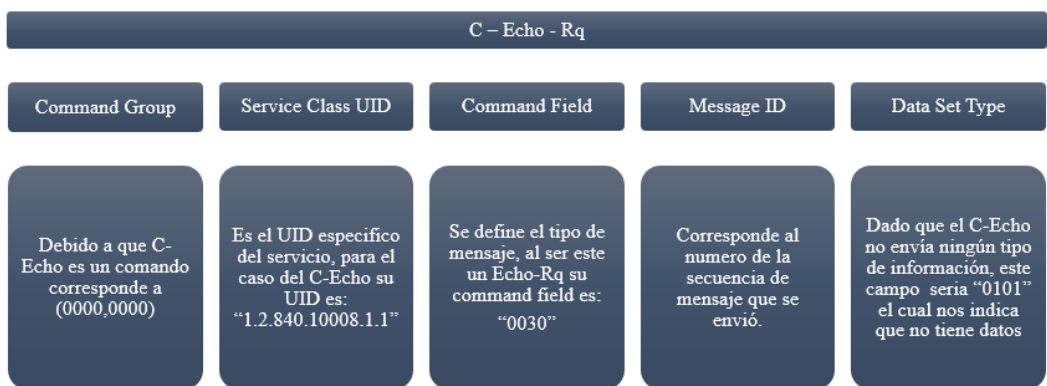
DIMSE C-Echo:

Se encarga de enviar una solicitud (enviada desde la SCU de C-Echo) y una parte de respuesta (respondida desde el SCP de C-Echo). El contenido de estos dos mensajes está establecido en el protocolo Dicom, a continuación, se mencionan los campos de cada uno y su función.

- C – Echo- Rq

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.1 donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Pianykh, 2012).

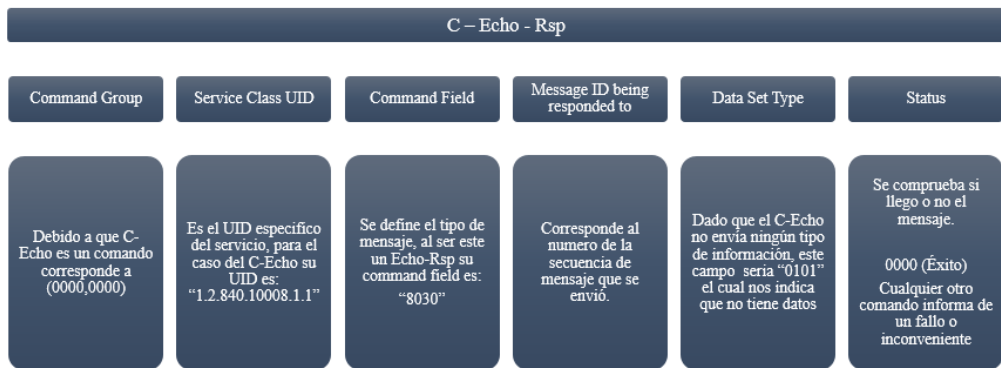
Figura 3.1: Campos del C-Echo-Rq.



- C – Echo – Rsp

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.2 donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Piankyh, 2012).

Figura 3.2: Campos del C-Echo-Rsp



3.1.1.2 C – Store

El c-store (SOP Storage) es el responsable de mover algunos datos entre ellos las imágenes DICOM entre los Application entity (AE). Envía estos objetos de datos DICOM de un AE a otro a través de una red DICOM, el almacenamiento DICOM se puede usar para diferentes tipos de datos como imágenes, formas de onda, informes, entre otros.

IOD C-Store:

Contiene los datos que se desean enviar o almacenar, se debe definir qué tipo de datos se va a utilizar para definir el UID del SOP Store. Si necesita almacenar varias imágenes, cada imagen se transmite con su propia solicitud de C-Store por separado. Lo que significa que no se pueden agrupar varias IOD en una sola C-store.

Estas series siempre se procesarán con una nueva C-store para cada imagen lo que genera ciertos gastos en procesamiento y comunicación, pero también asegura el éxito de cada transmisión mediante tres mensajes: Pendiente, fallido o enviado con éxito.

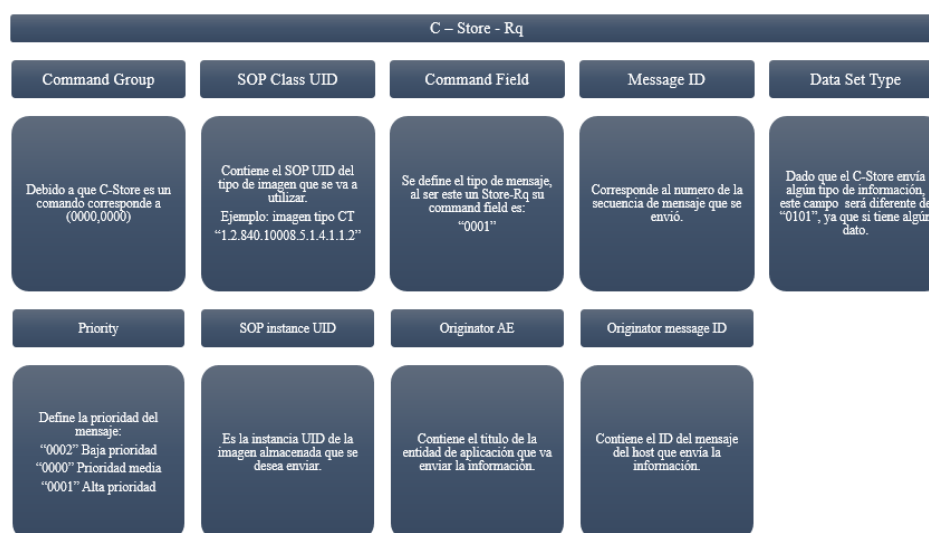
DIMSE C-Store:

Se encarga de instruir al AE que acepta imágenes sobre lo que debe hacerse. Al igual que C-Echo, C-Store tiene una parte de solicitud (enviada desde la SCU de C-Store) y una parte de respuesta (respondida desde el SCP de C-Store) (Pianykh, 2012), El contenido de estos dos mensajes está establecido en el protocolo Dicom, a continuación, se mencionan los campos de cada uno y su función:

- C – Echo – Rq:

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.3, donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Pianykh, 2012).

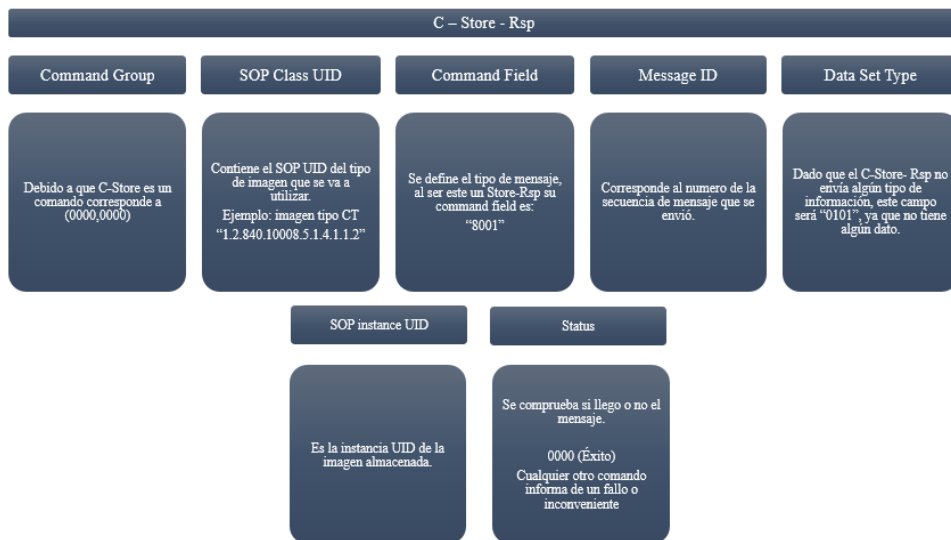
Figura 3.3: Campos del C-Store-Rq.



- C – Echo – Rsp

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.4, donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Piankyh, 2012).

Figura 3.4: Campos del C-Store-Rsp.



3.1.1.3 C – Find

El servicio C-Find (SOP Find) permite buscar datos DICOM específicos, dependiendo de criterios específicos de búsqueda, establecidos los cuales están establecidos en el protocolo Dicom.

IOD C-Find:

El protocolo Dicom estableció algunos criterios de búsqueda para facilitar al usuario la búsqueda de información de interés, a continuación, se explican estos criterios:

- Wild card Matching (*): busca todos los posibles resultados.
- Wild card Matching (?): busca todos los posibles resultados que se puedan obtener al complementar el dato que no se desconoce.
- List matching (\): encuentra todos los posibles resultados en los que se encuentren alguno de los datos de búsqueda
- Universal matching (*): toma todos los nombres posibles.
- Range Matching (-): buscar rangos de días, meses y años.
- Sequence matching (AND): busca distintos parámetros al tiempo

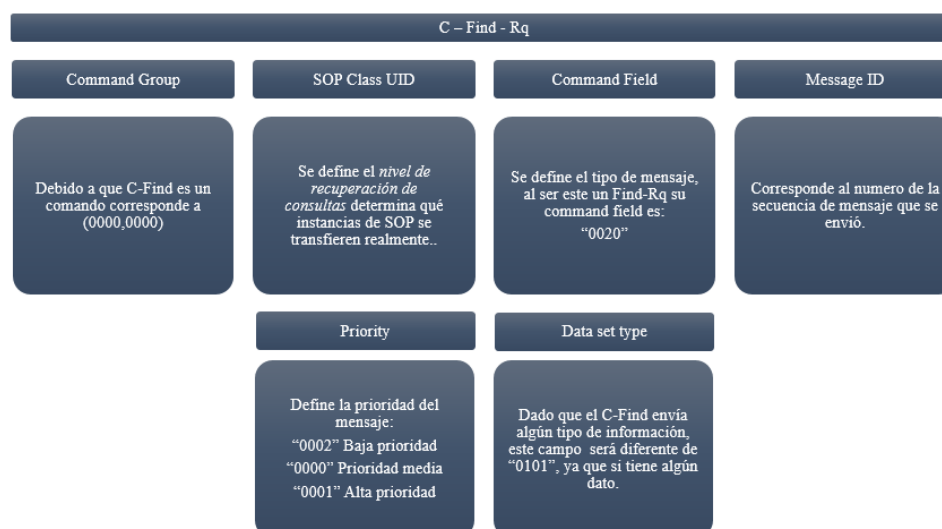
DIMSE C-Find:

Se encarga de instruir al AE que realiza el criterio de búsqueda el que hacer. Al igual que los otros servicios tiene una parte de solicitud (enviada desde la SCU de C-Find) y una parte de respuesta (respondida desde el SCP de C-Find) (Pianykh, 2012), El contenido de estos dos mensajes está establecido en el protocolo Dicom, a continuación, se mencionan los campos de cada uno y su función:

- C – Find – Rq

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.5, donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Pianykh, 2012).

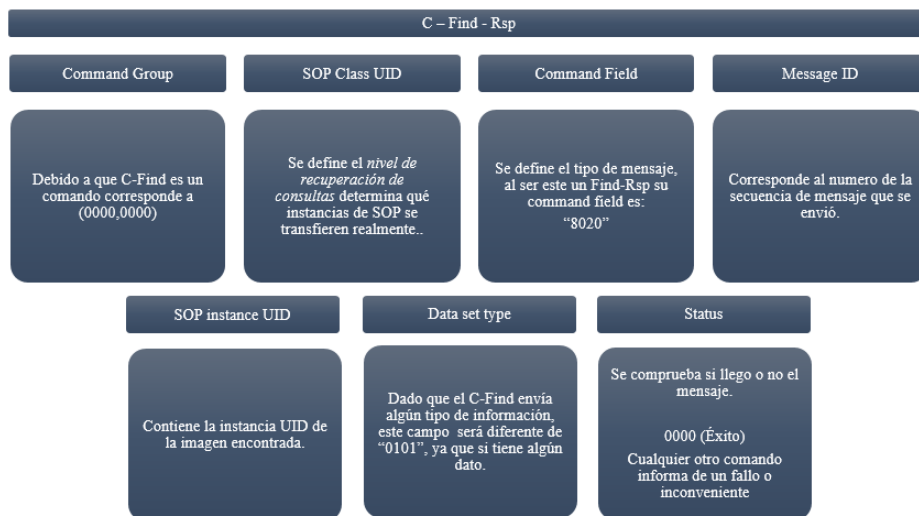
Figura 3.5: Campos del C-Find-Rq



- C – Find – Rsp

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.6 donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Pianykh, 2012).

Figura 3.6: Campos del C-Find-Rsp



3.1.1.4 C – Get

El SOP C-Get transmite los atributos de búsqueda para las imágenes que serán recuperadas, este servicio es la unión de los servicios C-Find y C-store.

IOD C-Get:

Contiene los atributos de búsqueda de las imágenes y sus datos. Los valores de la búsqueda deben ser exactos (Single value Matching), estos parámetros son mencionados en el servicio C-Find anteriormente.

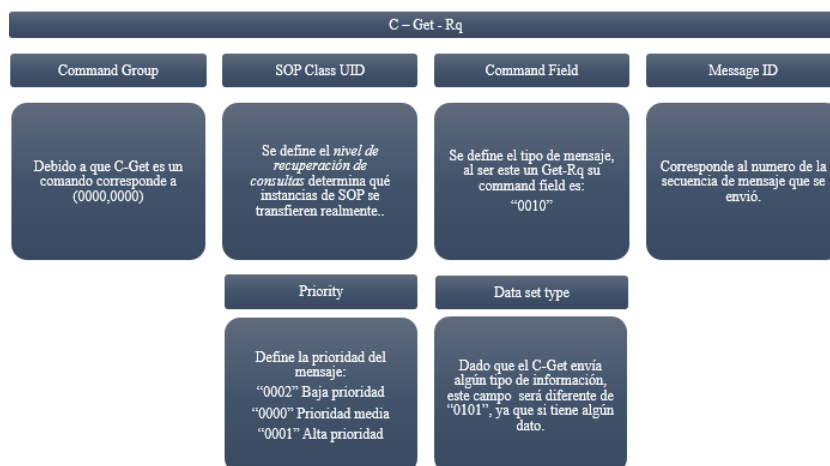
DIMSE C-Find:

Se encarga de instruir al AE que realiza el criterio de búsqueda el que hacer. Al igual que los otros servicios tiene una parte de solicitud (enviada desde la SCU de C-Get) y una parte de respuesta (respondida desde el SCP de C-Get) (Pianyk, 2012), El contenido de estos dos mensajes está establecido en el protocolo Dicom, a continuación, se mencionan los campos de cada uno y su función:

- C- Get – Rq

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.7 donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Pianyk, 2012).

Figura 3.7: Campos del C-Get-Rq.

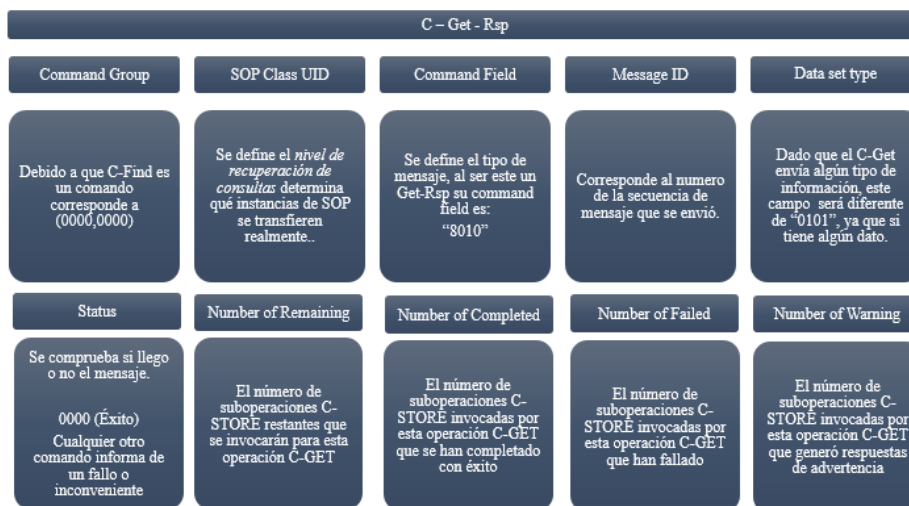


Como se observa en la Figura 3.7, el contenido de los campos del C-Get-Rq y el C-Find-Rq es casi el mismo solo cambia el command field ya que este es el propio de este servicio.

- C- Get – Rsp

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.8 donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Pianykh, 2012).

Figura 3.8: Campos del C-Get-Rsp

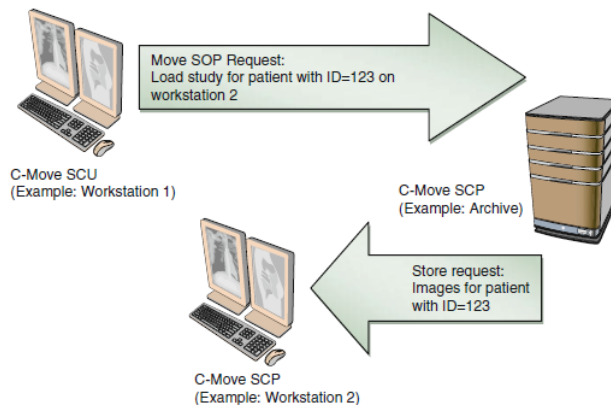


3.1.1.5 C – Move

Este servicio C- Move es muy parecido al C-Get con la diferencia que se puede enviar información a terceros. Es decir que puede utilizarse para devolver imágenes al AE que

las solicita y también puede enviarlas a otra AE que se encuentre en la lista de destino, como se muestra en la Figura 3.9.

