

CIS0910TK02

SISTEMA DE ANGIOGRAFÍAS VIRTUALES INMERSIVAS
(S.A.V.I)

MAURICIO TORRES MEJÍA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

BOGOTÁ, D.C.

2010

CIS0910TK02

**SISTEMA DE ANGIOGRAFÍAS VIRTUALES INMERSIVAS
(S.A.V.I)**

Autor:

Mauricio Torres Mejía

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO DE LOS REQUISITOS PARA
OPTAR AL TITULO DE INGENIERO DE SISTEMAS

Director

Ingeniero Leonardo Flórez Valencia

Jurados del Trabajo de grado

Ingeniera Marcela Hernández

Ingeniero Jaime Pavlich Mariscal

Pagina web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS0910TK02>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

BOGOTÁ, D.C.

Diciembre, 2010

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

Rector Magnífico

Joaquín Emilio Sánchez García S.J.

Decano Académico Facultad de Ingeniería

Ingeniero Francisco Javier Rebolledo Muñoz

Decano del Medio Universitario Facultad de Ingeniería

Padre Sergio Bernal Restrepo S.J.

Director de la Carrera de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Luis Carlos Díaz Chaparro

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero César Julio Bustacara Medina

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

Agradecimientos

El presente proyecto no habría podido ser realizado sin el apoyo de mis compañeros y amigos los cuales de mil maneras diferentes además de la académica, han brindado su ayuda; especialmente deseo reconocer el acompañamiento de Luz María Mejía, Maria Claudia Higuera y Diego Fernando Cáceres los cuales facilitaron el avance del trabajo de grado con su interés y consejos.

Igualmente debo agradecer el apoyo de mi familia, principalmente a mis padres que sin lugar a duda son los que mas han sacrificado para mi formación como profesional y como persona y a todas las otras personas que sería imposible nombrar por separado.

Por parte de la universidad, es mi deseo recalcar la asistencia del departamento de ingeniería de sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana y la del ingeniero Leonardo Florez Valencia quien ha amparado el completo desarrollo del proyecto, asimismo, expresar mi gratitud por el tiempo dedicado por parte del ingeniero Oscar Chavarro el cual fue factor importante para la solución de varios obstáculos en el proceso.

Por ultimo pero no menos importante, señalar la constante ayuda de Dios quien proporcionó la salud y demás medios necesarios para la culminación de la carrera misma.

Índice general

Índice general	6
Índice de figuras	8
1 INTRODUCCIÓN	12
2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO	13
2.1. Oportunidad, problemática, antecedentes	13
2.1.1. Descripción del contexto	13
2.1.2. Formulación del problema que se resolvió	14
2.1.3. Justificación	14
2.1.4. Impacto esperado	15
2.2. Descripción del proyecto	15
2.2.1. Visión global	15
2.2.2. Objetivo general	15
2.2.3. Objetivos específicos	15
2.2.4. Metodología	16
3 POST-MORTEM	18
3.1. Metodología propuesta vs. metodología utilizada	18
3.2. Actividades propuestas vs. Actividades realizadas	18
3.3. Efectividad en la estimación de tiempos del proyecto	19
3.4. Costo estimado vs. Costo real del proyecto	19
3.5. Efectividad en la estimación y mitigación de los riesgos del proyecto	19
4 MARCO REFERENCIAL	21
4.1. Marco contextual	21
4.1.1. Radiología	21
4.1.2. Angiografía	23
4.2. Marco Teórico	25
4.2.1. Computación gráfica	25
4.2.1.1. Visualización científica	25
4.2.1.2. Computer-Aided Design (CAD)	25
4.2.1.3. Entretenimiento	26
4.2.1.4. Medicina virtual	26
4.2.1.5. Realidad Virtual	30
4.2.1.6. Interacción Hombre-Máquina (HCI)	30
4.3. Antecedentes	31
5 DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	32
5.1. Determinar las características y particularidades de las técnicas angiográficas.	32
5.2. Integrar el motor gráfico OGRE y el Framework de interconexión de dispositivos VRPN.	32

5.3. Generar modelos visualizables en OGRE a partir de parámetros de modelos RGC (Right Generalized Cylinder)	33
5.4. Desarrollar el sistema de angiografía virtual con dispositivos de interacción no convencionales.	34
5.4.1. GamePad, WiiMote y Joystick	35
5.4.2. DataGloves	36
6 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	38
6.1. Conclusiones	38
6.2. Recomendaciones	38
6.3. Trabajos Futuros	39
Bibliografía	40

