
PROYECTO DE GRADO

NEFROVOL

Estimación del volumen renal en base a imágenes ultrasonográficas

Estudio y desarrollo de prototipo

Proyecto de Grado 2013

Integrantes:

Esteban Gabriel Arrúa García

Mauro Andrés Sitrin Soto

Tutores:

Prof. Adj. Ing. Ana Erosa (Instituto de Computación)

Prof. Ing. Franco Simini

Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería

Universidad de la República

Montevideo, Uruguay

30 de junio de 2014

Defensa pública: 25 de junio de 2014
Anfiteatro del Hospital de Clínicas, piso 15
Av. Italia S/N
11600 Montevideo

Agradecimientos

Agradecemos la ayuda y el apoyo brindado durante todas las fases del proyecto **NEFROVOL** a las siguientes personas.

- *Dr. Oscar Noboa, Profesor Director del Departamento de Nefrología del Hospital de Clínicas.*
- *Dr. Diego Tobal, Departamento de Nefrología del Hospital de Clínicas.*
- *Ing. Lucía Grundel, Núcleo de Ingeniería Biomédica.*
- *D. I. Luciana Urruty, Núcleo de Ingeniería Biomédica.*
- *Ing. Marcelo Belén, Empresa Bullseye, Montevideo, Uruguay.*
- *Jhonny Chiri y Sergio Sánchez, Empresa SAWERS, Cochabamba, Bolivia.*
- *Guillermo Carbajal, Proyecto Slicelets.*
- *Margara Balestena, Traductora Portugués.*
- *Personal del Departamento de Nefrología del Hospital de Clínicas.*
- *Pacientes voluntarios del Hospital de Clínicas.*

Resumen

El conocimiento del tamaño renal brinda información fundamental para el diagnóstico y estudio evolutivo de las patologías renales; la medición más exacta del tamaño renal está dada por el volumen renal total pero su determinación requiere estudios complejos por lo que es estimado habitualmente a partir de la longitud de los ejes renales.

La técnica más difundida para el análisis es el ultrasonido presentando como ventajas que es una técnica no invasiva, sin efectos secundarios, puede ser repetida según las necesidades y no requiere preparación especial; sin embargo es dificultosa la comparación de resultados ya que depende directamente del operador que lo lleve a cabo.

NEFROVOL consiste en la construcción de una herramienta interactiva, que a partir de imágenes renales ultrasonográficas en formato DICOM genere un modelo tridimensional del riñón en estudio y calcule una estimación de su volumen total. Las imágenes serán de diferentes cortes del riñón, paralelas y equidistantes entre sí, siendo conocida la distancia entre todo par de cortes.

Para garantizar que todos los cortes sean con las características deseadas, se realizó un soporte con ranuras equidistantes entre sí, para apoyar sobre el cuerpo del paciente y en ellas colocar el transductor del ecógrafo. El material utilizado debe ser resistente a la esterilización para que el soporte pueda ser reutilizado en diferentes pacientes.

La creación de una herramienta con estas características es motivada principalmente por la necesidad de seguimiento de la enfermedad poliquistosis renal, que está asociada a que los riñones sufren deformaciones y aumentan su tamaño de forma irregular, siendo la manera de evaluar su evolución el volumen renal del paciente en el tiempo.

Para utilizar **NEFROVOL** se deberán cargar los archivos DICOM obtenidos por el ecógrafo sobre el riñón en estudio; luego en forma interactiva el operador indica sobre cada una de las imágenes el contorno del riñón y una vez realizado este proceso **NEFROVOL** genera el modelo tridimensional y calcula el volumen en cm^3 . Este procedimiento puede ser repetido todas las veces que sean necesarias hasta que el operador decida que el modelo y volumen obtenidos son satisfactorios.

NEFROVOL permite mantener una base de datos con la información de los pacientes que son examinados y guardar los estudios realizados a cada uno de ellos de manera centralizada. A su vez, es posible observar en detalle la evolución del volumen renal de un paciente a lo largo del tiempo en forma gráfica, recopilando los datos obtenidos en cada uno de los estudios que le fueron realizados y almacenados en el sistema.

Se brinda la posibilidad de generar documentos de historia clínica electrónica, bajo el estándar CDA de intercambio de documentos clínicos, ya sea de un estudio puntual o de la evolución de un paciente. A su vez, se tiene la opción de crear archivos compatibles para impresión 3D de la estructura renal reconstruida.

El equipo de ultrasonido utilizado durante el desarrollo de la herramienta fue el *GE LOGIQ C5 Premium*. No es imprescindible la utilización de este equipo, sino que solamente se requiere que permita exportar las imágenes obtenidas en formato DICOM.

Se realizaron pruebas con figuras geométricas, objetos con forma irregular y riñones de pacientes y voluntarios con diferentes características. Luego de analizados los resultados obtenidos se concluye que fueron aceptables y de esta manera se avanza hacia una solución al problema inicialmente planteado.

Palabras claves

- *CDA*
- *DICOM*
- *Ecografía*
- *Historia clínica electrónica*
- *Informática médica*
- *Impresión 3D*
- *Nefrología*
- *NEFROVOL*
- *Poliquistosis Renal*
- *Reconstrucción tridimensional*
- *Riñón*
- *Ultrasonografía*
- *Volumen renal*

Contenido

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
Palabras claves.....	4
Contenido	5
1 Introducción	8
1.1 Definición del problema	8
1.2 Motivación	8
1.3 Objetivos	9
1.4 Organización del documento	10
2 Estado del arte	12
2.1 Poliquistosis renal	12
2.2 Ecografía	13
2.2.1 Ecografía renal	14
2.2.2 General Electric LOGIQ C5 Premium	14
2.3 Digital imaging and communication in medicine (DICOM).....	14
2.4 Historia clínica electrónica	16
2.4.1 Clinical document architecture (CDA)	18
2.5 Método actual para estimación del volumen renal.....	19
2.6 Métodos de estimación de volumen.....	19
2.6.1 Puntos de conteo	19
2.6.2 Envolvente convexa	20
2.6.3 Envolvente convexa por capas	21
2.6.4 Rasterización de puntos a voxeles	21
2.7 Reconocimiento de patrones	22
2.8 Bibliotecas de manejo 3D.....	23
2.8.1 OpenGL	23
2.9 Stereo lithography (STL)	25
3 Análisis de NEFROVOL	27
3.1 Requisitos.....	27
3.1.1 Funcionales	27

3.1.2	No funcionales	28
4	Diseño de NEFROVOL	29
4.1	Decisiones de diseño	29
4.1.1	Fantoma	29
4.1.2	Escala	31
4.1.3	Ubicación de cortes	32
4.1.4	Determinación de contornos de cortes	33
4.2	Arquitectura	34
4.3	Diagrama de clases.....	35
4.4	Base de datos	38
4.5	Impresión 3D.....	40
4.6	Ciclo completo de un estudio.....	41
5	Implementación de NEFROVOL	42
5.1	Entorno de desarrollo	42
5.2	Bibliotecas utilizadas	43
5.3	Principales algoritmos	44
5.3.1	Generación de modelo tridimensional.....	44
5.3.2	Generación de archivos STL para impresión 3D	45
5.3.3	Cálculo del volumen renal	46
5.3.4	Generación de gráficas de evolución	48
5.3.5	Generación de historia clínica electrónica	48
6	Acceso a funcionalidades	51
7	Errores y resultados esperados	53
7.1	Errores.....	53
7.1.1	Errores de cálculos	53
7.1.2	Errores de estimación de forma	54
7.2	Resultados esperados	55
8	Pruebas	56
8.1	Pruebas con figuras geométricas	56
8.2	Pruebas con frutas y verduras.....	58
8.3	Pruebas con pacientes	59
9	Conclusiones	61

9.1	Análisis de las pruebas	61
9.2	Conclusiones generales	62
9.3	Trabajo futuro	64
10	Gestión de proyecto y costos	66
10.1	Cronograma	66
10.2	Planificación	66
10.3	Evolución.....	68
10.4	Costos	69
11	Valoración y utilidad de la estimación del volumen renal	72
	Glosario.....	74
	Índices.....	76
	Índice de figuras	76
	Índice de tablas	77
	Referencias	78
	Anexos	81

Capítulo 1

Introducción

1.1 Definición del problema

Los riñones son órganos pares, situados en el espacio perirrenal del retroperitoneo, con un ángulo oblicuo hacia afuera en relación a la columna vertebral. En un adulto promedio, cada una de estas estructuras mide cerca de 12 cm de largo por 6 cm de ancho y 3 cm de grosor.

Dentro de cada riñón hay aproximadamente un millón de estructuras diminutas, llamadas nefronas, que filtran la sangre. Estos eliminan los productos de desecho y el exceso de agua, que transforman en orina. La mayoría de las enfermedades renales atacan estas estructuras.

La poliquistosis es una de las enfermedades que se producen en los riñones y provoca la creación de múltiples quistes. La aparición de los quistes causa naturalmente el crecimiento del tamaño del riñón provocando el aumento de su volumen. Para realizar un diagnóstico y seguimiento de esta enfermedad a lo largo del tiempo es necesario evaluar con qué rapidez crece el volumen renal.

La estimación del volumen de los riñones que padecen poliquistosis es sumamente dificultosa debido a las irregularidades que manifiestan por la presencia de quistes en su superficie. Los métodos utilizados hoy en día tienen poca precisión o son basados en imágenes de tomografías. Estos últimos tienen un efecto nocivo sobre la salud del paciente provocado por la radiación, y más aún cuando son sometidos a esta técnica con frecuencia.

1.2 Motivación

El diagnóstico y seguimiento de pacientes con poliquistosis renal constituye uno de los desafíos importantes para los especialistas en el área. La creación de una herramienta que facilite evaluar el seguimiento de los pacientes con poliquistosis renal es motivada principalmente por la necesidad de estimar, utilizando métodos no invasivos, el volumen renal en pacientes bajo los efectos de esta enfermedad y a su vez brindar un seguimiento de la evolución del paciente a lo largo del tiempo.

La técnica preferencial para observar los riñones es el ultrasonido (ecografía) ya que no causa efectos secundarios en el paciente y tiene costos económicamente bajos. Como desventaja se tiene que este método no permite visualizar el riñón en tres dimensiones ni calcular fácilmente con exactitud su volumen.

Debido a la facilidad que existe para la obtención de imágenes ultrasonográficas es que la herramienta se basará en ellas para brindar una reconstrucción tridimensional del riñón y estimar su volumen total, brindando de esta manera mejores alternativas y resultados para el diagnóstico y seguimiento de la enfermedad.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de **NEFROVOL** es la elaboración de una herramienta interactiva que permita el análisis y reconstrucción de la estructura renal y a su vez brinde una estimación de su volumen total en base a imágenes ultrasonográficas, favoreciendo de esta manera el seguimiento de pacientes con poliquistosis renal.

A continuación se enumeran los objetivos planteados para finalmente poder cumplir con el objetivo principal del proyecto.

- Investigar la enfermedad poliquistosis renal. ¿En qué consiste? ¿Cuáles son sus síntomas? ¿Cómo se realizar un diagnóstico y seguimiento de la enfermedad? Datos estadísticos en Uruguay. etc.
- Investigar el ecógrafo utilizado en el Departamento de Nefrología del Hospital de Clínicas de Montevideo para llevar a cabo los estudios en pacientes con estas características y la manera de obtener imágenes.
- Investigar y estudiar diferentes métodos computacionales (numéricos) de estimación de volumen.
- Estimular el trabajo interdisciplinario.
- Estudiar e investigar conceptos utilizados en el desarrollo de aplicaciones de software interactivas.
- Estudiar e investigar conceptos y técnicas utilizadas para la construcción de modelos tridimensionales mediante software.
- Diseñar e implementar inicialmente un prototipo que cumpla con las necesidades planteadas para luego desarrollar la aplicación en su totalidad.

- Contribuir a la sociedad en general con soluciones que puedan brindar una mejora en el área de la medicina involucrada.

1.4 Organización del documento

- Capítulo 2 – Estado del arte: Se explican los temas investigados previo al comienzo y durante el desarrollo de **NEFROVOL**. Entre ellos, poliquistosis renal, ecografía, estándar DICOM, historia clínica electrónica, método actual para la estimación de volumen renal, métodos de estimación de volumen, reconocimiento de patrones, bibliotecas de manejo 3D y estándar STL.
- Capítulo 3 – Análisis de *NEFROVOL*: Se describe la etapa de análisis realizada, se enumeran los requisitos funcionales y no funcionales de *NEFROVOL*.
- Capítulo 4 – Diseño de *NEFROVOL*: Describe la etapa de diseño, decisiones tomadas para la resolución de problemas específicos, selección de la arquitectura, diagrama de clases, diseño de la base de datos e impresión 3D.
- Capítulo 5 – Implementación de *NEFROVOL*: Breve descripción de las tecnologías utilizadas para la implementación, bibliotecas externas incluidas y descripción de los principales algoritmos creados.
- Capítulo 6 – Acceso a funcionalidades: Se describe brevemente como acceder a cada una de las funcionalidades de **NEFROVOL**.
- Capítulo 7 – Errores y resultados esperados: Se describen los diferentes errores que se producen durante todo el proceso de estimación del volumen, se analizan y se establecen los resultados esperados.
- Capítulo 8 – Pruebas: Descripción de las pruebas realizadas y resultados obtenidos.
- Capítulo 9 – Conclusiones: Conclusiones del desarrollo y funcionamiento de **NEFROVOL** y descripción de ideas interesantes a realizar en futuro.

- Capítulo 10 – Gestión de proyecto y costos: Se detalla el cronograma, la planificación realizada para todo el ciclo del proyecto y se presenta el costo del mismo en horas dedicadas.
- Capítulo 11 – Valoración y utilidad de la estimación del volumen renal: Opiniones y comentarios del personal médico que utilizó **NEFROVOL**.
- Del capítulo 12 al 16 se tiene el Glosario, Índice de figuras y tablas, Referencias y Anexos.

Capítulo 2

Estado del arte

En este capítulo se muestran los estudios e investigaciones realizadas sobre los diferentes temas que son abordados a lo largo del proyecto, tales como la enfermedad poliquistosis renal, métodos actuales de análisis, estándares y tecnologías empleadas durante el desarrollo del proyecto.

2.1 Poliquistosis renal

La poliquistosis renal (PQR) es un trastorno hereditario que afecta los riñones formando sobre ellos múltiples quistes, lo cual se ve reflejado en el aumento del tamaño renal.

Las personas con PQR presentan múltiples racimos de quistes en los riñones y no es conocido el factor exacto que desencadena su formación. Actualmente, no existe un tratamiento que permita evitar su formación o el aumento de su tamaño.

Un ser humano puede padecer PQR con sólo la existencia de uno de los genes de sus padres, es decir, si uno de los progenitores es portador del gen entonces sus hijos tienen un 50% de probabilidad de padecerla. La enfermedad puede presentarse en niños como en adultos, siendo notoriamente más común en estos últimos, sin embargo los síntomas generalmente no aparecen hasta una mediana edad.

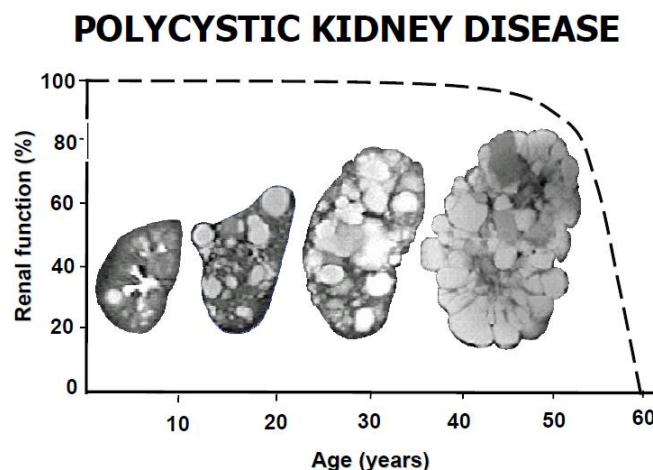


Figura 1 - Evolución de poliquistosis renal. Figura tomada de Torres [1]

El avance de la enfermedad es relativamente lento y provoca finalmente en muchos casos una insuficiencia renal terminal. Para el caso de personas que no poseen otras enfermedades se realiza habitualmente un trasplante de riñón. [2]

La poliquistosis renal se puede detectar con los siguientes exámenes:

- Tomografía computada abdominal.
- Resonancia magnética abdominal.
- Ecografía abdominal.
- Pielografía intravenosa.

Según datos estadísticos, en Uruguay existen alrededor de 220.000 personas que sufren algún grado de enfermedades crónicas renales (ECR), de los cuales unos 2.500 se encuentran en etapa de diálisis. Se tiene que aproximadamente unos 3.000 pacientes son poliquísticos, manteniéndose este número estable. Anualmente se conocen unos 35 nuevos casos de poliquistosis renal y se sabe que el 10% de los pacientes que se encuentran en etapa de diálisis padecen esta enfermedad. [3]

Registros manejados por la Organización Mundial de la Salud revelan que a nivel mundial, entre un 10% y 15% de la población sufre alguna forma de ERC, mientras que en nuestro país esta cifra es de un 10%, incrementándose el porcentaje en la población mayor de 70 años a un 20%. [3]

2.2 Ecografía

Una ecografía o ultrasonido (también conocido como sonografía o ultrasonografía) es una técnica de diagnóstico no invasiva que se utiliza para producir imágenes de órganos y estructuras internas al cuerpo mediante el uso de ondas sonoras de alta frecuencia. [4]

Durante la exploración, el especialista coloca un gel conductor (para facilitar la transmisión de las ondas sonoras) sobre la superficie del cuerpo a explorar y desplaza un dispositivo denominado transductor sobre dicha área. Este dispositivo se encuentra conectado al equipo de ultrasonido y es el encargado de enviar las ondas sonoras, las cuales producen eco en las estructuras corporales y éste es captado por el propio transductor. El equipo al que se encuentra conectado es el encargado del procesamiento de las ondas captadas generando la imagen correspondiente.

En términos generales este tipo de estudio no genera molestia alguna al paciente y no se han reportado efectos adversos. A diferencia de las radiografías y tomografías computadas, la ecografía no implica ninguna exposición a radiación ionizante. [5]

La principal desventaja que presenta la técnica es la alta dependencia existente entre la interpretación y el profesional que analiza los hallazgos en las imágenes obtenidas.

2.2.1 Ecografía renal

Dentro del conjunto de órganos que pueden ser examinados con una ecografía abdominal se encuentran los riñones. Una ecografía renal es una técnica diagnóstica esencial en el estudio y evolución de pacientes con patología renal tanto aguda como crónica.

Tanto el riñón ortotópico como el trasplantado son fácilmente visualizados mediante una ecografía, siendo ésta un estudio sencillo de realizar por el nefrólogo. El paciente debe colocarse en posición decúbito supino o lateral para optimizar la calidad de las imágenes. [6]

2.2.2 General Electric LOGIQ C5 Premium

El equipo de ultrasonido utilizado por los profesionales del área en el Departamento de Nefrología del Hospital de Clínicas de Montevideo es el *GE LOGIQ C5 Premium*, de General Electric. Cuenta con un transductor modelo C2-5 para realizar ecografías renales.

- Características [7] [8] [9]:
 - Pantalla de alta resolución LCD 15”.
 - Permite exportar archivos en formatos: JPEG, AVI, DICOM, entre otros.
 - Opción de almacenamiento vía USB o DVD.
 - Conectividad a red LAN.
 - Permite una fácil conectividad con estaciones de trabajo DICOM y una mejor gestión de los datos de imágenes.