Figura 3.9: Funcionamiento del servicio C-Move, tomada de (Pianykh, 2012).



En el servicio C-Move se debe conocer a donde se enviarán las imágenes, lo que no pasaba en C-Get SCP ya que este siempre devuelve a la imagen a la AE que la solicita (C-Get SCU).

El servicio C-Move es más seguro que el C-Get debido a que este cuenta con una lista de destino, en la cual se encuentran los nombres de los AE, sus IP y los puertos de destino que sean confiables para realizar un envío de la información, además de esto C-Move puede soportar 2 asociaciones por lo cual presenta problemas con el firewall. (Pianykh, 2012)

IOD C-Move:

Contiene los atributos de búsqueda de las imágenes y sus datos. Los valores de la búsqueda deben ser exactos y los, estos parámetros son mencionados en el servicio C-Find anteriormente.

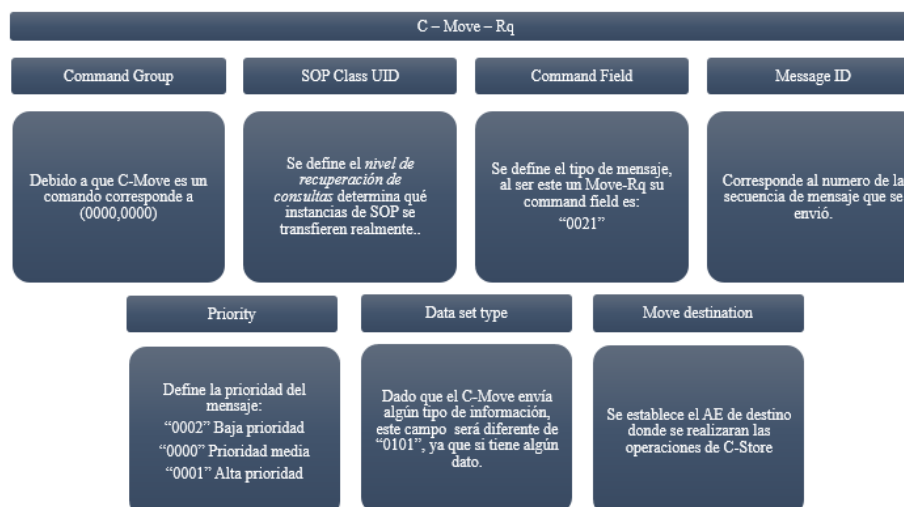
DIMSE C-Move:

Se encarga de instruir al AE que realiza el criterio de búsqueda el que hacer. Al igual que los otros servicios tiene una parte de solicitud (enviada desde la SCU de C-Move) y una parte de respuesta (respondida desde el SCP de C-Move) (Pianykh, 2012), El contenido de estos dos mensajes está establecido en el protocolo Dicom, a continuación, se mencionan los campos de cada uno y su función:

- C - Move – Rq

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.10 donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Pianyk, 2012).

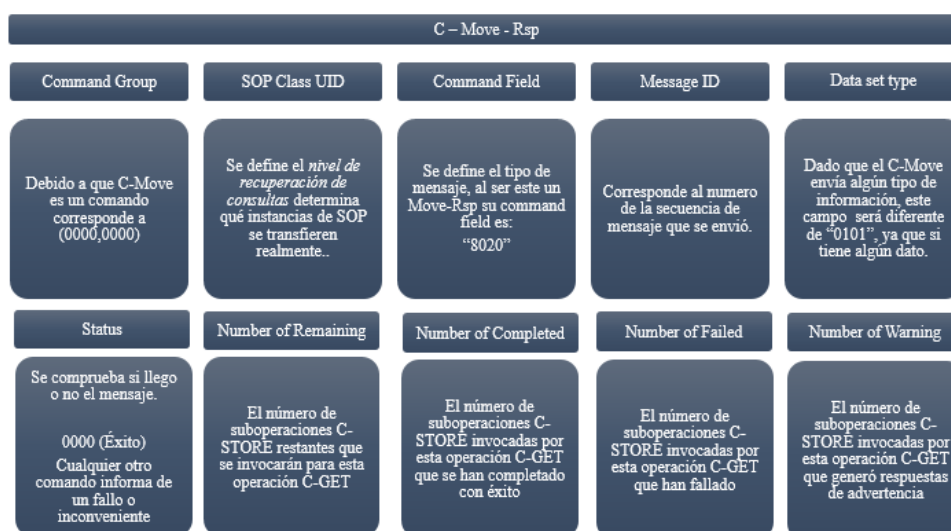
Figura 3.10: Campos del C-Move-Rq



- C – Move – Rsp

Para facilitar la comprensión de estos campos y su contenido, se realizó la Figura 3.11 donde se identifican los campos y su contenido para este servicio, la información contenida en la figura está basada en (Pianyk, 2012).

Figura 3.11: Campos del C-Move-Rsp



3.1.1.6 Modality worklist

Este servicio se encarga de precargar la lista de pacientes, su información y horarios establecidos. En algunos casos la información de la lista de pacientes es cargada desde un sistema de información radiológica (RIS) al proveedor de modality worklist, para luego ser solicitada por un usuario mediante el servicio C-Find.

IOD Modality Worklist:

Contiene los atributos de búsqueda de las imágenes y sus datos. Los valores de la búsqueda deben ser exactos, estos parámetros son mencionados en el servicio C-Find anteriormente.(Pianyk, 2012)

DIMSE Modality Worklist:

Este servicio utiliza los mismos comandos de C-Find.

3.1.1.7 C – Cancel

El servicio C – Cancel se utiliza para cancelar otro tipo de servicios, como los son el C-Get, C-Move, C-Find, etc. Este servicio a diferencia de los anteriores no necesita un mensaje de respuesta.

IOD C-Cancel: El SOP Cancel no transmite datos de imágenes ni información.

DIMSE C-Cancel: Se encarga de instruir al AE de cancelar algún servicio por medio del C-Cancel-Rq.

3.1.2 Asociaciones DICOM

Es la primera y una de las más importantes etapas de la comunicación DICOM, debido a que en esta se intercambia información sobre cada AE y se establecen los parámetros para la futura comunicación o intercambio de información que se va a realizar; estos parámetros son de vital importancia debido a que si uno de los AE tiene como parámetro el envío de las imágenes por dar un ejemplo en compresión y el otro AE acepta imágenes sin ser comprimida esto lleva a un problema de asociación que finaliza en que la aplicación no realice la tarea deseada.

Para llevar a cabo una correcta asociación es necesario contar con los contextos de presentación, los cuales están presentes en cada AE y son los encargados de establecer qué tipo de servicios y codificación son utilizados por el AE; este contexto de presentación tipo dos principales componentes, los cuales son:

- **Abstract Syntax:**

Se describen los servicios que la AE utilizara en la comunicación, debido a la gran variedad de servicios las dos AE que realizaran la asociación deben coincidir con los mismos servicios.

- **Transfer Syntax:**

Se establece el formato de codificación de la información a enviar o recibir, debido a la gran variedad de formatos de codificación las dos AE que realizaran la asociación deben coincidir con los mismos.

3.2 Telemedicina

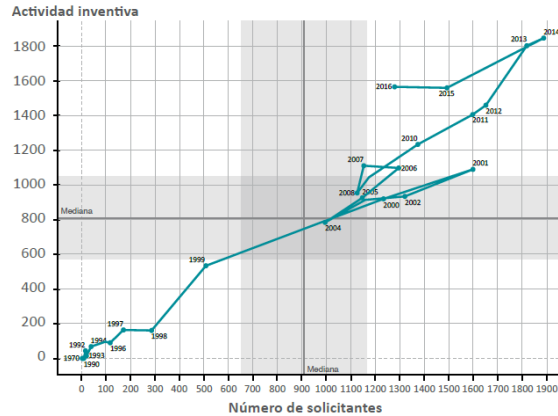
La telemedicina es una rama de la telemática, la cual está enfocada en la transferencia de información médica, esta se divide en tres grandes grupos:

- Tiempo: donde se clasifica en asíncrona o síncrona (en tiempo real o con un margen de diferencia en el tiempo de respuesta),
- Tipo de aplicación: que objetivo medico tiene, ejemplo: teleconsulta, teleterapia, telediagnóstico, etc.
- Especialidad: telecirugía, teledermatología, telerradiología, etc.(Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).

3.2.1 Telemedicina a nivel internacional

La telemedicina a nivel internacional ha tenido en los últimos años un gran auge de innovación, como se muestra en Figura 3.12, donde se grafica la cantidad de actividad inventiva versus el número de solicitantes de patentes por año a nivel internacional. Por medio de esta grafica se puede concluir que la telemedicina es una práctica que va a seguir creciendo y por ende implementándose en más instituciones de salud. Colombia representa el 0,01% de la producción de patentes relacionadas con la telemedicina a nivel mundial. (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018)

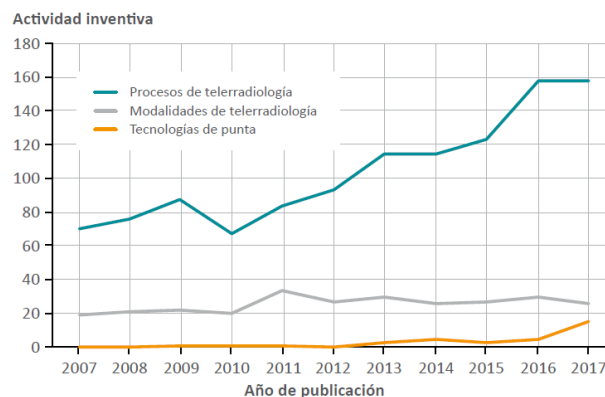
Figura 3.12: Número de solicitantes de patentes versus su actividad inventiva entre 1970 y 2016, tomado de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).



Los países con los mayores montos de actividad inventiva son estados unidos con el 60% y Japón con el 6,74%; estos porcentajes son importantes ya que establecen a estados unidos y Japón como los principales mercados potenciales en el ámbito de la telemedicina; Latinoamérica no representa un porcentaje significativo en la actividad inventiva a nivel internacional (1%), pero se considera una región ascendente en esta área. (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018)

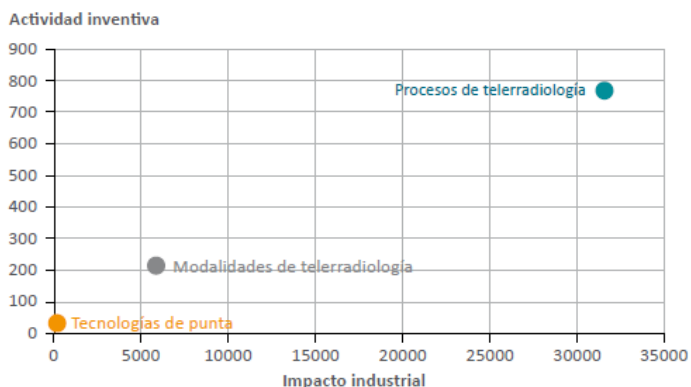
La telerradiología hace parte de la telemedicina y como se observa en la Figura 3.13 su actividad inventiva a nivel internacional en los procesos de telerradiología han estado en constante crecimiento desde el año 2010, estos procesos son los relacionados a captura, procesamiento, lectura, reporte y almacenamiento de información de telerradiología.

Figura 3.13: Año de publicación versus actividad inventiva de tres diferentes aspectos en la telerradiología, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).



Además, se ha relacionado la cantidad de actividad inventiva con el impacto industrial, mostrando la importancia de este campo en la industria actual y futura:

Figura 3.14: Impacto a la industria con respecto a la actividad inventiva diversos aspectos de la telerradiología, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).



3.2.2 Telemedicina en Colombia

En Colombia, la telemedicina ha cobrado relevancia y se ha regulado mediante la resolución 2654 de 2019 donde se plantean los deberes de las instituciones o empresas que ejercen este tipo de actividades (PROTECCIÓN, 2019). Además, existen varias empresas prestadoras de uno o más servicios de telemedicina, la gran cantidad de entidades (35 en total) evidencia la importancia que se le está dando a la telemedicina en el país; además de estas empresas, el boletín (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018) menciona los principales generadores de productos en telemedicina, en su mayor parte son universidades colombianas que están adoptando la telemedicina como una tecnología innovadora y de interés en el futuro Figura 2.1.

De acuerdo a el boletín (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018) en Colombia existen diversos factores que pueden impulsar o posponer el avance de la telemedicina en el país, los cuales son:

- **Políticos:** se resalta la normativa presente en Colombia la cual permite la presentación de estos servicios de salud, pero aún se dificulta el apoyo de las EPS al momento de implementar estos servicios, en la Tabla 3.1 se mencionan factores específicos en este ambiente.

Tabla 3.1: Factores políticos, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).

Factores		Nombre del factor	Barrera de entrada o impulsador hacia el mercado	Pertinencia del factor (1-5)
políticos	Factor 1	Política nacional de adopción de telerradiología/telemedicina por parte del MinTic y el MinSalud	Impulsador	5
	Factor 2	Apoyo contractual de las EPS para la implementación de proyectos de telerradiología/telemedicina por parte de las IPS	Barrera de entrada	4
	Factor 3	Financiación gubernamental para apoyar proyectos de telerradiología/telemedicina	Barrera de entrada	3
	Factor 4	Centros de I+D+i especializados en telerradiología/telemedicina	Barrera de entrada	3
	Factor 5	Apertura de asociaciones científicas y académicas para adoptar proyectos de telerradiología/telemedicina	Barrera de entrada	3

- **Socioeconómicos:** la prestación de servicios de telemedicina reduce considerablemente el tiempo de entrega de diversos exámenes, pero debido a los altos costos de infraestructura no todas las intuiciones de salud son capaces de implementarlo, teniendo en cuenta que la mayoría de estas utiliza recursos privados para la implementación de estos proyectos, en la Tabla 3.2 se mencionan factores específicos en este ambiente.

Tabla 3.2: Factores Socioeconómicos, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).

Factores		Nombre del factor	Barrera de entrada o impulsador hacia el mercado	Pertinencia del factor (1-5)					
ECONÓMICOS	Factor 1	La relación costo/efectividad de los servicios de telerradiología con respecto a otras alternativas	Impulsador	4	SOCIALES	Factor 1	Entendimiento y apropiación social de la tecnología asociada a la telerradiología/telemedicina	Barrera de entrada	3
	Factor 2	Las tarifas y precios de los servicios de telerradiología	Impulsador	4		Factor 2	Impacto de la telerradiología en el acceso a los servicios de salud por parte de poblaciones ubicadas en zonas geográficas remotas	Impulsador	4
	Factor 3	Impacto sobre la calidad del empleo (teletrabajo)	Impulsador	3		Factor 3	Creencias, actitudes y prácticas de los profesionales de la salud y directivos del sector	Barrera de entrada	3
	Factor 4	Inversión privada para la implementación de proyectos de telerradiología	Barrera de entrada	2		Factor 4	Impacto de la telerradiología en la calidad de la atención en salud a la población en general: acceso y oportunidad	Impulsador	4
	Factor 5	Apertura de mercados internacionales	Impulsador	2		Factor 5	Posicionamiento del país en temas de salud digital	Impulsador	2

- **Tecnológicos:** si bien la gran mayoría de instituciones cuentan con un software de telemedicina, solo el 40 % de estas tiene los niveles adecuados de interoperabilidad, lo

cual dificulta la implementación de la telemedicina en la Tabla 3.3 se mencionan factores específicos en este ambiente.

Tabla 3.3: Factores Tecnológicos, tomada de (Superintendencia de Industria y Comercio, 2018).

Factores	Nombre del factor	Barrera de entrada o impulsador hacia el mercado	Pertinencia del factor (1-5)	
TECNOLÓGICO	Factor 1	Capacidad institucional general de las IPS para la adopción de tecnologías y procesos innovadores en el sector salud	Barrera de entrada	3
	Factor 2	Desarrollo de la industria del software en salud	Impulsador	4
	Factor 3	Capacidades y competencias del talento humano (profesionales de la salud y tecnólogos) en telerradiología	Barrera de entrada	3
	Factor 4	Nivel tecnológico y obsolescencia del equipamiento biomédico para los servicios de imágenes diagnósticas	Barrera de entrada	3
	Factor 5	Disponibilidad de programas de capacitación y entrenamiento en el área de la telerradiología	Impulsador	3

3.3 PACS en el mercado

Se realizó una revisión de PACS en el mercado, en la Tabla 3.4 se presentan ventajas, desventajas, características y en algunos casos los precios de estos.

Tabla 3.4: Clasificación de PACS en el mercado y características.

Nombre	Ventajas	Desventajas	Características	Valor mensual
CloudImaging (eDx Tecnología en salud S.A.S), (‘eDx Tecnología en Salud’, n.d.)	<ul style="list-style-type: none"> - Transmisión de imágenes a través de redes encriptadas. - Monitoreo del sistema en todo momento. - Pago por consumo - Visualización clínica vía web 	<ul style="list-style-type: none"> - No se especifica el tipo de servidor en la nube. 	Software para de almacenamiento para servicios de radiología y telerradiología.	--
Actual PACS. (‘Soluciones integrales en teleradiología médica Telemedicina’, n.d.)	<ul style="list-style-type: none"> - Centros / conexiones de subida ilimitados. - Usuarios Radiólogos ilimitados. - Espacio de almacenamiento ilimitado. - Copias de seguridad en otros datacenters con espacio ilimitado. - Hasta 7 años de almacenamiento de estudios e informes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo - No se especifica el tipo de servidor en la nube. 	Software de almacenamiento y visualización de información e imágenes médicas.	De - 300 estudios = 95 € / mes hasta - 2500 estudios = 495 € / mes
PowerServer™ LITE PACS. (‘Sistemas PowerServer Cloud PACS de RamSoft & #039; software de nube segura’, n.d.)	<ul style="list-style-type: none"> - Almacenamiento de información. - Puntos de acceso y usuarios ilimitados. - Aplicación basada en web. - Disponible en la nube 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de implementación - No se especifica el tipo de servidor en la nube 	Software de almacenamiento y visualización de imágenes e informes/reportes de pacientes	300 estudios: 867.30 € - 1040.76 € / mes Mas costos de implementación.

