



**ARQUITECTURA
PARA EL
DESPLIEGUE
TRIDIMENSIONAL EN
DISPOSITIVOS
MÓVILES DE DATOS
GENERADOS POR
TOMÓGRAFOS**

■ Domingo Hernández

email: dhh@ula.ve

Postgrado en Computación

Universidad de Los Andes

Mérida, Venezuela

■ Carlos Bahena

email: bahenacarlos@gmail.com

Postgrado en Computación

Universidad de Los Andes

Mérida, Venezuela

RESUMEN

El artículo presenta una propuesta básica de una arquitectura para el soporte del despliegue tridimensional de imágenes generadas por tomógrafos y el desarrollo de un prototipo que cumpla los requisitos mínimos para cada elemento compuesto por dicha arquitectura, permitiendo la visualización de archivos 3D en formato Stereolithography, la arquitectura comienza por la captura de las imágenes médicas que pueden ser obtenidas de fuentes como la Tomografía computarizada, ultrasonido, resonancia magnética, entre otros.

Adicionalmente se cuenta con un sistema web desarrollado en PHP que se conecta a un servidor web Apache 2.4.10 que sirve como plataforma para realizar las conexiones bidireccionales con el cliente mediante el protocolo HTTP. A su vez el sistema web se conecta a la base de datos centralizada Mysql versión 5.6.21 y un prototipo para el despliegue tridimensional que se lleva a cabo bajo plataforma Android 4.2.2 mediante una interfaz de programación de aplicaciones desarrollada en PHP 5.6.3. Cada elemento en conjunto correspondiente a la plataforma propuesta tiene como aporte científico que es escalable, en código libre, ligero, abierto al uso de otras tecnologías móviles o no para el despliegue de los modelos de estudio y cubre cada etapa del proceso de captura de datos y diagnóstico.

Palabras Clave: Reconstrucción; Tridimensional; Arquitectura de visualización de datos gráficos; despliegue tridimensional en dispositivos móviles.

I. INTRODUCCIÓN

El hombre desde siempre se ha valido de herramientas e instrumentos para hacer más fácil sus tareas, es por eso que actualmente en una sociedad tan moderna y compleja en cuanto a avances tecnológicos, es indispensable el uso de la tecnología si se quiere estar a la par de un mundo tan cambiante.

Actualmente existen sistemas para la captura, gestión, tratamiento y almacenamiento de imágenes médicas, arqueología, biología, oceanografía, ciencia de los materiales y otras ciencias gracias al surgimiento de la tomografía computarizada, el cual ha incrementado la cantidad de estudios y de equipos médicos capaces de adquirir, almacenar y visualizar imágenes con la finalidad de evitar el uso de películas, discos compactos (CD, por sus siglas en inglés) o

documentos en papel [1].

Es vital el uso de las tecnologías de la información (TI) para el análisis de imágenes médicas junto los sistemas de visualización se han convertido en una herramienta muy importante para valorar múltiples padecimientos y alteraciones corporales como fracturas, hemorragias internas, tumores o infecciones en los distintos órganos, posibilitando la especificación de cada situación de una forma muy acertada sirviendo a los médicos como una guía para la realización de intervenciones mínimamente invasivas, toma de biopsias, drenaje de abscesos, reduciendo la necesidad de intervenciones quirúrgicas.

Hoy en día gracias a las capacidades de cómputo de los dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas existen diversas investigaciones sobre su uso en el procesamiento de imágenes médicas que permiten que cada día se migren de sistemas sin conexión a aplicaciones conectadas en la red disponibles en todo el mundo. Muchas de estas herramientas requieren el despliegue de datos 3D generados por tomógrafos y la interacción del usuario con los mismos para determinar las causas de las patologías en los pacientes.

Es por ello que es importante el desarrollo de una arquitectura para el despliegue tridimensional en dispositivos móviles de datos generados por tomógrafos; el cual se va a lograr cumplir mediante el análisis de la captura de datos generados por los tomógrafos y del proceso de despliegue tridimensional en dispositivos móviles, de igual manera mediante el diseño de la arquitectura básica para cada uno de los componentes requeridos para el funcionamiento del prototipo y el desarrollo de un prototipo básico para el despliegue tridimensional de archivos STL (Stereolithography) sobre la arquitectura propuesta.

Para logra los objetivos trazados en cuanto al prototipo, se hizo uso de

herramientas de cómputo para la elaboración de aplicaciones en Android, particularmente el entorno de desarrollo para aplicaciones Android Studio 1.0 que es gratuito bajo la licencia Apache 2.0 en un entorno Windows 7 Home Basic el cual utiliza como lenguaje de programación orientado a objetos Java.

Adicionalmente se tomó la aplicación denominada STL Viewer for Android como librería para la visualización de objetos 3D que utiliza OpenGL como estándar de API gráfica multiplataforma para el procesamiento tridimensional. Además, para realizar la carga de datos y modelos 3D que son consultados por el prototipo móvil, se encuentra un sistema web desarrollado en PHP 5.6.3 bajo un servidor web Apache 2.4.10 que sirve como plataforma para realizar las conexiones bidireccionales con el cliente mediante el protocolo HTTP, que a su vez se conecta a la base de datos centralizada Mysql versión 5.6.21.

Esto beneficiará a la comunidad científica que desee profundizar y/o continuar con el diseño y especificación de la arquitectura propuesta u otros afines tales como planteamiento y/o características del despliegue 3D de imágenes médicas; y planteamiento y/o programación en dispositivos móviles, entre otros. Así como también beneficiará a las instituciones de salud pública y privada para obtener beneficios en la optimización de procesos, poseer una herramienta de fácil acceso, de bajo costo y de una manera más cómoda sin los límites institucionales que restringen a los métodos tradicionales el intercambio de imágenes médicas para agilizar la colaboración con los pacientes durante el proceso de decisión en la atención médica.

A. Antecedentes

Para el desarrollo del presente artículo se toma como referencia trabajos elaborados por diferentes autores en el ámbito nacional e internacional que sirven como apoyo bibliográfico al presente estudio el cual lleva por título Arquitectura para el despliegue tridimensional en dispositivos móviles de datos generados por tomógrafos. Como se mencionó, en el ámbito internacional se han publicado diversos artículos relacionados con el tema entre los que se pueden mencionar:

Fermi, Supramaniam, Kuo, AmmarAmran, Anil, y Rajeswari [2] presentan “An Android-based Mobile Medical Image Viewer and Collaborative” el cual es un sistema que permite a múltiples expertos médicos ver, analizar y discutir las regiones de interés en imágenes médicas de forma remota a través de dispositivos móviles. La investigación está centrada en la creación de mecanismos efectivos para acceder de forma segura a expertos para dar opiniones sobre las imágenes médicas en tiempo real a través de la web con tecnologías para las discusiones en línea. El trabajo propone un prototipo de colaboración en línea para móviles usando el sistema operativo Android 2.3. La Figura 1 muestra el flujo de trabajo que ellos proponen, comenzando con imágenes médicas que pueden ser obtenidas de diferentes fuentes, como la tomografía computarizada, ultrasonido, resonancia magnética, entre otros. Estas imágenes se encuentran en formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) y se envían al Sistema de Archivo y Comunicación de Imagen (PACS). Los usuarios utilizan estaciones de trabajo DICOM con capacidad de obtener las imágenes de los PACS para su posterior visualización o diagnóstico. Para las pruebas se utilizó un servidor de colaboración para lograr tomar las imágenes desde los

PACS y poderlas visualizar en el sistema móvil.