2.3 Digital imaging and communication in medicine (DICOM)

DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) es el estándar reconocido mundialmente para el intercambio, transmisión, almacenamiento e impresión y escaneo de imágenes médicas. El estándar considera la definición de un formato de archivo y un protocolo de comunicación de red. Los archivos DICOM pueden intercambiarse entre dos entidades que tengan capacidades de enviar o recibir imágenes y datos de pacientes este formato; de esta manera, se permite la integración de dispositivos de red de múltiples proveedores.

DICOM considera los datos del mundo real, tales como imágenes, usuarios, estudios, equipamientos médicos, entre otros, mediante un modelo abstracto orientado a objetos. En este modelo se tienen: *Information Object Definitions* (IODs) y *Service Class Specifications*.

DICOM define de forma nativa un conjunto de clases de objetos que proporcionan un modelo del mundo de las imágenes médicas. Denomina IOD a una clase de objetos que comparten las mismas propiedades o atributos. Una instancia de un IOD es una representación de una ocurrencia de un objeto del mundo real y es identificada de manera única globalmente mediante el identificador *Unique Identifier* (UID). El formato de un UID cumple un estándar internacional y se encuentra constituido por secuencias de números separados por puntos, permitiendo una raíz y subdivisiones de la misma. La raíz organizacional otorgada a DICOM es 1:2:840:10008.

Debido a la gran cantidad de atributos existentes dentro de la norma DICOM, surgió necesidad de crear *Tags* para identificar a cada uno de ellos de manera única. Cada *Tag* está codificado como un par ordenado de enteros sin signo de 16 bits, donde el primer número representa el *Group Number* y el segundo el *Element Number*. El *Group Number* es un identificador que determina la *Information Entity* (IEs) mientras que el *Element Number* identifica la interpretación del valor.

Debido a que los datos clínicos se encuentran en una amplia variedad de formatos, surgió la definición de tipos básicos para encapsular los datos. Estos tipos básicos son conocidos dentro de la norma como *Value Representations* (VRs) y existen 27 diferentes y cada uno de ellos describe el tipo de datos y el formato de los valores de los atributos.

Posee un diccionario de datos en dónde se encuentran registrados todos los atributos usados en medicina digital de manera estandarizada. Este diccionario contiene más de 2000 ítems divididos en grupos según similitudes.

Un archivo DICOM está compuesto de una cabecera y un conjunto de datos (*Header* y *Data Set*). El *Header* puede no estar incluido mientras que el *Data Set* es único en el archivo y representa una instancia de un IOD del mundo real estando constituido por *Data Elements* que contienen los valores codificados de los atributos. [10] [11]

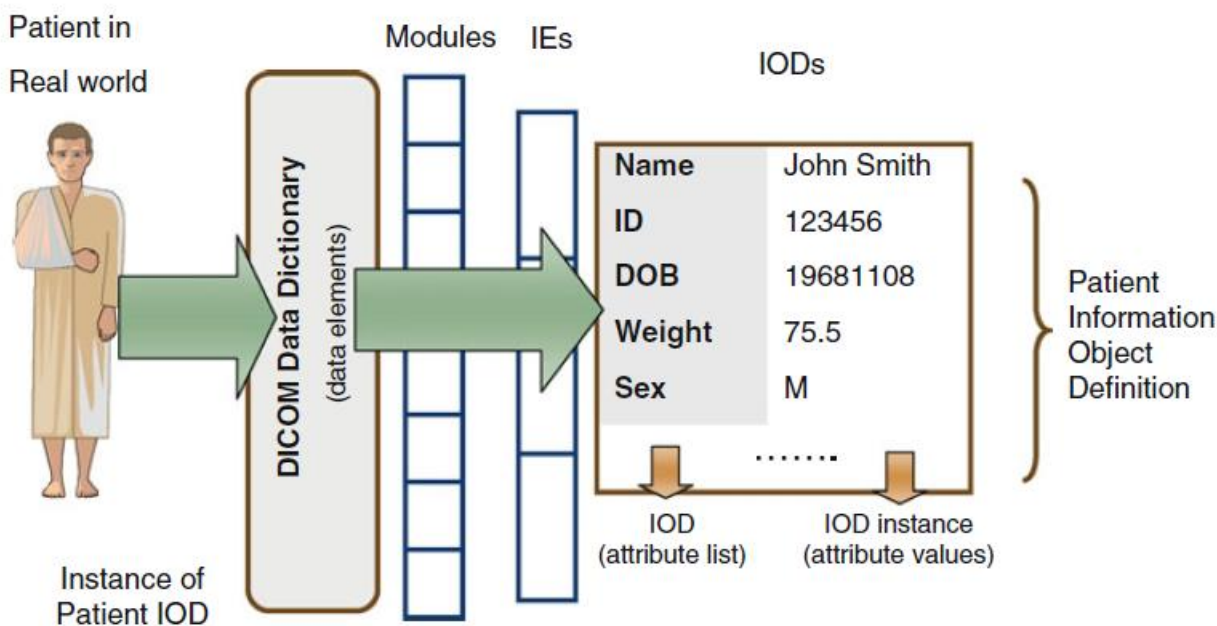


Figura 2 – Estándar DICOM Figura tomada de Pianykh [11]

2.4 Historia clínica electrónica

Durante el proceso de atención sanitaria se genera información que suele ser almacenada en la historia clínica. Este término hace referencia al conjunto de documentos que contienen los datos, valoraciones e informaciones de cualquier índole sobre la situación y la evolución clínica de un paciente a lo largo del proceso asistencial.

La historia clínica está constituida por documentos, tanto escritos como gráficos, que hacen referencia a los episodios de salud y enfermedad del individuo y a la actividad sanitaria que se genera con motivo de esos episodios. Son una herramienta vital para el quehacer de todo profesional de la salud.

Las primeras historias clínicas electrónicas (HCE) surgieron en la década de 1960, cuando la aparición de computadoras generó una nueva forma de almacenar, recuperar y visualizar la información clínica cambiando su naturaleza física a formato electrónico.

A principios de la década de 1990 el Instituto de Medicina (IOM) de Estados Unidos definió a la HCE como *“aquella que reside en un sistema electrónico específicamente diseñado para recolectar, almacenar, manipular y dar soporte a los usuarios en cuanto a proveer accesibilidad a datos seguros y completos, alertar, recordatorios y sistemas clínicos de soporte para la toma de decisiones, brindando información clínica importante para el cuidado de los pacientes...”*. [12]

Sobre finales de la misma década, el IOM amplió la definición de HCE a:

- Colección longitudinal de información electrónica sobre la salud de las personas donde la información sobre salud es definida como información pertinente a la salud de un individuo, o la información de los cuidados de salud provistos a un individuo, por medio de cualquier miembro del equipo de salud.
- Tiene la posibilidad de dar acceso electrónico inmediato a la información de salud personal o poblacional sólo a los usuarios autorizados.
- Provee las bases de conocimiento y sistemas de soporte para la toma de decisiones que mejoren la calidad, seguridad y eficiencia de la atención de los pacientes.
- Tiene el objetivo primordial de dar soporte para la eficiencia de los procesos de cuidados de salud.

Una historia clínica electrónica debe cumplir con las siguientes funcionalidades claves con el fin de mejorar la seguridad del paciente, lograr una prestación de servicios eficaz, facilitar la gestión de enfermedades crónicas y mejorar la eficiencia.

- Gestión de la información de salud.
- Manejo de resultados.
- Manejo de órdenes médicas.
- Sistemas de soporte para la toma de decisiones.
- Sistemas de comunicación electrónica y conectividad.
- Soporte al paciente.
- Procesos administrativos.
- Sistema de reportes y de salud pública.
- Emisión de informes médicos, de alta y de consulta, entre otros.

En los últimos años, el enfoque de la HCE está cambiando a la denominada historia clínica personal de salud, la que se considera *“...un registro electrónico de información relacionada con la salud de un individuo que se ajusta a los estándares de interoperabilidad reconocidos y que se puede extraer de múltiples fuentes mientras sea manejada, compartida y controlada por el individuo...”*.

Las versiones electrónicas presentan potenciales beneficios más allá de cubrir las carencias de su correlato en papel, aspectos relacionados con la identificación de personas, interoperabilidad, uso de estándares, representación de la información clínica, usabilidad, seguridad, privacidad, confidencialidad y manejo del cambio son prerequisites claves a tener en cuenta durante la elaboración de un sistema de historia clínica electrónica. [13]

2.4.1 Clinical document architecture (CDA)

La aparición de nuevas tecnologías de la información, así como estándares y acuerdos, permite la interoperabilidad entre aplicaciones de distintos sistemas de salud.

CDA es un estándar basado en XML “extendido” (permite incluir contenidos multimedia) para el marcaje de documentos, que puntualiza la estructura y semántica de documentos clínicos con el propósito de facilitar su intercambio en un entorno de interoperabilidad. Un documento CDA es un objeto definido y la información completa puede incluir texto, imágenes, sonidos y otros contenidos multimedia. Para la identificación de los diferentes elementos se utilizan vocabularios controlados tales como SNOMED, LOINC, CIE-9-MC, entre otros. Un CDA válido es aquel cuya instancia XML valida contra el esquema CDA y restringe el uso del vocabulario a los dominios especificados. [14]

Fue publicada su primera versión en el año 2000 y en la actualidad es el principal estándar para el intercambio de información clínica, convirtiéndose de esta manera en un pilar de la interoperabilidad en el área de la salud. [15]

Su estructura está dividida en una cabecera y un cuerpo. La cabecera sigue una estructura común, fácilmente consultable, que proporciona información de contexto del documento y lo identifica unívocamente, provee información acerca de la autenticación, el encuentro, paciente, autor y actores involucrados. [16]

La norma CDA no especifica el contenido del documento, sino simplemente la estructura y semántica necesaria para su intercambio. Sin embargo, existe una forma directa de crear normas que regulen el contenido, a partir de la generación de plantillas, que restringen la norma CDA particularizando la especificación genérica para un determinado contenido. Estos documentos son unidades completas, independientes e indiferentes de su almacenaje o medio de transmisión.

```
<ClinicalDocument>
... CDA Header ...
<structuredBody>
  <section>
    <text>(a.k.a. "narrative block")</text>
    <observation>...</observation>
    <substanceAdministration>
      <supply>...</supply>
    </substanceAdministration>
    <observation>
      <externalObservation>...
    </externalObservation>
    </observation>
  </section>
  <section>
    <section>...</section>
  </section>
</structuredBody>
</ClinicalDocument>
```

Figura 3 - CDA: Estructura del documento

El estándar CDA permite definir permisos de visualización, estableciendo la capacidad de que la información que contiene el documento sea vista sólo por quienes tienen privilegios suficientes para verla. El grado de confidencialidad se establece de forma general en el encabezado, pero también a nivel de sección, de forma que puede haber secciones con información más sensible que tengan un nivel de confidencialidad mayor que el resto del documento. [17]

Un documento clínico CDA debe cumplir con las siguientes características:

- Persistencia por el período de retención legal.
- Administrado por una organización encargada para tal fin.
- Potencial para ser autenticado y firmado.
- Completitud (autenticación aplicada a todo el documento y no a porciones fuera de contexto).
- Legibilidad (debe permitir ser leído por un humano).

2.5 Método actual para estimación del volumen renal

Actualmente, el método empleado para la estimación del volumen renal por los nefrólogos del Hospital de Clínicas de Montevideo es a partir de la observación de dos imágenes ecográficas. La primera representa un corte transversal y la segunda uno sagital, en ellas se trazan los diámetros y se obtienen las tres medidas correspondientes al largo, ancho y espesor del riñón.

Luego las medidas son ingresadas en una planilla Excel la cual está configurada para calcular una aproximación al volumen de las esferas $\frac{4}{3}\pi * r^3$ reemplazando la r por la mitad de los diferentes diámetros, resultando luego de simplificar la siguiente fórmula: $\frac{largo*ancho*espesor*\pi}{6}$.

De esta manera se tiene que el método actual asume que la forma del riñón es elipsoide, lo cual no refleja completamente la realidad.

2.6 Métodos de estimación de volumen

A continuación se presentan diferentes métodos estudiados para la estimación del volumen de estructuras irregulares mediante el uso de sistemas informáticos.

2.6.1 Puntos de conteo

El método de puntos de conteo es generalmente adecuado para la estimación de estructuras impresas en películas, fotografías o estructuras de datos de superficie muy intrincada en secciones.

Consiste en cubrir cada sección de la estructura con una rejilla regular de puntos de prueba. Luego se deben contar cuántos puntos de la rejilla se encuentran superpuestos con la estructura a la que se le quiere estimar su volumen.

La estimación del volumen se obtiene multiplicando el espesor de cada sección, el número total de puntos superpuestos, el área representada por el punto de la cuadrícula y la escala utilizada.

La fórmula que representa la estimación del método es $V = t * a * \sum p * s$. Siendo t el espesor de la sección, a el área del punto en la cuadrícula, $\sum p$ el total de puntos superpuestos y s la escala utilizada. [18]

2.6.2 Envolverte convexa

El método de envolverte convexa (*convex hull*) es utilizado cuando se tiene un grupo de puntos en el espacio y se quiere determinar cuál es el menor volumen que los contienen a todos. A la frontera que delimita la estructura se le denomina “envolverte convexa” y se genera mediante triangulaciones de Delaunay entre los puntos exteriores.

Las triangulaciones mencionadas son una subdivisión de un área en triángulos, a partir de una nube de puntos del plano se forma una triangulación de familia maximal de triángulos de interiores disjuntos cuyos vértices son puntos de la nube y en su interior no hay ningún punto de la nube. Para obtener una triangulación se deben añadir, mientras sea posible, segmentos rectilíneos que unan puntos de la nube que no atraviesen a los segmentos considerados anteriormente. [19]

La estimación queda determinada por el volumen del envolverte convexo, siendo este un volumen por exceso ya que se incluyen en el cálculo espacios donde no existen puntos. [20]

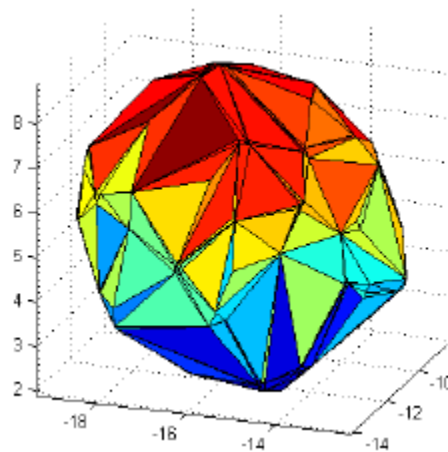


Figura 4 – Estimación volumen: Método envolverte convexa

2.6.3 Envolverte convexa por capas

El método de envolverte convexa por capas (*layered convex hull*) es un derivado del método de envolverte convexa. Proporciona una mejor estimación del volumen ya que divide el grupo de puntos en diferentes capas obteniendo para cada una de ellas un envolverte convexo.

Consiste aplicar el algoritmo del método de envolverte convexa sobre cada capa y multiplicarlo por su grosor. El resultado final es la suma de todos los volúmenes resultantes.

De esta manera, seguirá siendo una estimación por exceso ya que se seguirán incluyendo espacios vacíos de puntos pero se obtendrá una mejor aproximación. [20]

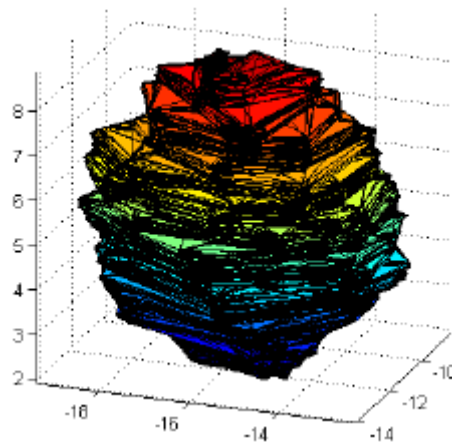


Figura 5 – Estimación volumen: Método envolverte convexa por capas

2.6.4 Rasterización de puntos a voxels

El método de rasterización de puntos a voxel (*volumetric pixel*) consiste inicialmente en componer una matriz tridimensional de partida utilizando las coordenadas $[X, Y, Z]$ de la nube de puntos.

A continuación se debe averiguar dentro de cuáles voxels existe parte de la nube de puntos. Para esto se debe verificar si las coordenadas correspondientes al voxel se intersectan o envuelven a las coordenadas de algún punto de la estructura. Este proceso se repite sobre cada uno de los voxels de la matriz tridimensional.

Finalmente la estimación del volumen queda determinada multiplicando la cantidad de voxels que contienen puntos de la estructura en su interior, volumen de cada voxel y escala utilizada. [20]

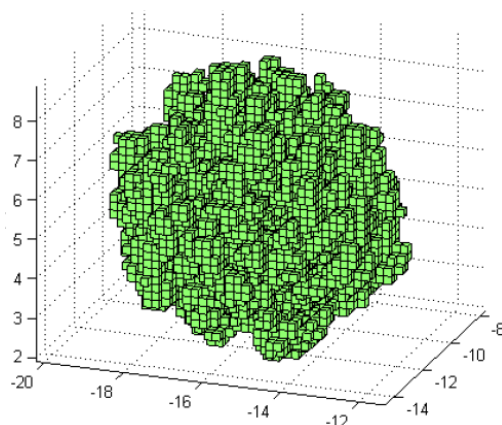


Figura 6 – Estimación volumen: Método rasterización de puntos a voxels

2.7 Reconocimiento de patrones

El reconocimiento de patrones es la ciencia que se encarga de la descripción y clasificación de objetos, personas, señales, representaciones, entre otros. Esta ciencia trabaja en base a un conjunto previamente establecido de todos los posibles objetos individuales a reconocer. El margen de aplicaciones del reconocimiento de patrones es muy amplio, sin embargo las más importantes están relacionadas con la visión y audición por parte de una máquina, de forma análoga a los seres humanos.

El esquema de un sistema de reconocimiento de patrones consta de varias etapas relacionadas entre sí, es decir, los resultados de una etapa son los datos de entrada de la siguiente. [21]

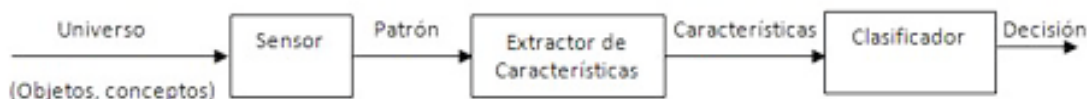


Figura 7 - Etapas del reconocimiento de patrones Figura tomada de Hernández Briones [21]

La visión artificial nos permite reducir el problema de una imagen a ciertas formas geométricas, a partir de ellas se puede analizar el problema e intentar comprender ante qué objeto se encuentra.

Es una disciplina dependiente de la inteligencia artificial, ya que permite, a partir de datos la adquisición de conocimientos, además los sistemas de reconocimiento de patrones suelen incorporar un método de aprendizaje, normalmente mediante un algoritmo inductivo. [22]

2.8 Bibliotecas de manejo 3D

A continuación se describen las bibliotecas investigadas las cuales posibilitan el manejo de elementos tridimensionales.

2.8.1 OpenGL

OpenGL es una interfaz para la generación de gráficos permitiendo obtener imágenes de alta calidad a partir de primitiva geométricas. Tiene la ventaja de ser independiente del sistema operativo y de su sistema de ventanas. [23] [24]

Provee un conjunto de funciones que controlan una máquina de estados la cual determina cómo deben dibujarse objetos geométricos simples tales como puntos, líneas, triángulos o polígonos en la pantalla. Posee un sistema de proyección que permite especificar objetos en tres dimensiones y representarlos en coordenadas de la pantalla y un sistema de transformaciones que permite posicionar los objetos en el espacio.

Existe actualmente una librería auxiliar denominada GLU la cual extiende OpenGL permitiendo simplificar su uso. Entre ellas la especificación de la visual y la utilización de superficies cuádricas tal como si fueran objetos primitivos.