PACS Clarity PACS / Vendedor iCRco. ('iCRco iCRco', n.d.)	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo constante. - Aplicación basada en web. - Compatible con una amplia variedad de equipos. - Cuenta con herramientas para facilitar el manejo de la información. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su almacenamiento es en RACK o Torre. - Costos de implementación. - Se necesita comprar la torre o el RACK. 	Software de almacenamiento y visualización de información e imágenes médicas.	Por 5 usuarios y 3 modalidades y el server aproximadamente 7519.77 €
Qualifacts CareLogic Software, ('Qualifacts Behavioral Health & Human Services EHR Software', n.d.)	<ul style="list-style-type: none"> - Programación de tratamientos - Visualización de la información - Almacenamiento en la nube 	--	Es una plataforma de registros para el área de la salud.	--
Medisoft Clinical EMR ('Medisoft Clinical Electronic Medical Records', n.d.)	Permite el almacenamiento de la información de manera digital	<ul style="list-style-type: none"> - No está conectada a la red. - Espacio de almacenamiento en cada equipo. - Costos de instalación. - No es compatible con todos los equipos. - Costos adicionales por actualizaciones. 	software encargado de guardar distintos datos del paciente, como por ejemplo, citas médicas, informes y otras clases de información	--

3.4 Python

Es un lenguaje de alto nivel, utilizado en una gran variedad de campos de la ingeniería, debido a su versatilidad y facilidad de aprendizaje. Una de las ventajas de Python es que, siendo un lenguaje de alto nivel, permite la ejecución y procesamiento de datos por medio de lenguaje de bajo nivel, aumentando el rendimiento del programa (Johansson, 2019). Otra cualidad de Python es que este cuenta con diversas librerías de código específico, las cuales facilitan la implementación de algunos servicios.

3.4.1 Librerías python:

3.4.1.1 Flask

Flask es un micro framework, el cual es comúnmente utilizado para la creación de aplicaciones web; por medio de la librería "Flask" en python es posible diseñar páginas web de baja, media o alta complejidad, esto depende del objetivo del usuario, esta librería permite la creación y conexión de las diferentes ventanas o rutas utilizadas en una aplicación web, flask proporciona una estructura para la implementación de la página web, pero en cuanto al diseño el programador tiene total libertad de modificarlo o diseñarlo a su gusto y utilizando otras librerías que complementen el funcionamiento de la aplicación web.

3.4.1.2 CV2

La librería Cv2 es un puente entre python y los algoritmos de la biblioteca de software OpenCV, por medio de esta librería se puede acceder y ejecutar algunas características de OpenCv, entre las más relevantes se encuentran: carga, visualización y modificación de imágenes, reproducir, modificar y escribir videos, y seguimiento de caracteres por medio de parámetros específicos('OpenCV', n.d.).

3.4.1.3 PynetDicom

Para la implementación del estándar DICOM, Python cuenta con la librería llamada pynetDicom ('Documentación de pynetdicom - documentación de pynetdicom 1.4.1', n.d.), la cual facilita la comunicación entre los usuarios (SCU) y los proveedores (SCP), adicional a esto, permite llevar a cabo la ejecución de diversos servicios, entre los que se encuentran: C-Echo, C-Storage, C-Find, C-Get, C-Move, C-Cancel, Modality Worklist. (Pianykh, 2012)

Pydicom también permite la lectura de las imágenes médicas y esto es uno de sus más grandes fuertes, debido a que estas imágenes en formato DICOM estas codificadas, lo que las hace de difícil acceso o procesamiento si no se cuenta con la aplicación o programa adecuado para su decodificación.

3.4.1.4 mysql.connector

MySQL cuenta controladores en distintos lenguajes de programación, un lenguaje de estos es python; por medio de esta librería permite al programador ejecutar comandos de MySQL en sus scripts python; su funcionamiento consiste en que el desarrollador en sus scripts python ingresa comandos específicos de MySQL y por medio de una conexión con la base de datos estos son recibidos y procesados, como si se ingresara la instrucción directamente a la base de datos.

3.5 Bases de datos (MySQL)

MySQL presta un servicio de base de datos, el cual es libre si se va a trabajar con programación de código abierto; además de esto MySQL tiene características como ('MySQL :: MySQL como una base de datos integrada', n.d.):

- Seguridad en los datos almacenados.
- Aprovisionamiento instantáneo.
- Capacidad de almacenamiento.
- Rendimiento.
- Compatibilidad de multiplataforma.

3.6 HTML

HTML es el lenguaje de marcado más utilizado en el mundo, debido a que es empleado principalmente en el desarrollo de páginas web, específicamente en establecer el contenido de estas; este lenguaje se basa principalmente en etiquetas, las cuales son las encargadas de establecer como se mostrara la información en el navegador web, existen diferentes tipos de etiquetas dependiendo de las características que se le quieran dar al contenido de la página web (Brooks, 2017); a continuación se menciona un ejemplo de página web en telemedicina que utilicen HTML como su lenguaje principal o sub lenguaje, adicional también se menciona el framework bootstrap que es completo que se puede utilizar en el diseño de páginas web junto a lenguaje HTML .

3.6.1 HTML en telemedicina

- **GUARDIAN II**

Guardian II es una plataforma de monitorización de bioparámetros, la cual registra la información de un paciente en silla de ruedas (datos de ECG, temperatura, oxidación de sangre, etc.), junto con parámetros de posición (GPS) y ejes de inclinación; para posteriormente procesarlos y enviarlos a un servidor, donde el usuario podrá visualizar esto datos como se observa en la Figura 3.15 (Krejcar, Janckulik, Motalova, & Kufel, 2009).

Figura 3.15: Visualización de sitio web a base de HTML, tomado de (Krejcar et al., 2009).

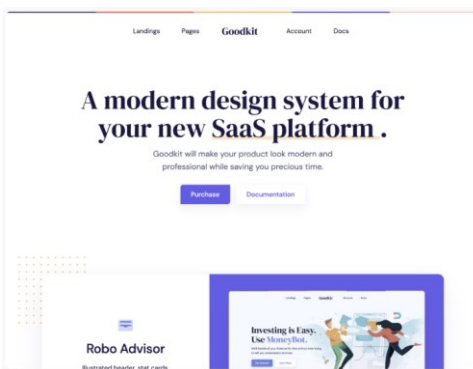


Sus creadores indican que por medio de esta plataforma web se beneficiara la atención médica, debido a que la forma en la cual el personal de la salud accede a los datos de un paciente es más eficiente y reduce los procesos manuales utilizados normalmente.

3.6.2 Bootstrap

Como se mencionó en la sección 3.6 las etiquetas del lenguaje HTML permiten al navegador web establecer el contenido de la página web, pero estas no establecen como mostrarlo, ya que para esto es necesario utilizar hojas de estilo en cascada (CSS); los archivos CSS permiten modificar y dar forma al diseño del sitio web, para que este sea visualmente atractivo; Bootstrap utiliza un grupo de clases de CSS predeterminadas, que pueden ser utilizadas en conjunto con HTML para el diseño y creación de páginas web (Freeman, 2018).

Figura 3.16: Ejemplo de sitio web diseñado junto con bootstrap, tomado de ('Bootstrap Themes Built & Curated by the Bootstrap Team.', n.d.).



4. Planteamiento de la solución

4.1 Requerimientos del PACS

Debido a que el PACS es de uso educativo se tomaron en cuenta aspectos mencionados en el libro (Huang, 2010), donde su autor establece los componentes fundamentales que deben estar presentes en todo PACS comercial, esto con el fin de presentarle al estudiante un software lo más similar posible a uno comercial; los componentes que menciona el autor son 1) puertas de enlace para la adquisición de imágenes y datos, 2) un servidor de archivos PACS, y 3) estaciones de trabajo y visualización de la información; teniendo en cuenta el funcionamiento de estos tres componentes se seleccionaron los requerimientos presentes en la tabla (4.1):

Tabla 4.1: Requerimientos para el PACS diseñado, tabla del autor.

Componente	Requerimientos
Servidor de archivos PACS	Recibir imágenes desde puertas de enlace
	Extraer información de la imagen tipo DICOM que describa el estudio.
	Actualizar de forma automática la base de datos.
	Recuperar la información almacenada en la base de datos.
	Capacidad de almacenar nueva información médica.
	Capacidad de eliminar información contenida en la base de datos.
	Tener funciones de consulta y recuperación relacionadas a solicitudes de la estación de trabajo.
Estación de trabajo (Modelo de cliente ligero*)	El sitio debe poder acumular y visualizar todas las imágenes DICOM e información que pertenezcan a un paciente específico.
	El PACS cuenta con la capacidad de retornar información específica de una subpoblación determinada.

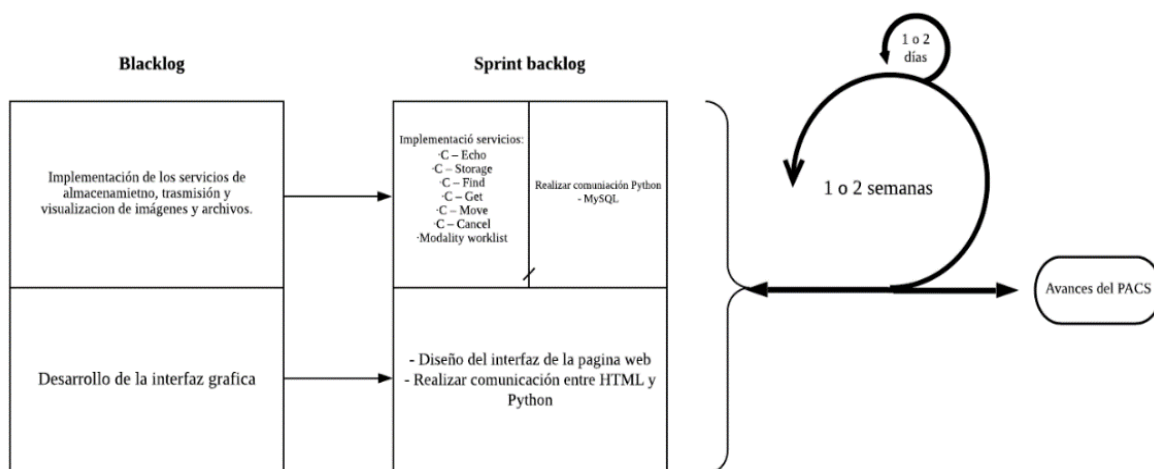
	<p>La estación de trabajo debe permitir al usuario visualizar las imágenes de tipo DICOM.</p> <p>Se debe contar con una herramienta de documentación, en la cual él pueda realizar anotaciones o informes.</p>
<i>Puerta de enlace y adquisición de información</i>	Implementar las funciones de transmisión y retorno de la información médica (Imágenes tipo DICOM e informes)

*En este modelo de estación de trabajo se establece que el procesamiento de las imágenes DICOM es básico y se necesita soporte del servidor continuamente. (Huang, 2010)

4.2 Metodología SCRUM

Para la creación del software se trabajó bajo la metodología SCRUM, la cual permite optimizar el tiempo y gestión del proyecto, dividiendo las fases en sub-temas y realizando una autoevaluación cada cierto tiempo sobre los avances y mejoras que se pueden realizar Figura 4.1.

Figura 4.1: Diagrama con metodología SCRUM a seguir, imagen de autor.



Componentes de la metodología SCRUM:

- **Blacklog:** Se establecen las prioridades del software y se ordenan dependiendo de su importancia.
- **Sprint blacklog:** Se sub-dividen los objetivos establecidos en el blacklog como pequeñas actividades, que sean fácil de realizar.
- **Retroalimentación:** Máximo cada 2 días se realizará una retroalimentación de las actividades desarrolladas en su totalidad o aquellas aún en desarrollo; dependiendo del objetivo se realizará una retroalimentación con un plazo máximo de dos semanas, donde se evalué si el objetivo del blacklog se completó o si este necesita algunas mejoras.
- **Adjuntar avances:** Luego de realizar la retroalimentación y establecer que el objetivo del blacklog fue cumplido se adicionara dicho avance al software del PACS final.

A continuación, se detalla la solución que se planteó y se desarrolló bajo esta metodología:

Implementación de la metodología SCRUM:

- **Blacklog:**
Para este componente se establecieron dos prioridades en el software, la primera fue la implementación de los servicios de almacenamiento, transmisión y visualización de imágenes y archivos; la segunda fue el desarrollo de la interfaz gráfica.
- **Sprint backlog:**
Para facilitar el entendimiento de este componente se realizó la tabla 4.2, donde se establecen los Sprints, su contenido, las decisiones y resultado de los mismos:

Tabla 4.2: Spints, revisión de los Sprints y resultados, tabla del autor.

<i>Sprint backlog</i>	<i>Revisión de Sprint</i>	<i>Resultado del Sprint</i>
<i>Implementación de los servicios de almacenamiento, transmisión y visualización de imágenes y archivos</i>		
Implementación servicio: C-echo	No hay comentarios	El servicio funciona correctamente

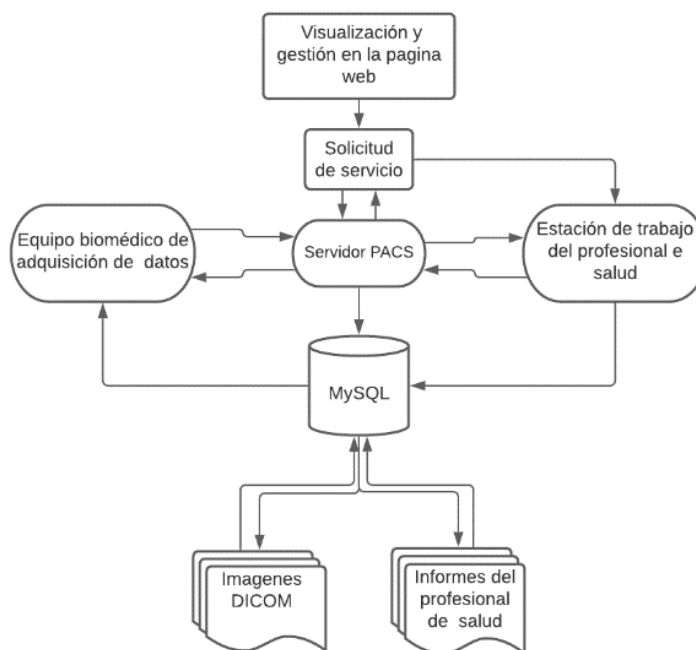
Implementación servicio: C-Storage	Se debe establecer la IP de destino como un valor variable, ya que el usuario debe poder enviar las imágenes a diferentes equipos.	Se modificaron los códigos de funcionamiento de este servicio para que la IP de destino fuera un valor variable; El servicio funciona correctamente.
Implementación servicio: C-Find	Se estableció el nombre del pacientes y su ID como parámetros de búsqueda; esto debido a que es información de fácil adquisición.	El servicio funciona correctamente.
Implementación servicio: C-Get	Se estableció el nombre del pacientes y su UID como parámetros de búsqueda; esto debido a que es información de fácil adquisición.	El servicio funciona correctamente.
Implementación servicio: C-Move	Se estableció el nombre del pacientes y su UID como parámetros de búsqueda; esto debido a que es información de fácil adquisición.	El servicio funciona correctamente.
Implementación servicio: Modality worklist	Se estableció el nombre del pacientes y su UID como parámetros de búsqueda; esto debido a que es información de fácil adquisición.	El servicio funciona correctamente.
Implementación servicio: C-Cancel	Los demás servicios no reciben la instrucción de cancelación proveniente del servicio C-Cancel, se desconoce la razón de este suceso.	El servicio no pudo ser implementado, se deben recurrir a otros medios realizar el proceso de cancelación en los servicios.
Realizar comunicación Python - MySQL	No hay comentarios	La comunicación python MySQL funciona correctamente.
Implementación servicio: C-Find junto con MySQL	Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en las imágenes DICOM no se deben agregar etiquetas en la tabla de la base de datos con información relevante del paciente; el proceso de lectura es directamente al contenido de la imagen DICOM por medio de pynetDicom.	La asociación entre el servicio y MySQL funciona correctamente.

Implementación servicio: C-Get junto con MySQL	Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en las imágenes DICOM no se deben agregar etiquetas en la tabla de la base de datos con información relevante del paciente; el proceso de lectura es directamente al contenido de la imagen DICOM por medio de pynetDicom.	La asociación entre el servicio y MySQL funciona correctamente.
Implementación servicio: C-Move junto con MySQL	Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en las imágenes DICOM no se deben agregar etiquetas en la tabla de la base de datos con información relevante del paciente; el proceso de lectura es directamente al contenido de la imagen DICOM por medio de pynetDicom.	La asociación entre el servicio y MySQL funciona correctamente.
Implementación servicio: Modality worklist junto con MySQL	Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en las imágenes DICOM no se deben agregar etiquetas en la tabla de la base de datos con información relevante del paciente; el proceso de lectura es directamente al contenido de la imagen DICOM por medio de pynetDicom.	La asociación entre el servicio y MySQL funciona correctamente.
Desarrollo de la interfaz grafica		
Diseño del interfaz de la página web	Se den tener en cuenta los aspectos mencionados en la sección 4.6.1.	Se diseñó el contenido y funciones de la página web basado en las características de la sección 4.6.1; el componente de estética fue realizado por medio del framework CSS bootstrap.
Realizar comunicación entre HTML y Python	Se debe encontrar un visualizador compatible con la librería de bootstrap, debido a que el primero que se utilizó (Matplotlib) no era compatible con el framework FLASK.	Se modificó el visualizador por la librería CV2, debido a que esta es compatible con FLASK; se realizó la comunicación de todas las funciones presentes en los scripts de python con HTML.