Figura 1. Flujo de trabajo de proyecto

Entrando un poco más en detalle, la arquitectura del visor de imágenes médicas móviles basada en Android 2.3 tiene cuatro componentes principales: el Visualizador, el Sistema de Almacenamiento, La Navegación e Importación, y el Módulo Colaborativo. Para la base de datos se utiliza SQLite para almacenar datos con un servidor de colaboración ligero. El componente Visor es básicamente el componente principal del sistema, vincula los otros componentes y gestiona el flujo de datos entre el usuario y el sistema. La Figura 2 [2] representa la arquitectura utilizada:

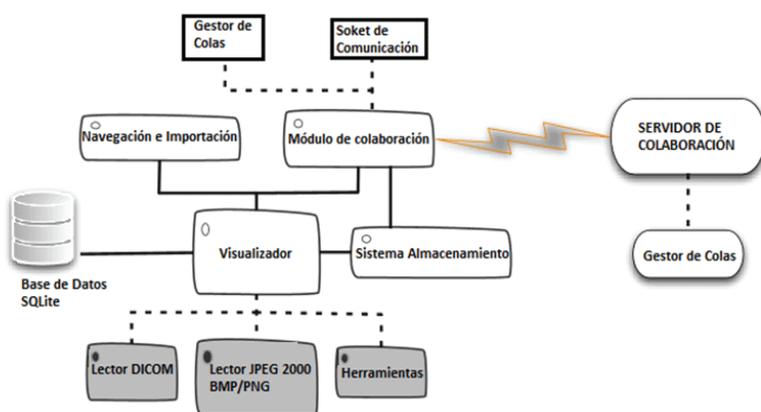


Figura 2. Diagrama sistema propuesto por Fermi y otros

Ojog y Arias [3] presentan “m3DICOM: A Platform for mobile DICOM Visualization Based on X3D” el cual proponen una plataforma adecuada para Visualización DICOM en móviles, superando algunas de las limitaciones actuales de los visores DICOM basadas en la Web mediante la integración de modelado en 3D en la nube, a través de la generación un archivo X3D para la visualización. Ellos indican que los visores DICOM basado en la Web en tiempo real son deseables, pero la limitación del ancho de banda en altos volumen de datos es una barrera difícil de pasar. Sin embargo, con las nuevas tecnologías de las tabletas o teléfonos inteligentes y la nueva generación de navegadores basados en WebGL con GPU para la aceleración gráfica, es posible explorar otras alternativas; es por ello que el archivo DICOM se aloja del lado del servidor y entrega un modelo dinámico X3D al dispositivo móvil para la visualización e interacción con el usuario. El procesamiento se lleva a cabo en la nube, pero la Representación 3D final se realiza en el dispositivo móvil.

La plataforma propuesta por Ojog y Arias se basa en una arquitectura cliente-servidor que permite a los médicos o radiólogos visualizar, analizar e interactuar con la información del paciente almacenada en un repositorio DICOM web, con el uso de un dispositivo móvil y un navegador WebGL habilitado. La arquitectura general se representa en la siguiente Figura 3 [3], el cual el servidor DICOM contiene una base de datos de pacientes y las aplicaciones para procesar en la nube los archivos para extraer una Modelo X3D partir de los datos. El modelo 3D es creado por un proceso de segmentación y cortes de los datos DICOM. Seguidamente un

modelo complejo se ensambla y convierte a formato HTML5 para ser visualizados en el lado del cliente con un navegador compatible con WebGL. El dispositivo cliente podría integrar la aceleración de hardware de gráficos para la representación 3D local [3]

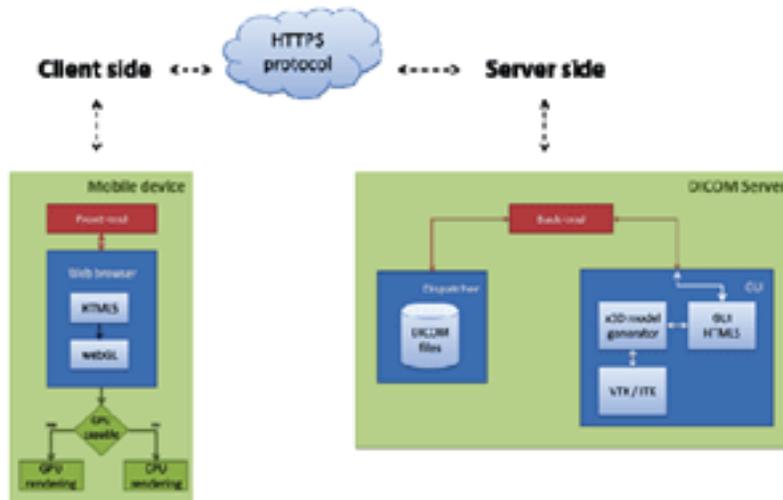


Figura 3. Arquitectura para el visor DICOM en X3D

La implementación de la plataforma que se llevó a cabo en el lado del servidor, los archivos DICOM se almacenan en un sistema de archivos básico, la aplicación se comunica con el cliente para recibir los parámetros de visualización y realiza la segmentación DICOM para entregar del modelo X3D. El procesamiento se lleva a cabo utilizando la bibliotecas del Kit de herramientas de visualización (VTK, en inglés, Visualization ToolKit), ITK (Insight Toolkit) y algoritmos propietarios utilizados para segmentar el modelo 3D a partir de los datos de DICOM. Por otra parte, en el dispositivo móvil, el usuario puede acceder a la página web a través de una interfaz en el navegador compatible con HTML5. Para probar los resultados se utilizó una tabla modelo Viewsonic con Android 2.2 y el navegador Fennec 4.0b6pre. El problema presentado en esta arquitectura es la

integración entre un sistema que mantenga la información básica de los pacientes y el modelo 3D de su respectivo estudio, ya que el despliegue está ligado al navegador instalado en el dispositivo móvil y solo se enfoca en la visualización de dicho modelo tridimensional.

Adicionalmente se pueden encontrar algunos desarrollos en el ámbito nacional, como es el caso de “Web visualization of 3D medical data with open source software” propuesto por Esmir Ramírez y Ernesto Coto [4] del Centro de Computación Gráfica de la Escuela de Computación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela. Allí proponen los websockets para proveer una base para desarrollar aplicaciones para la web con despliegue tridimensional ejecutada sobre cualquier plataforma. Este trabajo propone cuatro arquitecturas para el

desarrollo de aplicaciones web para la visualización de datos 3D, basadas en la tecnología actual de código abierto de websockets describiendo la implementación detallada de una de las arquitecturas y presentando pruebas y resultados para mallados 3D y volúmenes. El sistema puede ser utilizado para desplegar volúmenes y mallados médicos en tiempo real sobre la web, contribuyendo potencialmente al área de Telemedicina.

Para la implementación del sistema de visualización web 3D propuesto por Ramírez y Coto, se eligió la Arquitectura descrita por la Figura 4, cuyo enfoque consiste en la creación de un servidor HTTP para cargar un modelo y renderizarlo fuera de él. Después de eso, esta imagen se envía a un navegador en el que el usuario puede interactuar, cada vez que el usuario realiza una acción (rotación, zoom, entre otros) un conjunto de comandos y parámetros se envía al servidor, el cual se aplica la operación y devuelve una nueva

imagen 2D. Todos los datos 3D son almacenados en el servidor, además existe una extensión desarrollada llamada Node.js para elaborar el renderizado. En el lado del cliente, el navegador recibe la imagen y la muestra utilizando un componente HTML5. La comunicación entre el servidor y el cliente se hace usando Socket.IO, la implementación de WebSocket Node.js. El protocolo de comunicación se basa en TCP en vez de en HTTP. [4]

Entre las desventajas que presenta la arquitectura dada por Ramírez y Coto es que la investigación se basa en la visualización 3D de imágenes médicas sobre la Web, más no en los dispositivos móviles ni en la forma de integrar los elementos que comprende la infraestructura DICOM y sistemas de información radiográficos presentes en los centros asistenciales médicos.