SDL es una biblioteca multiplataforma que ofrece entre otras cosas el manejo de ventanas, lectura de teclado, sonido, etc.

Consideraciones de OpenGL:

- Los comandos comienzan con GL (ejemplo: GLcolor).
- Define sus propios tipos para lograr compatibilidad entre sistemas operativos. (ejemplos: GLfloat, GLint, GLenum).
- Es una máquina de estados.
 - El efecto de cada comando está basado en el actual estado de rendering.
 - Los estados son banderas que especifican qué funcionalidades están on/off y cómo se deben aplicar.
 - Utiliza los datos almacenados en sus tablas internas de estados, para determinar cómo un vértice debe ser transformado, iluminado, texturado, etc.

Estructura de un programa en OpenGL:

1. Main:
 - Abrir ventana.
 - Configurar el frame buffer (SDL).

- Inicializar display.
- Inicializar estado de OpenGL.
- 2. Loop:
 - Chequear la ocurrencia de eventos
 - Redibujar.
- 3. Redibujar:
 - Limpiar la ventana.
 - Cambiar los estados.
 - Render.

Objetos manejados por OpenGL:

- Primitivas Geométricas:
 - Puntos.
 - Líneas.
 - Polígonos.
- Primitivas de proyección:
 - glOrtho: Define una proyección ortogonal a aplicar sobre los objetos que se dibujen.
 - gluPerspective: Define una proyección en perspectiva a aplicar sobre los objetos a dibujar.
- Primitivas de imagen:
 - Imágenes y bitmaps (array de 0's y 1's).
 - Diferentes ductos para imágenes y geometría (conectados a través del mapeo de texturas).

2.9 Stereo lithography (STL)

STL es un formato de archivo utilizado por software de estereolitografía que brinda la información necesaria para producir modelos tridimensionales tangibles a través de impresoras 3D.

Específicamente, un archivo STL es una representación triangular de la geometría de la superficie de un objeto 3D. La superficie del objeto se divide lógicamente en un conjunto de triángulos orientados (denominados *facetas*), donde cada triángulo se define de forma única por su normal y tres puntos que representan sus vértices en sentido anti horario. En consecuencia de esto, el contenido de estos archivos es una lista completa de las coordenadas (X, Y, Z) de los vértices y normales para los triángulos que describen la superficie del objeto tridimensional. [25]

Actualmente, los archivos STL se han convertido en el formato de transmisión de datos estándar de facto de la industria de la creación rápida de prototipos.

El formato STL nativo debe cumplir con las siguientes especificaciones:

1. La normal y los vértices de cada faceta son especificados por tres coordenadas cada uno (un total de 12 números por faceta).
2. Cada faceta es parte de la frontera entre el interior y el exterior del objeto.
3. Cada triángulo debe compartir dos vértices con cada uno de sus triángulos adyacentes.
4. El objeto representado debe estar situado completamente en el octante positivo, es decir, todas las coordenadas de vértices deben ser números positivos.

A lo largo del tiempo, han surgido modificaciones en las especificaciones del formato ampliando las posibilidades en que son definidos los triángulos:

1. La normal puede no especificarse realmente pudiéndose colocar el valor 0 para las tres coordenadas.
2. Los vértices pueden estar situados en cualquier octante.

El estándar STL incluye la posibilidad de definir los archivos mediante 2 formatos de datos, ASCII y Binario. Los archivos con formato ASCII son más descriptivos pero pueden resultar con un tamaño muy grande dependiendo de la complejidad del objeto tridimensional. El comienzo en el formato ASCII es una línea de descripción que debe comenzar con la palabra *solid*, seguido eventualmente con información adicional como el nombre del archivo, autor, fecha, etc. Luego se definen cada uno de los triángulos en un bloque que comienza con la palabra *facet* y culmina con *endfacet*. Dentro de él se define el vector normal identificado con la palabra reservada *normal* seguido de los valores de la misma para cada coordenada. Luego dentro de un subbloque delimitado por *outer loop* y *endloop* se colocan tres registros,

los cuales indican las coordenadas (X, Y, Z) de cada vértice del triángulo, cada uno de estos comienza con *vertex*. Finalmente, el archivo culmina con la palabra clave *endsolid*. [26]

```
solid [info]
    facet normal ni nj nk
        outer loop
            vertex v1x v1y v1z
            vertex v2x v2y v2z
            vertex v3x v3y v3z
        endloop
    endfacet
    facet normal ni nj nk
        outer loop
            vertex v1x v1y v1z
            vertex v2x v2y v2z
            vertex v3x v3y v3z
        endloop
    endfacet
    ...
endsolid
```

Los archivos STL binarios consisten en una línea de cabecera 80 bytes que es interpretada como una cadena de comentarios. Los siguientes 4 bytes son interpretados como un número entero que indica la cantidad de facetas que contiene el archivo. A continuación se indica la normal y los 3 vértices correspondientes a cada faceta, dónde cada coordenada está representada como un punto flotante de 4 bytes. Cada faceta es separada de la siguiente por un espacio de 2 bytes, por lo que se tiene que cada faceta ocupa 50 bytes (12 bytes de normal, 36 bytes de vértices y 2 bytes de separación). [27]

```
UINT8[80] - Header
UINT32 - Number of triangles

foreach triangle
    REAL32[3] - Normal vector
    REAL32[3] - Vertex 1
    REAL32[3] - Vertex 2
    REAL32[3] - Vertex 3
    UINT16 - Attribute byte count
end
```

Capítulo 3

Análisis de NEFROVOL

3.1 Requisitos

Luego de realizadas las investigaciones en el área y reuniones con los profesionales encargados del tema en el Hospital de Clínicas, se obtuvieron los siguientes requisitos para **NEFROVOL**.

3.1.1 Funcionales

- Cargar archivos DICOM de las ecografías de riñón realizadas, contendrán imágenes ecográficas de cada cortes del riñón junto a los metadatos referentes a la información del paciente.
- Interacción con el usuario para determinar el contorno del riñón en cada imagen ecográfica cargada.
- Crear modelo tridimensional del riñón a partir de los contornos determinados por el usuario.
- Calcular una estimación del volumen renal total en base al modelo generado.
- Permitir administrar pacientes dentro del sistema (alta, baja, modificación).
- Permitir administrar profesionales dentro del sistema (alta, baja, modificación).
- Permitir guardar los estudios realizados, esto incluye imágenes, contornos y volumen obtenido, vinculándolos a un paciente, una fecha y un profesional.
- Permitir continuar trabajando un estudio previamente guardado.
- Brindar gráficamente la evolución del volumen (de ambos riñones) a lo largo del tiempo para cada paciente, en base a los estudios almacenados en el sistema.
- Generar un documento de historia clínica electrónica bajo el estándar CDA, para un estudio en particular y para la evolución de un paciente.
- Permitir recuperar una historia clínica generada anteriormente.
- Permitir interoperar con una impresora 3D para obtener una representación tangible del riñón en estudio.
- Aplicación multilenguaje (Español, Inglés y Portugués) pudiéndose agregarle los idiomas que se deseen.

3.1.2 No funcionales

- Posibilidad de envío de información entre **NEFROVOL** y el ecógrafo.
- Desarrollar una interfaz de comunicación entre **NEFROVOL** y una impresora 3D.

Capítulo 4

Diseño de NEFROVOL

4.1 Decisiones de diseño

En esta sección se describirán las decisiones tomadas sobre las dificultades y problemas encontrados al momento de diseñar **NEFROVOL**.

4.1.1 Fantoma

Para realizar distintos tipos de pruebas y a su vez, verificar la escala proporcionada por el ecógrafo, se construyó un fantoma, en forma de “pecera” prismática de acrílico transparente, tal como se muestra en la Figura 8, con 20 cm de altura, 15 cm de largo y 10 cm de ancho, abierto en la parte superior y sellado en las restantes 5 caras. Cuenta con tanzas que lo atraviesan a lo ancho y largo colocadas de manera que no se crucen.

A lo ancho posee 8 tanzas que unen ambos extremos, 2 colocadas a 5 cm del fondo del prisma y a 5 cm de cada borde, quedando separadas por 5 cm entre sí; otras 2 a 5 cm por encima de las anteriores, separadas por 7 cm entre sí y a 4 cm de cada borde; por último, 5 cm más arriba de estas últimas se encuentran 4 tanzas separadas por 3 cm entre sí y misma distancia de los bordes del prisma.

A lo largo tiene 7 tanzas, las primeras 2 se encuentran a 3 cm del fondo y a 4 cm de los bordes, quedando así a 2 cm entre ellas; 5 cm por encima se encuentran 2 tanzas que distan a 3 cm de los bordes y a 4 cm entre sí; finalmente, 3 tanzas a 2 cm de distancia de los bordes y a 3 cm entre ellas.

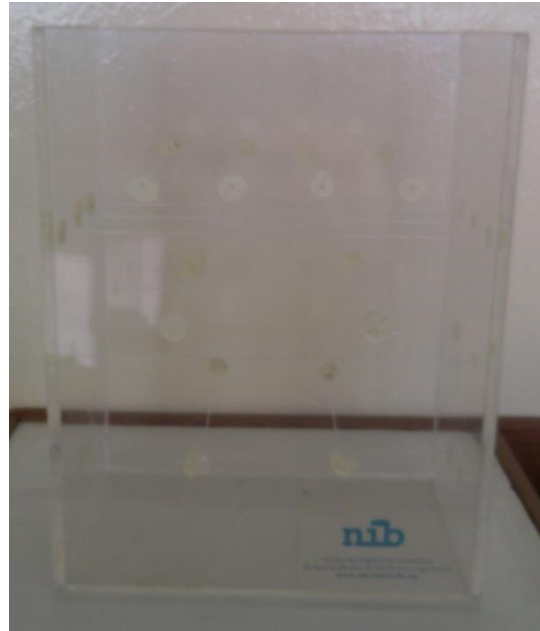


Figura 8 – Fantoma de NEFROVOL. Material acrílico de 20cm x 15cm x 10cm, capacidad 3L, con 15 tanzas horizontales entre caras opuestas.

En las siguientes imágenes se representa el cuadriculado (1 cm de lado) de las caras laterales del prisma, dónde cada punto rojo representa la ubicación de cada una de las tanzas colocadas.

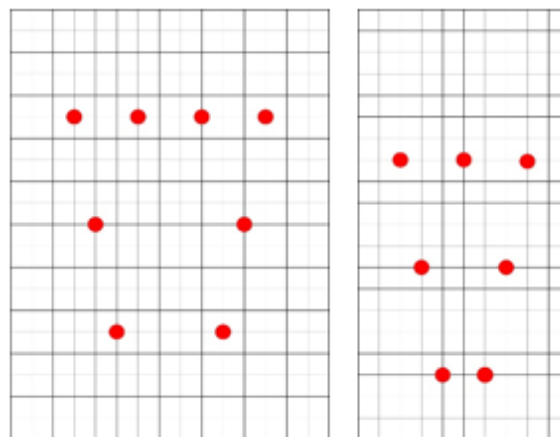


Figura 9 - Diseño del fantoma para NEFROVOL. Cara frontal y lateral.

El mecanismo de uso consistió en llenar el recipiente con agua y con el equipo de ultrasonido obtener imágenes ecográficas. En la imagen se observan puntos y líneas (dependiendo del tipo de corte) que representan las tanzas. Mediante el uso del propio equipo se obtuvieron las medidas de la distancia entre los puntos obtenidos (ver Figura 10), comparándolas con las medidas reales se pudo comprobar que dada la escala utilizada el equipo de ultrasonido representa automáticamente en las imágenes todas las distancias de manera proporcional con la realidad, sin importar en que profundidad de la imagen se

encuentre. De esta manera se tiene que **NEFROVOL** asume la correcta proporcionalidad de lo representado en las imágenes cargadas durante un estudio.

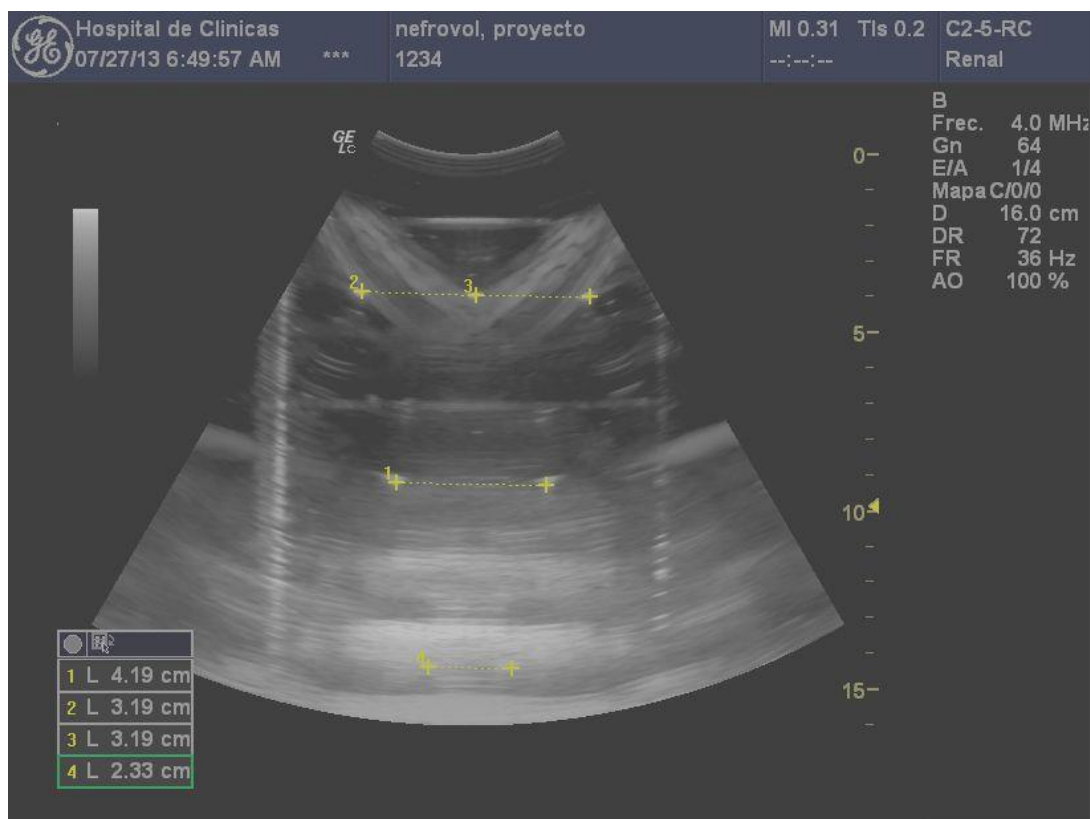


Figura 10 - Medidas obtenidas en fantoma

4.1.2 Escala

Los equipos de ultrasonido, más precisamente el *GE LOGIQ C5 Premium* disponible en el Hospital de Clínicas, permiten al operador variar la escala a utilizar durante la realización de la ecografía. Para obtener una correcta estimación del volumen es necesario conocer la escala utilizada durante la obtención de la imagen pero dicha información no se encuentra disponible en los metadatos de los archivos DICOM de ecografía que son generados por el equipo y luego cargados en la aplicación.

Por lo tanto, se resolvió que el usuario de la herramienta **NEFROVOL** deberá ingresar manualmente la escala utilizada ya que es un dato conocido por quién llevó a cabo la ecografía. El valor de la escala será ingresado marcando dos puntos y trazando una línea sobre una de las imágenes e indicando cuál es el valor real al que corresponde la distancia marcada.

4.1.3 Ubicación de cortes

Para reconstruir la estructura tridimensional del riñón a partir de diferentes cortes es necesario conocer cuál es la relación de distancia entre ellos, es decir cuál es la ubicación de un corte en el espacio con respecto al subyacente. Se detectó que las imágenes DICOM ultrasonográficas no brindan dicha información, ya que son independientes entre sí, por lo que se debió obtener de alguna manera los datos necesarios.

La solución adoptada fue asumir que los cortes son siempre paralelos y equidistantes, con una distancia conocida entre todo par de cortes consecutivos. A su vez se le pide al usuario de la herramienta **NEFROVOL** indicar cuál es dicha distancia.

Una vez tomada esta decisión, se trasladó el inconveniente a cómo el operador obtendría las imágenes de cortes con dichas características (paralelos y equidistantes). Esto llevó a diseñar y crear un “soporte” externo que actúa de base y de guía para el operador del equipo de ultrasonido. La guía las medidas adecuadas para contemplar los riñones de mayor tamaño y a lo largo ranuras iguales y equidistantes entre sí en las cuales se coloca el transductor al momento de la ecografía. De esta manera, utilizando todas las ranuras necesarias para contemplar al riñón en su totalidad se garantiza que las imágenes obtenidas son todas equidistantes y paralelas entre sí. La guía debe ser apoyada sobre la zona de estudio del paciente y no podrá ser movida una vez comenzada la ecografía hasta que la misma finalice, ya que sino no se cumplirán las condiciones necesarias.

Existe una dependencia total entre la guía y el transductor con el cual se realicen las ecografías ya que las ranuras deberán ser tales que permitan colocar en ellas completamente el transductor. Se realizó un documento explicativo en el cual se indican las características que debe cumplir el soporte ya sea en medidas y en el material a utilizar para su desarrollo. El documento mencionado se encuentra disponible en el capítulo de anexos.

Fueron investigadas otras soluciones, entre ellas la posibilidad de obtener las coordenadas de cada imagen en un sistema de coordenadas global y de esta manera se tendría la posición exacta de cada corte dentro del cuerpo. Para esto se estuvo en contacto con Guillermo Carbajal, quien en su Tesis de Maestría trabajó en el proyecto *Slicelets* [28]. Este consta de un procedimiento que obtiene la posición de una imagen ultrasonográfica en un sistema de coordenadas global. Finalmente, esta opción fue descartada debido a que la unificación entre ambas herramientas era demasiado costosa y se priorizó el método de cálculo del volumen.

4.1.4 Determinación de contornos de cortes

En un principio se pensó en la detección automática de los contornos del riñón a partir de las imágenes ultrasonográficas. Luego de realizadas ecografías de pruebas y observado la dificultad existente para detectar en las imágenes el riñón mediante el ojo humano no entrenado, se optó por implementar un mecanismo de interacción entre el usuario y la herramienta **NEFROVOL**. De esta manera el usuario experto, nefrólogo o imagenólogo, será el encargado de delimitar el contorno renal en cada imagen; esto es posible debido a que los profesionales en el área reconocen fácilmente las estructuras observando las imágenes ecográficas.

La interacción de marcado del contorno del riñón consiste en delimitarlo sobre cada imagen mediante el uso del mouse. **NEFROVOL** permite ingresar puntos separados o manteniendo el clic izquierdo del mouse presionado y moverse por el contorno que se desea marcar. Cada nuevo punto establecido será unido automáticamente con el anterior, generando de esta manera un contorno cerrado por cada imagen.