4.3 Diagrama de funcionamiento

Se diseñó el diagrama de flujo de la Figura 4.2 para facilitar el entendimiento del funcionamiento del PACS adicional a esto, se tuvo en cuenta este diagrama para la creación de los scripts y el diseño de la página web.

Figura 4.2: Diagrama de flujo PACS, imagen de autor.



A continuación, se explican los bloques de la Figura 4.2

- **Visualización y gestión en la página web:** representa el interfaz que observa el usuario, con el cual puede acceder a los diferentes servicios dentro del PACS.

- **Solicitud de servicio:** es la acción que realiza el usuario al seleccionar alguna de las funciones del PACS, estas acciones pueden ser ejecutadas directamente en el PACS o en alguna estación de trabajo. Las solicitudes podrán ser de ejecutar algún servicio o visualizar o modificar las tablas en la base de datos.

- **Servidor PACS:** en este bloque se encuentran todas las funciones que realiza el PACS (Servicios DICOM, visualización, envío de informes y modificación de las tablas en la base de datos), además de la comunicación con la base de datos en MySQL.

- **Equipo biomédico de adquisición de datos:** representa el equipo del cual se obtienen la imagen DICOM, para este proyecto se obtuvieron las imágenes de bases de datos libres DICOM.

- **Estación de trabajo del profesional en salud:** es el interfaz que permite una interacción más específica entre el usuario y el PACS, la cual le permite buscar los parámetros

específicos de la imagen, visualizar la imagen y realizar el informe correspondiente de la misma.

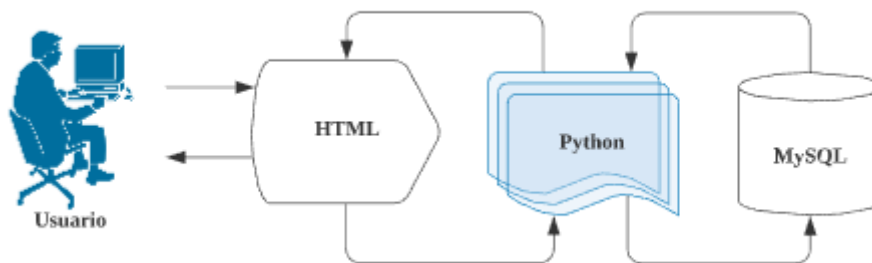
- **MySQL:** la base de datos donde serán almacenados o retornados los datos del PACS.

- **Imágenes DICOM e Informe del profesional de salud:** son las tablas de la base de datos, donde se almacenan las imágenes DICOM y los informes generados por los usuarios.

4.4 Librería PynetDicom.

La librería pynetDicom cuenta con códigos de ejemplo para la implementación de servicios como C-Echo, C-Store, C- Get, C- Move y la teoría de como es el funcionamiento del C-Mwl; tomado estos códigos como base se realizaron los siguientes cambios en los mismos:

Figura 4.3: Visión general de la tesis de grado resaltando el componente “Python”, imagen de autor.



4.4.1 Modificación de los parámetros en el transfer Syntax de los servicios.

Los servicios en los cuales se realizan traslados de una o más imágenes Dicom, como el C-Get, C-Move y C-store necesitan establecer los tipos de imagen que se van a utilizar durante la comunicación con otro host, si se desea recibir, o enviar una imagen que no cuenta con los parámetros establecidos previamente, está no podrá ser tomada en cuenta y dependiendo el servicio se presentaran errores en la ejecución del mismo; teniendo en cuenta esto se adicionaron 2 parámetros en el transfer syntax UID, estos son los formatos

de compresión “JPEG 2000 Image Compression” y “Implicit VR Little Endian” (Figura 4.4), esto se debe a que las bases de datos libres de imágenes Dicom en su mayoría contienen imágenes en estos formatos de compresión.

Figura 4.4: Contextos de presentación en el servicio C-Get, obtenidos al imprimir las características del AE del SCP – Get final, imagen de autor.

```
Application Entity 'b'PYNETDICOM      ''

Requested Presentation Contexts:
  CT Image Storage
    Implicit VR Little Endian
  CT Image Storage
    JPEG 2000 Image Compression

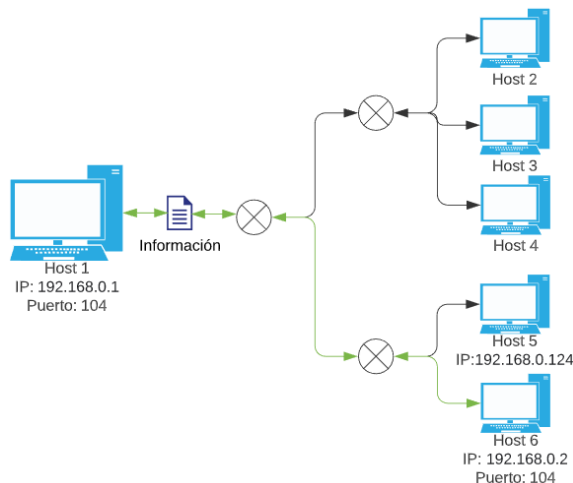
Supported Presentation Contexts:
  CT Image Storage
    JPEG 2000 Image Compression
    Implicit VR Little Endian
  Patient Root Query/Retrieve Information Model - GET
    Implicit VR Little Endian
    Explicit VR Little Endian
    Explicit VR Big Endian
```

Estos formatos de compresión adicionales son para imágenes de tomografía computarizada (CT), ya que al diseñar el PACS se estableció esta como la única modalidad.

4.4.2 Cambio de los puertos e IP de destino.

En la Figura 4.5 se muestra un ejemplo de la comunicación entre dos equipos en la misma red; el equipo uno con una IP “192.168.0.1” envía información al equipo seis el cual tiene una IP “192.168.0.2”. especificar la IP de destino permite evitar la filtración de información y en el servicio C-Move, establecer IPs seguras para la comunicación.

Figura 4.5: Ejemplo comunicación entre dos equipos, imagen de autor.



En el PACS se estableció el IP de destino y de escucha como '127.0.0.1' debido a que es el local host de cada equipo, por lo cual al realizar las pruebas de funcionamiento permite establecer rápidamente si el servicio o la acción a realizar funciona correctamente; teniendo en cuenta la actual pandemia escoger el local host como IP de destino o escucha fue de carácter obligatorio, debido a que no se cuenta con otros equipos para realizar la comunicación entre los servicios.

4.4.3 Parámetros de búsqueda y de retorno.

En los códigos suministrados por pynetDicom los parámetros de búsqueda eran muy generales y no suministraban información relevante, teniendo en cuenta esto en servicios donde es necesario el traslado de datos específicos como C-Move, C-Get y C-Mwl, se cambiaron los parámetros originales por datos más específicos, como el nombre del paciente, ID de la imagen y el estudio UID de la imagen.

Adicional a esto se modificaron los parámetros de retorno de los servicios SCP de búsqueda (C-Find y C-Mwl), debido a que la función inicial del programa en estos servicios era confirmar si se tenía una imagen almacenada con estas características, pero no retornaba nada de la información de la imagen encontrada, lo cual era deficiente si se deseaba comprobar otros datos de la imagen Dicom; teniendo en cuenta esto se modificó el código para retornar datos de interés, como lo son la modalidad de la imagen, nombre

del paciente, fecha del estudio, nombre del estudio, nombre de la series, descripción del estudio y las instancias SOP UID de la imagen.

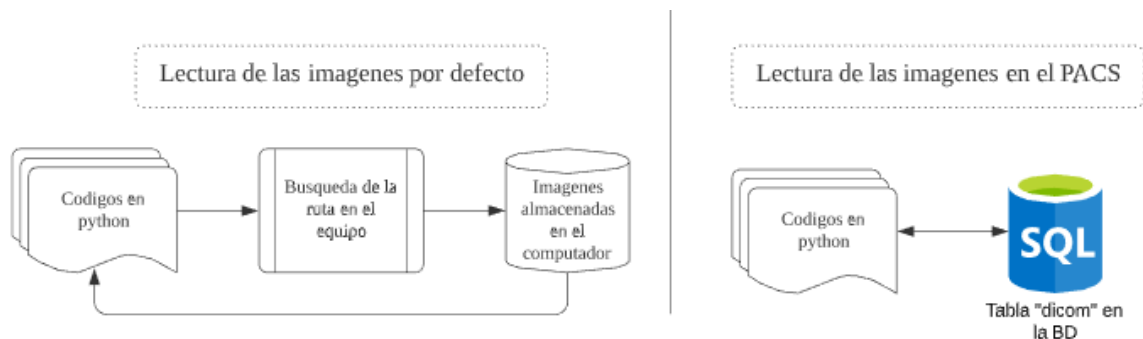
Figura 4.6: Parámetros retornados de una imagen Dicom, por medio del código diseñado en el servicio C-Mwl, imagen de autor.

```
(0008, 0018) SOP Instance UID          UI: 1.2.826.0.1.3680043.8.1055.1.20111102150934763.59412994.62039360
(0008, 0020) Study Date                DA: '20070101'
(0008, 0060) Modality                  CS: 'CT'
(0008, 1030) Study Description          LO: 'CT1 abdomen'
(0008, 103e) Series Description         LO: 'ARTERIELLE'
(0010, 0010) Patient's Name            PN: 'Anonymized'
(0018, 1030) Protocol Name             LO: 'ART.RENALES 12/Abdomen/Hx'
```

4.4.4 Lectura de las imágenes en la base de datos.

En los códigos originales suministrados por la librería pynetDicom la lectura o búsqueda de las imágenes Dicom para su posterior procesamiento se realizaba por defecto mediante la utilización de una ruta, la cual debía ser establecida con anticipación teniendo en cuenta donde se localizaban las imágenes a utilizar, dicha ruta se modificó por medio de funciones de asociación MySQL con código python, en el título 4.3 se explica detalladamente en que consiste este proceso; se realizó este cambio en la lectura de las imágenes debido a que de esta manera si el programa era utilizado en otro equipo no era necesario la modificación de las rutas de búsqueda en todo los códigos, además el almacenar la información en la base de datos genera beneficios de almacenamiento.

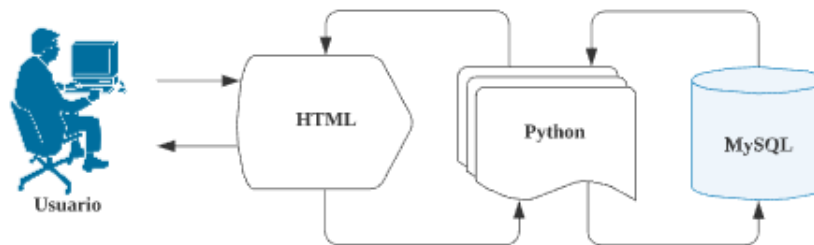
Figura 4.7: Comparación entre lectura por defecto (original de la librería) y la lectura diseñada para el PACS, imagen de autor.



4.5 Base de datos MySQL

En esta sección se mencionan dos puntos importantes, el primero (4.3.1) trata sobre la creación de la base de datos y las tablas que la componen (Dicom: en la cual están almacenadas todas las imágenes médicas e Informe: donde se almacenan los informes generados por el usuario); en la segunda parte (4.3.2) se menciona el proceso que se llevó a cabo para realizar el envío o retorno de la información contenida en las tablas.

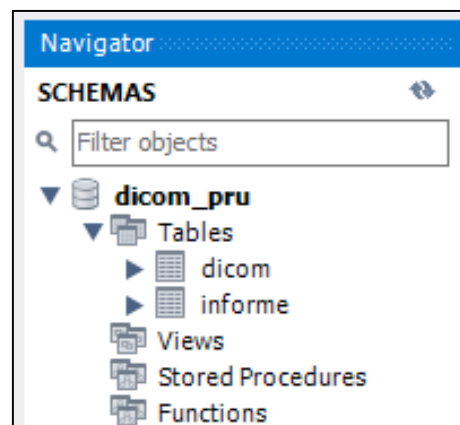
Figura 4.8: Componentes PACS (MySQL), imagen de autor.



4.5.1 Creación de base de datos y tablas

Para la creación de la base de datos y las tablas, se utilizó la herramienta MySQL Workbench, debido a que es un programa oficial de MySQL que facilita la creación y modificación de estos contenedores.

Figura 4.9: Base de datos en MySQL y sus tablas, imagen del autor.



Además, MySQL Workbench permite visualizar la información contenida en las tablas de la base de datos, lo cual es útil para confirmar el correcto funcionamiento de servicios donde se envié información a la base de datos.

La tabla “dicom” (Figura 4.10) de la base de datos contiene tres columnas, la primera columna llamada “ID” es de tipo “int” y almacena un identificador, con el cual se tiene control del número de imágenes almacenadas en la tabla; la segunda columna se nombró “Image”, es de tipo longblob” que permite almacenar grandes cantidades de datos, en ella se almacena la información contenida en la imagen de tipo DICOM; la tercera columna llamada “Name_Img” es de tipo “varchar” y almacena los nombres del archivo “.dcm” que se subió a la tabla.

Figura 4.10. Base de datos que contiene las imágenes Dicom, imagen del autor.

	ID	Image	Name_Img
▶	1	BLOB	MargaritaM.dcm
	2	BLOB	LuisM.dcm
	3	BLOB	LuciaM.dcm
	4	BLOB	BlancaM.dcm
	5	BLOB	AugustoM.dcm

La tabla “informe” (Figura 4.11) de la base de datos contiene dos columnas, la primera llamada “NombrePaciente” es de tipo “varchar” y en ella se almacena el nombre del paciente al cual se le realizó el informe, el contenido de esta columna es enviado directamente desde el sitio web cuando se realiza el informe; la segunda columna llamada “Informe” también es de tipo “varchar” y ella se almacena el informe generado por el usuario desde el sitio web.

Figura 4.11: Base de datos que contienen los informes, imagen del autor.

	NombrePaciente	Informe
▶	Lucia	Paciente critico
	Lucia	Paciente critico
	Margarita	Paciente margarita (4:53pm).
	Lucia	Reporte (6:18 pm)
	Margarita	Paciente saludable.
	Margarita	Reporte (10:20am)

4.5.2 Envió y retorno de la información

Para realizar la asociación con la base de datos es necesario especificar en los scripts el usuario, la contraseña, el host y la base de datos a utilizar, ya que sin estos parámetros se producirían errores al no saber en qué base de datos se modificará su contenido.

Figura 4.12: Parámetros para asociación con MySQL, imagen autor.

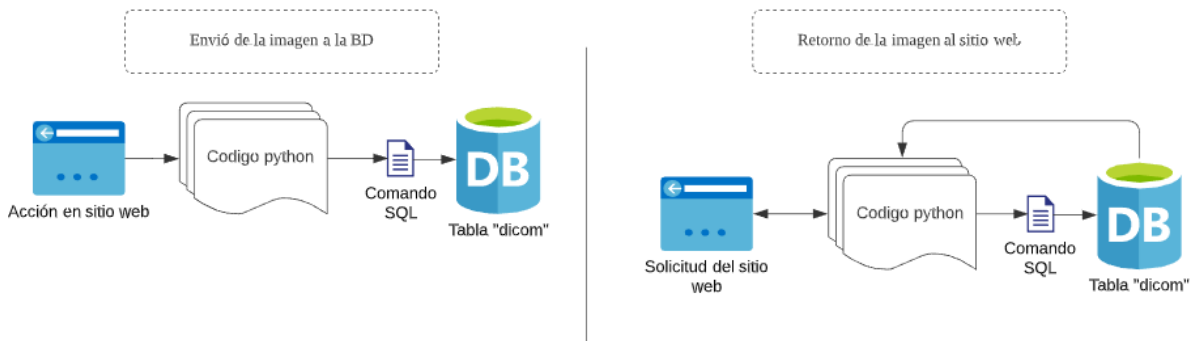
```
cnx = mysql.connector.connect(user='PACS', password='DICOM1',  
                               host='localhost',  
                               database='dicom_pru')
```

Para el retorno o envió de la información del PACS ya sea esta los informes o las imágenes DICOM, se utilizó la librería `mysql.connector` (sección 3.4.1.4), ya que permite la asociación y traspasó de imágenes entre la base de datos y los scripts python por medio de lenguaje SQL, este proceso se realiza enviando los comandos de SQL en el script de python y por medio de la asociación son enviados a la base de datos, para ser ejecutados como si fueran ingresados directamente en ella.

4.5.2.1 Imagen Dicom

Para el envío de las imágenes a la base de datos se estableció una función en el sitio web, donde el usuario puede seleccionar una imagen DICOM almacenada en su computador, para posteriormente subirla a la base de datos en la tabla "Dicom" (Figura 4.13).

Figura 4.13: Envío y retorno de imagen Dicom desde la base de datos, imagen de autor.