Índice de figuras

2.1. Angiograma Coronario [1]	13
2.2. Duración planeada de las actividades	16
2.3. Modelo de proceso de desarrollo de software	17
3.1. Duración real y actividades nuevas	20
4.1. Tomografía Axial Computarizada	22
4.2. Imagen generada por MRI [2]	22
4.3. Gamma-grafía osea [3]	23
4.4. Angiografía tradicional [4]	23
4.5. Catéter en angiografía tradicional [5]	24
4.6. Algunos diagnósticos posibles por medio de angiografías	25
4.7. Visualización de flujo de aire en turbina de avión [6]	26
4.8. Diseño CAD de amortiguador de bicicleta [7]	26
4.9. Malla de venas [8]	27
4.10. Registro de imágenes [9]	27
4.11. Umbralización	28
4.12. Técnica de agrupamiento [10]	29
4.13. Tomado de "Interactive Virtual Angioscopy" de Enrico Gobbetti [11]	31
5.1. Diseño final de VOB	33
5.2. Abstracción matemática del modelo [12]	34
5.3. Traducciones de formato excluidas	34
5.4. Cilindro RGC [12]	34
5.5. Visualización del sistema	35
5.6. Logitech Wingman Gamepad Extreme [13]	35
5.7. WiiMote	36
5.8. Joystick Logitech WingMan Force 3D [14]	36
5.9. Gestos del DataGlove derecho para SAVI	37

Abstract

Even though computing masification in medicine (specially radiology) has given huge benefits, it has also augmented risk and error situations, because of the commonly poor human-computer interaction that causes misuses of those systems.

In this document it is described development of a framework that allows integration of devices with OGRE visualizations, and so, the implementation of an angiography virtual system controled by non-conventional devices (WiiMote, DataGloves, Joystick and GamePad) as interaction alternatives.

Resumen

Aunque la masificación de los sistemas computacionales en la medicina (más específicamente en la radiología) ha brindado grandes beneficios, ha aumentado de igual forma la cantidad de situaciones de riesgo y error, ya que comúnmente existe una pobre interacción hombre-máquina que conlleva a una posible mala utilización de dichos sistemas.

En el presente documento se describe el desarrollo de un framework que permite la integración de dispositivos con visualizaciones OGRE así como la implementación de un sistema de angiografías virtuales controlado por dispositivos no convencionales (WiiMote, DataGloves, Joystick y GamePad) como alternativas de interacción.

Resumen Ejecutivo

El proceso de angiografías tradicionales comprende la inserción de un catéter en alguna vena o arteria periférica, dicha acción acarrea una serie de riesgos, más aún cuando la zona de análisis está demasiado alejada del lugar de inserción. Conjuntamente, el medio de contraste, indispensable para el procedimiento, acarrea una serie de efectos secundarios los cuales en casos extremos pueden ser mortales. [15].

Las angiografías virtuales, por otro lado, representan un menor riesgo ya que requieren una menor cantidad de medio de contraste además de la posibilidad de reemplazarlo por elementos inocuos como el agua en algunos casos [16]. Esto las convierte en una opción favorable en muchas ocasiones. No obstante, la interfaz hombre-máquina típica de dichos sistemas son el mouse, teclado y pantalla, lo que puede llegar a entorpecer el proceso de diagnóstico. Este inconveniente conlleva a buscar qué alternativas de interacción no convencionales existen y cómo integrarlas a los sistemas que se han desarrollado para impulsar los mismos a suplir las necesidades médicas y minimizar las molestias a los pacientes.

Por tal motivo, se da inicio al desarrollo de un sistema que permita la integración de distintos dispositivos diferentes a los tradicionales, para ello se unifican el motor gráfico OGRE, el Framework de interconexión de dispositivos VRPN y el conjunto de librerías utilitarias Boost. Esta aplicación toma el nombre de VOB, un Framework que encapsula los aspectos técnicos de integración, manejo de procesos e integración de dispositivos para que sus usuarios puedan realizar desarrollar ambientes de pruebas de usabilidad que validen las ventajas y desventajas que poseen las nuevas alternativas de interacción con respecto a las comúnmente utilizadas.

Conjuntamente se desarrolla el Sistema de Angiografías Virtuales Inmersivas (SAVI) el cual visualiza estructuras previamente generadas a partir de imágenes médicas utilizando la terna de Frenet y los contornos de Fourier como herramientas de abstracción. SAVI permite la interacción del usuario con estos modelos en grilla por medio de dispositivos no convencionales, específicamente WiiMote, GamePad, Joystick y DataGloves (guantes de realidad virtual) como instrumentos de control y Head Mounted Display (casco de realidad virtual) junto con el tracker para darle una cualidad inmersiva al aplicativo.