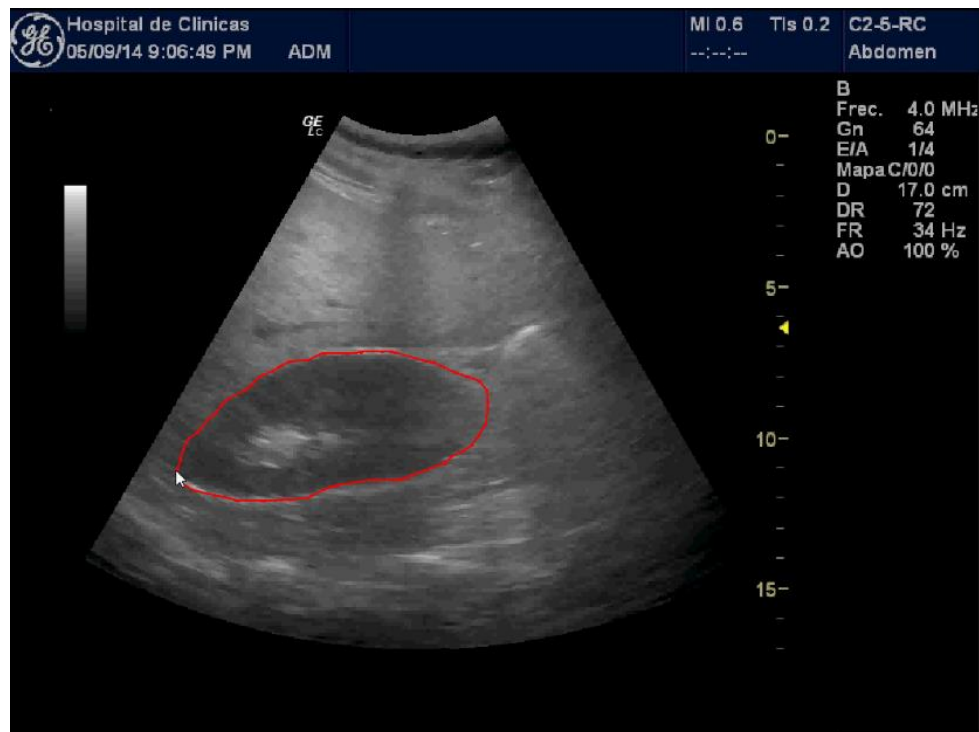


Figura 11 - Determinación de contornos renales en imágenes ultrasonográficas

4.2 Arquitectura

La arquitectura de **NEFROVOL** está formada por un paquete principal que se compone de varios módulos y se comunica con una base de datos y con la entrada/salida de datos.

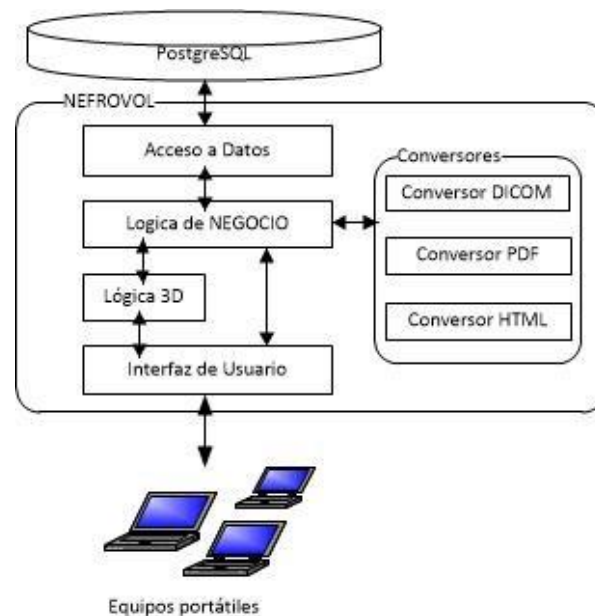


Figura 12 - Arquitectura de NEFROVOL

El paquete principal se compone de 4 módulos, que se encargan de la comunicación con la base de datos, la lógica de la aplicación, el manejo de estructuras 3D y la interfaz de usuario.

- Acceso a datos: módulo que se encarga de la comunicación con la base de datos, es quien maneja todas las transacciones, consultas y cargas de datos. Procesa los archivos utilizados (DICOM, imagen, XML) convirtiéndolos en arreglos de bytes para ser almacenados y también la conversión a la inversa para utilizarlos como archivos nuevamente.
- Lógica de negocio: módulo que se encarga de transformar los datos extraído de la base de datos, realizar los cálculos correspondientes y colocarlos a disposición de la Interfaz de usuario. A su vez, es quien procesa los archivos y datos que ingresan y salen del sistema a través de los conversores de archivos DICOM.
- Lógica 3D: módulo que cumple la función de generar la estructura tridimensional y el cálculo de la estimación del volumen de la misma para presentarlos en pantalla. A su vez, es quién procesa la interacción del usuario con la estructura generada.
- Interfaz de usuario: módulo que obtiene los datos del sistema por medio de la Lógica de Negocio, los transforma y muestra en la pantalla permitiendo al usuario interactuar con el sistema.

4.3 Diagrama de clases

Dentro del módulo de “Acceso a Datos” las clases se presentan de la siguiente manera.

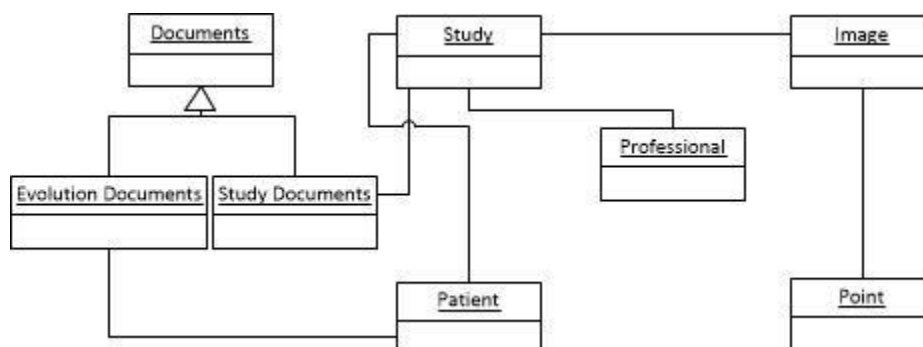


Figura 13 - Diagrama de clases

Tabla 1 – Clases correspondientes al diagrama de diseño

Patient: Representa a los pacientes que se guardan en la base de datos.	
<i>patientId</i>	Número entero autogenerado por la base de datos que identifica al paciente, el mismo es único para cada paciente.
<i>patientDocType</i>	Tipo de documento del paciente, por ej Cédula de identidad, Pasaporte.
<i>patientDocument</i>	Número de documento.
<i>patientName</i>	Nombre del paciente.
<i>patientSurname</i>	Apellido del paciente.
<i>patientDate</i>	Fecha de nacimiento del paciente.
<i>patientSex</i>	Sexo del paciente.
Professional: Representa al profesional que utiliza la aplicación y realiza los estudios.	
<i>profId</i>	Identificador autogenerado por la base de datos el cual es utilizado para la identificación del profesional dentro del sistema.
<i>profText</i>	Nombre con el cual será reconocido el profesional por los usuarios de la aplicación.
Study: Representa a los estudios que se realizan a los pacientes. Estudio se le llama al conjunto de imágenes que se cargan para ser procesadas, sobre las cuales se indican los puntos de contorno y en base a ellos se estima el volumen.	
<i>patientId</i>	Todo estudio guardado está relacionado a un paciente, este campo es el indicador del paciente al cual pertenece el estudio.

<i>studyVersion</i>	Número entero que identifica la versión del estudio, cada paciente puede tener varios estudios almacenados. Para diferenciar los distintos estudios realizados a los pacientes y ver la evolución de los mismos se autogenera un número de versión.
<i>studyDate</i>	Fecha en la que se guardó el estudio.
<i>studyFiles</i>	Arreglo de bytes correspondientes a un archivo comprimido (.zip) en el cual se encuentran todos los archivos relacionados al estudio (DICOM, XML, imágenes).
<i>studyVolume</i>	Valor estimado del volumen del riñón estudiado, este puede ser vacío en caso de guardar el estudio sin haber calculado el volumen previamente.
<i>studyImgScaleX</i>	Corresponde al valor de cuánto es 1 cm si el ancho de la imagen está comprendido desde 0 a 1.
<i>studyImgScaleY</i>	Corresponde al valor de cuánto es 1 cm si la altura de la imagen está comprendida desde 0 a 1.
<i>studyKidney</i>	Toma los valores “L” o “R”, si el riñón es izquierdo o derecho respectivamente.
<i>studyDistZ</i>	Distancia en cm entre corte paralelos contiguos.
<i>studyComments</i>	Comentarios agregados por el usuario al momento de almacenar el estudio.
Image: Cada estudio está compuesto por una colección de imágenes que corresponden a los cortes del riñón.	
<i>patientId</i>	Relaciona la imagen con el paciente al que pertenece el estudio.
<i>studyVersion</i>	Junto con el <i>patientId</i> , relaciona la imagen con el estudio.
<i>imageOrder</i>	Indica en qué posición dentro del estudio se encuentra dicha imagen, constituyendo un orden entre los cortes.
<i>imageName</i>	Corresponde al nombre del archivo de imagen.
Point: Cada imagen posee un conjunto de puntos marcados por el usuario que trabaja en el estudio.	
<i>patientId</i>	Id del paciente que se relaciona con el estudio que contiene la imagen a la cual pertenece el punto.
<i>studyVersion</i>	Junto con el <i>patientId</i> relacionan el punto con el estudio que contiene la imagen.
<i>imageOrder</i>	Entre el <i>patientId</i> , el <i>studyVersion</i> y el <i>imageOrder</i> se relaciona el punto con su imagen.

<i>pointOrder</i>	Al igual que las imágenes los puntos tienen un orden, se identifica por el atributo pointOrder.
<i>pointX</i>	Posición en el eje horizontal del punto en la imagen.
<i>pointY</i>	Posición en el eje vertical del punto en la imagen.
<i>patientId</i>	Id del paciente que se relaciona con el estudio que contiene la imagen a la cual pertenece el punto.
Documents: Esta clase representa los Documentos CDA que se guardan en la base de datos, para mantener un historial de los mismos.	
<i>docId</i>	Es el id con el que se guarda el CDA en la base, este es autogenerado obtenido a partir del tiempo exacto en el que se creó el documento y es único para cada documento.
<i>patientId</i>	Es el identificador del paciente al cual pertenece el documento CDA.
<i>docType</i>	Toma el valor “E” en caso de ser un documento de tipo “Evolution Documents”, y el valor “S” en caso de ser del tipo “Study Documents”. Cuando docType es “E” el campo studyVersion queda vacío.
<i>studyVersion</i>	Es la versión del estudio, en caso de ser un “Study Document”, al cual pertenece el CDA.
<i>docDate</i>	Fecha en que se realizó el documento CDA.
<i>studyDate</i>	En el caso de que el docType tenga el valor “S”, este contiene la fecha en que se realizó el estudio al cual pertenece el documento. En este caso dicha fecha también está en el estudio mismo, para facilitar el filtrado de los documentos existentes por fecha de estudio se realiza una redundancia de dicha información.
<i>docFile</i>	Es un arreglo de bytes, que contiene el documento CDA. Esto luego es transformado a un archivo xml, para posteriormente transformarlo a PDF o HTML.
<i>docId</i>	Es el id con el que se guarda el CDA en la base, este es autogenerado obtenido a partir del tiempo exacto en el que se creó el documento y es único para cada documento.

4.4 Base de datos

NEFROVOL utiliza una base de datos sobre PostgreSQL en su versión 9.2. Estas bases de datos se caracterizan por ser relacionales y orientadas a objetos.

En ella se almacena toda información relacionada a la herramienta, permitiendo de esta manera una transferencia de los datos de una determinada instalación a otra solamente realizando una copia de la base de datos original y restaurándola en el equipo destino.

Cuenta con las tablas especificadas en la Tabla 2.

Tabla 2 – Definición de las tablas pertenecientes a la base de datos.

<i>language</i>	Almacena los lenguajes que utilizará la aplicación para todos los textos que se muestren en pantalla y en los documentos. Junto a la instalación se agregan Español, Inglés y Portugués, siendo posible agregar, modificar, eliminar un lenguaje por medio de un administrador. Un lenguaje es identificado mediante el código ISO 639-1. [29]
<i>labels</i>	Almacena todos los textos que son utilizados en su respectivo lenguaje. Una etiqueta es identificada por su código y el lenguaje al que pertenece. El lenguaje debe existir en la tabla <i>language</i> .
<i>system_settings</i>	Almacena información relacionada a la instalación y configuraciones del usuario. Se tiene la versión y fecha de NEFROVOL , a quién pertenece la instalación y el lenguaje que utiliza el usuario.
<i>patients</i>	Almacena toda la información que se tiene de un paciente. Un paciente es identificado dentro de la base de datos con un valor autogenerado el cual es transparente para el usuario. No pueden existir dos pacientes con igual tipo de documento y documento.
<i>studies</i>	Almacena toda la información correspondiente a un estudio. Un estudio es identificado por el paciente al que pertenece y la versión del mismo. Cuando se genera un estudio nuevo, la versión se incrementa automáticamente. El paciente debe existir en la tabla <i>patients</i> . Todo estudio debe tener un profesional asociado, el cual debe existir en la tabla <i>professionals</i> .
<i>images</i>	Almacena toda la información de cada una de las imágenes incluidas en cada estudio. Por cada imagen de un estudio se genera un nuevo registro en la tabla. Una imagen está identificada por el paciente al que pertenece, versión del estudio al que pertenece, orden dentro del estudio y tipo. El paciente debe existir en la tabla <i>patients</i> y la versión de estudio debe existir en <i>studies</i> .

<i>points</i>	Almacena toda la información correspondiente a cada punto de cada imagen incluida en un estudio. Un punto está identificado por el paciente, versión de estudio, orden y tipo de la imagen y orden del punto. El paciente debe existir en la tabla <i>patients</i> , la versión del estudio en <i>studies</i> y el orden y tipo de imagen en <i>images</i> .
<i>professionals</i>	Almacena la información de los profesionales que realizan los estudios dentro de la herramienta. Un profesional está identificado por un valor autogenerado el cual es transparente para el usuario. No pueden existir dos profesionales con igual texto a mostrar.
<i>documents</i>	Almacena los documentos de historia clínica electrónica que son generados por la herramienta. Un documento está identificado por un valor autogenerado en relación al momento en que fue creado, el cual es transparente para el usuario. Todo documento un paciente asociado y tiene dos posibles tipos: Estudio o Evolución. En caso de ser de estudio, se tendrá asociada la versión del mismo. El paciente debe existir en la tabla <i>patients</i> y la versión del estudio a <i>studies</i> .

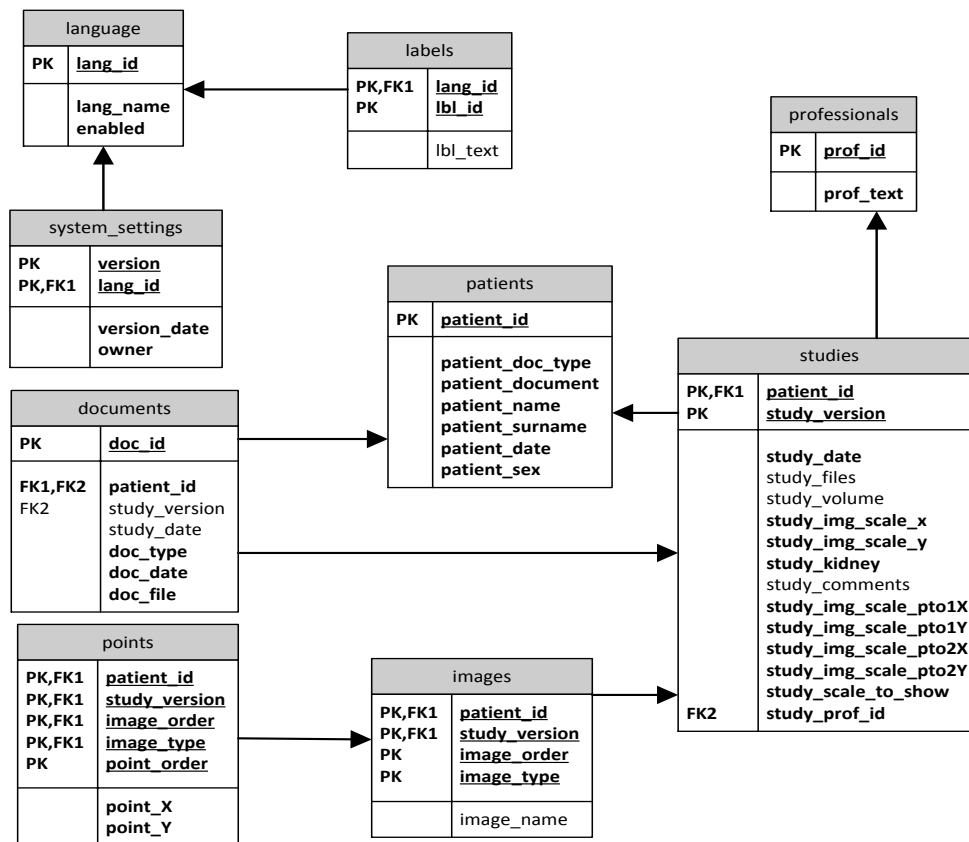


Figura 14 - Base de datos: Modelo Entidad Relación

4.5 Impresión 3D

Ya avanzado el desarrollo de **NEFROVOL** se decidió incorporar al proyecto la posibilidad de reconstruir físicamente cada uno de los riñones examinados. Para esto se debía realizar una interfaz de conexión entre la herramienta y una impresora 3D, que se encargue de la construcción física del objeto.

Luego de investigar se optó en que la herramienta genere un archivo bajo el estándar STL, compatible con casi la totalidad de las impresoras 3D actuales y de esta manera independizar a **NEFROVOL** de la impresora que se desea utilizar.

Al momento de la exportación de los datos en el archivo se le posibilita al usuario seleccionar la escala a utilizar para el objeto, permitiendo de esta manera generar una reconstrucción de iguales proporciones pero de menor tamaño que la realidad.

La impresora utilizada para las pruebas e impresiones realizadas durante las fases del proyecto es un desarrollo de *SAWERS* [30] (Cochabamba, Bolivia) en una iniciativa de cooperación de la Universidad Mayor San Simón de Bolivia y de la Universidad de la República de Uruguay.