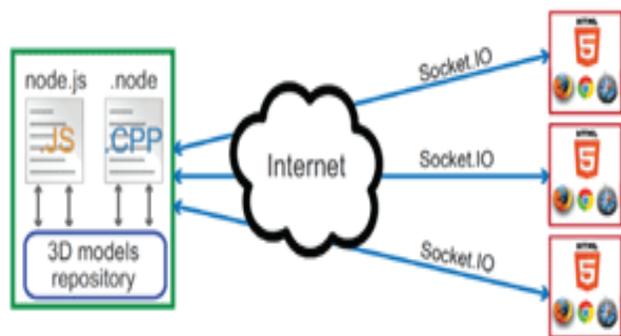


Figura 4. Arquitectura para el despliegue 3D

II. METODOLOGÍA

La investigación de acuerdo con Sabino [5] se define como “un esfuerzo que se emprende para resolver un problema, claro está, un problema de conocimiento”. Para emprender un trabajo investigación es necesario tomar en cuenta los elementos básicos en la formulación y desarrollo del proyecto, para

ello, la metodología hace referencia a un conjunto de pasos racionales para alcanzar uno o varios objetivos dentro del proceso de investigación ajustándose a las necesidades y objetivos que se cuentan a lo largo del ciclo de vida.

A. Metodología de Desarrollo

El método empleado en el presente proyecto se encuentra estructurado en dos grandes partes, una referida a la investigación documental de trabajos y arquitecturas similares a la propuesta, el uso de herramientas y tecnología para el desarrollo de aplicaciones y/o prototipos equivalentes y una segunda fase dedicada al desarrollo programado de la arquitectura del sistema propuesto.

Durante el desarrollo de cada elemento compuesto dentro de la arquitectura se utiliza la metodología de Boehm [6] (Figura 5) que es un modelo en espiral basado en el enfoque evolutivo. Boehm señala que el método se encuentra dividido en cuatro cuadrantes o fases, entre ellas la Determinación de objetivos, alternativas y restricciones, Evaluación de alternativas e identificación y resolución de riesgos, Desarrollo, verificación del producto y Planificación en una estructura de iteraciones que permite integrar cada una de ellas. Para cumplir cada una de ellas es requerido los siguientes pasos:

- **Determinación de objetivos, alternativas y restricciones:** en esta fase se identifican los objetivos, alternativas y restricciones basándose en los requerimientos, especificaciones y restricciones.
- **Evaluación de alternativas e identificación y resolución de riesgos:** en este momento se realiza el análisis de riesgo y se toman las decisiones sobre las alternativas para el desarrollo del prototipo.
- **Desarrollo, verificación del producto:** se lleva a cabo el desarrollo del producto y las

pruebas consiguientes, también se puede realizar simulaciones, modelos entre otras pruebas con la finalidad de verificar que el producto cumpla con los objetivos planteados.

- **Planificación:** se hace una revisión de los objetivos alcanzados, se realiza el plan de implementación y el desarrollo para determinar si se ha de continuar con el producto. [6]

En la siguiente Figura 5 se ilustran las fases que comprenden la metodología Boehm expuesta:

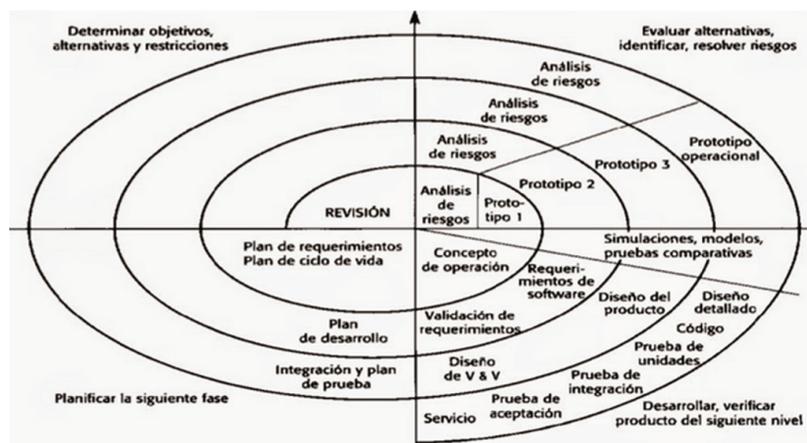


Figura 5. Modelo en espiral de Boehm

III. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA

El diseño de la arquitectura propuesta se desarrolla siguiendo las fases del método de Boehm descrito en el capítulo anterior. Durante cada iteración se establecen los requisitos para cumplir los objetivos de dicha arquitectura.

A. Determinación de los objetivos

La determinación de los objetivos conlleva a la necesidad que debe cubrir la plataforma de desarrollo, tomando en cuenta las alternativas o las diferentes formas de conseguir el objetivo general de forma exitosa,

lo cual lleva al establecimiento de los objetivos específicos.

- Analizar la captura de datos generados por los tomógrafos.
- Analizar el proceso de despliegue tridimensional en dispositivos móviles.
- Diseñar la arquitectura básica para cada uno de los componentes requeridos para el funcionamiento del prototipo.
- Desarrollar un prototipo básico para el despliegue tridimensional de archivos Stereolithography (STL) sobre la arquitectura propuesta.
- Establecer las características básicas mínimas de red y del dispositivo móvil para el despliegue del prototipo.

De acuerdo con el Project Management Institute [7] durante el desarrollo del proyecto puede surgir un cierto evento o condición incierta pudiera llevar a cabo un efecto positivo o negativo en al menos uno

de los objetivos planteados, por lo tanto es importante determinar los riesgos que pueden ocurrir durante el desarrollo de la arquitectura para actuar de forma proactiva o mitigar sus posibles consecuencias. Entre los posibles riesgos se pueden mencionar:

- Aumento en el tiempo de desarrollo del prototipo.
- Incompatibilidad en la interconexión entre los sistemas, versiones y tecnologías que forman parte de la arquitectura.
- Tiempo de aprendizaje sobre el manejo de la tecnología para crear el prototipo y los formatos de las imágenes DICOM
- Bajo rendimiento o largos tiempos de respuesta en el despliegue tridimensional.
- Alto costo de los dispositivos móviles de alta gama.