El sistema desarrollado permite la visualización de la estructura del vaso anatómico de dos maneras. La primera consiste en un recorrido guiado de avance o retroceso por dentro de la estructura que limitado por el eje del canal, mientras que la segunda es un desplazamiento libre incluso fuera de la estructura misma. Este último permite una movilidad total utilizando un mayor número de gestos y comandos desde los dispositivos.

El sistema desarrollado, al igual que otros aplicativos similares, utiliza las bondades de las Tomografías Axiales Computarizadas (TAC), siendo las angiografías virtuales una manera menos invasiva y dolorosa para los pacientes, no obstante, los sistemas actuales aunque sean interactivos y resuelvan parcialmente los problemas anteriormente mencionados, no se explotan todo el potencial de una interacción hombre-máquina de alta versatilidad así como de las ventajas espaciales inherentes a la inmersión virtual.

Esto último se identifica como una importante ventaja de SAVI, ya que la posibilidad de incluir una gran cantidad de dispositivos distintos a los ya implementados, posible gracias a la abstracción generalizada que se logró en el

diseño, permite que la aplicación desarrollada o sistemas con estructura similar, sean posibles entornos de pruebas de usabilidad que generen información valiosa para futuros aplicativos.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Se conoce como radiología al conjunto de técnicas que buscan el diagnóstico de enfermedades por medio de la visualización de estructuras internas del cuerpo utilizando métodos mínimamente invasivos [17]. Entre dichas técnicas encontramos las angiografías, las cuales se utilizan para identificar anomalías en los diferentes vasos del cuerpo humano [1].

Existen dos tipos de angiografías, las tradicionales o angiografías por catéter las cuales necesitan la inserción de un catéter hasta la zona de interés inyectando en dicha zona, un elemento químico de contraste necesario para la visualización de los tejidos de estudio al momento de tomar una radiografía. La inserción del catéter y el medio de contraste representan riesgos en el procedimiento que en casos extremos pueden conllevar a la muerte [15].

El segundo tipo, son las angiografías virtuales, las cuales requieren una menor cantidad del químico e incluso, existen casos en que reemplazan el medio de contraste por agua o alguna otra sustancia inocua minimizando el riesgo del procedimiento [16]. Por otro lado, este tipo de angiografía, gracias a su componente virtual, se identifica como una oportunidad al incluir el potencial de los sistemas de computo, los cuales, irónicamente causan con frecuencia una serie de consecuencias negativas atribuibles a una mala utilización de los mismos por parte del personal médico por su complejidad de uso [18].

Dicha coyuntura motiva a la búsqueda e integración de alternativas de interacción, por tal motivo, en el presente documento se presenta un Framework como posible plataforma de pruebas de usabilidad y una aplicación que presenta modelos de vasos sanguíneos previamente generados a partir de imágenes realizadas por Tomografías Axiales Computarizadas (TAC) donde su recorrido es controlado por medio de WiiMote, GamePad, Joystick o DataGloves en conjunto con un HMD y tracker.

Capítulo 2

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

2.1. Oportunidad, problemática, antecedentes

2.1.1. Descripción del contexto

La radiología es la rama de la medicina enfocada en la generación de imágenes del interior del cuerpo, por medio de agentes físicos tales como rayos x, ultrasonido, campos magnéticos entre otros, con el fin de diagnosticar enfermedades minimizando la invasión al cuerpo[17].

Uno de los sistemas corporales más comúnmente estudiados por medio de técnicas radiológicas es el sistema cardiovascular por medio de las angiografías (del griego *angeion*-vaso y *graphein*-escribir [19]). En ellas, el esfuerzo se enfoca en la búsqueda de anomalías, obstrucciones y/o malformaciones en dicho sistema [1] (Figura 2.1). Las mismas se han posicionado fuertemente en el ámbito médico por su amplio rango de beneficios, especialmente por ser métodos que pueden llegar a ser tanto de diagnóstico como de tratamiento simultáneamente implicando en varios casos, la omisión de cirugías o en el caso contrario, aumento en la precisión y eficacia de estas últimas [20].