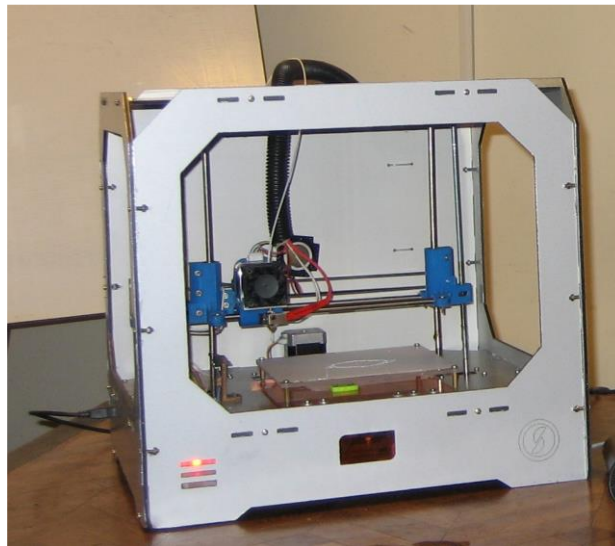


Figura 15 - Impresora 3D, desarrollo SAWERS (Bolivia)

4.6 Ciclo completo de un estudio

El ciclo completo de un estudio desde la adquisición de las imágenes hasta su culminación consta de las siguientes etapas:

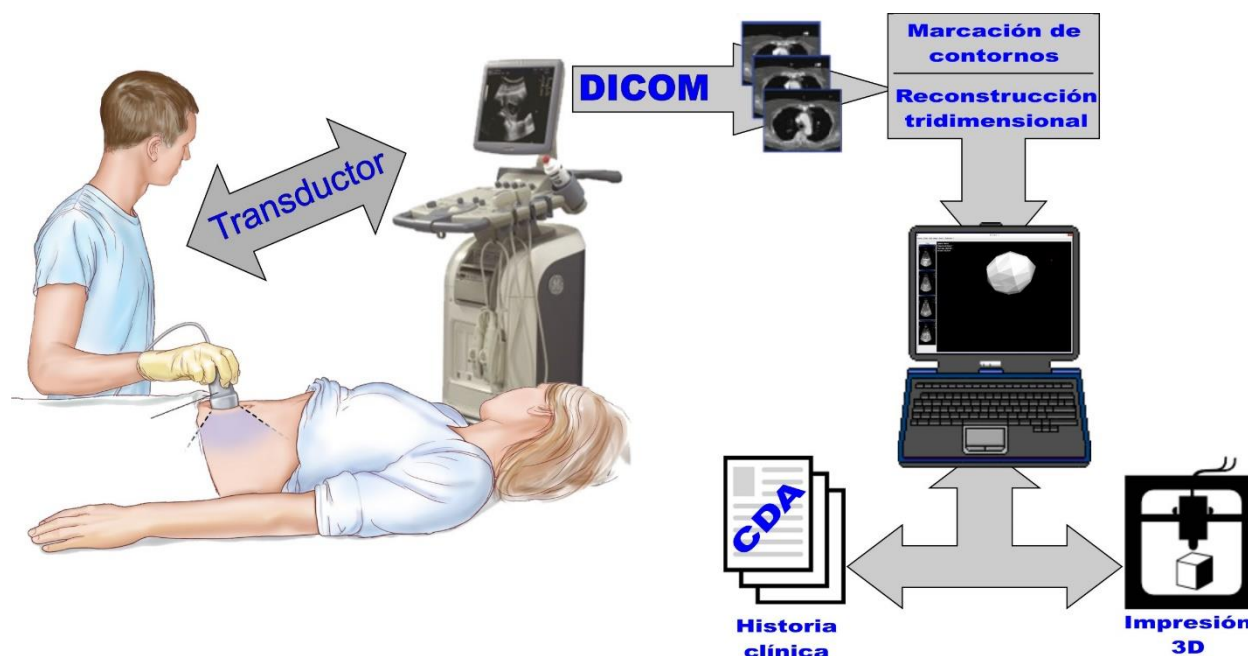


Figura 16 - Diagrama de etapas del ciclo completo de un estudio en NEFROVOL, el proceso culmina con la obtención de un documento para la HCE y por otro lado con la impresión 3D del órgano reconstruido

1. Obtención de las imágenes mediante ecografía.
2. Almacenamiento de todas las imágenes en formato DICOM para ser transferidas al equipo dónde se encuentra la aplicación **NEFROVOL**.
3. A. Se cargan las imágenes correspondientes al estudio.
B. Se delimitan los contornos en cada una de ellas.
4. Se procesan los contornos permitiendo la reconstrucción tridimensional del riñón y estimando su volumen.
5. Se visualiza la estructura generada en 360°.
6. A. Se genera un documento de historia clínica sobre el estudio en cuestión.
B. Se genera el archivo para la impresora 3D, permitiendo obtener una reconstrucción física del riñón.

Los puntos 3.B, 4 y 5 pueden ser repetidos las veces necesarias hasta que el operador considere que la reconstrucción es adecuada.

Capítulo 5

Implementación de NEFROVOL

En este capítulo se explican las herramientas utilizadas para el desarrollo, bibliotecas manejadas y la implementación de los algoritmos principales e importantes de la aplicación.

5.1 Entorno de desarrollo

Durante el desarrollo de **NEFROVOL** se utilizaron las herramientas especificadas en la Tabla 3.

Tabla 3 – Herramientas utilizadas en el desarrollo de NEFROVOL

NetBeans IDE 7.3.1 [31]	Entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite desarrollar en diferentes lenguajes, en este caso se utilizó Java. Free.
Assembla [32]	Proveedor de un conjunto de herramientas para la gestión de proyectos. Se utilizó el repositorio SVN para mantener sincronizado el código fuente y diferentes documentos entre los integrantes del equipo. Free Account.
PgAdmin III [33]	Administrador de base de datos PostgreSQL. Free.
Microsoft Visio 2010 [34]	Herramienta para generar diagramas de diseño, de arquitectura y representación de la base de datos. Licencia de Microsoft.
Advanced Installer 10.8 [35]	Software que permite la generación de un asistente de instalación para la plataforma Windows. Trial Version.

5.2 Bibliotecas utilizadas

Durante la implementación del software **NEFROVOL** se utilizaron las bibliotecas especificadas en la Tabla 4.

Tabla 4 - Bibliotecas externas utilizadas en el desarrollo de NEFROVOL

<i>GLUEGEN-RT</i> [36]	Provee de las funciones de GLU para Java. OpenSource and Free.
<i>JOGL</i> [37]	Contiene las primitivas de OpenGL para Java. OpenSource and Free.
<i>Postgresql-9.2-1003.jdbc</i> [38]	Provee funcionalidades para la comunicación entre una aplicación java y la base de datos PostgreSQL. OpenSource and Free.
<i>Jcalendar-1.4</i> [39]	Brinda componentes para manejar calendarios. Utiliza para proveer de calendarios desplegables en la interfaz de usuario permitiendo la selección de una fecha. OpenSource and Free.
<i>Jcommon-1.0.20</i> [40] <i>jfreechart-1.0.16</i> [41]	En conjunto proveen funcionalidades para la creación y visualización de gráficas. OpenSource and Free.
<i>com.springsource.com.lowagie.text-2.0.8</i> <i>core-render-R8pre2</i> <i>itextpdf-5.4.4</i> [42]	Permiten a partir de un archivo XML y otro XSL crear un nuevo archivo HTML y luego convertirlo a formato PDF. OpenSource and Free.
<i>jsoup-1.7.3</i> [43]	Permite el parseo de un archivo HTML. OpenSource and Free.
<i>dcm2jpg.exe</i> [44]	Ejecutable para Windows que extrae imágenes incluidas en un archivo DICOM. OpenSource and Free.
<i>dcm2xml.exe</i> [45]	Ejecutable para Windows que extrae de un archivo DICOM los metadatos incluidos a un archivo XML. OpenSource and Free.

Tabla 5 - Bibliotecas utilizadas

5.3 Principales algoritmos

La implementación de la aplicación cuenta de varios módulos agrupados según las tareas que llevan a cabo. En esta sección se explican los algoritmos más relevantes y específicos de **NEFROVOL**.

5.3.1 Generación de modelo tridimensional

La generación de la estructura tridimensional del riñón se basa en los puntos de contorno renal indicados por el usuario sobre cada una de las imágenes cargadas. A partir de estos, se genera una malla poligonal compuesta de triángulos, los cuales corresponden a la unión de dos puntos de un corte con un punto del siguiente o viceversa. Por cada par de cortes contiguos se dibuja una malla poligonal y la unión de las mismas generan finalmente la estructura completa. En los extremos, se dibujan los polígonos generados al unir todos los puntos de un corte. [46]

Para todo par consecutivo de cortes se realizan los siguientes pasos; una vez que se tienen dos cortes y el grupo de puntos (ordenados en sentido horario) marcados en cada uno de ellos se debe formar los triángulos, uniendo dos puntos de un corte, con uno del otro. Esta técnica se conoce como “Técnica de triangulación a partir de contornos paralelos” [46], el proceso consiste en determinar cada vez un nuevo triángulo que cumpla con determinadas condiciones elementales:

- Cada segmento del contorno aparece exactamente en un triángulo del conjunto.
- Si un borde (segmento de línea) representa el lado izquierdo de un triángulo, entonces éste también representa el lado derecho de otro triángulo y viceversa.

Sea el par de contornos paralelos denotados por A y B . El corte A consta de los m puntos $A_0, A_1, \dots, A_{m-1}$ y el corte B consta de los n puntos $B_0, B_1, \dots, B_{n-1}$. Debe notarse que, el número de puntos puede ser diferente en el par de cortes y se asume (controlado a nivel de interfaz de usuario) que al menos existe un punto en cada uno de ellos. Además, se unen el punto final de cada corte con el punto inicial, esto asegura que las líneas de contorno sean cerradas.

Inicialmente se considera que el punto más cercano al primer punto de A (A_0) es el primer punto del corte B (B_0) para todo par de cortes A y B . El problema consiste en encontrar un conjunto de triángulos que representen la superficie entre los cortes. Cada triángulo es un conjunto de tres puntos del tipo: $\{A_i, A_j, B_k\}$ o $\{A_i, B_k, B_l\}$ para, $i = 0..m-2 \wedge j = i+1 \wedge k = 0..n-2 \wedge l = k+1$

El proceso comienza por la definición del primer lado del triángulo. $\overline{A_0 B_0}$. Para calcular el segundo lado del triángulo, se tiene que, éste (la base del triángulo) puede estar formado únicamente por $\overline{A_0 A_1}$ o

$\overline{B_0B_1}$. De esto se concluye que el primer triángulo puede estar formado por el conjunto de vértices: $\{A_0, B_0, B_1\}$ o $\{A_0, B_0, A_1\}$. Es aquí donde se utiliza el criterio de selección, el tercer lado del triángulo será la diagonal con menor distancia euclidiana. En donde, la distancia euclidiana d entre dos puntos en $\mathbb{R}^3$ está dada por: $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$.

Por lo tanto, la diagonal que tenga la distancia más pequeña terminará de formar el triángulo y a su vez pasará a ser el primer lado del siguiente triángulo a buscar. El algoritmo continúa obteniendo los triángulos utilizando el criterio anterior.

Una vez que se llega nuevamente al A_0 o B_0 , (se ha dado toda la vuelta al contorno), el lado siguiente sólo puede ser uno. Hasta llegar al X_0 restante.

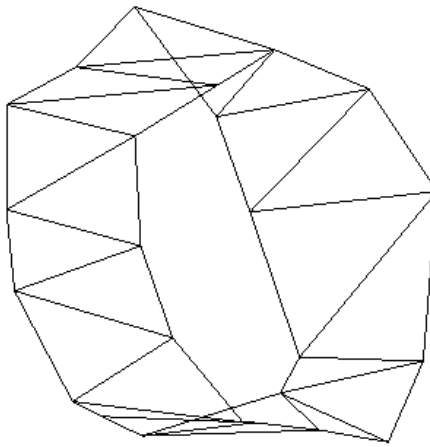


Figura 17 – Algoritmo de generación de estructura tridimensional

El algoritmo descrito no funciona correctamente en caso de que los contornos estén desfasados, es decir que todos los puntos del contorno A tengan como mínima distancia a un mismo punto del contorno B .

Finalmente, para la generación de ambos extremos, se calcula primeramente el punto medio en las coordenadas X e Y del primero y último corte. Luego se generan triángulos con 2 puntos continuos y el punto (x, y) calculado con un valor de z igual a una la mitad de la distancia entre dos cortes consecutivos.

5.3.2 Generación de archivos STL para impresión 3D

Para la generación del archivo STL (Stereo lithography) primeramente se deben obtener todos los puntos del espacio que representan la estructura del modelo tridimensional. Para esto, se ejecuta el algoritmo explicado anteriormente.

Una vez obtenidos todos los puntos, son divididos en 3 secciones, extremo izquierdo, centro, extremo derecho. Esto debido a que los triángulos correspondientes a cada sección son formados de diferente manera. Se comienza definiendo una colección de triángulos vacía y a medida que son generados se agregan para finalmente crear el contenido del archivo con el formato especificado para el estándar. Todos los puntos son multiplicados por el valor de la escala (s) a utilizar, escala que fuera seleccionada por el usuario.

Se obtiene el primer punto del extremo izquierdo, que se corresponde al vértice izquierdo del modelo. Luego se recorren los restantes puntos de la sección formando triángulos con el punto inicial y cada par consecutivo de puntos. A continuación se presenta el pseudocódigo correspondiente.

```
col_triángulos := []
puntosIzq := [pi0,pi,pi2,pi3,pi4,...,pin]
for j := 1 to n-1
    t := triangulo(pi0 * s, pij * s, pi(j+1) * s)
    col_triángulos.add(t)
end
```

En el caso de los puntos del centro, se recorre la sección completa y se forman los triángulos coincidiendo un par de vértices por triángulo, como se presenta a continuación.

```
puntosCentro := [pc0,pc1,pc2,pc3,pc4,...,pcm]
for j := 0 to m-2
    t := triangulo(pcj * s, pc(j+1) * s, pc(j+2) * s)
    col_triángulos.add(t)
end
```

Luego, se realiza para el extremo derecho un procesamiento análogo que al del extremo izquierdo.

Finalmente, se recorre la colección que contiene todos los triángulos generados y es utilizada la información de cada uno de ellos para escribir el archivo STL con el formato correcto. Luego de culminada la escritura del archivo, es almacenado en la dirección ingresada por el usuario.

5.3.3 Cálculo del volumen renal

Para el cálculo del volumen renal (a partir de la estructura construida) se optó por utilizar el método de rasterización de puntos a voxeles, siendo este el más preciso de los métodos estudiados, en combinación con el método de envolvente convexa por capas. De esta manera se aprovechan las ventajas de ambos métodos logrando que el proceso sea lo más óptimo y eficaz posible. La combinación se realiza con el objetivo de simplificar el cálculo evitando recorrer voxeles que de antemano es posible descartar

por su ubicación. Para esto, en lugar de cubrir toda la estructura con un único prisma se cubren los contornos realizados de a pares de cortes (por capas).

Se utiliza como unidad mínima (voxel) un cubo de 1mm.

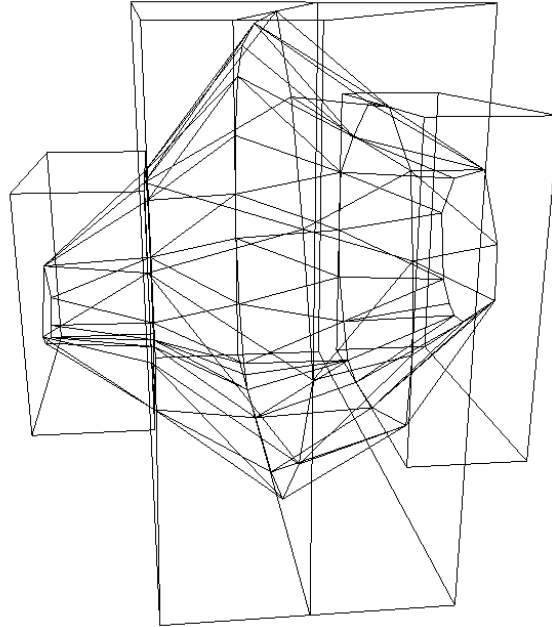


Figura 18- Algoritmo de estimación del volumen

La manera de determinar si un voxel pertenece o no a la estructura es trazar un vector entre el origen y el centro del voxel, luego calcular su intersección con cada uno de los triángulos que componen el contorno. A continuación, se cuentan cuántos triángulos atraviesa el vector y si la cantidad resultante de triángulos es impar, entonces el voxel pertenece a la estructura, en caso contrario no pertenece.

Esto es válido ya que al ser una estructura cerrada cada vez que se cruza un triángulo se entra o sale de la misma. Debido a que se comienza por fuera de ella, si se cruza una cantidad impar de veces la última acción del vector fue entrar a la estructura tridimensional.

Luego se calcula el volumen de ambos extremos, que dado que es una unión de pirámides de base triangular se utilizó la fórmula del volumen de una pirámide. $V = A_b \times h / 3$ donde A_b es el área de la base y h es la altura.

Finalmente, luego de obtener el volumen correspondiente a cada uno de los contornos de a pares de corte y el volumen de los extremos, para obtener el volumen total simplemente se deben sumar todos los valores parciales y multiplicar por la escala utilizada.

5.3.4 Generación de gráficas de evolución

Las gráficas generadas por **NEFROVOL** permiten visualizar la evolución del volumen renal de un determinado paciente a lo largo del tiempo en base a los estudios que le fueron realizados y que se encuentran almacenados en la base de datos al momento de la generación del estudio de evolución del volumen.

El algoritmo comienza con la selección del paciente sobre el cual se desea observar la evolución. Una vez seleccionado, se obtienen todos los estudios almacenados en la base de datos para este paciente, categorizados por riñón (izquierdo y derecho) y ordenados de manera ascendente por fecha de realización.

A continuación, cada colección es recorrida y son cargados los valores correspondientes al volumen de cada estudio para la fecha del mismo y se genera de esta manera la gráfica lineal correspondiente a cada riñón.

Luego de presentada la gráfica, se le permite al usuario la opción de visualizar un solo riñón o ambos como se muestran por defecto. Ver Figura 17.

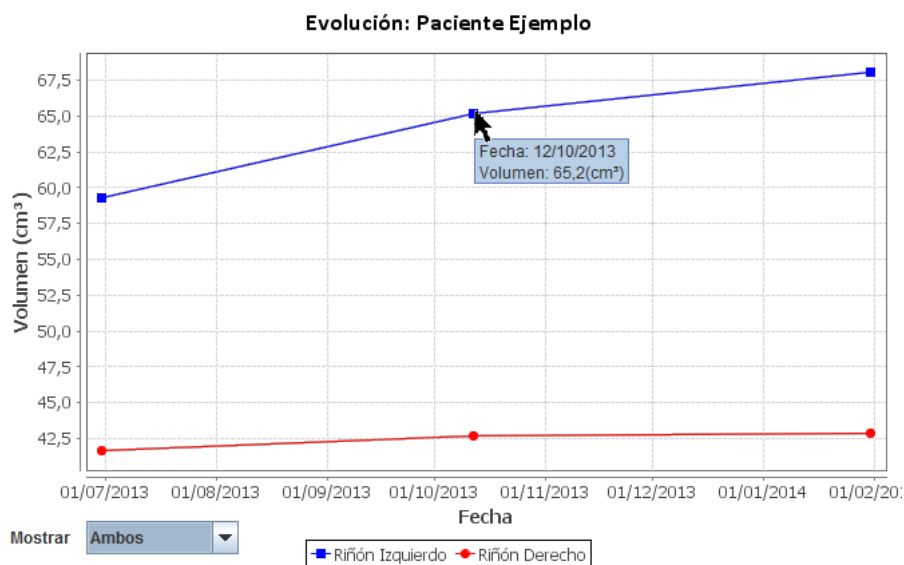


Figura 19 - Gráfica de evolución de volumen.

5.3.5 Generación de historia clínica electrónica

Las historias clínicas electrónicas que brinda **NEFROVOL** son en base a la información que se tiene almacenada en el sistema sobre el paciente en cuestión.

Para la generación **NEFROVOL** construye en base a un template un archivo XML con la estructura adecuada para el estándar CDA [47], validado con un archivo XSL y de esta manera se obtiene un archivo XML con el formato y estilo correcto. Luego es convertido a formato HTML o PDF según lo establecido por

el usuario al momento de solicitar la historia clínica y guardado en la ubicación elegida. A su vez, se almacena en la base de datos una copia del documento para permitir su recuperación cuando se desee.

Durante la generación del archivo XML se utilizan las imágenes codificadas en base64 debido a que es el formato requerido por el XSL utilizado. Luego de obtenido el XML final y en caso de convertirse a PDF se deberán decodificar y colocarlas dentro del documento.

El algoritmo comienza obteniendo el paciente sobre el cual se trabajará y se coloca dentro del template la información del mismo en los campos correspondientes. Luego de ingresados los datos del paciente, es agregada la información referente a la institución médica.

De aquí en adelante el comportamiento del algoritmo varía según el tipo de historia clínica a generar. En los siguientes puntos serán explicados ambos casos.

Una vez finalizada la creación del archivo XML se realizan las validaciones y conversiones necesarias, luego se culmina guardando el archivo en la base de datos y en la ubicación seleccionada por el usuario.

➤ Estudio

El documento para la historia clínica de tipo “estudio” corresponde a un estudio en particular con la información del profesional que lo llevó a cabo, las imágenes asociadas con el contorno delimitado, el modelo tridimensional obtenido y la estimación del volumen.

Una vez obtenido el estudio, se ingresa la información relevante y se obtiene una colección con todas las imágenes disponibles.

A continuación, se recorre la colección de imágenes y cada una de ellas es codificada a base64 y colocada en la sección correspondiente dentro del template.