- Diseño inadecuado de la arquitectura

B. Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales son aquellos que definen una función del sistema de software, sus entradas, comportamiento y salida. La arquitectura para el despliegue tridimensional en dispositivos móviles de datos generados por tomógrafos necesita de los requisitos que se determinan en tres iteraciones, una para la unidad de radiología donde el personal especializado debe poseer la infraestructura completamente funcional para poder generar el estudio tridimensional del área de interés del paciente a través de las imágenes DICOM dadas por el tomógrafo; otra mediante un

TABLA I. REQUISITOS FUNCIONALES

Requisito Funcional	Descripción
Generar Modelo 3D del Estudio	Permite generar el modelo tridimensional del área de interés según la cantidad de cortes tomadas por el tomógrafo al paciente
Cargar Modelo 3D Repositorio	El Radiólogo debe colocar de forma digital el modelo tridimensional en un repositorio donde se encuentren organizados cada uno de ellos
Cargar Examen Paciente	Permite cargar la información básica del examen médico para su posterior consulta.
Ingresar Sistema	Permite ingresar el sistema web con las credenciales dadas para proceder a efectuar la carga, edición, modificación o eliminación de los exámenes y sus respectivos datos asociados
Gestionar Examen Médico	Permite gestionar los estudios médicos efectuados al paciente, permitiendo agregar, editar,

	consultar o eliminar los mismos.
Gestionar Paciente	Gestiona los pacientes a quienes se les efectúa los estudios médicos, permitiendo agregar, editar, consultar o eliminar los mismos.
Administrar Médicos	Se lleva a cabo la configuración de los médicos especialistas quienes tendrán acceso al estudio 3D, permitiendo agregar, editar, consultar o eliminar los mismos.
Registrar Especialidad	Permite agregar, editar, consultar o eliminar las especialidades de los médicos.
Gestionar Tipo Examen	Permite agregar, editar, consultar o eliminar los tipos de estudio que se efectúan sobre la región de interés.
Registrar Persona	Permite agregar, editar, consultar o eliminar las personas del sistema, entre ellos se encuentran los médicos, los pacientes y los usuarios y el cual incluye el género, país y estado civil.
Administrar Usuarios	El operador del sistema tiene la posibilidad de agregar, editar, consultar o eliminar los usuarios del sistema, ya sean los que tienen acceso al prototipo móvil o quienes hacen la carga de los estudios al sistema web.
Ingresar Credenciales	Permite acceder al prototipo del sistema móvil
Seleccionar Estudio Paciente	Permite seleccionar el estudio del paciente entre el listado de cada uno de ellos
Visualizar Modelo 3D Estudio	Permite desplegar el modelo 3D para mover, rotar, acercar o alejar la región de interés.
Cerrar Sesión	Es necesario que al finalizar de consultar los estudios se cierre la sesión y borren los archivos temporales del sistema.
Cambiar Contraseña	Por medidas de seguridad se requiere que el usuario del prototipo móvil pueda modificar sus credenciales de acceso.

sistema web que permita cargar el resultado del estudio para su posterior consulta y por último un prototipo donde el mismo especialista consulta dichos resultados y modelo 3D. A continuación se describen cada uno de ellos.

C. Diagrama de Actores

Se describen los actores que se encuentran en la plataforma y que corresponden a los usuarios que interactúan con los elementos que la integran, entre ellos está el Radiólogo, el Operador del Sistema y el Médico, cada uno de ellos tienen ciertas responsabilidades que se explican más adelante en cada caso de uso. La siguiente Figura 6 muestra el modelado de los actores:

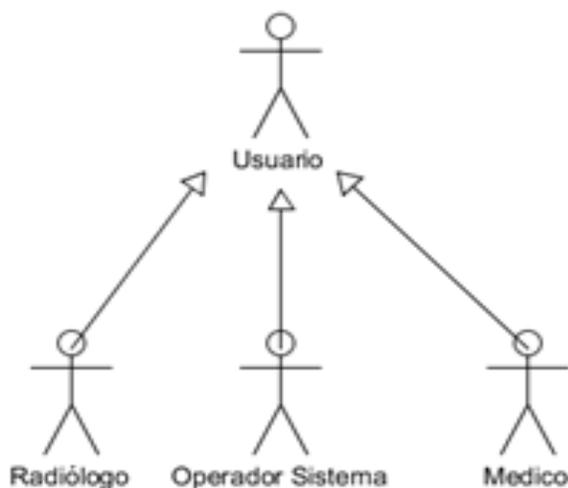


Figura 6. Diagrama de Actores

D. Caso de uso de la unidad de radiología

En la Figura 7 se muestra el caso de uso en la unidad de radiología, su actor y cada uno de sus procesos:

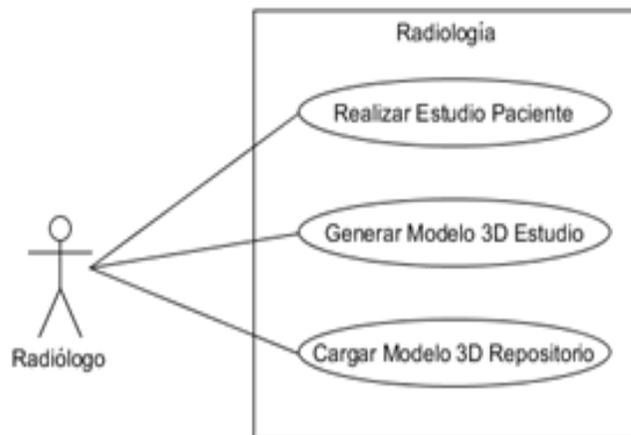


Figura 7. Caso de uso radiólogo

E. Caso de uso del sistema web

En la Figura 8 se observa el caso de uso del sistema web, sus actores y cada uno de sus procesos.

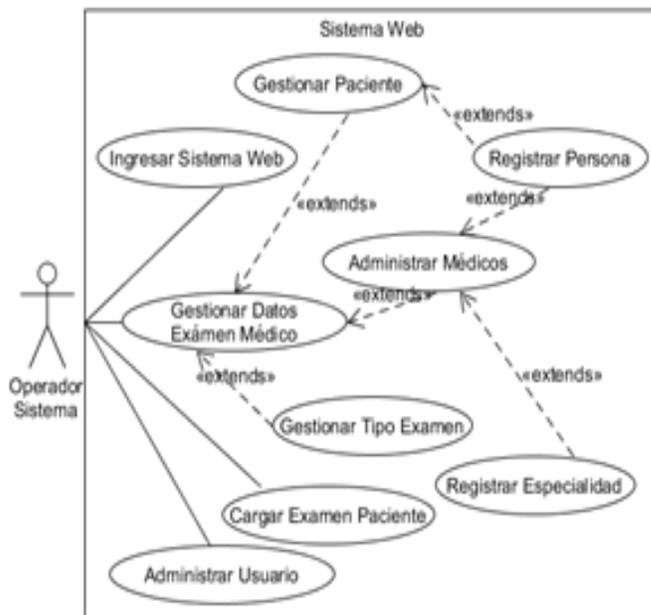


Figura 8. Caso de uso sistema web

F. Caso de uso del prototipo móvil:

En la Figura 9 se muestra el caso de uso del prototipo móvil, sus actores y cada uno de sus procesos, de las cuales el usuario (en este caso el mismo médico) debe ingresar las credenciales otorgadas por el administrador del sistema, es decir, el nombre de usuario y clave, que en cualquier momento puede modificar por su propia cuenta accediendo al menú de cambiar contraseña. Una vez que el prototipo valida las credenciales almacenadas en la base de datos centralizada, el médico puede seleccionar el estudio en la llamada bandeja de exámenes, donde se descargan al dispositivo todos los exámenes activos de sus pacientes, pudiendo seleccionar cualquiera de ellos, para ser descargados a un archivo temporal del dispositivo y hacer el despliegue 3D para hacer el análisis tomar las decisiones requeridas. Al finalizar el uso del prototipo, puede el usuario cerrar la sesión para limpiar la caché del dispositivo y cerrar la conexión al sistema.