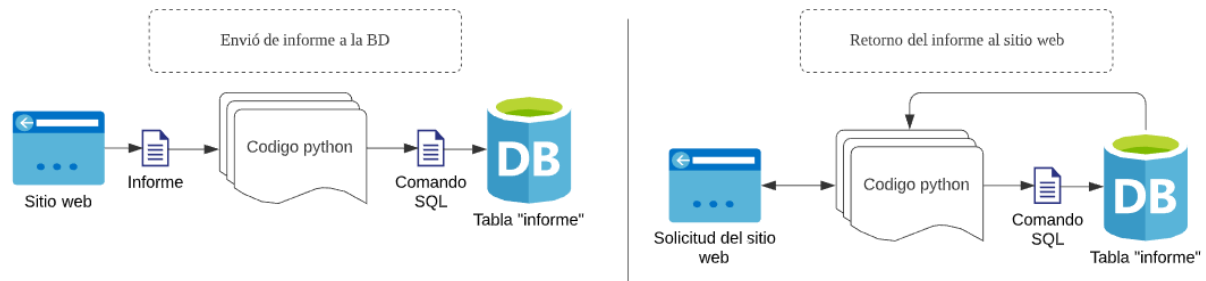


El retorno de las imágenes desde la base de datos, se realiza por medio de scripts de código en python, en los cuales van contenidos comandos de SQL para ser ejecutados en la base de datos; estos scripts de python son accionados por el usuario en el sitio web dependiendo de la función que se desea desarrollar.

4.5.2.2 Informe del usuario

A diferencia del envío de las imágenes Dicom a la base de datos, para realizar el almacenamiento de los informes generados por el usuario, no se cuenta con una carpeta específica, ya que el usuario ingresa directamente el informe en el sitio web y este es enviado a la tabla "informe" (Figura 4.14) de la base de datos.

Figura 4.14: Envío y retorno del informe del usuario desde la base de datos imagen de autor.



El retorno de los informes desde la base de datos, se realiza por medio de scripts de código en python, en los cuales van contenidos comandos de SQL para ser ejecutados en la base de datos; estos scripts de python son accionados por el usuario en el sitio web dependiendo de la función que se desea desarrollar.

Se establecieron cuatro diferentes tipos de funciones relacionadas a MySQL, dos de ellas son para el envío de información (imágenes e informes) y las otras dos son para eliminar dicha información ingresando la posición del dato a eliminar en la tabla de la base de datos.

4.6 Visualización

En los sistemas PACS la visualización de la imagen tipo DICOM es un componente muy importante, debido a que el especialista debe poder interactuar la imagen, para realizar esto los visualizadores presentes en los PACS comerciales tienen diferentes características, entre los que se encuentran:

- Zoom.
- Recorte.
- Variación de parámetros: brillo, intensidad, saturación.
- Opción de medida: regla.
- Indicadores.
- Visualización de grupos de imágenes.

4.6.1 Imágenes DICOM

Python por medio de su librería “CV2” de open CV, permite la visualización de imágenes de diferentes características, gracias a esto se extrajo la matriz de pixeles del archivo “.cmd”, la cual contiene la información de la imagen Dicom, en la Figura 4.15 se muestra un ejemplo de la visualización de esta matriz.

Figura 4.15: Visualización imagen Dicom en el PACS desarrollado, imagen de autor.

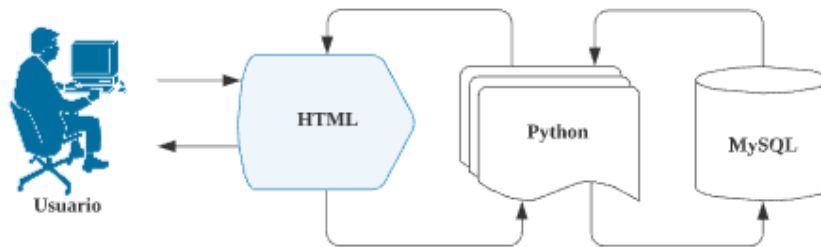


El PACS desarrollado permite visualizar la imagen DICOM un en una pestaña diferente a la que se encuentra el usuario, esta pestaña no cuenta con ninguna característica, debido a que la librería “cv2” solo representa la matriz de la imagen tipo DICOM; el usuario será capaz de visualizar la imagen DICOM en los servicios C-Move y C-Get, para así poder realizar el informe adecuado de la imagen, además podrá visualizar las imágenes almacenadas en la base de datos sin tener que ejecutar los servicios mencionados anteriormente, por medio de otras funciones desarrolladas en el PACS.

4.7 Página web

Para el diseño y creación de páginas web son necesarios diversos parámetros, en esta sección se mencionan los tomados en cuenta para la creación del PACS y aspectos fundamentales de los mismos.

Figura 4.16: Componentes PACS (HTML), imagen de autor.



4.7.1 Diseño página web

Para la creación de la página web se tuvieron en cuenta cuatro parámetros:

- **Accesibilidad:** para el usuario tiene que ser fácil interactuar con la página web, adicional el usuario debe contar con la capacidad de acceder a todos los servicios que brinda la página web de manera fácil y eficiente.
- **Estética:** la estética del sitio web debe corresponder a la función del sitio, de esta manera se vuelve agradable la interacción del usuario con la página.
- **Eficiencia de desempeño:** la capacidad y utilización de recursos del sitio web.
- **Compatibilidad:** la capacidad del sitio web de utilizar la información transmitida.
- **Funcionamiento:** se debe asegurar el correcto funcionamiento del sitio web.
- **Flujo de acciones:** las respuestas generadas por el sitio web deben corresponder y ser coherentes a las acciones que el usuario haya ejecutado.

Estos parámetros se tomaron en cuenta ya que eran puntos importantes en la ISO 25010 ('ISO 25010', n.d.) donde se establecen las características de calidad de un producto software; adicional a esto en el artículo (Conesa Fuentes, Aguinaga Ontoso, & Hernández Morante, 2011) se evaluó la calidad diversas páginas web sanitarias y debido a que la funcionalidad del PACS está relacionada a este campo, fueron de interés dichos criterios de evaluación que fueron incluidos en este proyecto.

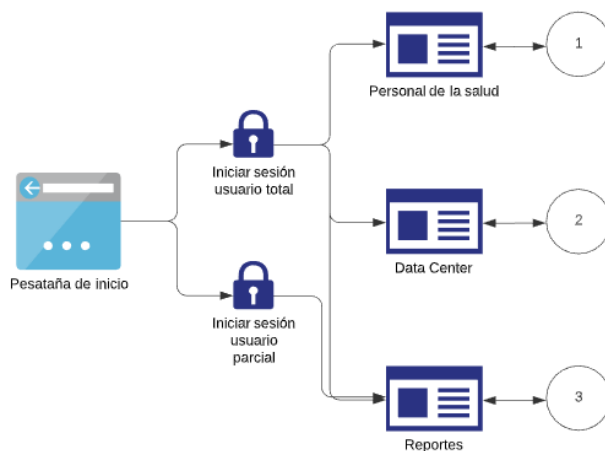
4.7.2 Framework FLASK y HTML

Por medio del framework flask y python se estableció la programación interna de cada pestaña en la página web, esta programación solo realiza las acciones del PACS, para el

interfaz que observa el usuario se realizaron scripts de HTML en los cuales se crea la estética de cada pestaña del PACS; a continuación, se muestran los diagramas de flujo correspondientes a las funciones internas del PACS:

La Figura 4.17 representa la pestaña de inicio del sitio web, donde antes de acceder a las funciones de sitio es necesario que el usuario inicie sesión, para esto se crearon dos usuarios, el primero usuario es “Total”, el cual tiene acceso a todas las funciones del sitio web, las cuales le permiten manipular la información contenida en las tablas de la base de datos (Imágenes tipo DICOM e informes); el segundo usuario llamado “Parcial”, solo tiene acceso a la sección “Reportes” modificada, en la cual el usuario no puede manipular la información contenida en las tablas de la base de datos, pero puede visualizar la información contenida en estas; posterior a esto y dependiendo el usuario seleccionado, este podrá realizar tres acciones, la primera corresponde los servicios del personal de salud, la segunda al Data Center y por último, las operaciones que permitan la interacción del usuario con la base de datos (Reportes), ya sea para almacenar o eliminar información.

Figura 4.17: Parte 1: Diagrama de funcionamiento del PACS implementado, imagen del autor.

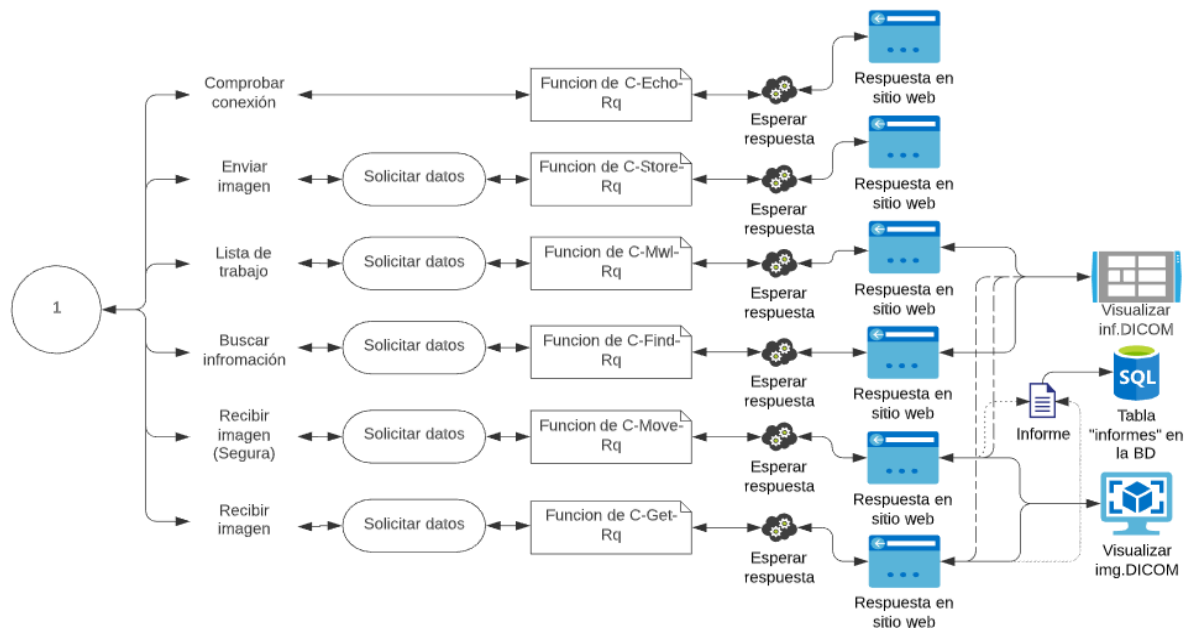


Se escogieron estos dos tipos de usuario debido a que se buscaba mostrar por medio del software, que existen diferentes implicados en los procesos relacionados con los PACS, el usuario “Total” representa al radiólogo encargado del análisis diagnóstico de las imágenes médicas, el cual debe poder acceder a la información contenida en la base de datos (Imágenes DICOM), para visualizarla y realizar un informe correspondiente, que será

almacenado en la base de datos; el segundo usuario representa un especialista el cual solo necesita la función de visualizar los informes generados por otro profesional, esto ocurre en las ocasiones donde se contratan servicios de diagnóstico externo, donde el usuario envía la imagen médica para ser analizada por otro especialista, por lo cual el usuario solo necesita acceder al informe o valoración generada por el profesional contratado.

A continuación, se mencionan los componentes del “Personal de salud”, como se observa en la Figura 4.18 el usuario puede interactuar con las funciones: comprobar conexión, enviar imagen, lista de trabajo, buscar información, recibir imagen (segura), recibir imagen; cada función cuenta con un script diferente para su ejecución, y estos están relacionados a las funciones de los servicios DICOM, por medio de estos scripts permiten al usuario visualizar una respuesta personalizada para cada servicio, dependiendo de las acciones; en las funciones de recibir imagen de forma normal o segura, el usuario podrá visualizar la imagen DICOM que busco y almacenar los informes realizados para dicha imagen en la tabla “Informe” de la base de datos.

Figura 4.18: Parte 2: Diagrama de funcionamiento del PACS implementado, imagen del autor.

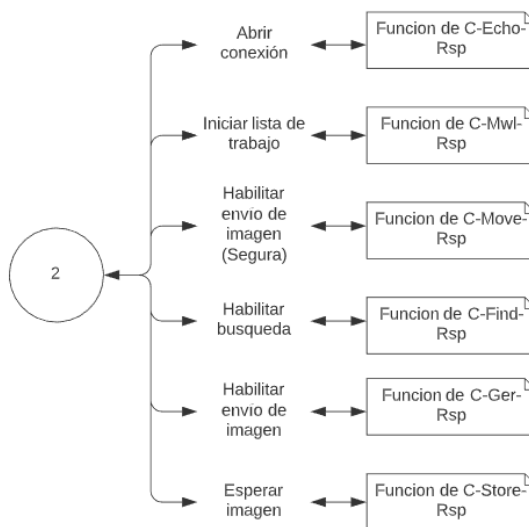


Para el correcto funcionamiento de las funciones del personal de la salud, es necesario que su pareja del Data Center se encuentre escuchando, estas parejas se muestran en la Tabla 4.3; este procedimiento se lleva a cabo por medio de Scripts de python ejecutados por el usuario desde el sitio web, como se muestra en la Figura 4.19

Tabla 4.3: Parejas de funciones del sitio web.

Personal de la salud	Data center
Comprobar conexión	Abrir conexión
Enviar imagen	Esperar imagen
Lista de trabajo	Iniciar lista de trabajo
Buscar información	Habilitar búsqueda
Recibir imagen (segura)	Habilitar envío de imagen (Segura)
Recibir imagen	Habilitar envío de imagen

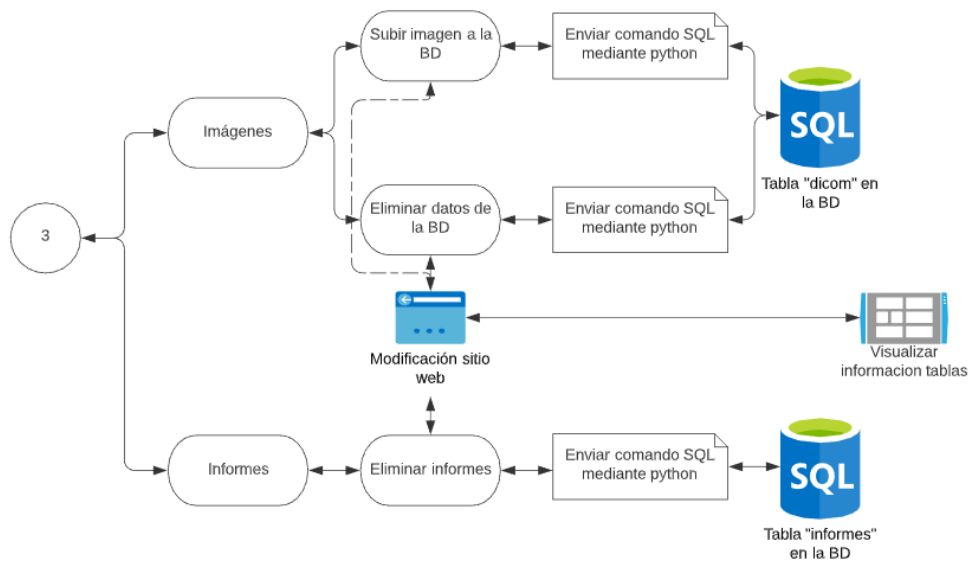
Figura 4.19: Parte 3: Diagrama de funcionamiento del PACS implementado, imagen del autor.



Para la visualización o eliminación de la información contenida en la base de datos, se desarrolló una sección específica en el PACS (Figura 4.20), donde el usuario puede observar la información de la base de datos, visualizar las imágenes Dicom e informes y si

lo desea eliminar dicha información, además el sitio web informa de manera sincrónica la cantidad de datos que están contenidos en las tablas.

Figura 4.20: Parte 4: Diagrama de funcionamiento del PACS implementado, imagen del autor.



4.8 Desarrollo de guías de apoyo (Laboratorios)

Con el fin de aplicar los conocimientos adquiridos de manera teórica en los cursos de telemedicina y biontrumentación II: Imágenes médicas, se diseñaron dos laboratorios en los cuales se puede hacer uso de las herramientas presentes en el PACS diseñado.

Para el diseño de las guías de apoyo se estableció el contenido que debían tener los laboratorios, estos son:

1. Se deben utilizar los componentes fundamentales de un PACS según (Huang, 2010), los cuales se mencionaron en la sección 4.1.
2. Se debe definir el objetivo de la práctica.
3. Debe tener un ejemplo base, para facilitar la comprensión del tema.
4. El estudiante debe resolver alguna situación relacionada al objetivo de la práctica para reforzar sus conocimientos teóricos.

Los laboratorios diseñados se encuentran en los anexos B y C, al final del documento.

5. Resultados

Este capítulo está enfocado en los resultados y el análisis de estos, para esto se dividió este capítulo en 8 secciones: 5.1) Capturas de solución final; 5.2) Se habla de la ISO25000 y sus pautas para la evaluación de productos software; 5.3) Trata sobre la puntuación media de opinión (MOS) y por qué se empleó en el análisis de los resultados; 5.4) Desviación típica y por qué se empleó en el análisis de los resultados; 5.5) coeficiente de variación y por qué se empleó en el análisis de los resultados; 5.6) Descripción de la población que contestó las rubricas; 5.7) Se muestra la rúbrica y su contenido; 5.8) Se genera un análisis de los resultados.

5.1 Capturas de pantalla de la solución final.

En esta sección se muestran algunas de las pestañas del sitio web.

Figura 5.1: Pestaña inicial del sitio web, imagen del autor.