Luego se genera la estructura tridimensional, se convierte a imagen, se codifica a base64 y se añade en la sección de resultados en el template junto al volumen estimado. El resultado es como el que se muestra en la Figura 18, que se corresponde con un ejemplo de 4 cortes ecográficos de un riñón.

NEFROVOL Estimación del volumen renal en base a imágenes ultrasonográficas

Historia clínica: Estudio renal

Paciente: PAC000001 Paciente1
Fecha de nacimiento: Febrero 1, 2014 (0 años) Género: Femenino ID de paciente: 1 (Clave de identidad)

Autor: NEFROVOL, Organización: Nueva, Realizado: Marzo 2, 2014, 00:00:01

1. Información del estudio

- * Fuente: CDS00004
- * Método: Acústico

2. Estudios

1 2 3 4

3. Resultados

- * Volumen: 120.01 cm³
- * Observaciones: Normal

4. Datos del documento

ID de documento	Creación
F189327107077	Marzo 2, 2014, 00:00:01

Paciente	Fecha de nacimiento	Género	Fecha de estudio
PAC000001 Paciente1	Febrero 1, 2014 (0 años)	Femenino	Marzo 2, 2014, 00:00:01

Autor	Organización
NEFROVOL	Nueva

Autentificación legal	Confianza
Profesional: Nuevo (2.10.000.1.11000.0.00)	Marzo 2, 2014, 00:00:01

Figura 20 – Documento de tipo “estudio” para la Historia Clínica Electrónica

➤ Evolución

El documento para la historia clínica de tipo “evolución” vincula todos los estudios existentes en el sistema para un paciente dado. Contiene una tabla con los valores obtenidos para el volumen en cada estudio y la gráfica que representa la evolución del volumen en el tiempo.

Se obtienen todos los estudios almacenados en la base de datos para el paciente seleccionado, ordenados de manera ascendente por fecha de realización. Luego se recorren estos estudios generando una tabla de valores con los volúmenes de cada uno categorizados por riñón (izquierdo y derecho). Se le aporta el valor agregado de indicar el porcentaje de variación entre el volumen de dos estudios consecutivos para un riñón.

A continuación se genera la gráfica utilizando el algoritmo explicado anteriormente, se convierte a imagen, se codifica a base64 y se coloca luego de la tabla de valores. El resultado es como el que se muestra en la Figura 18, que se corresponde con un ejemplo de 4 cortes ecográficos de un riñón.

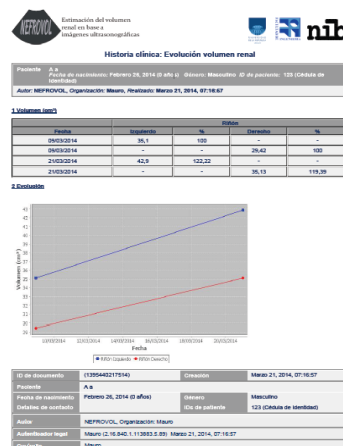


Figura 21 - Documento de tipo “evolución” para la Historia Clínica Electrónica

Capítulo 6

Acceso a funcionalidades

En este capítulo se presenta rápidamente como acceder a todas las funcionalidades brindadas por **NEFROVOL**.

Tabla 6 - Acceso a funcionalidades

Acciones con Pacientes	
Listar pacientes	Pacientes->Listado
Evolución de un paciente	Pacientes->Historias clínicas->Seleccionar paciente
Ver historial clínico de un paciente	Paciente->Historias clínicas->Seleccionar paciente
Acciones con Estudios	
Comenzar nuevo estudio	Estudio->Nuevo o Ctrl+N
Abrir estudio	Estudio->Abrir->Seleccionar paciente->Seleccionar estudio o Ctrl+O
Añadir nuevas imágenes a un estudio	Estudio->Importar DICOM->Seleccionar imágenes o Ctrl+I
Guardar estudio	Estudio->Guardar->Seleccionar paciente o Ctrl+S
Guardar como un estudio	Estudio->Guardar como...->Seleccionar paciente o Ctrl+Alt+S
Eliminar un estudio	Estudio->Eliminar->Seleccionar paciente->Seleccionar estudio o Shift+Delete
Acciones con Imágenes	
Agregar o modificar escala	Imagen->Escala
Acciones de generación	
Generar modelo 3D	Generar->Modelo 3D o F10
Calcular volumen	Generar->Calcular volumen
Generar archivo STL	Generar->Archivo 3D STL
Generar historia clínica de estudio	Generar->Historia clínica->Estudio

Generar historia clínica de la evolución de un paciente	Generar->Historia clínica->Evolución
Acciones de configuración	
Configurar profesionales	Configuración->Profesionales
Configurar idioma del sistema	Configuración->Idioma del sistema
Configurar preferencias	Configuración->Preferencias

Capítulo 7

Errores y resultados esperados

7.1 Errores

Los errores influyentes en el cálculo del volumen se pueden dividir en dos categorías, aquellos que se producen debido a redondeos en los cálculos matemáticos y por otro lado los añadidos mediante la interpretación y obtención de las imágenes ecográficas.

A continuación los primeros serán denominados “Errores de cálculos” y los demás “Errores de estimación de forma”.

7.1.1 Errores de cálculos

1. Error en la contemplación de voxels presentes en la estructura tridimensional generada:

El método utilizado cuenta como parte de la estructura aquellos voxels donde su punto medio se encuentre dentro de la misma, sin embargo esto no asegura que el voxel pertenezca completamente a ella. Análogamente, se descartan los voxels tales que su punto medio no está incluido en la estructura pero si parte de ellos. Por lo tanto, se tiene que ambos errores son complementarios ya que si se dan en igual magnitud se anulan. En caso de que se dé un gran porcentaje de uno sobre el otro es posible que se genere un error apreciable. A su vez, se tiene que cuanto más pequeño es el tamaño del voxel utilizado, menor será el error final resultante.

2. Error en la generación de los extremos de la estructura:

Como se fue explicado en capítulos anteriores, se agrega en ambos extremos una terminación a la estructura generada para evitar que ambos extremos sean planos. Estas puntas son una estimación a partir de los puntos del corte anterior, por lo que agregan un determinado valor de error. Cuando más pequeñas son las distancias entre corte menor es el error añadido en la generación.

3. Error debido a redondeos numéricos:

Los datos manejados en las operaciones matemáticas son números reales entre 0 y 1, de los cuales no todos son representables informáticamente. Por lo tanto, se le realizan automáticamente redondeos de manera de poder representarlos. Esto puede ocasionar que voxels completamente dentro de la estructura generada sean descartados debido a un redondeo en los cálculos que verifican su ubicación. Análogamente puede darse el caso de contemplar un voxel que se ubica en el exterior de la misma.

7.1.2 Errores de estimación de forma

Existe otra gama de errores los cuales son totalmente independientes del cálculo del volumen en sí. Estos son introducidos por ejemplo por la calidad de las imágenes utilizadas, la marcación de los contornos renales, el paralelismo y equidistancia entre cortes.

1. Errores indicando el contorno renal en las imágenes:

En cada una de las imágenes cargadas, el usuario debe marcar el contorno renal que ve, esto puede ocasionar que el límite indicado no sea el correcto. Es decir, se exceda o no alcance el contorno real del riñón.

2. Error por mala calidad de la imagen:

Este error está muy aparentado con el anterior, es decir, una imagen con mala calidad no es un error por sí misma, sino que incide negativamente al momento de realizar el marcado de los contornos.

3. Error al indicar la escala utilizada:

Si la escala indicada no es correcta todos los cálculos y reconstrucciones realizadas serán totalmente inválidas ya que no se estará trabajando con las medidas correspondientes. A su vez, debido al mecanismo utilizado para indicar la escala, es posible que se produzca un pequeño error al indicarla mediante la marcación de los dos puntos.

4. Error en la hipótesis de paralelismo y equidistancia entre cortes:

A pesar de que se utilice el soporte diseñado para forzar lo máximo posible el paralelismo y equidistancia entre los cortes, el operador del equipo de ultrasonido tiene un cierto grado de libertad (movimiento del transductor) al momento de realizar las ecografías. Esto produce que dos cortes consecutivos no sean exactamente paralelos ni que todos sean totalmente equidistantes, generándose

pequeñas variaciones. Este error es el más propenso a realizarse ya que en oportunidades el transductor debe moverse hasta visualizarse el riñón tal como lo desea el operador. Esto provoca una diferencia entre la estructura generada por **NEFROVOL** y la realidad ya que no se cumplen al cien por ciento las hipótesis, lo cual conlleva también a un error también en la estimación del volumen renal.

7.2 Resultados esperados

Luego de analizados los errores conocidos existentes, en mayor o menor medida, durante todo el ciclo (desde la obtención de las imágenes hasta la reconstrucción y cálculo del volumen) se llega a los siguientes resultados esperados para las pruebas realizadas.

1. Pruebas con figuras geométricas regulares:

En la primera categoría de pruebas se pretende que los resultados sean con un pequeño margen de error, esto dado que se confía que no se agregan errores externos al cálculo numérico debido a que el marcado de contornos será solamente sobre los puntos de las figuras, los cuales se observan claramente. A su vez, el paralelismo se asegura utilizando la misma imagen de manera repetida.

2. Pruebas con objetos reales e irregulares:

En la segunda categoría, debido a que se utilizan objetos de diversas formas y estructuras, se aumenta el margen de error esperado en comparación con el punto 1. Esto principalmente porque la marcación de los contornos añade una complejidad adicional debido a las irregularidades.

3. Pruebas con riñones:

Finalmente, en la tercera categoría de pruebas (riñones reales) se espera que el error total sea mayor que en el punto 2. El aumento del margen de error es elevado debido a que en estas pruebas el factor de equidistancia y paralelismo puede ser afectado en su mayor expresión por lo ya explicado en secciones anteriores. A su vez, se confía en que las determinaciones de los contornos sean más precisas que las anteriores debido a la experiencia en la interpretación de las imágenes que poseen los profesionales del área. Para el caso de riñones poliquísticos el margen de error puede incrementarse en relación a los riñones normales debido a los quistes.

Capítulo 8

Pruebas

En este capítulo se describen y presentan las pruebas realizadas junto a los resultados obtenidos. Fueron realizadas en tres etapas diferentes; en la primera se utilizó el fantoma descrito en el capítulo de diseño y se corresponde con figuras geométricas; en una segunda etapa se realizaron pruebas con objetos irregulares, más precisamente frutas y verduras; finalmente se realizaron pruebas en riñones.

Todas las ecografías fueron realizadas en el Hospital de Clínicas, utilizando el equipo de ultrasonido GE LOGIQ C5 Premium con el transductor C2-5.

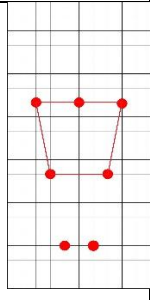
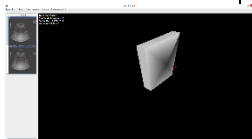
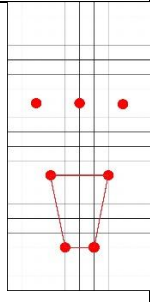
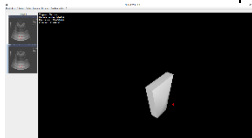
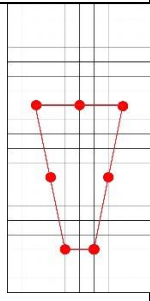
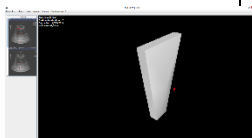
8.1 Pruebas con figuras geométricas

Se realizaron pruebas generando con el fantoma dos cortes regulares a 1 cm de distancia entre sí, obteniendo imágenes que representan las tanzas que lo atraviesan. En dichas imágenes, se unieron los puntos que determinan las tanzas formando diferentes paralelogramos.

La obtención del volumen real V de cada figura está dada por la fórmula matemática correspondiente al área A de un trapecio multiplicada por su longitud, $A = \frac{(a+b)*h}{2}$, siendo a y b las bases del trapecio y h la altura. A su vez, se deben sumar ambos extremos los cuales forman pirámides con base con forma de paralelogramo, cuyo volumen es $Vp = A * \frac{L}{6}$, siendo L la altura. Por lo tanto, $V = A * L + 2 * Vp$, simplificando resulta, $V = \frac{(a+b)*h}{2} * L + \frac{(a+b)*h}{2} * \frac{L}{3} = \frac{(a+b)*h}{2} * \frac{4*L}{3} = \frac{2*L*(a+b)*h}{3}$

A continuación se presentan los datos de cada una de las pruebas en formato de tabla. Se incluyen las medidas de cada paralelogramo probado, junto a una imagen de referencia del mismo y una captura de pantalla de la estructura tridimensional generada por **NEFROVOL**, el volumen real calculado por medio de la fórmula y el obtenido por la aplicación. El valor de e es para todos los casos 1 cm.

Tabla 7 - Resultados obtenidos de pruebas con figuras geométricas regulares

<i>Referencia</i>	<i>Cortes</i>	<i>B (cm)</i>	<i>b (cm)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Vol. Real (cm³)</i>	<i>Vol. NEFROVOL (cm³)</i>	<i>ε_a (cm³)</i>	<i>ε_r</i>	<i>Captura NEFROVOL</i>
	2	6.00	4.00	5.00	33,33	36.73	3.40	0.10 (10%)	
	2	4.00	2.00	5.00	20.00	22.68	2.62	0.13 (13%)	
	2	6.00	2.00	10.00	53,33	61.03	7.70	0.14 (14%)	

8.2 Pruebas con frutas y verduras

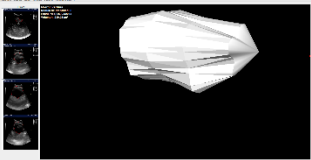
Se realizaron ecografías a diferentes frutas y verduras ya que sus estructuras permiten simular las características que posee un riñón regular.

Para cada uno de los elementos, el procedimiento consistió en sumergirlo en un recipiente con agua hasta el tope, tapar el recipiente con nylon film (en contacto con el agua) y colocar por encima el soporte de goma para el transductor. Luego se obtuvieron las imágenes de todos los cortes comprendidos por las dimensiones del elemento.

Para realizar la comparación de los resultados obtenidos se utilizó el Principio de Arquímedes [48] para obtener el volumen real de cada elemento.

A continuación se muestra una tabla que contiene los elementos estudiados y sus valores.

Tabla 8 - Resultados obtenidos de pruebas con frutas y verduras

<i>Fruta o Verdura</i>	<i>Cortes</i>	<i>Vol. Real (cm³)</i>	<i>Vol. NEFROVOL (cm³)</i>	<i>ε_a (cm³)</i>	<i>ε_r</i>	<i>Captura NEFROVOL</i>
	8	400.00	338.39	61.61	0.15 (15%)	
	4	205.00	239.26	34.26	0.17 (17%)	
	4	300.00	306.50	6.50	0.02 (2%)	
	5	275.00	315.14	40.14	0.15 (15%)	
	4	230.00	190.76	39.24	0.17 (17%)	

8.3 Pruebas con pacientes

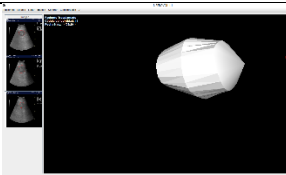
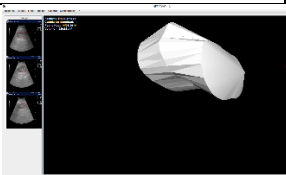
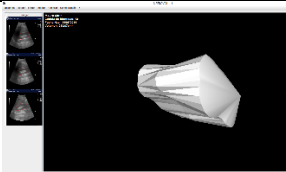
El Dr. Diego Tobal realizó ecografías junto a pacientes y a ambos integrantes del equipo de **NEFROVOL**, Esteban Arrúa y Mauro Sitrin.

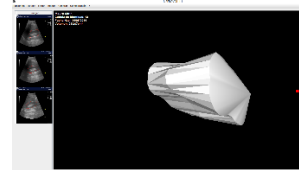
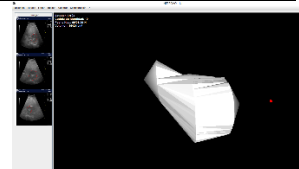
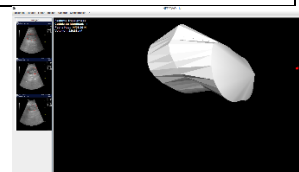
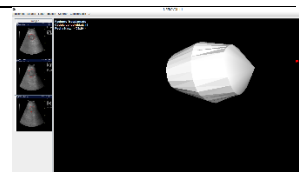
Se utilizó el correspondiente soporte diseñado para el transductor, que tiene 8 ranuras, cada una de ellas de 2.3 cm de ancho, 7.5 cm de largo y 0.8 cm de profundidad y con una separación entre cada una de ellas de 0.7 cm; esto determina que cada corte está a una distancia de 3.0 cm del siguiente.

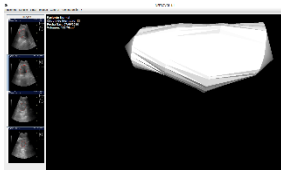
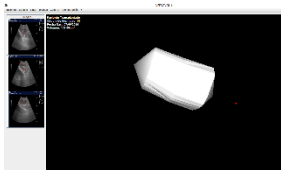
El procedimiento consistió en colocar el soporte sobre el abdomen del individuo y obtener una serie de imágenes (cortes) que abarcan el riñón de un extremo al otro. Luego, se quitó el soporte y se obtuvieron las imágenes necesarias para el método habitual utilizado para obtención del volumen renal antes de diseñar **NEFROVOL**.

La comparación de resultados se estableció entre el valor obtenido **NEFROVOL** y el correspondiente a la fórmula matemática del método habitual.

Tabla 9 - Resultados obtenidos de pruebas con riñones reales

MÉTODO ACTUAL					NEFROVOL									
Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Vol. (cm³)		Cant. Cortes	Vol. (cm³)								
Paciente trasplantado							Corte transversal							
							10,74	4,99	6,56	184,08		3	138,05	
							Diferencia: 46,03 cm³ (25%)							
							Corte sagital							
							10,74	4,99	6,56	184,08		3	220,88	
Esteban							Corte transversal							
							9,30	4,56	6,41	129,85		3		164,01
							Diferencia: 34,16 (26%)							
							Corte sagital							
							9,77	4,15	6,13	130,14		3		213,67
Mauro							Diferencia: 83,53 cm³ (64%) *							



	* En este caso durante la obtención de imágenes se perdió casi que totalmente el paralelismo entre los cortes lo que determinó el aumento considerable en el margen de error.							
Paciente riñón normal	Corte transversal							
	11,84	5,04	5,49	171,39		4	172,76	
	Diferencia: 1,37 cm³ (1%)							
Paciente trasplantado	Corte transversal							
	10,35	3,73	5,50	111,18		3	109,00	
	Diferencia: 2,18 cm³ (2%)							

Capítulo 9

Conclusiones

9.1 Análisis de las pruebas

En este apartado se analizan los resultados de las diferentes pruebas realizadas y la interpretación de las mismas. Los resultados obtenidos se basan en un número acotado de experimentos, los cuales no incluyen repeticiones por distintos especialistas.