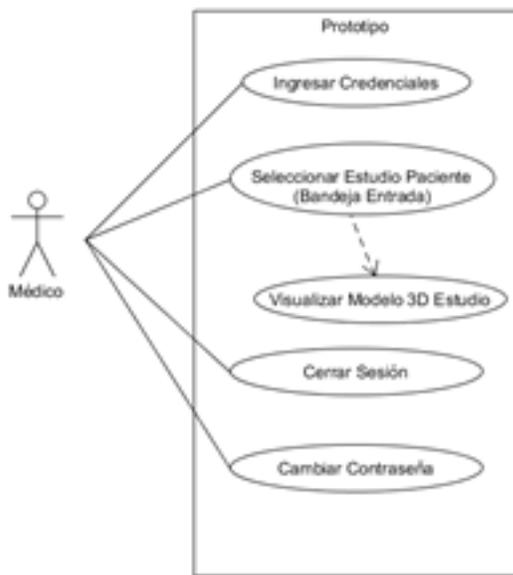


Figura 9. Caso de uso prototipo móvil

G. Diagrama de paquetes del prototipo propuesto

Para describir de manera general como se encuentra estructurado el código fuente del prototipo se presenta el diagrama de paquetes (Figura 10) que muestra la forma en que se encuentra dividido el código en agrupaciones lógicas y como entre ellas se relacionan. Entre los paquetes que allí se describen, se encuentra el paquete principal ula, luego com y adviewer (ula.com.adviewer) de allí se divide en los paquetes con las clases necesarias para las utilidades, los objetos, el renderizado, la vista, las actividades y una librería con clases requeridas para la configuración y funcionamiento del mismo.

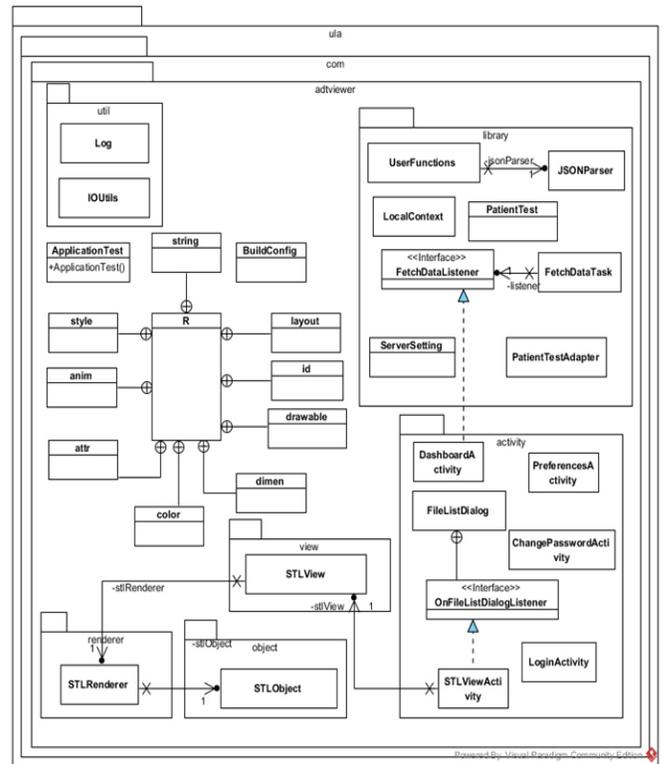


Figura 10. Diagrama de Paquetes

H. Repositorio de modelos
La arquitectura propuesta contiene un

repositorio centralizado que tiene por objetivo organizar, archivar, preservar y difundir los modelos 3D en formato .STL (Stereolithography) donde se almacenan en un directorio cada uno de los resultados de los estudios de los pacientes para su posterior despliegue en los dispositivos móviles. El repositorio permite a los usuarios del sistema web tener y del prototipo tener acceso a los estudios que han sido en el servidor.

I. Visión arquitectónica del sistema

El tipo de arquitectura presente en la plataforma propuesta corresponde a un modelo multicapa de tres capas: la capa de presentación que es el nivel más alto donde se encuentra la interfaz de usuario correspondiente al prototipo del dispositivo móvil y a las pantallas del sistema web; la capa lógica que coordina y procesa los comandos dados por el prototipo y el sistema web, además intercambia información entre las dos capas adyacentes; y la capa de datos donde almacena y recupera la base de datos y el repositorio de modelos donde se encuentra la información que es entregada a la capa lógica y eventualmente al usuario final. La Figura 11 se explica en forma de diagrama el modelo de tres capas explicado

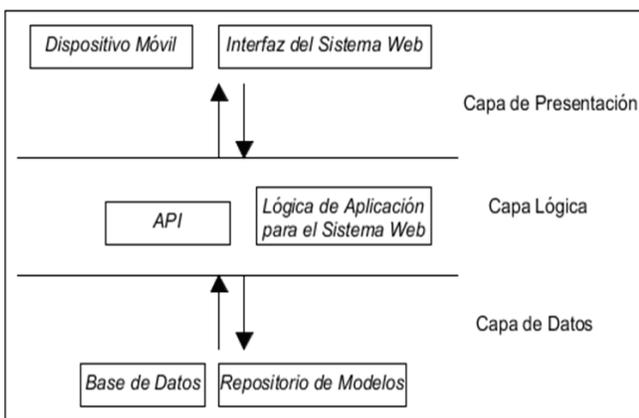


Figura 11. Visión arquitectónica del sistema

J. Diagrama de despliegue

El diagrama de despliegue modela las

relaciones físicas de la arquitectura en tiempo de ejecución, dado que es un sistema de tres capas, por una parte se tiene el dispositivo móvil y el navegador web correspondiente a la capa de presentación, por otra parte está el servidor de repositorios dado por el sistema de archivos compartidos y el servidor de base de datos que utiliza el motor Mysql. Por último se encuentra el servidor web donde se encuentra el código fuente de la lógica del sistema web y la API. La Figura 12 describe el modelo explicado.

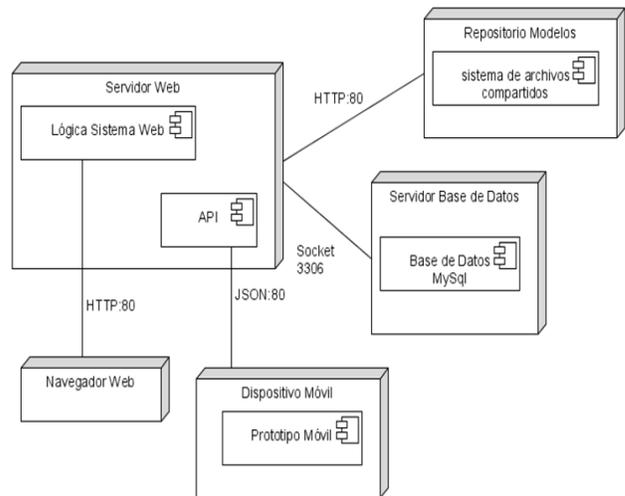


Figura 12. Diagrama de Despliegue

K. Diseño de la base de datos para el sistema web:

Todos los datos son almacenados en una base de datos centralizada que permite acceder a los registros de los modelos tridimensionales para ser descargados y desplegados en el dispositivo móvil a través del prototipo propuesto bajo la arquitectura dada. Los registros son cargados a sus respectivas tablas mediante el sistema web y cada opción del menú principal corresponde a una tabla creada para un propósito específico dentro del sistema.

La base de datos consta de 10 tablas que

permiten el uso básico del sistema y prototipo, entre ella se encuentra el País (Almacena el País de procedencia de la persona), Estado Civil (Registra el estado civil de la persona), Género (Guarda el sexo de la persona), Persona (Representa todos los usuarios, pacientes o médicos del sistema), Usuario (Registra todas aquellas personas con credenciales para ingresar al prototipo propuesto), Paciente (todas aquellas personas a los cuales se les hace un examen médico a través de una tomografía u otro tipo de estudio en modelo 3D), Médico (Personal especialista encargado de evaluar los exámenes de los pacientes registrados en el sistema), Tipo de Especialidad (conjunto de conocimientos médicos especializados de los médicos), Examen Tomografía (Cada uno de los estudios generados a los pacientes, según el médico para ser desplegados en el dispositivo móvil) y Tipo de Examen que es el tipo de estudio generado.