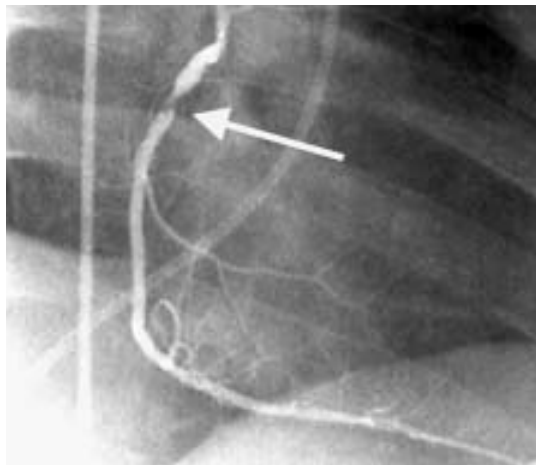


Figura 2.1: Angiograma Coronario [1]

La flecha apunta a una estenosis

La técnica de angiografía tradicional consiste en inyectar por medio de un catéter (tubo largo y delgado) un ele-

mento de contraste para resaltar las venas, arterias y demás vasos de la zona de interés y de este modo, ser vistas por medio de rayos X [21]. Dichos medios de contraste son sustancias que resaltan los canales de interés (e.g. vasos sanguíneos) ya que sin dicho colorante, las distintas estructuras se confundirían con los tejidos circundantes. Tales sustancias se caracterizan por presentar un elevado número atómico y alta densidad lo que posibilita la absorción de los rayos X [22]. Estos se dividen en dos grandes grupos dependiendo de su elemento químico más representativo siendo el criterio de selección de un grupo o medio de contraste específico con respecto a otro, el tipo de procedimiento a realizar [23, 24]:

Baritados: A base de Bario (Ba), este tipo de medios de contraste tienen como ventaja la casi nula reactividad química lo que disminuye los riesgos de efectos biológicos negativos. Este tipo de medios de contraste se utiliza principalmente en el sistema digestivo como el estudio de procesos esofágicos, gástricos e intestinales.

Yodados: Su elemento más representativo es el Yodo (I), su hidro-solubilidad y lipo-solubilidad lo convierten en un elemento clave al momento de interactuar con sustancias orgánicas de gran nivel acuoso o adiposo como la sangre. Al igual que el Bario, el Yodo posee un bajo nivel de reactividad.

Cabe aclarar que las angiografías por catéter o angiografías tradicionales, poseen riesgos inherentes que van desde lesión cutánea hasta el desarrollo de células cancerígenas por la radiación.

2.1.2. Formulación del problema que se resolvió

En las angiografías tradicionales, el medio de contraste es llevado hasta la zona de interés por medio del catéter, el cual se inserta al cuerpo en una arteria o vena periférica, comúnmente se realiza por la ingle puesto que es una zona de fácil acceso a la aorta. Por el hecho de utilizar herramientas pequeñas y de realizar incisiones mínimas, disminuye el nivel de invasión al cuerpo, aunque no lo elimina, especialmente cuando la zona en cuestión está demasiado alejada del lugar de inserción del catéter. Por otro lado, el uso de colorantes inyectables (medios de contraste) son un riesgo paralelo al proceso primario puesto que se conocen casos de reacciones alérgicas que en situaciones extremas pueden causar la muerte.

En contraparte a las angiografías por catéter, se presentan las angiografías virtuales las cuales tienen un riesgo mucho menor con respecto al medio de contraste ya que disminuye la cantidad necesaria para la visualización o incluso, en algunos casos, puede ser reemplazado por agua, anulando los riesgos anteriormente mencionados [16]. Las mismas han tenido innumerables avances en el tema de visualización y procesamiento de imágenes médicas. Sin embargo, paradójicamente siguen “estancadas” en cuanto a interacción se refiere. Incluso hoy día, cuando ya las angiografías virtuales han demostrado su utilidad y se han establecido entre las alternativas serias a tomar, la interfaz hombre-máquina se reduce al típico mouse, teclado y pantalla lo que podría llegar a entorpecer el proceso de diagnóstico. Este inconveniente conlleva indudablemente a buscar qué alternativas de interacción no convencionales existen y cómo integrarlas a los sistemas que se han desarrollado para impulsar los mismos a suplir las necesidades médicas y minimizar las molestias a los pacientes.

2.1.3. Justificación

Desde que los sistemas computacionales fueron implementados masivamente en las distintas ramas de la industria y academia, se han presentado numerosos incidentes que demuestran que la correcta interacción con los mismos tiene

grandes beneficios que van desde lo económico hasta lo legal.