1. En las pruebas realizadas con figuras geométricas (paralelogramos), se obtuvo un error total del orden del 10% en comparación con la fórmula matemática para el volumen de la figura. Los errores que más afectan en dichas pruebas son los “Errores de cálculo”, tales como el redondeo y el cálculo del volumen, es posible afirmar esto ya que la cantidad de puntos utilizados fueron solamente 4 por imagen y son claramente identificados, además las imágenes cumplen con el paralelismo y equidistancia. Observando el modelo 3D generado se tiene la similitud con la realidad.
2. Las pruebas realizadas con frutas y verduras dieron un error entre el 2% y 17%. En estas se tienen “Errores de cálculo” y “Errores de estimación de forma”, más precisamente aquellos que se dan por delimitación de contornos erróneos. Observando las estructuras 3D generados se aprecia una similitud con la realidad pero con algunas diferencias. Esto se debe a que en algunos casos las imágenes son confusas y no es posible detectar el contorno con exactitud. Más allá del uso del soporte se tiene que las imágenes pueden no estar totalmente paralelas debido al movimiento del transductor.
Cabe destacar que en estos casos el volumen real no es totalmente preciso debido a los instrumentos y método utilizado para su obtención.
3. Para las pruebas realizadas en riñones reales no es posible determinar el valor de error ya que no se tiene forma de obtener el volumen real de los riñones examinados a no ser que sean extraídos.

Para el caso del primer paciente trasplantado se pudieron obtener cortes en dos planos, siendo la diferencia del volumen de gran magnitud entre ambos casos (Tabla 8). A su vez, se tiene que la estimación difiere con el volumen obtenido por el método actual (Tabla 8), sin embargo esto no significa una mala estimación de la herramienta ya que no es conocido el error que posee dicho método.

Al momento de realizar las ecografías en el plano sagital se perdió en algunos casos el paralelismo debido a la curvatura corporal, esto no sucede de manera apreciable en los cortes del plano transversal. En la prueba realizada al paciente con riñón normal se obtuvieron las imágenes desde la espalda en vez de la zona abdominal como los casos anteriores. Se pudo observar que de esta manera las imágenes tienen mejor calidad y se tiene un paralelismo más exacto entre cortes, esto debido a la forma de la espalda.

Analizando las estructuras tridimensionales generadas se observa una diferencia en la forma de las mismas en comparación con imágenes de riñones reales.

9.2 Conclusiones generales

Las conclusiones se categorizan en dos, por un lado las referentes el proyecto en sí y por otro aquellas sobre **NEFROVOL** como herramienta.

En lo que refiere al proyecto, se puede destacar el aprendizaje obtenido al trabajar de manera interdisciplinaria en conjunto con el área de la medicina. Durante el proceso se adquirió conocimiento en Ingeniería Biomédica y cuáles son sus objetos de estudio junto a las herramientas y métodos que utilizan. Se obtuvo noción de algunos aportes tecnológicos manejados en la medicina así como también diferentes tipos de estudios imagenológicos y normas estándares implementadas para permitir el uso correcto y eficaz de la información generada, algunos ejemplos son las normas DICOM y CDA. Se investigó y profundizó sobre la enfermedad poliquistosis renal de la cual no se tenían conocimientos previos al inicio del proyecto.

Luego de estar con contacto, se tomó conciencia de la utilidad y necesidad del uso de la tecnología e ingeniería de software en el área de la medicina, siendo un enfoque diferente al tratado durante la carrera de Ingeniería en Computación. Con el paso del tiempo es notorio el aumento del uso de la tecnología en medicina pero aún sigue siendo un área a la que le resta mucho por explorar.

En resumen se tuvo una experiencia nueva, la cual abrió una puerta en un área desconocida hasta el momento, muy interesante y con un gran futuro.

Por otro lado, **NEFROVOL** como herramienta se obtuvo buenos resultados y también algunos aspectos a mejorar. Se logró desarrollar un software que cumple con el objetivo principal del proyecto, estimar el volumen renal a partir de imágenes ecográficas. El mismo es fácil de instalar y usar y permite realizarle actualizaciones de manera sencilla. Esto es fundamental ya que será utilizado principalmente por usuarios no informáticos.

Del análisis de pruebas se concluye que garantizándose las precondiciones de paralelismo y equidistancia se tiene un margen de error máximo de 17%, por ende, una variación del tamaño renal dentro de este porcentaje no podrá asegurar el crecimiento. Se excluye el caso en que el error ascendió a 64% debido a que no se cumplió el paralelismo (ver Tabla 8) y el resultado obtenido difiere considerablemente de los demás.

Aún con estas limitaciones se logró avanzar de forma significativa hacia una solución para brindar alternativas en el seguimiento de la enfermedad poliquistosis renal, teniendo en cuenta que los métodos actuales son rudimentarios y asumen la forma elíptica para el riñón.

Con el desarrollo de **NEFROVOL** se creó una base sobre la cual continuar trabajando para mejorar la estimación del volumen renal. Además de esto brinda otras funcionalidades complementarias de gran utilidad. Entre ellas la visualización tridimensional en 360° de la estructura reconstruida, la posibilidad de imprimir en 3D dicha estructura en diferentes escalas, generación de documentos clínicos y accesibilidad a la información de manera centralizada.

Como conclusión general del proyecto **NEFROVOL** se tiene que se cumplió con los objetivos planteados inicialmente, se creó una herramienta interactiva que favorece el estudio de la poliquistosis renal, se adquirió conocimientos con respecto a la interacción entre la Ingeniería en Computación y la Medicina y se utilizaron nuevas herramientas en el desarrollo de software.

Cabe destacar que en todo el proceso se estuvo enfocado en ecografías renales, pero es posible reconstruir y estimar el volumen de cualquier estructura en base a imágenes ultrasonográficas en formato DICOM.

Por otro lado a nivel profesional, se ganó experiencia en cómo manejar un proyecto, analizar los requerimientos y problemas, investigar y determinar sus soluciones y llevarlas a cabo.

9.3 Trabajo futuro

En esta sección se describen posibles mejoras y evoluciones a realizarle a la herramienta **NEFROVOL** permitiendo de esta manera obtener mejores resultados.

1. Ubicación de cortes:

Investigar y llevar a cabo una forma más eficaz de ubicar los cortes de las imágenes ultrasonográficas en el espacio para establecer una relación entre ellos. De esta manera se lograría suprimir la precondition de que todos los cortes sean paralelos y equidistantes. Esto conllevaría a la eliminación del uso del soporte externo durante la ecografía permitiéndole al médico una mayor libertad.

Una posibilidad sería retomar contacto y trabajar en conjunto con Guillermo Carbajal, adaptando su trabajo a las necesidades de **NEFROVOL**.

2. Aumentar cantidad de pruebas experimentales:

Debido a que las pruebas realizadas son escasas para la obtención de un valor preciso del error, se propone a futuro obtener un gran número de pruebas realizándolas con distintos especialistas y de diversas formas de manera de obtener una dispersión intrasujeto e intersujeto. Esto permitirá comparar el desempeño de la herramienta, debido a la repetibilidad y dispersión de las pruebas, respecto al método actual. Una vez realizadas esta nueva etapa de pruebas se podrán comparar sus resultados con el *Gold Standard* en diagnóstico de imágenes, la Resonancia Magnética [49].

3. Seguridad:

En la versión actual de **NEFROVOL** cualquier usuario puede ver, modificar y eliminar un estudio de cualquier paciente realizado por otro usuario. A su vez, puede crear nuevos estudios indicando a otro como el autor del mismo. Para brindar mayor seguridad se debe añadir un sistema de autenticación y firma digital sobre los estudios realizados. Adicionalmente, sería adecuado que los datos almacenados en la base de datos sean encriptados debido a la privacidad e importancia de los mismos.

4. Combinación de cortes:

Generar la estructura tridimensional del riñón a partir de diferentes tipos de cortes, es decir, en varias direcciones combinadas (sagital, transversal y frontal).

5. Edición durante la vista tridimensional:

Permitirle al usuario editar la estructura tridimensional generada, por ejemplo mover los cortes, cambiar su tamaño, eliminar puntos, etc. Todas las modificaciones serían realizadas sobre la vista tridimensional y en caso de confirmarlas se reflejan los cambios en las imágenes. De esta manera el operador puede corregir imperfecciones al momento de observar la estructura completa.

6. Optimizar el método de estimación de volumen en relación al tiempo total de procesamiento:

Actualmente la estimación del volumen puede insumir un tiempo considerable, lo cual no afecta sensiblemente el análisis del estudio.

Una posibilidad es desarrollar un algoritmo de iguales características que reduzca la cantidad de operaciones costosas realizadas actualmente. Una segunda opción es interactuar con un software externo dedicado al cálculo numérico, por ejemplo Matlab u Octave.

Igualmente, cabe destacar que el tiempo que transcurre durante el proceso de estimación varía según las cualidades del equipo que se esté utilizando.

7. Multiplataforma:

Extender **NEFROVOL** para un correcto funcionamiento en los sistemas operativos más utilizados. Actualmente puede ser utilizado sólo en sistemas Windows, esto se debe a que aunque fue implementado utilizando el lenguaje Java, el cual es multiplataforma, los ejecutables integrados para las extracciones del contenido de archivos DICOM a ficheros de imagen y XML funcionan únicamente bajo Windows.

Capítulo 10

Gestión de proyecto y costos

10.1 Cronograma

Tabla 10 - Cronograma

Tabla 10 - Cronograma

MES	mar-13				abr-13				may-13				jun-13				jul-13				ago-13				set-13				oct-13			
SEMANA	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta		
Planificación																																
Investigación																																
Reuniones con Tutor																																
Rauniones con Ayudantes																																
Analisis																																
Diseño																																
Implementación y Testing																																
Pruebas																																
Documentación																																
Planificación Presentación																																
Presentación																																

MES	nov-13				dic-13				ene-14				feb-14				mar-14				abr-14				may-14				jun-14			
SEMANA	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta
Planificación																																
Investigación																																
Reuniones con Tutor																																
Rauniones con Ayudantes																																
Analisis																																
Diseño																																
Implementación y Testing																																
Pruebas																																
Documentación																																
Planificación Presentación																																
Presentación																																

10.2 Planificación

Planificación inicial realizada al comienzo del proyecto a mediados del mes de marzo de 2013. En la misma se planificó culminar el proyecto a fines del mes de diciembre de 2013.

Tabla 11 - Planificación inicial

MES	mar-13		abr-13				may-13				jun-13				jul-13				ago-13				set-13				oct-13				nov-13				dic-13			
SEMANA	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta
Investigación																																						
Reuniones con Tutor																																						
Análisis																																						
Diseño																																						
Implementación y Testing																																						
Pruebas																																						
Documentación																																						
Planificación Presentación																																						
Presentación																																						

Replanificación del proyecto realizada a comienzo del mes de octubre de 2013. Esto se debió a un atraso en relación a la planificación inicial revisándose el estado del proyecto al momento y las actividades restantes. Con la nueva planificación se estimó finalizar en el mes de marzo de 2014. Se solicitó a la Comisión de Proyecto de Grado una prórroga para el mismo.

Tabla 12 – Replanificación

MES	oct-13				nov-13				dic-13				ene-14				feb-14				mar-14			
SEMANA	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta
Investigación																								
Reuniones con Tutor																								
Análisis																								
Diseño																								
Implementación y Testing																								
Pruebas																								
Documentación																								
Planificación Presentación																								
Presentación																								

A comienzo del mes de abril de 2014 surgió una oportunidad de potenciar el uso de **NEFROVOL** consistente en permitir realizar una impresión 3D de las estructuras renales reconstruidas. La nueva planificación se extendió a la primera semana del mes de junio de 2014 como se especifica en la Tabla 12.

Tabla 13 - Tercera planificación

MES	abr-14				may-14				jun-14			
SEMANA	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta
Investigación												
Reuniones con Tutor												
Análisis												
Diseño												
Implementación y Testing												
Pruebas												
Documentación												
Planificación Presentación												
Presentación												

10.3 Evolución

A continuación se presenta gráficamente las horas dedicadas al proyecto durante todo el ciclo del mismo.



Figura 22 - Horas totales por mes

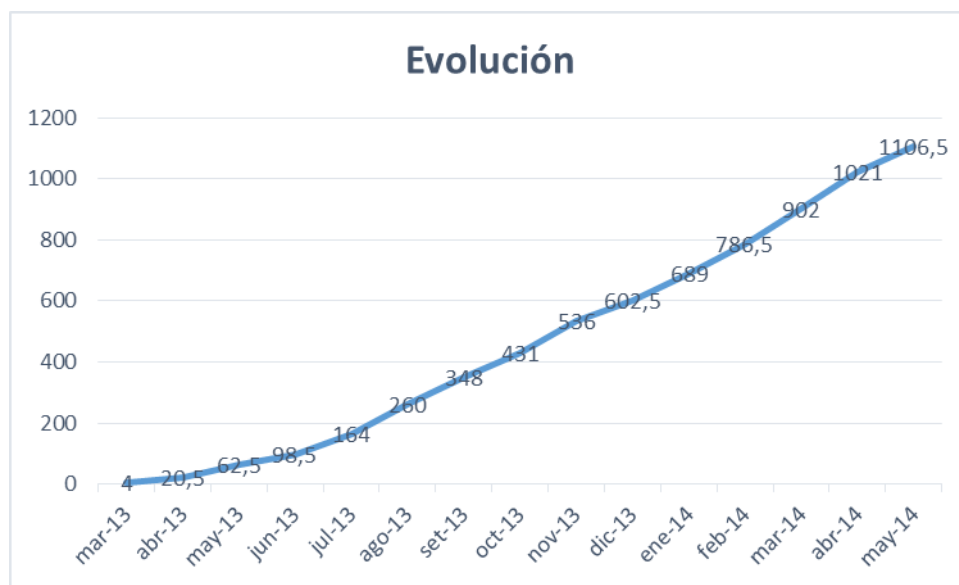


Figura 23 - Evolución de horas

Se puede visualizar en las gráficas anteriores un crecimiento en las horas invertidas a medida que avanzó el proyecto. Esto se puede explicar por el hecho de que en los inicios las actividades se centraron en entender el problema planteado y buscar una solución al mismo, lo que llevó varias horas de reuniones y toma de decisiones que en algunos casos impedían el avance más fluido del mismo.

A partir del comienzo de la etapa de implementación y debido a que ya se tenía una idea precisa de cómo resolver el problema planteado se invirtió mayor cantidad de horas.

En la Figura 20 se puede ver la caída de diciembre de 2013, lo que se debe a las fechas especiales de fin de año.

10.4 Costos

A continuación se presentan gráficamente las horas totales dedicadas al proyecto divididas por actividad.



Figura 24 - Horas totales por actividad

Se observa en la gráfica anterior que la mayor parte del tiempo se dedicó a la implementación y testing de la herramienta **NEFROVOL**. Esto se debe a que el proyecto se basa en la creación de un software con las características y funcionalidades en los capítulos anteriores. Cabe destacar que la aplicación se implementó completamente “desde cero”.

En segundo lugar se encuentra la actividad de Documentación, la cual incluye las horas dedicadas a la realización de manuales de instalación, manuales de usuario, diseño del soporte para transductor, informe final, etc.

La siguiente actividad en cantidad de horas requeridas es Investigación, en la cual la mayoría del tiempo dedicado fue en los primeros meses del proyecto.

En la Figura 23 se ve la cantidad de horas invertidas por actividad durante cada mes del proyecto.

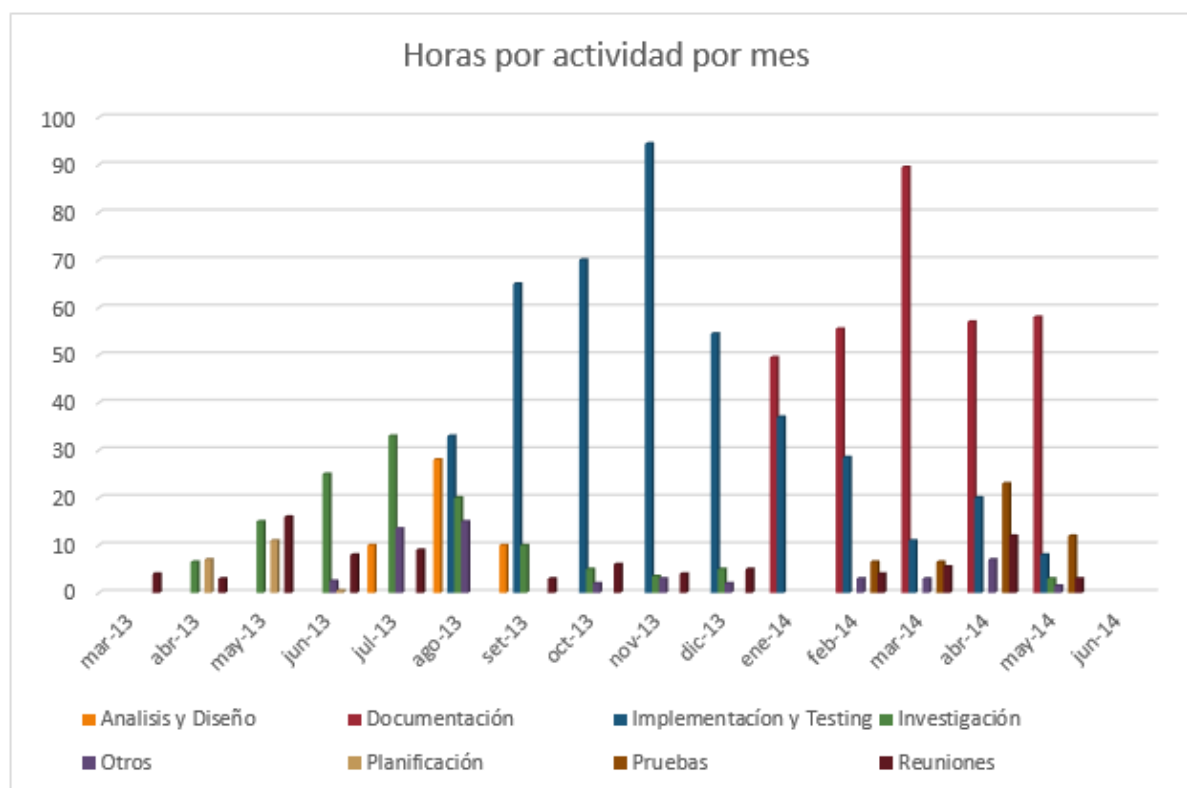


Figura 25 - Horas por actividad por mes

Tabla 14 - Horas por actividad por mes

	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	set-13	oct-13	nov-13	dic-13	ene-14	feb-14	mar-14	abr-14	may-14	jun-14	Total
Analisis y Diseño					10	28	10										48
Documentación											49,5	55,5	89,5	57	58		310
Implementación y Testing						33	65	70	94,5	54,5	37	28,5	11	20	8		422
Investigación		6,5	15	25	33	20	10	5	3,5	5					3		126
Otros				2,5	13,5	15		2	3	2		3	3	7	1,5		52,5
Planificación		7	11	0,5													18,5
Pruebas												6,5	6,5	23	12		48
Reuniones	4	3	16	8	9		3	6	4	5		4	5,5	12	3		82,5

En la Figura 23 y Tabla 24 se observa que a medida que aumentan las horas invertidas en “Implementación y Testing” se reducen las horas de “Investigación”. A su vez, las actividades “Documentación” y “Pruebas” comienzan en etapas avanzadas de “Implementación y Testing”.

En cuanto a “Reuniones” se tiene que las horas dedicadas se mantienen constantes a lo largo de todo el ciclo. Se destaca mayo 2013 ya que se realizaron reuniones con personas ajenas al proyecto que colaboraron en su desarrollo.

- Costo económico:

Asumiendo un costo de U\$S 50 la hora/hombre y observando que la cantidad total de horas trabajadas es aproximadamente 1100 se tiene como resultado un valor de U\$S 55.000.

A su vez, se tienen costos adicionales tales como:

- Impresora 3D: U\$S 650
- Fantoma: U\$S 50
- Soportes para transductor: US\$ 15
- Ecógrafo GE LOGIQ C5 Premium: U\$S 15.000 aproximadamente

Por lo tanto, se llega a que el proyecto tiene un costo aproximado de US\$ 56.000 sin incluir el valor correspondiente a la compra del ecógrafo.