A continuación se muestra el diagrama Entidad – Relación (Figura 13) de la base de datos para tener un mayor detalle de los campos, tipos de datos, longitud, claves primarias, claves foráneas, campos únicos y relaciones entre cada una de las tablas anteriormente expuestas:

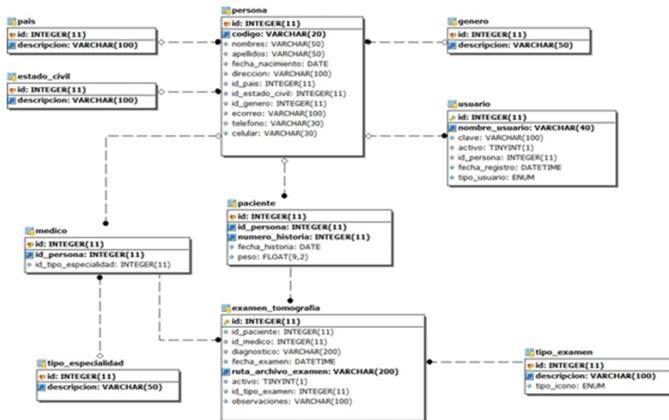


Figura 13. Modelo entidad relación Base de datos propuesta

IV. IMPLEMENTACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA ARQUITECTURA PROPUESTA

En el presente capítulo se hace una descripción de cada uno de los elementos que integran la plataforma propuesta, entre ellos el repositorio de modelos, la API, el cliente web, el sistema web, la estructura de la API empleada y el prototipo del dispositivo móvil

A. Arquitectura propuesta

La arquitectura propuesta del presente proyecto se puede observar en la Figura 14, el cual comienza por la captura de las imágenes médicas que pueden ser obtenidas de diferentes fuentes, como la Tomografía computarizada, ultrasonido, resonancia magnética, entre otros. Estas imágenes se encuentran en formato DICOM y se envían al Sistema de Archivo y Comunicación de Imagen (PACS) para su posterior procesamiento tridimensional según las regiones de interés y el tipo de estudio a efectuar por parte de los especialistas.

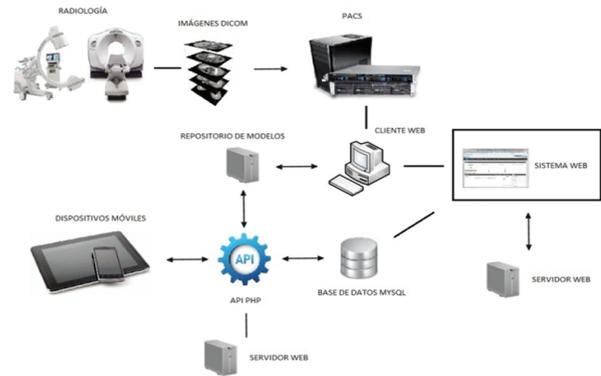


Figura 14. Arquitectura propuesta

B. Repositorio de modelos
Un repositorio puede estar organizado para

todo el personal encargado de generar el estudio; puede ser dividido en carpetas para diferentes departamentos o áreas de trabajo o para un usuario individual, en otras palabras, la organización interna del repositorio de archivos es dada según las necesidades de la organización donde se encuentre la arquitectura propuesta. En la Figura 15 se muestra un ejemplo en la forma como se pudiera organizar el repositorio, allí se puede observar la forma en que se encuentran divididos los estudios, ya sea todos aquellos pacientes que entraron por citas, por emergencia, o cualquier otro examen externo a la organización. Dentro de ellos se localiza otra división según el mes y año del estudio y dentro de estos últimos están los modelos en formato tridimensionales con un nombre dado a conveniencia.

Figura 15. Organización del repositorio de modelos 3D

Nombre	Fecha de modific
CITAS	23/03/2015 09:44
EMERGENCIA	23/03/2015 09:43
EXTERNOS	23/03/2015 09:44
<div style="margin-left: 20px;"> ABRIL_2014 ENERO_2014 FEBRERO_2014 MARZO_2014 MAYO_2014 </div>	
<div style="margin-left: 40px;"> ESTUDIO_0005 ESTUDIO_0014 ESTUDIO_0036 </div>	

C. Cliente web

Una vez generado el estudio tridimensional del área de interés del paciente el personal encargado se conecta a un sistema web desarrollado en PHP a través de un navegador para ingresar los resultados del examen junto

con el modelo 3D (ruta en el repositorio), paciente atendido, médico encargado, resultados observados, fecha del examen, entre otros datos por medio de un servidor web que sirve como plataforma para realizar las conexiones bidireccionales con el cliente mediante el protocolo HTTP. A su vez el sistema web se conecta a la base de datos centralizada Mysql donde se encuentra la información de la ruta del modelo 3D junto con los datos de los pacientes, médicos y estudios efectuados para cada uno de ellos.

D. Sistema web

El cliente web debe tener una conexión a la red para poder acceder al sistema web desarrollado en PHP en la dirección donde se encuentre alojado el servidor, pudiera ser en la nube, VPN o en la Red de Área Local dependiendo de las características y necesidades de la organización. El sistema web se encarga de alimentar, modificar o consultar la base de datos con el contenido requerido para generar el despliegue tridimensional.

E. API PHP

La interfaz de programación de aplicaciones (API) contiene el conjunto de métodos que permiten ser utilizados para interactuar entre el prototipo y la base de datos y el repositorio de modelos dentro del entorno de la red. Específicamente consta de cuatro tipos de solicitudes, entre ellas, para realizar el inicio de sesión al prototipo, consultar la Bandeja de Exámenes, modificar la contraseña del usuario y cerrar la sesión utilizando el lenguaje de programación PHP. Cada tipo de solicitud es identificado por un parámetro que es capturado por la API mediante el método POST enviado por el usuario a través del prototipo para que posteriormente la API responda de nuevo al prototipo. Al igual que el sistema web, la API PHP se encuentra alojada en el servidor web, el cual se encarga de gestionar la conexión de la misma API PHP

con el resto de componentes de la arquitectura.

1) Estructura de la API PHP

La estructura y clases de la API se puede observar en la Figura 16, que se encuentra conformada por seis archivos en PHP cada uno de ellos cumple una función específica:

- DB_Config.php: Contiene la dirección, usuario, contraseña y nombre de la base de datos.
- DB_Connect.php: Abre y cierra la conexión a la base de datos.
- DB_Functions.php: Contiene los métodos para interactuar con la base de datos, entre ellos cambiar la contraseña, obtener usuario por nombre y clave, determinar si el usuario existe en la base de datos y obtener la bandeja de exámenes.
- Index.php: Maneja todas las solicitudes HTTP del usuario y las respuestas al prototipo en formato JSON. Cada solicitud es identificada por una etiqueta que es capturada mediante el método POST de PHP. El valor de la etiqueta debe ser login, dashboard, change_password y logout, que es para el inicio de sesión, bandeja de exámenes, cambiar contraseña y cierre de sesión respectivamente.
- Download.php: Maneja todas las solicitudes de descarga de los modelos 3D almacenados en el repositorio. Recibe como parámetro el nombre del archivo .stl
- Class.Chip_download.php: Contiene los métodos requeridos para descargar los modelos 3D.