En el trigésimo-cuarto encuentro de la sociedad de factores humanos en Santa Mónica (EEUU), se presentó el resultado de mejorar la interacción de los usuarios con los sistemas en pequeñas y grandes empresas. Dicho experimento representó un ahorro de aproximadamente USD 42.000 en la empresa de menor tamaño, mientras que en la gran empresa, el ahorro fue de poco menos de USD 7'000.000 [25].

En el ámbito médico, expertos de la Universidad de Ohio demostraron por medio de un estudio que los dispositivos de alta tecnología son demasiado complicados para la mayoría de doctores y enfermeras con el agravante de que la pobre interfaz humano-máquina puede ser causante de mala manipulación de los dispositivos con el riesgo de causar serias complicaciones a los pacientes [18].

Indudablemente las nuevas tecnologías pueden mitigar el riesgo de errores y mejorar la calidad y cantidad de la producción y prestación de servicios, pero igualmente pueden ser generadoras de nuevos tipos de errores sin implicar que el dispositivo y/o sistema a utilizar no sea de calidad. Es por tal motivo que la interacción es un punto importante de estudio y desarrollo [26].

2.1.4. Impacto esperado

SAVI y VOB se presentan como un antecedente de integración formal y generalizada de los distintos Frameworks mencionados (OGRE, WiiUse, VRPN, Boost). Conjuntamente, la versatilidad que posee en cuanto a integración de dispositivos no convencionales puede llegar a ser un caso de estudio de interés para tópicos relacionados con Interacción Hombre-Máquina (HCI) así como para desarrolladores en el área de la computación gráfica y de utilización de software libre.

Por otro lado, el proyecto se presenta como una plataforma de pruebas de usabilidad, especialmente para sistemas médicos donde la HCI puede ser factor crítico para la correcta ejecución de las técnicas amparadas por sistemas de cómputo, siendo SAVI y/o VOB los medios por los cuales se especifique la mejor manera de interactuar con el sistema. Incluso si es con dispositivos que nunca se han utilizado para este tipo de aplicaciones.

2.2. Descripción del proyecto

2.2.1. Visión global

Se desarrolló un sistema gráfico que permite recorrer de manera virtual un vaso (p.e. venas o arterias) generado a partir de imágenes médicas. Este sistema llamado SAVI (Sistema de Angiografías Virtuales Inmersivas) utiliza un Head Mounted Display (casco de realidad virtual) para dar la ilusión de estar inmerso en dicha estructura tubular además de permitir al usuario interactuar con este mundo virtual por medio de un tracker en conjunto con un WiiMote, GamePad, Joystick o DataGloves (guantes de realidad virtual).

2.2.2. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de angiografía virtual que utilice modelos generados a partir de imágenes médicas donde la interacción sea por medio de dispositivos no convencionales.

2.2.3. Objetivos específicos

- Determinar las características y particularidades de las técnicas angiográficas.
- Integrar el motor gráfico OGRE y el Framework de interconexión de dispositivos VRPN.
- Generar modelos visualizables en OGRE a partir de parámetros de modelos RGC (Right Generalized Cylinder).

- Desarrollar el sistema de angiografía virtual con dispositivos de interacción no convencionales.
- Probar sistema

2.2.4. Metodología

La metodología estuvo basada en hitos parciales definidos por las metas anteriormente nombradas como objetivos específicos. Asimismo se realizó el debido proceso de desarrollo de software realizando SDD (Descripción del diseño de software), SAD (Definición de la arquitectura del software), SRS (Especificación de los requerimientos del software) e implementación del prototipo funcional de SAVI así como la presente memoria de trabajo de grado que registra el proceso general del proyecto.

ACTIVIDAD	DURACION (días)
Caracterizar las angiografías	67
Análizar el proceso de angiografía por catéter	45
Análizar el proceso de angiografía virtual	45
Comparar las angiografías virtuales con las tradicionales	10
Establecer la información relevante de una angiografía	10
Identificar oportunidades de mejora al proceso de angiografía	12
Caracterizar el procesamiento de imágenes vasculares	67
Análizar el proceso de procesamiento de imágenes	45
Análizar sistemas de angiografías virtuales similares	45
Establecer la información relevantes de la imágenes	14
Definir posibilidades de representación	8
Establecer posibilidades de navegación	8
Desarrollar el sistema	71
Generar modelos a partir de imágenes medicas	26
Corrección del modelo	28
Integrar HMD	3
Integrar Guantes	3
Integrar Joystick	3
Integrar WiiMote	3
Integrar GamePad	3
Integrar Tracker	3
Probar sistema	51
Evaluar similitud sistema actual con antecedentes	7
Probar guantes	6
Probar Joystick	6
Probar WiiMote	6
Probar GamePad	6
Probar Tracker	6

Figura 2.2: Duración planeada de las actividades

Se inicia el proyecto con una revisión de la teoría de las principales técnicas en radiología, haciendo énfasis en las angiografías conocidas como tradicionales para poder determinar de esta manera, las particularidades del proceso.