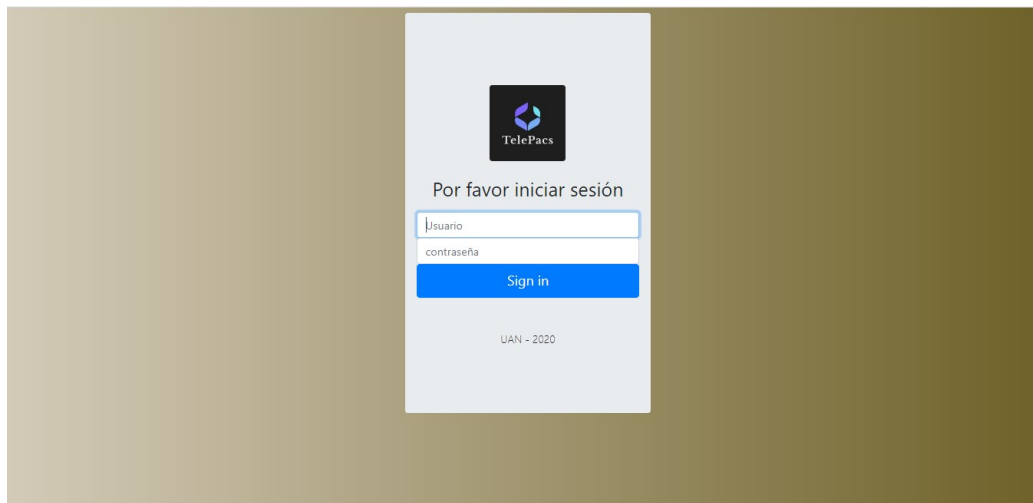


Figura 5.2: Plantilla de habilitación de servicios, función “Habilitar envío de imágenes (segura)” del Data Center, imagen del autor.

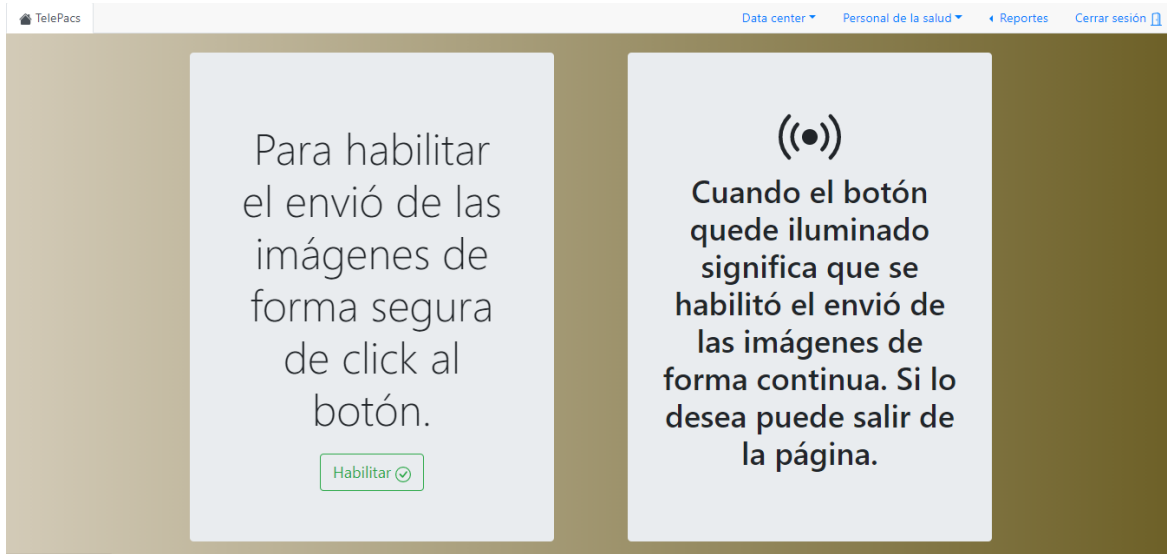


Figura 5.3: Condiciones de búsqueda de la función "Recibir imagen (segura)" del personal de la salud, imagen del autor.



Figura 5.4: Respuesta del sitio a la búsqueda de una imagen por medio del servicio "Recibir imagen (segura)", imagen del autor.

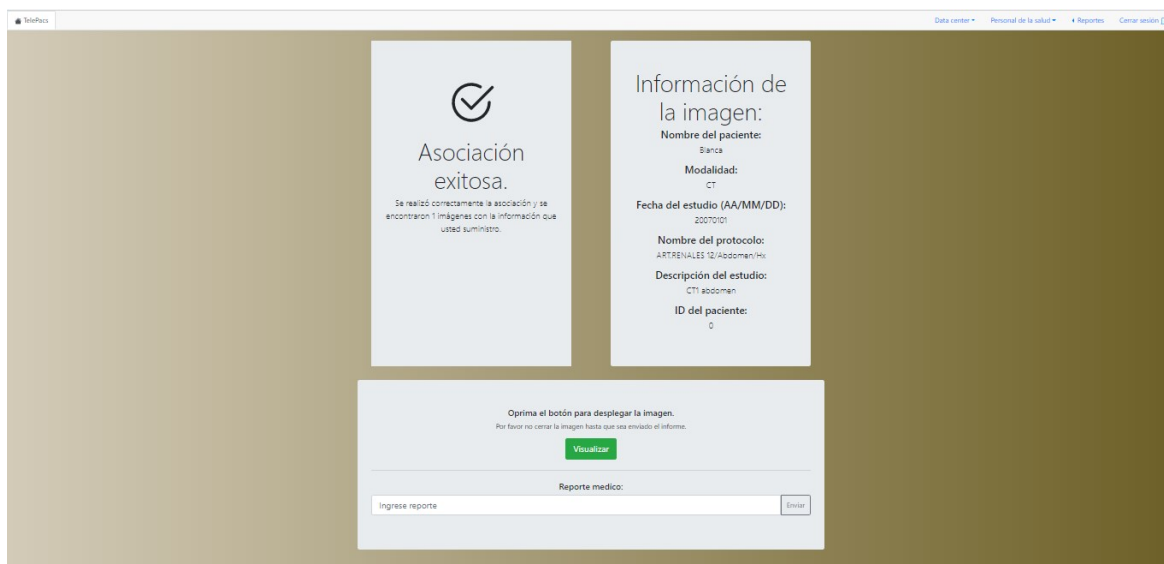


Figura 5.5: Respuesta del sitio a la búsqueda de una imagen por medio del servicio "Buscar información", imagen del autor.



Figura 5.6: Interfaz de reportes imágenes, imagen del autor.



Figura 5.7: Interfaz de reportes informes, imagen del autor.



5.2 ISO 25000

Basados en la ISO 9126 y la ISO 14598, donde se especifican requisitos y evaluaciones de características de calidad de productos software, se creó el grupo de normas ISO 25000, en las cuales se da una guía para incorporar una serie de estándares de carácter internacional; esta ISO se compone de las siguientes normas ('PORTAL ISO 25000', n.d.):

- **ISO 25010:** En esta norma se establecen las características de calidad que deben ser evaluadas en un producto software.
- **ISO 25012:** Se establecen las características de calidad de datos del producto.
- **ISO25040:** Se definen los procesos que se deben realizar para desarrollar la evaluación de un producto software; se compone de los siguientes pasos: 1) establecer los requisitos de la evaluación, 2) especificar la evaluación, 3) diseñar la evaluación, 4) ejecutar la evaluación y concluir la evaluación.

Basados en las características de la ISO 25040 de la familia ISO25000, se establecieron las siguientes actividades ('ISO 25040', n.d.):

1) Establecer los requisitos de la rúbrica

1.1) Establecer el propósito de la rúbrica:

Se estableció que el objetivo de la rúbrica o evaluación fue comprobar la calidad del software, funcionalidad y realizar un proceso de retroalimentación para mejorar el software para futuros trabajos.

1.2) Identificar las partes del producto que se van a evaluar:

- Utilidad y aporte a la productividad.
- Visualización de informes e imágenes DICOM.
- Almacenamiento de imágenes y reportes.
- Transmisión y recepción de información.
- Navegación en el sitio.
- Presentación y organización del sitio.

1.3) Definir el rigor de la rúbrica:

Para definir el rigor de la rúbrica, se seleccionaron evaluadores lo cuales tenían conocimiento del campo al cual va dirigido el proyecto, por lo cual estos calificaron con cierto criterio el sitio web.

2) Especificar la evaluación

2.1) Definir los criterios de decisión para las métricas:

Para la evaluación de las rubricas se estableció una puntuación de 1 a 5, donde 1 era la calificación más baja y 5 la más alta.

3) Diseñar la rúbrica

3.1) Planificar las actividades de rúbrica:

Para la planificación de las actividades relacionadas a la rúbrica, se establecieron fechas para comunicarse con los evaluadores y realizar las reuniones para realizar las rubricas.

4) Ejecutar la rúbrica

Para esta actividad los evaluadores contestaron las rubricas generadas para la evaluación del sitio web, posterior a la explicación y demostración del software, el contenido de estas rubricas se puede encontrar en la sección 5.4.1.

5) Concluir la rúbrica

Las sub actividades mencionadas en este punto se pueden observar en la sección 5.5, donde se realiza el análisis de los resultados.

5.1) Revisar los resultados de la rúbrica:

5.2) Crear el informé de la rúbrica:

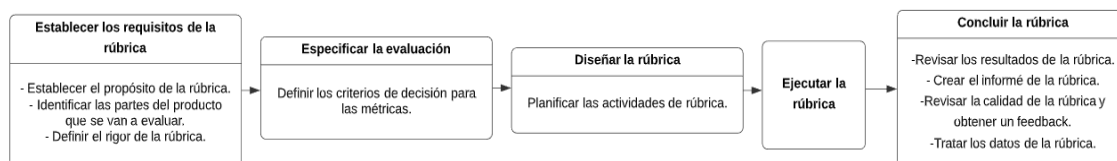
5.3) Revisar la calidad de la rúbrica y obtener un feedback:

5.4) Tratar los datos de la rúbrica:

Para el tratamiento o análisis de los datos obtenidos en las rubricas se utilizó la puntuación media de opinión (MOS) (Sección 5.2)

A continuación, en la Figura 5.8 se muestra el diseño de las actividades mencionadas anteriormente:

Figura 5.8: Diagrama para implementación de las rubricas, en función de la ISO 25040, imagen de autor.



5.3 Puntuación media de opinión (MOS).

La MOS es una medida utilizada ampliamente en el campo de la telecomunicación para la evaluación de manera subjetiva de la calidad de video, audio o calidad audiovisual; esta puntuación ha sido utilizada constantemente por la unión internacional de telecomunicaciones (ITU), la cual ha definido en su recomendación P.800.1 (Unión internacional de telecomunicaciones, 2016) la terminología adecuada para utilizar la MOS en evaluaciones de calidad de audio, video o servicios audiovisuales.

5.3.1 Formula de la MOS

Ecuación 1: Puntuación Media de Opinión (MOS).

$$MOS = \frac{\sum_{n=1}^N Rn}{N}$$

Donde N es el número total de encuestados y Rn la respuesta dada por cada voluntario en un área específica de la rúbrica.

Se utilizó el MOS para evaluar de manera cuantitativa los resultados obtenidos de las rubricas. En la sección 5.5 se utilizó el MOS para el análisis de los resultados, con el fin de establecer la calidad del PACS en los distintos aspectos que se evaluaron.

5.4 Desviación típica

La desviación típica es una medida de dispersión, la cual fue utilizada para realizar el análisis de la desviación de las respuestas de la rúbrica con respecto a la media de opinión; la fórmula de la desviación típica está representada en la Ecuación 2:

Ecuación 2: Desviación típica.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Donde X_i es la respuesta de un evaluador, \bar{X} la media del componente a evaluar en la rúbrica y N el número total de encuestados.

5.5 Coeficiente de variación

Es la relación entre la desviación típica y la media de la población, fue utilizada para comparar la dispersión en las diferentes áreas que se evaluaron en el PACS; la fórmula del coeficiente de variación está representada en la Ecuación 3:

Ecuación 3: Coeficiente de variación.

$$C.V = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100$$

Donde σ es la desviación típica y \bar{X} la media del componente a evaluar en la rúbrica.

5.6 Descripción de la población

Para seleccionar a la población que va a evaluar el sitio web, se tuvo en cuenta que estas personas debían tener conocimientos de telemedicina o haber utilizado un sistema de este tipo en su vida laboral, lo cual les permitiera comprender el funcionamiento del sitio web. La mayor parte de los encuestados tienen varios años de experiencia, ya que este fue uno de los criterios para la selección. Además, el 55% de los encuestados tienen al menos un postgrado.

En la Tabla 5.1 se muestra la población escogida para la evaluación del sitio web, junto con algunos datos de los mismo:

Tabla 5.1: Descripción de la población encuestada.

NOMBRE	Formación de pregrado	Título más alto adquirido	Trabajo actual.	Años de experiencia profesional
Sebastián Jaramillo Isaza	Universidad de Antioquia: Bioingeniería	Postdoctorado Sorbonne Université - Université de technologie de Compiègne Nanotecnología y Nanotribología	Docente: Universidad Antonio Nariño	5 años.
César Augusto Quinayas Burgos	Universidad del Cauca Ingeniería Física	Doctorado Universidad del Cauca Doctorado en Ciencias de la Electrónica	Docente: Universidad Antonio Nariño	11 años
Erika Giselle Bedoya Arce	Universidad Antonio Nariño Ingeniería biomédica	Pregrado Ingeniería biomédica	Radiología Digital SAS	1 año y 3 meses
Victoria Alejandra Rincón Guevara	Universidad Antonio Nariño Ingeniería biomédica	Pregrado Ingeniería biomédica	Líder de calidad en Radiología Digital SAS	2 años
Víctor Ricardo Guerrero Valencia	Ingeniería biomédica	Universidad Santo Tomas Especialización: - Auditoria en salud - Gerencia de instituciones de seguridad social en salud	Coordinador de la área biomédica en clínica el country y clínica la colina	8 años
Jenny Carolina Castiblanco Sánchez	Pontificia Universidad Javeriana Ingeniería electrónica.	Doctorado: Candidata a PhD en Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana.	Pontificia Universidad Javeriana, Profesor Catedra	3 años
Martha Bello	- -	Auxiliar de enfermería	Auxiliar de enfermería: Davita	5 años

Alejandro Barrera	Enfermería	Posgrado: Enfermería nefrología	Jefe de enfermería: Davita	3 años
Angie Tatiana Padilla	--	Auxiliar de enfermería	Auxiliar de enfermería: Davita	5 años

5.7 Descripción de la encuesta: Diseño de rubricas de evaluación

Para el diseño de la rúbrica se tomaron en cuenta algunos aspectos de la rúbrica realizada en el artículo (Rodríguez, Navarro, & López, 2019) ya que en este se evalúan características de una plataforma web dirigida al aprendizaje, por lo cual se considera que esta se puede tomar de base para la generada en este proyecto. Otros aspectos que se tomaron en cuenta fueron: 1) los procesos relacionados a los servicios DICOM (C-Echo, C-Get, C-Store, C-Move, C-Mwl y C-Find), ya que como se menciona en el libro (Pianykh, 2012) estos servicios son fundamentales en un PACS; 2) los requerimientos PACS establecidos en la sección 4.1. En el anexo A se encuentra la rúbrica diseñada para la recolección de información con respecto al PACS.

Además de las preguntas del anexo A, se agregó a la rúbrica la pregunta abierta: “Desde su experiencia, ¿Qué cambios o mejoras podría tener el sitio web para ser implementados en futuras versiones?”, esto con el fin de mejorar el actual PACS y utilizar las sugerencias para versiones futuras.

5.8 Análisis de resultados de la rúbrica.

A continuación, en la Tabla (5.2), se muestran los resultados obtenidos en las rubricas (Anexo A) con respecto a las 10 áreas a evaluar; además se realiza el cálculo de desviación típica y coeficiente de variación, para establecer la dispersión presente en las rubricas:

Tabla 5.2: Resultados de las rubricas y valores de dispersión.

<i>Aspecto a evaluar</i>	<i>Calificaciones de los voluntarios (%)</i>					<i>Desviación típica</i>	<i>Coefficiente de variación (%)</i>
	<i>5.0</i>	<i>4.0</i>	<i>3.0</i>	<i>2.0</i>	<i>1.0</i>		
Mejora en el manejo de la información	33,3	44,4	11,1	11,1	0	0.942	23.57
Visualización de informes en el sitio	33,3	33,3	33,3	0	0	0.816	20.41
Visualización de imágenes tipo DICOM	11,1	88,9	0	0	0	0.314	7.63
Almacenamiento de imágenes y reportes	22,2	55,6	22,2	0	0	0.666	16.5
Trasmisión de imágenes tipo DICOM	44,4	33,3	22,2	0	0	0.785	18.6
Recepción de imágenes tipo DICOM	44,4	33,3	22,2	0	0	0.874	21.26
Búsqueda de información en la base de datos	55,6	33,3	11,1	0	0	0.684	15.4
Verificación de la conectividad entre equipos	33,3	66,7	0	0	0	0.471	10.87
Navegación en el sitio	55,6	44,4	0	0	0	0.496	10.87
Presentación y organización en el sitio	33,3	44,4	22,2	0	0	0.737	17.93

Como se observa en la Tabla 5.2 la mayoría de las calificaciones se encuentran en un rango de 5.0 a 3.0 puntos, con esto se puede entender que para la gran mayoría de usuarios el software diseñado cuenta con características buenas o medias, además se establece que en todas las categorías a evaluar se cumplieron los requerimientos básicos de funcionamiento establecidos en la encuesta (Anexo A). Por medio del cálculo de la desviación típica y el coeficiente de variación (Porcentaje) de las áreas de las rubricas, se observa que en algunos aspectos a evaluar se presentan grandes coeficientes de variación (coeficientes mayores al 15%), siendo 23.57% el mayor porcentaje de coeficiente de

variación, el cual representa al área de “Mejora en el manejo de la información”, este porcentaje puede ser el resultado de tomar una población de voluntarios con diferentes enfoques en este campo; el menor coeficiente de variación fue de 7.63%, que corresponde al aspecto “Visualización de imágenes tipo DICOM”, debido a que es el aspecto con menor dispersión, se establece que es el parámetro con mayor fiabilidad.