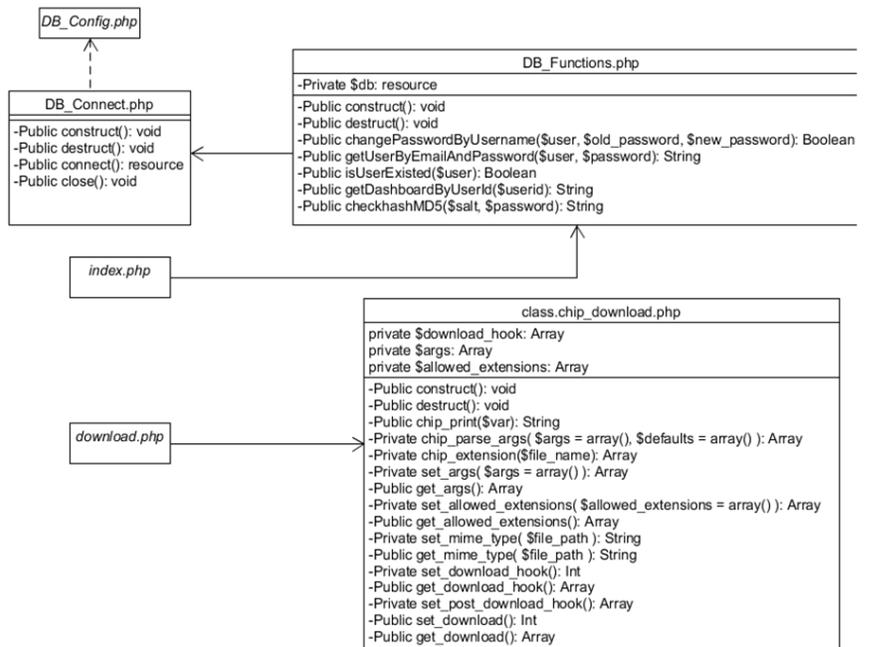


Figura 16. Diagrama estructura API PHP

2) Solicitud y respuesta de la API PHP

Como se mencionó, entre el dispositivo móvil y la API PHP existen distintos tipos de solicitudes y respuestas. Las solicitudes contienen los valores de los formularios en las pantallas del prototipo y la respuesta está dada en formato JSON (JavaScript Object Notation, que significa Notación de Objetos de JavaScript) para todos los casos menos el proceso de cerrar sesión.

El proceso de Inicio de sesión Permite

TABLA II. SOLICITUD/RESPUESTA INICIO DE SESIÓN

NOMBRE PROCESO:	DEL	Inicio de Sesión
VALORES ENTRADA (POST):	DE	Nombre de Usuario (String) Contraseña (String) Tag (<i>login</i>) (Constante)
SALIDA:		Respuesta JSON (String)

validar las credenciales del usuario registrado en la base de datos, la entrada y salida se describe en la Tabla II

La salida puede variar según el inicio de sesión fue correcto o incorrecto, la siguiente Tabla III describe el formato JSON para ambos casos:

TABLA III. DEFINICIÓN INICIO DE SESIÓN CORRECTA O INCORRECTA EN JSON

Definición Inicio Sesión Correcto	Ejemplo
<pre>{ "tag": <Nombre del parámetro>, "success": <Inicio Exitoso o no>, "error": <Error o no>, "id": <Código del usuario>, "user": { "name": <Nombre del usuario>, "created_at": <Fecha de registro> } }</pre>	<pre>{ "tag": "login", "success": 1, "error": 0, "id": "23", "user": { "name": "carlos", "created_at": "2015-03-01 13:27:05" } }</pre>
Definición Inicio Sesión Incorrecto	Ejemplo
<pre>{ "tag": <Nombre del parámetro>, "success": <Inicio Exitoso o no>, "error": <Código del error>, "error_msg": <Mensaje de error> }</pre>	<pre>{ "tag": "login", "success": 0, "error": 1, "error_msg": "Usuario o contraseña incorrecta" }</pre>

3) Prototipo del dispositivo móvil

El desarrollo del prototipo permite realizar un despliegue tridimensional sobre los modelos en formato .STL (STereo Lithography) sobre la arquitectura dada, permitiendo al personal especializado hacer un diagnóstico sobre la región de interés del paciente de manera digital en el dispositivo móvil conectado a la red. Para ello se ha desarrollado un acceso básico sobre las operaciones que debe realizar el médico en el celular o tableta.

4) Entorno de software

Para lograr los objetivos planteados se hizo uso de herramientas de cómputo para la elaboración de aplicaciones en Android, particularmente el entorno de desarrollo para aplicaciones Android Studio 1.0 que es gratuito bajo la licencia Apache 2.0 en un entorno Windows 7 Home Basic y que utiliza como lenguaje de programación orientado a objetos Java. Adicionalmente se tomó la aplicación denominada STL Viewer for Android como librería para la visualización de objetos 3D que utiliza OpenGL como estándar de API gráfica multiplataforma para el procesamiento tridimensional.

5) Funcionamiento del prototipo

Para entender de mejor manera el funcionamiento del prototipo en el dispositivo móvil, se muestra el siguiente diagrama de Actividades. Para comenzar, el usuario inicia la sesión, de ser requerido puede modificar su contraseña, al hacerlo, vuelve a la pantalla de inicio de sesión. Luego que el prototipo valida las credenciales, se carga la bandeja de exámenes donde el mismo usuario selecciona el estudio del

paciente deseado para luego hacer el análisis o diagnóstico del modelo tridimensional, de ser requerido el usuario puede modificar las preferencias de visualización como el color o nivel de transparencia del objeto. Al culminar, el usuario puede volver a la bandeja de entrada y seleccionar otro examen o cerrar la sesión y salir.

6) Pantallas y formularios del prototipo

La Figura 17 muestra cada una de las pantallas y/o formularios que contiene el prototipo, de manera general, en la Figura 17 (a) se muestra el formulario de ingreso de credenciales, con los campos de texto del nombre de usuario y clave, el botón de ingresar y de cambiar contraseña. En la Figura 17 (b) se muestra el formulario para cambiar la contraseña del usuario, la Figura 17 (c) se encuentra la bandeja de entrada con todos los estudios cargados al especialista. La Figura 17 (d) muestra la pantalla para la descarga del estudio en el dispositivo móvil. La Figura 17 (e) se encuentra la pantalla para la espera del renderizado, la Figura 17 (f) observa el despliegue 3D en el dispositivo móvil y en la Figura 17 (g) el formulario con los parámetros configurables para visualizar la escena 3D.

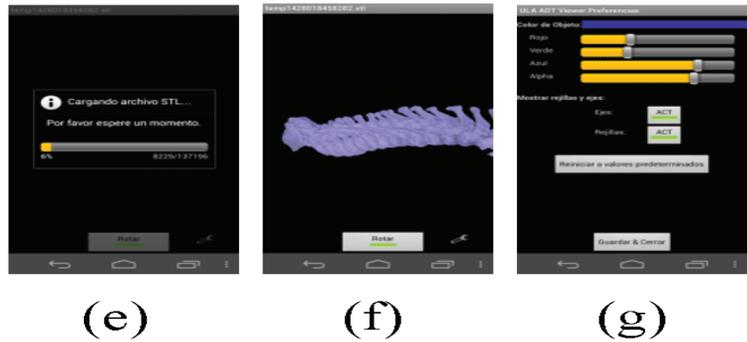


Figura 17. Vista del Prototipo. (a) Inicio de Sesión. (b) Cambio de contraseña. (c) Bandeja de Exámenes. (d) Descarga de modelo 3D. (e) Carga de archivo STL. (f) Despliegue 3D en el dispositivo móvil. (g) Preferencias Despliegue 3D