De lo anterior se deduce que el costo mayor se concentra en el factor humano.

Capítulo 11

Valoración y utilidad de la estimación del volumen renal

A continuación se transcribe una devolución sobre **NEFROVOL** realizada por los profesionales del área, Dr. Oscar Noboa y Dr. Diego Tobal, del Hospital de Clínicas.

“Informe Proyecto NEFROVOL

El ultrasonido es la técnica más difundida para permitir el estudio de las nefropatías. Como ventajas es una técnica no invasiva, sin efectos secundarios, puede ser repetida según las necesidades y no requiere preparación especial.

Presenta como dificultad el ser operador dependiente por lo que puede ser dificultosa la comparación de los resultados.

La medición más exacta del tamaño renal es el volumen renal total, pero habitualmente esta es una medida que requiere estudios complejos.

La Poliquistosis Renal Autosómica Dominante (PQRAD) es la enfermedad hereditaria renal más frecuente. Determina afectación multiorgánica a nivel renal y extrarenal.

No existe aún un tratamiento curativo pero se encuentran en marcha múltiples estudios con diferente grado de evidencia para enlentecer la progresión de la enfermedad.

A nivel renal produce agrandamiento renal progresivo y riesgo de insuficiencia renal.

En nuestro país, los datos del Registro Uruguayo de Diálisis (RUD), registro obligatorio de todos los pacientes que han iniciado tratamiento de reemplazo renal (TRR) en el Uruguay a partir del año 1981, muestran que entre el año 1981 y 2009 ingresaron a terapia de reemplazo renal 9946 pacientes, 522 con diagnóstico de poliquistosis (5,5%).

En el año 2007 comenzamos a desarrollar el proyecto Control, seguimiento y optimización del tratamiento de Enfermedad renal poliquística (PQR) en Uruguay. Inicio precoz de medidas de enlentecimiento de la progresión de la enfermedad (Pro.In.Bio).

Nuestro objetivo es mejorar el conocimiento de la enfermedad PQR en Uruguay y generar una estrategia de estudio que permita definir factores pronósticos, de progresión y aplicar el mejor tratamiento posible para enlentecer la aparición de las complicaciones.

Los criterios validados para el diagnóstico de esta enfermedad utilizan el ultrasonido.

Múltiples estudios reafirman el criterio de que la determinación de volumen renal y sus variaciones constituyen un factor pronóstico de la progresión de esta enfermedad.

A partir del nexo con el Núcleo de Ingeniería Biomédica, comenzamos a participar en la construcción de una herramienta que permitiera una mejor determinación del tamaño y volumen renal.

Esto se concretó con NEFROVOL que permite determinar el volumen renal a partir del ultrasonido convencional, almacenar las imágenes y utilizarlas para determinar diversos aspectos de la enfermedad.

Previamente se realizaba la determinación de ejes renales de manera manual y el cálculo del volumen se completaba con fórmulas matemáticas.

Como fortaleza nos permite medir, reproducir y calcular medidas y volúmenes renales con menor componente de variación operador dependiente.

Como debilidad pero no atribuible al software, en el caso concreto de la PQRAD, se genera la dificultad de que en ocasiones el órgano presenta un agrandamiento masivo e irregular que dificulta en extremo cualquier medición.

Si bien aún debemos entrenarnos en su uso y completar su validación, opinamos que se trata de una herramienta muy útil en el estudio de varios aspectos de las nefropatías.

Aspiramos a continuar participando en este proyecto.

Dr. Oscar Noboa – Dr. Diego Tobal.”

Montevideo, 21 de mayo de 2014

Capítulo 12

Glosario

- **Base 64:** Sistema de numeración posicional que utiliza 64 como base. Es la mayor potencia de dos que puede ser representada usando únicamente los caracteres imprimibles de ASCII. Todas las variantes famosas que se conocen con el nombre de Base64 usan el rango de caracteres A-Z, a-z y 0-9 en este orden para los primeros 62 dígitos, pero los símbolos escogidos para los últimos dos dígitos varían considerablemente de unas a otras.
- **Base de Datos:** Una base de datos es un conjunto de datos relacionados entre sí. Por datos se entienden hechos conocidos que pueden registrarse y que tienen un significado implícito. [50]
Una base de datos tiene las siguientes propiedades implícitas:
 - Representa algún aspecto del mundo real
 - Conjunto de datos lógicamente coherente, con cierto significado inherente. Una colección aleatoria de datos no puede considerarse propiamente una base de datos.
 - Toda base de datos se diseña, construye y puebla con datos para un propósito específico.
 - Está dirigida a un grupo de usuarios y tiene ciertas aplicaciones preconcebidas que interesan a dichos usuarios.Una base de datos relacional es aquella que cumple con el modelo relacional.
- **Biblioteca (informática):** En informática una biblioteca es una colección o conjunto de subprogramas usados para desarrollar software. En general, las bibliotecas no son ejecutables, pero sí pueden ser usadas por ejecutables que las necesitan para poder funcionar correctamente.
- **Documento clínico:** Un documento clínico es producido normalmente por un médico y documenta las observaciones clínicas y servicios prestados a un paciente o sujeto de atención.

- **Error absoluto y Error relativo:** El error absoluto se define como la diferencia entre el valor real de la magnitud a medir y el obtenido en una medida. El error absoluto tiene las mismas unidades que la magnitud. Si x_i es el valor medido y x_v el valor real, entonces $\varepsilon_a = |x_i - x_v|$ es el error absoluto. El error relativo se define como el cociente entre el error absoluto ε_a y el valor real x_v . Este error no tiene unidades. Entonces $\varepsilon_r = \frac{|x_i - x_v|}{|x_v|}$ es el error relativo. [51]
- **Fantoma:** Artilugio, aparato o elemento utilizado para el calibrado de equipos de imagen y que contiene, en su interior, elementos de características similares a los del organismo.
- **Java:** Java es un lenguaje de programación y la primera plataforma informática creada por *Sun Microsystems* en 1995. Es la tecnología subyacente que permite el uso de programas punteros, como herramientas, juegos y aplicaciones de negocio. [52]
- **Voxel:** Mínima unidad con apariencia cúbica, que forma parte de un objeto tridimensional y que puede ser procesada computacionalmente.

Índices

Índice de figuras

Figura 1 - Evolución de poliquistosis renal.	12
Figura 2 – Estándar DICOM	16
Figura 3 - CDA: Estructura del documento	18
Figura 4 – Estimación volumen: Método envolvente convexa.....	20
Figura 5 – Estimación volumen: Método envolvente convexa por capas	21
Figura 6 – Estimación volumen: Método rasterización de puntos a voxels.....	22
Figura 7 - Etapas del reconocimiento de patrones.....	22
Figura 8 – Fantoma de NEFROVOL.	30
Figura 9 - Diseño del fantoma para NEFROVOL. Cara frontal y lateral.	30
Figura 10 - Medidas obtenidas en fantoma	31
Figura 11 - Determinación de contornos renales en imágenes ultrasonográficas	33
Figura 12 - Arquitectura de NEFROVOL.....	34
Figura 13 - Diagrama de clases.....	35
Figura 14 - Base de datos: Modelo Entidad Relación	39
Figura 15 - Impresora 3D, desarrollo SAWERS (Bolivia)	40
Figura 16 - Diagrama de etapas del ciclo completo de un estudio en NEFROVOL	41
Figura 17 – Algoritmo de generación de estructura tridimensional.....	45
Figura 18- Algoritmo de estimación del volumen	47
Figura 19 - Gráfica de evolución de volumen.....	48
Figura 20 – Documento de tipo “estudio” para la Historia Clínica Electrónica	49
Figura 21 - Documento de tipo “evolución” para la Historia Clínica Electrónica.....	50
Figura 22 - Horas totales por mes	68
Figura 23 - Evolución de horas	68
Figura 24 - Horas totales por actividad	69
Figura 25 - Horas por actividad por mes	70

Índice de tablas

Tabla 1 – Clases correspondientes al diagrama de diseño	35
Tabla 2 – Definición de las tablas pertenecientes a la base de datos.	38
Tabla 3 – Herramientas utilizadas en el desarrollo de NEFROVOL	42
Tabla 4 - Bibliotecas externas utilizadas en el desarrollo de NEFROVOL	43
Tabla 5 - Bibliotecas utilizadas	43
Tabla 6 - Acceso a funcionalidades	51
Tabla 7 - Resultados obtenidos de pruebas con figuras geométricas regulares.....	57
Tabla 8 - Resultados obtenidos de pruebas con frutas y verduras.....	58
Tabla 9 - Resultados obtenidos de pruebas con riñones reales	59
Tabla 10 - Cronograma.....	66
Tabla 11 - Planificación inicial.....	67
Tabla 12 – Replanificación	67
Tabla 13 - Tercera planificación	67
Tabla 14 - Horas por actividad por mes	70

Referencias

- [1] V. E. Torres, *Clinical Trial Endpoints and Therapies in Polycystic Kidney Disease*, Rochester, Minneota, 2007.
- [2] «Poliquistosis renal,» <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000502.htm>. [Último acceso: 5 4 2014].
- [3] «Sociedad Uruguaya de Nefrología,» 12 03 2014. <http://www.nefrouuguay.com/content/dossierSinCelulares.pdf>. [Último acceso: 30 04 2014].
- [4] «National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering,» <http://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/ultrasonido>. [Último acceso: 24 05 2014].
- [5] «MedlinePlus - Información de salud para usted,» <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003336.htm>. [Último acceso: 24 05 2014].
- [6] M. Rivera Gorriñ y C. Quereda Rodríguez-Navarro, «La ecografía realizada por el nefrólogo: nuestra experiencia,» *NefroPlus*, vol. 2, nº 1, 2009.
- [7] G. Healthcare, «<http://www.uk-ireland.bcftechnology.com/>,» 2008. <http://www.uk-ireland.bcftechnology.com/~media/PRODUCTS/Vet%20Imaging/Ultrasound/Logiq%20C5/Support/Support%20files/Logiq%20C5%20Long%20Datasheet.pdf>.
- [8] G. E. Company, «<http://medsensor.ru>,» 2009. http://medsensor.ru/data/PARKONIRMS/attachments/dd/files/2.1.2.1/Logiq_C5_SM.pdf.
- [9] «GE Healthcare,» http://www3.gehealthcare.in/en/Products/Categories/Ultrasound/LOGIQ/LOGIQ_C5_Premium#tabs/tabCB8BA60D8AEF4B3DBE7DF3E788D4F7FF.
- [10] R. Grosso, «Comunicación y almacenamiento de imágenes en DICOM». https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/75109/mod_resource/content/1/d_v04.pdf [Último acceso: 17 06 2014].
- [11] O. S. Pinykh, *A Practical Introduction and Survival Guide*, Segunda Edición ed., Boston Massachusetts: Springer, 2012, p. 422.
- [12] D. Luna, E. Soriano y F. González Bernaldo de Quirós, «Historia clínica electrónica,» *Revista del Hospital Italiano de Buenos Aires*, vol. 27, nº 2, pp. 77-85, 12 2007.
- [13] F. González Bernaldo de Quirós y D. Luna, «La Historia clínica electrónica,» de *Manual de Salud Electronica para directivos de servicios y sistemas de salud*, Madrid, ONA Industria Grafica, 2012, pp. 75-96.
- [14] D. González López, L. M. Alvarez Barreras y A. Fernández Orozco, «SLD082 Implementación de estándares DICOM SR y HL7 CDA para la creación y edición de informes de estudios imagenológicos,» La Habana, 2013.

- [15] «HL7's CDA - Clinical Document Architecture,» 2010.
http://www.vico.org/hl7/AboutHL7/AboutHL7_StandardDes_03_CDA.pdf. [Último acceso: 24 05 2014].
- [16] C. Gallego, *Historia Clínica Electronica con CDA*, 2006.
- [17] K. W. Boone, *The CDA™ book*, Springer, 2011, p. 328.
- [18] B. Sahim y A. Elfaki, «Etimation of the Volume and Volume Fraction of Brain and Brain Structures on Radiological Images,» *NeuroQuantology*, vol. 10, nº 1, pp. 87-97, 03 2012.
- [19] Priego de los Santos, José Enrique y Porres de la Haza, María Joaquina, «<http://age-tig.es/>,»
http://age-tig.es/docs/doc1_8.pdf. [Último acceso: 30 04 2014].
- [20] A. Fernández-Sarría, L. Martínez, B. Velázquez-Martí, M. Sajdak, J. Estornell, J.A. Recio y T. Hermosilla,
«<http://cgat.webs.upv.es/>,» http://cgat.webs.upv.es/bigfiles/Fernandez-Sarria_et_al_2011_AET.pdf.
[Último acceso: 30 04 2014].
- [21] A. Hernández Briones, «UNAM - Facultad de Ingeniería Biometría Informática,»
<http://redyseguridad.fi-p.unam.mx/proyectos/biometria/basesteoricas/reconocimiento.html>.
[Último acceso: 31 05 2014].
- [22] J. Cáceres Tello, «Reconocimiento de patrones y el aprendizaje no supervisado».
- [23] «Introducción a la programación en OpenGL,»
http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/compgraf/Clases/2012/OpenGL2012_1.pdf. [Último acceso: 22 05 2014].
- [24] «Introducción a la programación en OpenGL,»
http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/compgraf/Clases/2012/OpenGL2012_2.pdf. [Último acceso: 22 05 2014].
- [25] D. Rypl y Z. Bittnar, «Triangulation of 3D Surfaces Recovered from STL Grids,» *Acta Polytechnica*, vol. 44, nº 5-6, 2006.
- [26] J. Burkardt, «<http://people.sc.fsu.edu/>,» 11 06 2012.
<http://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/data/stla/stla.html>. [Último acceso: 24 05 2014].
- [27] D. Rypl, 05 11 2005. <http://mech.fsv.cvut.cz/~dr/papers/Lisbon04/node2.html>. [Último acceso: 24 05 2014].
- [28] G. Carbajal, Tesis de Posgrado: *Slicelets*, 2014. <https://github.com/GuillermoCarbajal/slicelets>
[Último acceso: 17 06 2014].
- [29] «Wikipedia,» http://es.wikipedia.org/wiki/ISO_639-1. [Último acceso: 30 04 2014].
- [30] SAWERS, «SAWERS,» www.sawers.com.bo. [Último acceso: 23 05 2014].
- [31] «NetBeans,» <https://netbeans.org/>. [Último acceso: 22 05 2014].
- [32] «Assembla,» <https://www.assembla.com/home>. [Último acceso: 22 05 2014].
- [33] «PostgreSQL-es,» <http://www.postgresql.org.es/>. [Último acceso: 22 05 2014].
- [34] «Microsoft Visio 2010,»
<http://office.microsoft.com/es-es/visio/pagina-principal-de-visio-2010-FX010048786.aspx>. [Último acceso: 22 05 2014].
- [35] «Advanced Installer,» <http://www.advancedinstaller.com/>. [Último acceso: 22 05 2014].
- [36] C. C. Attribution, «JogAmp,» <http://jogamp.org/gluegen/www/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [37] C. C. Attribution, «JogAmp,» <http://jogamp.org/jogl/www/>. [Último acceso: 27 05 2014].

- [38] T. P. G. D. Group, «PostgreSQL JDBC Driver,» <http://jdbc.postgresql.org/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [39] K. Tödter, «toedter.com,» <http://toedter.com/jcalendar/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [40] A. Viklund, «JFree,» <http://www.jfree.org/jcommon/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [41] O. R. Limited, «JFree,» <http://www.jfree.org/jfreechart/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [42] iText Group NV, iText Software Corp., iText Software BVBA, «iText Programmable PDF Software,» 2014 <http://itextpdf.com/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [43] J. H. parser, «jsoup,» 2013. <http://jsoup.org/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [44] «ezDICOM,» <http://www.cabiatl.com/mrinfo/ezdicom/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [45] «dcm4che.org,» <http://www.dcm4che.org/>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [46] M. G. Forero, N. F. Aramazazu Buitrago y G. Flórez Larrahondo, «Reconstrucción 3D Usando Superficies Trianguladas Dados Contornos Paralelos,» *Revista Ingeniería e Investigación*, nº 48, 2001.
- [47] Subcomité Técnico HL7 V3-CDA HL7, «Health Level Seven Spain,» 23 02 2007. <http://www.hl7spain.org/documents/comTec/cda/GuiaElementosMinimosCDA.pdf>. [Último acceso: 27 05 2014].
- [48] Á. F. García, «Física con ordenador,» [En línea]. Available: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm>. [Último acceso: 29 05 2014].
- [49] J. Hoch, «Angioma Alliance,» Angioma Alliance, 14 11 2010. <http://www.angiomaalliance.org/pages.aspx?content=67#.U7HnnrHhdgj>. [Último acceso: 30 06 2014]
- [50] R. Elmasri y S. B. Navathe, *Sistemas de Bases de Datos - Conceptos Fundamentales*, Segunda ed., Addison-Wesley Iberoamericana, 1997.
- [51] «<http://fisica.udea.edu.co/>,» http://fisica.udea.edu.co/~lab-gicm/Labradorio_Fisica_1_2012/2012_Cuantificacion%20de%20errores.pdf. [Último acceso: 5 4 2014].
- [52] «Java,» https://www.java.com/es/download/faq/whatis_java.xml. [Último acceso: 05 04 2014].

Anexos

A continuación se presentan los ítems anexos a este documento que forman parte de la entrega del Proyecto de Grado **NEFROVOL**.

Anexo	Nombre	Descripción	Medio
1	<i>NEFROVOL_fuentes</i>	Código fuente de versión final de la aplicación NEFROVOL (versión 1.1).	CD
2	<i>NEFROVOL-configuration_fuentes</i>	Código fuente de la herramienta para configuración de NEFROVOL .	CD
3	<i>Paquete de Instalación NEFROVOL v1.0</i>	Archivos necesarios para la instalación completa de la versión 1.0 de NEFROVOL .	CD
4	<i>Paquete de Instalación NEFROVOL v1.1</i>	Archivos necesarios para la instalación completa de la versión 1.1 de NEFROVOL o actualización de la versión 1.0 a 1.1.	CD
5	<i>Manuales de Usuario</i>	Manuales de usuario de las versiones 1.0 y 1.1.	CD
6	<i>Manuales de Instalación</i>	Manuales de instalación de las versiones 1.0 y 1.1.	CD
7	<i>Manual de Diseño de Soporte</i>	Guía explicativa sobre las condiciones y características que debe cumplir el soporte externo.	CD
8	<i>Base de datos de pruebas</i>	Backup de la base de datos de la versión 1.1 que incluye las pruebas realizadas.	CD
9	<i>Imágenes de pruebas</i>	Imágenes ecográficas obtenidas en formato DICOM utilizadas en las pruebas.	CD
10	<i>Fórmula método actual</i>	Archivo Excel utilizado para estimar el volumen con el método actual.	CD
11	<i>Informes de pruebas</i>	Informes de las pruebas realizadas.	CD Copia impresa
12	<i>Evaluación del personal médico Hospital de Clínicas</i>	Comentarios y opiniones sobre el proyecto por parte del personal médico involucrado.	CD Copia impresa
13	<i>Artículo publicación en IEEE</i>	Artículo enviado para su publicación en IEEE transactions.	CD
14	<i>Artículo CBIB 2014</i>	Artículo presentado para el Congreso Brasileño de Ingeniería Biomédica 2014.	CD
15	<i>Poster Congreso de Nefrología 2014</i>	Poster realizado en conjunto con el personal médico del Departamento de Nefrología del Hospital de Clínicas para	CD

		presentar en el Congreso de Nefrología (Montevideo, abril 2014).	
16	<i>Registro de esfuerzo</i>	Planilla con el total de horas dedicadas durante el proyecto y categorizadas por actividad.	CD