En la tabla 5.3 se muestran los aspectos evaluados en las rubricas, junto con su MOS. Estos aspectos se dividieron en tres grupos: 1) Organización y presentación de la plataforma, en este grupo se encuentran los aspectos de navegación, presentación y organización, y mejora en el manejo de la información; 2) Funcionalidad del PACS, que corresponde a los aspectos de almacenamiento de imágenes y reportes, transmisión de imágenes tipo DICOM, recepción de imágenes tipo DICOM, búsqueda de información en la base de datos y verificación de conectividad entre equipos; 3) Visualización de la información, en este grupo se encuentran los aspectos de visualización de informes y visualización de imágenes tipo DICOM. Se dividieron los aspectos en tres grupos para facilitar el análisis de los resultados.

Tabla 5.3: Calificación MOS de cada aspecto en la rúbrica, tabla del autor.

Aspectos	MOS
<i>Organización y presentación de la plataforma</i>	
Navegación	4,56
Presentación y organización	4,11
Mejora en el manejo de la información	4
<i>Funcionalidad del PACS</i>	
Almacenamiento de imágenes y reportes	4
Transmisión de imágenes tipo DICOM	4,22
Recepción de imágenes tipo DICOM	4,11
Búsqueda de información en la base de datos	4,44
Verificar la conectividad entre equipos	4,33

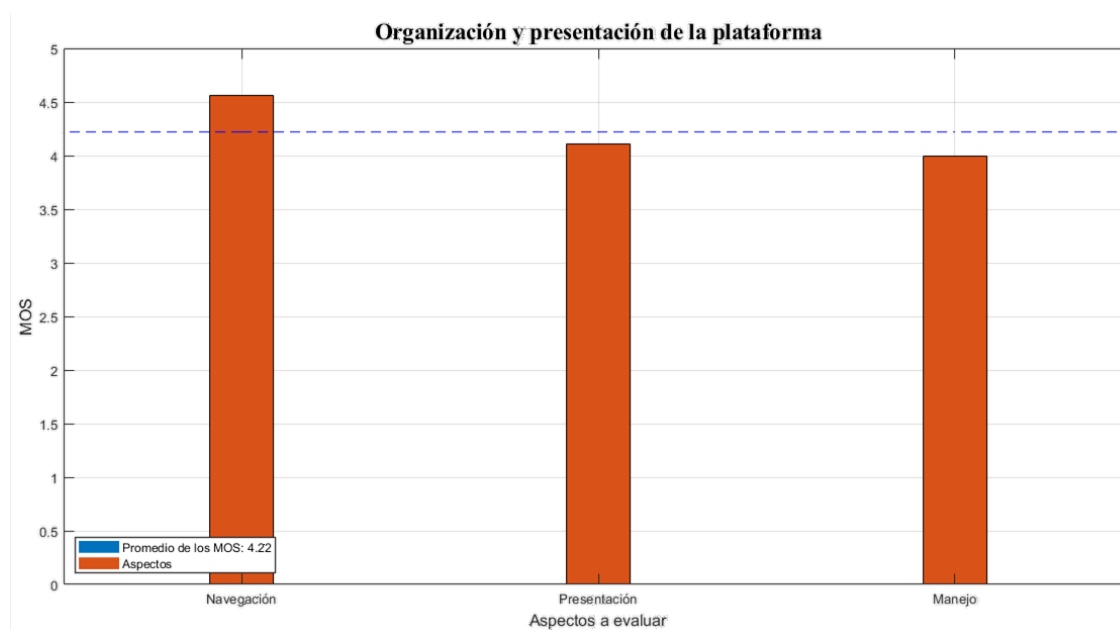
Visualización de la información	
Visualización de los informes	4
Visualización de imágenes tipo DICOM	4,11

A continuación, se hace el análisis de cada uno de los grupos:

- **Organización y presentación de la plataforma**

En la figura (5.9) se muestran los valores de la puntuación media de opinión (MOS) por cada aspecto del grupo “Organización y presentación de la plataforma”, además se grafica el promedio de los MOS para el grupo, el cual fue de 4.22 puntos. Este promedio indica que según el grupo encuestado la plataforma es adecuada y de mediana complejidad (según las calificaciones de la tabla 5.2), lo cual se considera un buen resultado, debido a que el software es dirigido a una población estudiantil a la cual se le debe facilitar la interacción y comprensión del software. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, en la Tabla (5.3) y la Tabla (5.2) se deben mejorar algunas características relacionadas a la presentación, debido a que su funcionamiento no se hace intuitivo, lo que aumenta la complejidad del software.

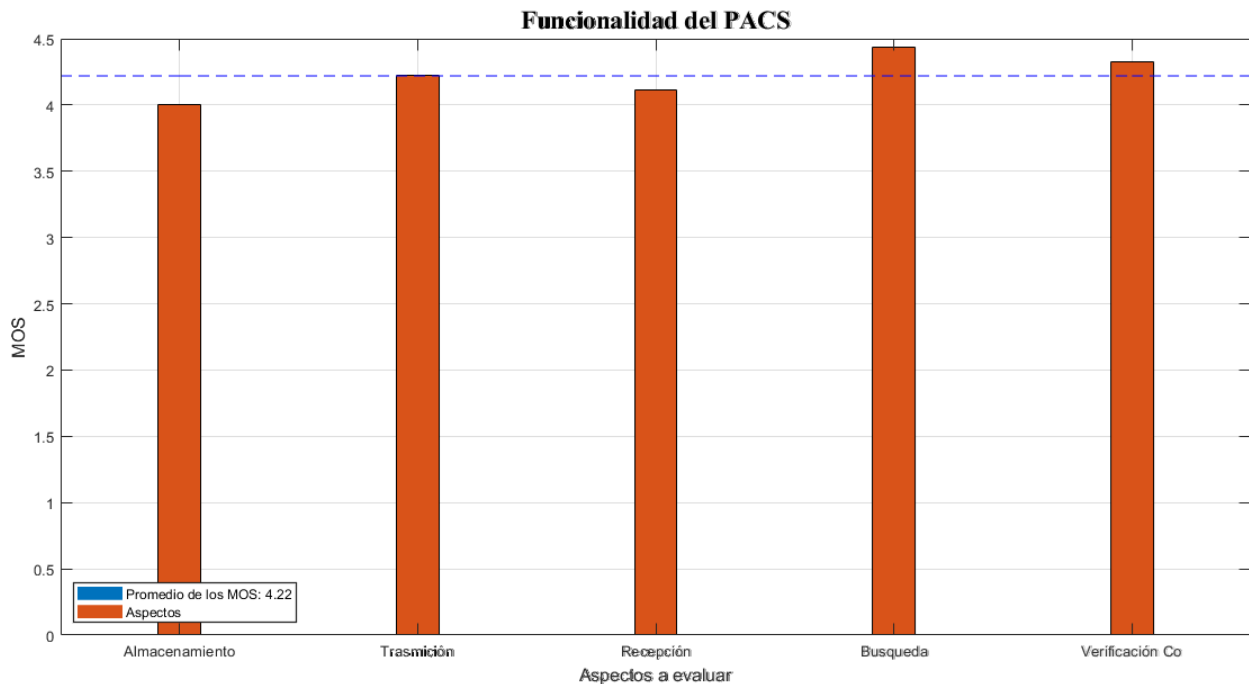
Figura 5.9: MOS en los aspectos de organización y presentación de la plataforma.



- **Funcionalidad del PACS**

En la figura (5.10) se muestran los valores de la puntuación media de opinión (MOS) por cada aspecto del grupo “Funcionalidad del PACS”, además se grafica el promedio de los MOS para el grupo, el cual fue de 4.22 puntos. Este promedio indica que, según el grupo encuestado el PACS realiza correctamente las funciones de almacenamiento, transmisión, recepción, búsqueda y verificación de la conectividad entre equipos; es importante mencionar que el aspecto de almacenamiento fue el que menor MOS obtuvo, por lo tanto se necesitan realizar modificaciones en esta área, en función de disminuir la complejidad del funcionamiento de esta; esto se debe tener en cuenta ya que los procesos de envío y almacenamiento son de vital importancia en un sistema PACS y si se desea facilitar el aprendizaje de los estudiantes es necesaria la comprensión de este tipo de sistemas.

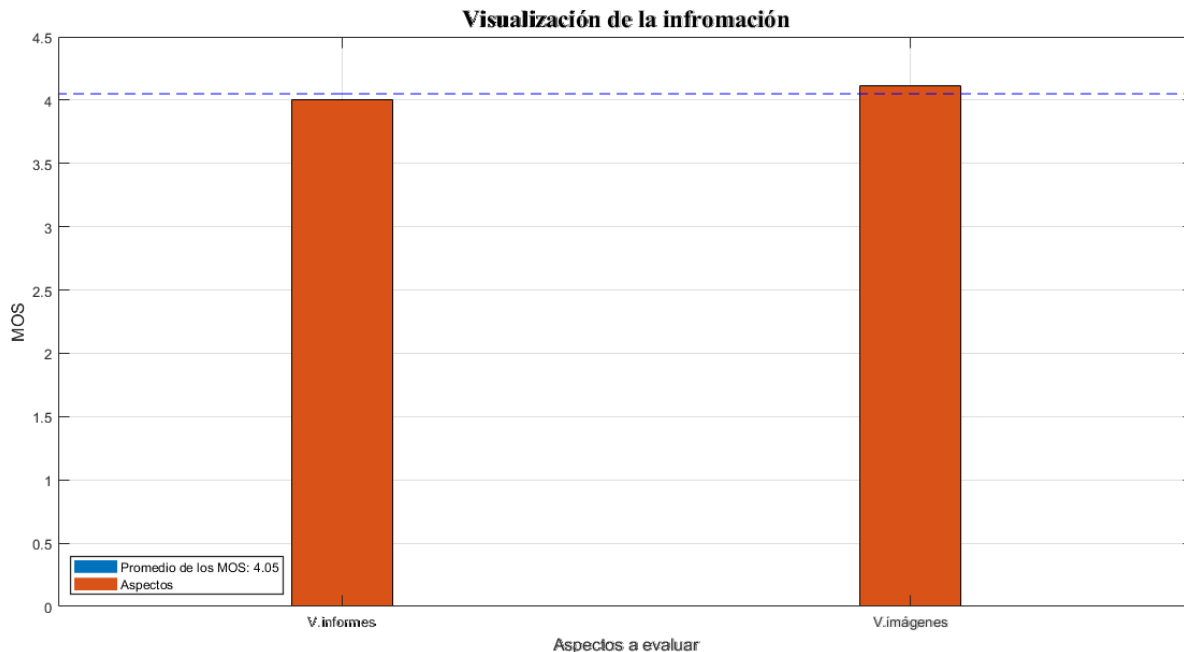
Figura 5.10: MOS en los aspectos de funcionalidad del PACS.



- **Visualización de la información**

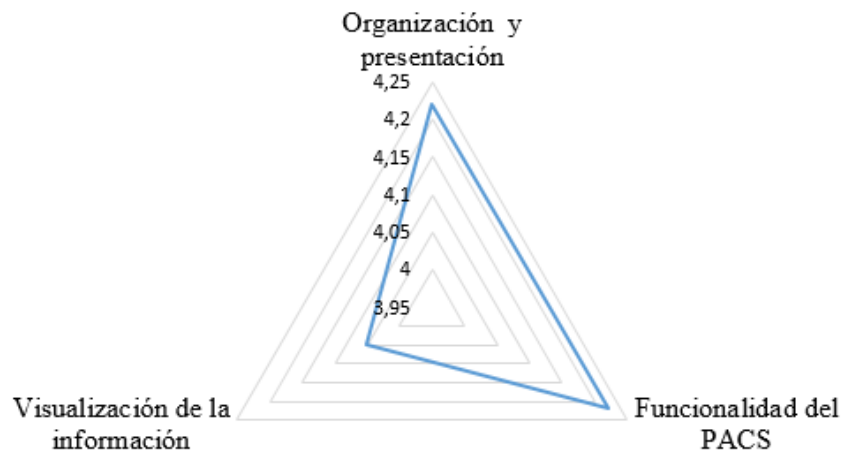
En la figura (5.11) se muestran los valores de la puntuación media de opinión (MOS) por cada aspecto del grupo “Visualización de la información”, además se grafica el promedio de los MOS para el grupo, el cual fue de 4.05 puntos, este promedio fue el más bajo de los tres grupos a analizar. Según los voluntarios encuestados el software permite visualizar imágenes tipo DICOM, pero teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la tabla (5.2) algunas características de la visualización no son adecuadas; esto puede deberse a que el visualizador que se utilizó en el software solo permite mostrar la imagen tipo DICOM y omite funciones importantes que deben tener los visualizadores presentes en un PACS (mencionadas en la sección 4.6). Teniendo en cuenta esto se debe mejorar la visualización de la información médica, con el fin de poder generar más similitudes con los visualizadores presentes en los PACS comerciales, con los cuales posiblemente el estudiante tendrá que interactuar luego de su proceso formativo.

Figura 5.11: : MOS en los aspectos de visualización de la información.



En la figura (5.12) se representan los promedios de los PACS generados para los tres grupos en una gráfica de tipo radial, con el fin de facilitar la comprensión de las calificaciones generadas en los grupos.

Figura 5.12: MOS promedio en cada grupo, imagen del autor.



6. Conclusiones y trabajos futuros

6.1 Conclusiones

En el presente trabajo se buscó implementar un software el cual recreara las funciones características de un PACS mencionadas en la sección 4.1, mediante el estándar DICOM, con el fin de ser utilizado en algunas materias de la carrera de ingeniería biomédica de la universidad Antonio Nariño; para el desarrollo de dicho software se utilizó el lenguaje de programación python, junto con el lenguaje de marcado HTML y la base de datos MySQL.

Dando respuesta a los objetivos planteados al inicio del presente documento, se implementó un software basado en lenguaje de programación python y lenguaje de marcado HTML. Este software permite al usuario la transmisión, búsqueda y retorno de imágenes de tipo DICOM almacenadas en la base de datos libre MySQL; el software cuenta con la función de envío y almacenamiento de reportes e imágenes de tipo DICOM a la base de datos libre MySQL, lo que permite aumentar la capacidad de almacenamiento y reducir los costos de implementación en un PACS; esta información se pueden retornar al sitio web en cualquier momento; además el software cuenta con la capacidad de visualizar imágenes tipo DICOM, específicamente imágenes de tomografía computarizada (CT) que se encuentran en la base de datos, esto con la idea de ayudar a la elaboración de los reportes por parte del usuario.

Con respecto a los requerimientos planteados en la sección 4.1, se implementaron en el software el 91.66% de los requerimientos, siendo el porcentaje restante (9,33%) el requerimiento de “El sitio debe poder acumular y visualizar todas las imágenes DICOM e información que pertenezcan a un paciente específico”, el cual no pudo ser implementado debido a que se presentaron problemas con el visualizador utilizado, el cual no permitía la visualización de un conjunto de imágenes de manera simultánea.

Para la evaluación del software se utilizó una rúbrica de recolección de información, en 9 voluntarios, los cuales tenían conocimiento del área de telemedicina o debido a su profesión habían utilizado sistema de este tipo. Para analizar los resultados se dividieron los aspectos a evaluar en tres grupos: i) Presentación y organización de la plataforma: el

cual obtuvo un MOS promedio de 4,22, ii) Funcionalidad del PACS: obtuvo un MOS promedio de 4,22, y iii) Visualización de información: con un MOS promedio de 4,05.

La puntuación media de opinión en todas las áreas a evaluar fue superior o igual a una calificación de 4, lo que permite establecer que el software es adecuado para ser utilizado como una ayuda didáctica en algunas materias de la carrera de Ing. Biomédica de la universidad Antonio Nariño.

Por último, se diseñaron dos laboratorios (Anexo A y B) que pueden ser utilizados como una herramienta de apoyo en las materias de telemedicina o bioinstrumentación II, con el fin de mejorar la comprensión que tienen los estudiantes sobre los PACS y las imágenes de tipo DICOM.

6.2 Recomendaciones para trabajos futuros

Las recomendaciones, basadas en los resultados obtenidos son:

- Para la evaluación de este tipo de sistemas por medio de instrumentos de recolección de información, se recomienda centrarse en una población específica, debido a que en el actual proyecto se encontró una gran dispersión en los resultados, posiblemente generada por los diferentes enfoques de los voluntarios.
- Buscar otros visualizadores de imágenes de tipo DICOM, compatibles con el lenguaje python, debido a que el visualizador de OpenCV no permite al usuario interactuar con la imagen, lo cual se considera importante en este tipo de sistemas.
- Implementar el servicio C-Cancel de los servicios DICOM para la cancelación del envío de información, para este proyecto se encontraron problemas en su implementación.
- Aunque el software fue subido a GitHub lo que permite que esté al alcance de todo público, se recomienda que para futuros trabajos se pueda subir el sitio web a un dominio privado o público, con el fin de que más personas puedan interactuar con él.