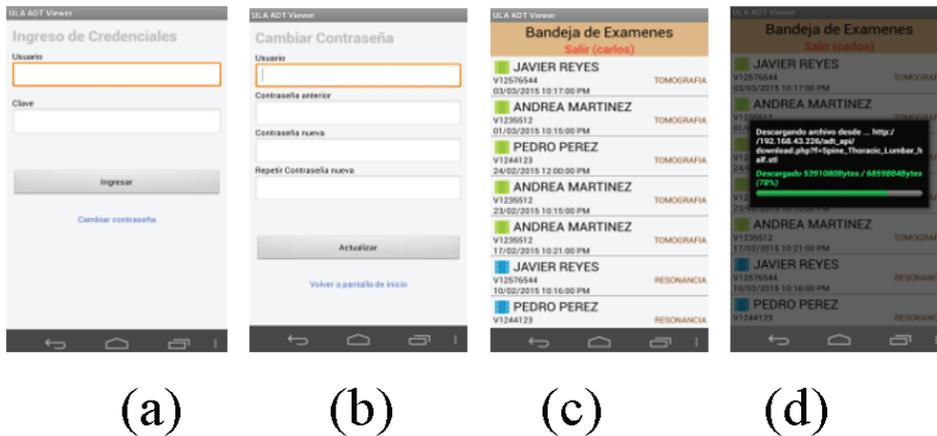
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

La presente arquitectura propuesta consta de una plataforma computacional que permite el despliegue tridimensional en dispositivos móviles de datos generados por tomógrafos los cuales son capturados a través de estándares que incluyen los formatos de las imágenes, algoritmos de compresión, comunicaciones entre la red.

Gracias a las prestaciones que hoy en día poseen los dispositivos móviles es posible realizar sobre ellos un despliegue de gráficos 2D y 3D, por medio de estándares que definen una interfaz de programación de aplicaciones (API)

multiplataforma para el procesamiento de



gráficos para la posterior visualización del estudio a través de la arquitectura que contempla el tomógrafo, un sistema de base de datos, servidores web, repositorios de modelos de las imágenes DICOM y un prototipo básico desarrollado para representar de manera digital los estudios tridimensionales en formato Stereolithography (STL) sobre las características básicas mínimas de red y del dispositivo móvil para el mencionado despliegue.

El efecto de la arquitectura propuesta permite la reducción o eliminación de la película o discos compactos de los exámenes médicos para el posterior uso de los médicos especialistas en el área, además de la disponibilidad de los datos de forma inmediata luego de la carga del modelo 3D en el sistema y para el uso remoto desde el dispositivo móvil, aumentando de la productividad y mayor satisfacción de los pacientes.

Los resultados muestran que es posible la implantación de la arquitectura y prototipo utilizando software libre como PHP, manejador de base de datos MYSQL en su versión gratuita y servidor web de código abierto multiplataforma, usando el sistema operativo en su versión libre como Android que proporciona flexibilidad a terceros sobre cuestiones de desarrollo y concesión de licencias y soportado por la mayoría de dispositivos móviles creados hoy en día. Asimismo se cuenta con una API desarrollada en PHP lo cual representa una ventaja respecto a otras arquitecturas o sistemas creados con similares requerimientos ya que permite a futuros desarrolladores conectar sus aplicaciones no solamente a dispositivos móviles quedando abierta la posibilidad de utilizar otras tecnologías diferentes. Adicionalmente es posible conectar varios dispositivos móviles, almacenar los modelos, registrar en una base de datos la información básica de la historia de los pacientes haciendo

uso de un sistema web para hacer llegar al usuario los datos generados por el tomógrafo y sin necesidad de navegadores web que sean compatibles con HTML5 quitando la carga de trabajo al servidor y reduciendo sus costos asociados.

En los antecedentes se presenta una serie de arquitecturas que pueden ser utilizadas para el despliegue tridimensional en dispositivos móviles, de las cuales muestran ventajas y desventajas respecto a la arquitectura propuesta en el presente proyecto. Respecto a la plataforma presentada por Muhammad Fermi Pasha, Saravanesh Supramaniam y otros llamado "An Android-based Mobile Medical Image Viewer and Collaborative", se encuentra desarrollada completamente en software libre, delimitando claramente los roles de cada usuario del sistema y siendo escalable según la cantidad de computo requerida, contando además, con un sistema web que facilita la gestión de la información sobre los exámenes de los pacientes para cada médico.

Otro antecedente presentado por Iuliana Ojog y Miguel Arias llamado "m3DICOM: A Platform for mobile DICOM Visualization Based on X3D" (traducido quiere decir m3DICOM, plataforma móvil para visualización de DICOM basada en X3D) posee como desventaja que el dispositivo móvil necesita de un navegador compatible con WebGL para la consulta de los modelos en HTML 5 y de una buena tarjeta de video para visualización 3D. Sin embargo, se necesita de software adicional del lado del servidor para convertir la estructura del directorio DICOM en el formato X3D y de un alto ancho de banda a través de HTTPS para la descarga de los archivos.

Por último, Esmir Ramírez y Ernesto Coto presentan el proyecto denominado "Visualización web para datos médicos en 3D con software de código abierto", usando los

websockets para proveer una base en el desarrollo de aplicaciones para la web con despliegue tridimensional ejecutada sobre cualquier plataforma. A pesar de las ventajas que representan no cuenta con una base de datos de pacientes, médicos y exámenes que permita identificar los estudios por cada especialista. Además, cada movimiento del modelo genera un alto ancho de banda para la visualización en los dispositivos.

B. Recomendaciones

Posteriores investigadores pueden tomar en cuenta una mejora en el renderizado y uso de memoria para modelos tridimensionales con gran cantidad de cortes y detalles, ya que muchos estudios requieren de una alta precisión, lo que hace que al exportar las imágenes DICOM al formato Stereolithography el archivo generado posea mayor cantidad de datos, generando una movilidad lenta en el despliegue de la escena 3D y dificultando el proceso de diagnóstico.

Adicionalmente es importante y de gran utilidad incluir los cortes de las imágenes DICOM sobre el modelo tridimensional desplegado en el prototipo, de modo que el usuario pueda observar la Figura 3D y el corte 2D simultáneamente (el corte que se imprime en la película), de forma que se contaría con mayor información útil para determinar cualquier patología.

Otro aspecto a mejorar para futuros investigadores es incluir la colaboración de diferentes usuarios o médicos sobre un mismo estudio para ayudar en la prestación de un mejor diagnóstico, planificación quirúrgica y seguimiento a los procedimientos a través de toma de decisiones en equipo.

REFERENCIAS

- [1] E. Franco. “Análisis digital de imágenes topográficas sin contraste para la búsqueda de tumores cerebrales”. Trabajo de grado de maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México, Diciembre 2011.
- [2] M. Fermi, S. Supramaniam, K. Kuo, M. AmmarAmran, B. Anil, y M. Rajeswari. “An Android-based Mobile Medical Image Viewer and Collaborative”. Revista Internacional de Tecnología de contenido digital y sus aplicaciones. Enero, 2012.
- [3] I. Ojog y M. Arias. “m3DICOM: A Platform for mobile DICOM Visualization Based on X3D”. http://www.thinkmind.org/download.php?articleid=etelemed_2012_2_40_40136, 2012.
- [4] E. Ramírez, y E. Coto. “Web visualization of 3D medical data with open source software”. <http://ccg.ciens.ucv.ve/~esmitt/publications/2012/jifi12.pdf>, Noviembre, 2012.
- [5] C. Sabino. “El proceso de investigación”. Caracas, Venezuela. Editorial Panapo, 1992.
- [6] B. Boehm, “A Spiral Model of Software Development and Enhancement”, <http://csse.usc.edu/csse/TECHRPTS/1988/usccse88-500/usccse88-500.pdf>, 1998.
- [7] Project Management Institute, “A guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK”, Third Edition, 2004