A. Anexo: rúbrica diseñada para la recolección de información con respecto al PACS

ASPECTO	5	4	3	2	1
Facilidad en el manejo de la información hospitalaria..	El PACS facilita el manejo de la información hospitalaria y aumenta la productividad de la entidad de salud.	El PACS facilitar el manejo de la información hospitalaria y aumenta ligeramente la productividad de la entidad de salud.	El PACS maneja la información hospitalaria, pero no contribuye a la productividad de la entidad de salud.	El PACS en algunas ocasiones complica el manejo de la información hospitalaria degradando la productividad de la entidad de salud.	El PACS complica el manejo de la información hospitalaria y afecta negativamente la productividad de la entidad de salud.
Visualización de los informes.	Los informes se pueden visualizar correctamente y son fáciles de entender para el usuario.	Los informes se pueden visualizar, pero algunos datos no son claros para el usuario.	Los informes se pueden visualizar, pero considera que se omite información importante.	Algunos informes no se pueden visualizar y el usuario se siente confundido.	No se pueden visualizar los informes.
Imagen DICOM	El tamaño y la calidad de las imágenes DICOM permite al usuario visualizarlas, aumentando el interés o entendimiento del usuario.	Las imágenes tipo DICOM se pueden visualizar, pero algunas características de estas no son las adecuadas	Las imágenes DICOM son de baja calidad dificultando la comprensión de la misma.	Algunas imágenes DICOM no se pueden visualizar y el usuario se siente confundido.	No se pueden visualizar las imágenes DICOM.
Almacenar imágenes y reportes	El almacenamiento es adecuado y organizado, además es fácil de realizar.	El almacenamiento es adecuado y organizado, pero su uso no es intuitivo.	El almacenamiento es adecuado, pero es necesario realizar una serie de procesos complicados.	Algunas imágenes y reportes no son almacenados.	No se realiza el almacenamiento de las imágenes o reportes del sitio.

Transmisión de imágenes tipo DICOM.	La transmisión de las imágenes DICOM es adecuada y de fácil ejecución.	La transmisión de las imágenes es adecuada, pero su uso no es intuitivo.	La transmisión de las imágenes DICOM es adecuada, pero es necesario una serie de procesos complicados.	Algunas imágenes DICOM no se puede transmitir.	No se puede realizar la transmisión de imágenes DICOM.
Recepción de imágenes tipo DICOM.	La recepción de la imágenes es adecuada y corresponden con los datos de la búsqueda.	La recepción de la imágenes es adecuada, pero no corresponden con los datos de la búsqueda.	La recepción de la imágenes es adecuada, pero es necesario una serie de procedimientos complicados.	Algunas imágenes no pueden ser retornadas al usuario.	No se puede realizar la recepción de las imágenes tipo DICOM.
Búsqueda de información en la base de datos.	La búsqueda funciona correctamente y retorna los datos de interés.	La búsqueda funciona correctamente, pero retorna algunos datos que son irrelevantes.	La búsqueda funciona, pero son necesarios una serie de procesos un poco complicados.	No se puede realizar la búsqueda en algunos casos.	No se puede realizar la búsqueda de información en la base de datos.
Verificar la conexión entre equipos.	Se puede verificar la conectividad entre equipos de forma sencilla para el usuario.	Se puede verificar la conectividad entre equipos, pero su uso no es intuitivo.	Se puede verificar la conectividad, pero en algunos casos hay desconexiones de los equipos.	La verificación de conexión no es fiable, por fallas en el sitio.	No se puede realizar la verificación de conexión entre equipos.
Navegación	Los enlaces para la navegación están claramente etiquetados, colocados consistentemente, permiten al lector moverse fácilmente de una página a otras páginas relacionadas, y llevan al usuario a donde este espera ir. El usuario no se pierde.	Los enlaces de navegación permiten al usuario moverse de una página a otra, pero se dificulta encontrar el enlace deseado.	Los enlaces de navegación llevan al usuario donde este espera ir, pero algunos enlaces necesarios parecen no estar presentes.	Algunos enlaces no llevan al lector a los sitios descritos; el usuario se siente perdido.	No es posible realizar la navegación dentro del sitio web.
Presentación y organización.	El PACS tiene un aspecto agradable, organizado y útil. Es intuitivo localizar los elementos principales.	El PACS tiene un aspecto organizado y útil, pero no es intuitivo localizar los elementos principales.	Las páginas están organizadas, pero contienen información irrelevante.	Las páginas se ven cargadas de información irrelevante y confusa. A menudo es difícil localizar elementos importantes.	El sitio es desorganizado y se dificulta la navegación.

B. Anexo: Laboratorio 1



Laboratorio 1

Tema: PACS y DICOM

Programa de ingeniería biomédica – UAN

Objetivos:

- Comprender el funcionamiento de los PACS.
- Verificar las funciones de los servicios de clase usuario y clase proveedor.

Materiales:

- Red local.
- Software de TelePacs.

Preguntas previas al laboratorio:

- ¿Qué es un PACS y que características debe tener uno?
- ¿Qué es DICOM y donde se utiliza?
- ¿Cuáles son los servicios DICOM y cuál es su funcionamiento?
- ¿Cuál es la función de SCU (Service class user) y SCP (Service class provider), en los servicios DICOM?

Según (Huang, 2010) los componentes fundamentales que deben estar presentes en todo PACS comercial son: 1) puertas de enlace para la adquisición de imágenes y datos, 2) un servidor de archivos PACS, y 3) estaciones de trabajo y visualización de la información.

Teniendo en cuenta esto, identifique que mecanismos o secciones del sitio web hacen parte de estos componentes y escríbalos en la tabla:

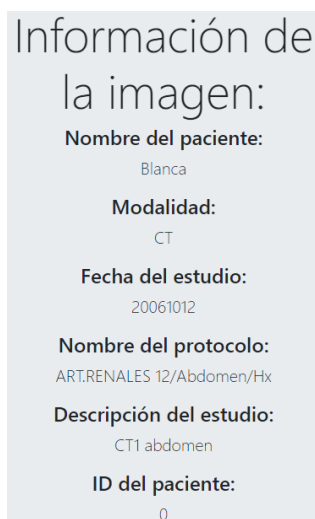
<i>Componentes</i>	<i>Funciones o mecanismos en el PACS</i>
<i>Puertas de enlace para la adquisición de imágenes y datos</i>	

<i>Servidor de archivos PACS</i>	
<i>Estaciones de trabajo</i>	

Actividad:

1. Ingrese al sitio web, con el usuario “TOTAL”.
2. Habilite el servicio “Abrir conexión” en el Data Center
3. Utilice el servicio “comprobar conexión” en la sección Personal de la salud.
Pregunta: ¿A qué servicio DICOM corresponde este procedimiento?
4. Utilice el servicio “Buscar información” (No habilite su contra parte en el Data Center).
Pregunta: ¿Qué ocurrió?, ¿Por qué ocurrió? Y ¿a qué servicio DICOM corresponde la función Recibir imagen?
5. Habilite la función “Habilitar búsqueda” en el Data Center y vuelva a realizar el paso 4.
Pregunta: ¿Por qué en esta ocasión funciona?
6. La ilustración (1) es un ejemplo de la respuesta que da el sitio web a la búsqueda, toda esta información se encuentra en la imagen DICOM:

Ilustración 1. Respuesta del sitio web, para la búsqueda de la información.



Informe:

1. ¿Para qué tipo de usuarios va dirigido el acceso “Total”? y ¿por qué son necesarias las funciones que este tiene?
2. ¿Para qué tipo de usuarios va dirigido el acceso “Parcial”? y ¿por qué son necesarias las funciones que este tiene?
3. Suponga que fue contratado en una entidad de salud en una zona rural, esta acaba de ser inaugurada, no cuenta con especialistas en radiología y no tiene contratado un servicio de almacenamiento de la información, el director de la entidad le pide el favor de que le ayude a contratar un servicio PACS, y usted acepta.

Teniendo en cuenta la situación anterior:

- ¿Qué criterios o parámetros considera que son necesarios para escoger un sistema PACS?
- Teniendo en cuenta que es una zona rural de difícil acceso y no cuenta con profesionales capacitados en diagnóstico radiológico ¿Qué funciones o herramientas debe tener el PACS a contratar?

C. Anexo: Laboratorio 2



Laboratorio 2

Tema: PACS, DICOM y contextos de presentación.

Programa de ingeniería biomédica – UAN

Objetivos:

- Comprender el funcionamiento de los PACS.

- Verificar las funciones de los servicios de clase usuario y clase proveedor.

Materiales:

- Red local.
- Software de TelePacs.
- Imagen DICOM de tipo CT (Tomografía computarizada).
- Imagen DICOM de tipo RM (Resonancia magnética).

Preguntas previas al laboratorio:

- ¿Identifique y explique al menos 3 modalidades de imágenes diagnósticas?
- ¿Por qué para utilizar algunos servicios DICOM se necesita conocer la modalidad de la imagen? (Ej: C-Move)
- ¿Qué son los contextos de presentación y cuando se utilizan?
- ¿Qué función tiene el abstract syntax y el transfer syntax en los contextos de presentación?

Procedimiento:

1. Ingrese al sitio web, con el usuario “TOTAL”.
2. Habilite el servicio “Habilitar envío de imagen” en el Data Center
3. Habilite el servicio “Iniciar lista de trabajo” en el Data Center
4. Utilice el servicio “Recibir imagen” en la sección Personal de la salud.

Pregunta: ¿A qué servicio o servicios DICOM corresponde este procedimiento?

Pregunta: ¿Por qué es necesario habilitar los servicios de lista de trabajo y envío de imágenes?

5. Por medio del código creado en el “laboratorio 1: PACS y DICOM” compruebe la información de la imagen de tipo CT que se solicitó para el laboratorio.
6. Ingrese a la función “Reporte: imágenes”, luego suba la imagen tipo CT que analizo previamente.
7. Vuelva a repetir los pasos 4.
8. Por medio del código creado en el “laboratorio 1: PACS y DICOM” compruebe la información de la imagen de tipo RM que se solicitó para el laboratorio.
9. Ingrese a la función “Reporte: imágenes”, luego suba la imagen tipo RM que analizo previamente.
10. Vuelva a repetir los pasos 4.

Pregunta: ¿Qué ocurrió y por qué cree que sucedió?

Pregunta: ¿Cómo se puede solucionar esto?

Bibliografía

- Aldosari, H., Saddik, B., & Al Kadi, K. (2017). Impact of picture archiving and communication system (PACS) on radiology staff. Retrieved 19 April 2020 from <https://doi.org/10.1016/j.imu.2017.11.001>
- Alfonso-Mora, M. L., Castellanos-Garrido, A. L., Villarraga Nieto, A. del P., Acosta-Otálora, M. L., Sandoval-Cuellar, C., Castellanos-Vega, R. del P., ... Cobo-Mejía, E. A. (2018). Aprendizaje basado en simulación: estrategia pedagógica en fisioterapia. Revisión integrativa. *Educación Médica*. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.edumed.2018.11.001>
- Bootstrap Themes Built & Curated by the Bootstrap Team. (n.d.). Retrieved 26 October 2020, from <https://themes.getbootstrap.com/>
- Brooks, D. R. (2017). Introducing HTML. In *Programming in HTML and PHP: Coding for Scientists and Engineers* (pp. 1–10). Cham: Springer International Publishing. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-56973-4_1
- Cardozo, F. M., Rotger, V. I., Solarz, P. F., Salas, A., & Olivera, J. M. (2014). Desarrollo de un PACS usando código abierto bajo estándar DICOM. In *2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)* (pp. 776–779). Bariloche, Argentina: IEEE. Retrieved 1 May 2020 from <https://doi.org/10.1109/ARGENCON.2014.6868587>
- Conesa Fuentes, M. del C., Aguinaga Ontoso, E., & Hernández Morante, J. J. (2011). Evaluación de la calidad de las páginas web sanitarias mediante un cuestionario validado. *Atención Primaria*, 43(1), 33–40. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aprim.2010.01.007>
- Documentación de pynetdicom - documentación de pynetdicom 1.4.1. (n.d.). Retrieved 29 April 2020, from <https://pydicom.github.io/pynetdicom/stable/index.html>
- eDx Tecnología en Salud. (n.d.). Retrieved 7 August 2020, from <http://teleradiologia.com/index.html>
- Freeman, A. (2018). An HTML and CSS Primer. In *Pro Angular 6* (pp. 43–61). Berkeley,

- CA: Apress. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3649-9_4
- Gale, M. E., & Gale, D. R. (2000). DICOM Modality Worklist: An essential component in a PACS environment. *J Digit Imaging*, 13(3), 101–108. Retrieved 1 May 2020 from <https://doi.org/10.1007/BF03168381>
- Health Level Seven International - Homepage | HL7 International. (n.d.). Retrieved 1 July 2020, from <http://www.hl7.org/index.cfm>
- Huang, H. K. (2010). *PACS and imaging informatics: basic principles and applications* (2nd ed). Hoboken, N.J: Wiley-Blackwell.
- iCRco | iCRco. (n.d.). Retrieved 7 August 2020, from <https://icrco.com/home>
- ISO 25010. (n.d.). Retrieved 26 October 2020, from <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>
- ISO 25040. (n.d.). Retrieved 26 October 2020, from <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25040>
- Johansson, R. (2019). *Numerical Python: Scientific Computing and Data Science Applications with Numpy, SciPy and Matplotlib*. Berkeley, CA: Apress. Retrieved 26 October 2020 from <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4246-9>
- Kaspar, M., Liman, L., Ertl, M., Fette, G., Seidlmayer, L. K., Schreiber, L., ... Störk, S. (2020). Unlocking the PACS DICOM Domain for its Use in Clinical Research Data Warehouses. *J Digit Imaging*. Retrieved 1 May 2020 from <https://doi.org/10.1007/s10278-020-00334-0>
- Krejcar, O., Janckulik, D., Motalova, L., & Kufel, J. (2009). Mobile Monitoring Stations and Web Visualization of Biotelemetric System - Guardian II. In R. Mehmood, E. Cerqueira, R. Piesiewicz, & I. Chlamtac (Eds.), *Communications Infrastructure. Systems and Applications in Europe* (pp. 286–293). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kurspahić, E., Gustavsson, S., & Carlsson, G. L. (n.d.). Standard based PACS/RIS integration—DICOM in praxis, 1281, 1386. Retrieved 19 April 2020 from <https://doi.org/10.1016/j.ics.2005.03.268>
- Medisoft Clinical Electronic Medical Records. (n.d.). Retrieved 1 May 2020, from <https://microwize.com/medisoft/medisoft-clinical/>
- MySQL :: MySQL como una base de datos integrada. (n.d.). Retrieved 29 April 2020, from <https://www.mysql.com/oem/>
- Oosterwijk, H. (1998). DICOM versus HL7 for modality interfacing. *Journal of Digital*

- Imaging*, 11(1), 39–41. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF03168256>
- OpenCV. (n.d.). Retrieved 26 October 2020, from <https://opencv.org/>
- Pianykh, O. S. (2012). *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved 26 October 2020 from <https://doi.org/10.1007/978-3-642-10850-1>
- PORTAL ISO 25000. (n.d.). Retrieved 26 October 2020, from <https://iso25000.com/>
- PROTECCIÓN, M. D. S. Y. (2019). RESOLUCIÓN NÚMERO 0002654 DE 2019, 1–10.
- Qualifacts | Behavioral Health & Human Services EHR Software. (n.d.). Retrieved 1 May 2020, from <https://qualifacts.com/>
- Rodriguez, M. N., Navarro, R. E., & López, R. G. (2019). RÚBRICA PARA EVALUAR AMBIENTES VIRTUALES DE APRENDIZAJE. *3C TIC. Cuadernos de Desarrollo Aplicados a Las TIC*, 7(3 SE-Artículos). Retrieved from <https://doi.org/10.17993/3ctic.2018.73.80-97>
- Silva, L. A. B., Costa, C., & Oliveira, J. L. (2012). A PACS archive architecture supported on cloud services. *Int J CARS*, 7(3), 349–358. Retrieved 1 May 2020 from <https://doi.org/10.1007/s11548-011-0625-x>
- Silva, L. A. B., Costa, C., & Oliveira, J. L. (2013). DICOM relay over the cloud. *Int J CARS*, 8(3), 323–333. Retrieved 1 May 2020 from <https://doi.org/10.1007/s11548-012-0785-3>
- Sistemas PowerServer Cloud PACS de RamSoft & #039; software de nube segura. (n.d.). Retrieved 7 August 2020, from <https://www.ramsoft.com/es/products/powerserver-cloud-pacs-solutions/>
- Soluciones integrales en teleradiología médica | Telemedicina. (n.d.). Retrieved 7 August 2020, from <https://www.actuallpacs.com/>
- Šumak, B., Štumpfl, M., & Pušnik, M. (2015). Integration of RIS and PACS for Efficient Knowledge Management in Healthcare -- a Case in Slovenia. In L. Uden, M. Heričko, & I.-H. Ting (Eds.), *Knowledge Management in Organizations* (pp. 722–737). Cham: Springer International Publishing.
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2018). *Telerradiología BOLETÍN TECNOLÓGICO - Una propuesta de la telemedicina para el sector Salud colombiano*. Retrieved 25 June 2020 from Bogota, Colombia: https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad Industrial/Boletines_Tecnologicos/Boletin_Telerradiologia.pdf

Unión internacional de telecomunicaciones. Recomendación UIT-T P.800.1 : Terminología de las notas medias de opinión, Pub. L. No. S 43705, 18 (2016). Retrieved from file:///C:/Users/user/Downloads/T-REC-P.800.1-201607-!!!PDF-S.pdf

Villalobos, J. (2003). El docente y actividades de enseñanza / aprendizaje: algunas consideraciones teóricas y sugerencias prácticas. *Educere*, 7, 170–176. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35602206>