El modelo de proceso de desarrollo de software utilizado fue el modelo en V (Figura 2.2), con revisiones parciales por parte del director de trabajo de grado, las primera etapa fue el levantamiento de requerimientos del sistema los cuales fueron el resultado del desglose de los objetivos en pequeños hitos funcionales del sistema (Anexo SAVI (SRS)).

La segunda fase de desarrollo, comprende la implementación del modulo de traducción de datos para que el motor gráfico pueda visualizar los modelos con los cuales el usuario interactúa.

La tercera fase de desarrollo, involucra lo relacionado a la inclusión de la lógica y dispositivos no convencionales seleccionados al sistema.

Por último, se realizan pruebas de funcionalidad del sistema con base a los requerimientos (Anexo SAVI (SRS)), estas pruebas son de tipo unitario y de integración tal y como los define el modelo de proceso de desarrollo de software seleccionado.

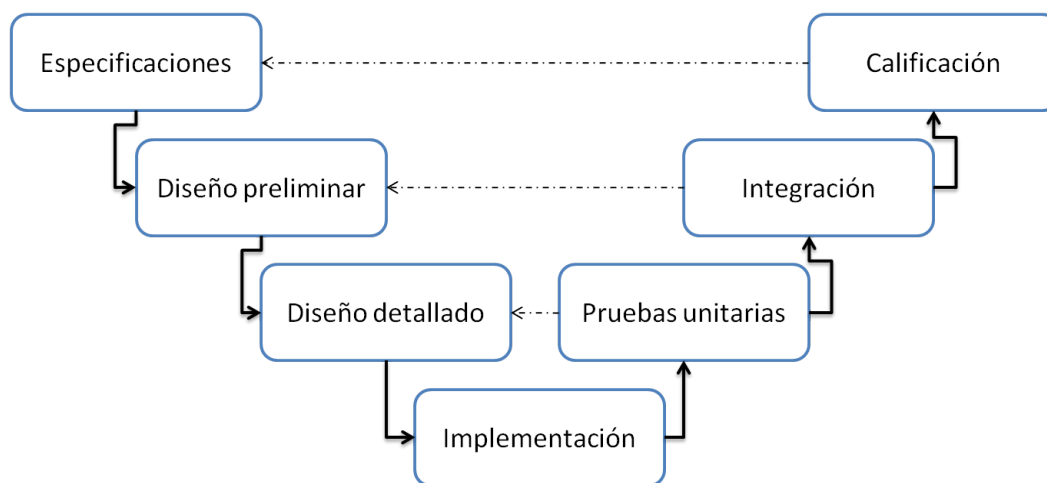


Figura 2.3: Modelo de proceso de desarrollo de software

Capítulo 3

POST-MORTEM

3.1. Metodología propuesta vs. metodología utilizada

La revisión de la teoría de las técnicas angiográficas se alcanzó aun siendo limitada por la teoría médica específica que impedía avanzar a niveles más concretos del tema, no obstante, se logró obtener suficiente información para conceptualizar el procedimiento. Se realiza de igual manera la caracterización del procesamiento de imágenes vasculares que a comparación de la caracterización de angiografías, incluye terminología acorde a la ingeniería de sistemas enfocada en la disciplina de computación gráfica, por otro lado, el desarrollo del sistema de angiografía virtual con dispositivos de interacción no convencionales fue alcanzado, aunque las actividades de dicha fase tuvieron que ser parcialmente modificadas así como las pruebas ligadas a las mismas.

Con respecto a la documentación, aunque se tenía prevista la realización del documento de visión, fue reemplazado por las memorias, ya que estas últimas condensan de una mejor manera la información que se deseaba estructurar, por otro lado, se plasmó la información del proceso de desarrollo del software en el SDD (Descripción del diseño de software), SAD (Definición de la arquitectura del software) y SRS (Especificación de los requerimientos del software) y demás secciones de la presente memoria del trabajo de grado, las cuales contienen la información más relevante del proyecto.

Por último, fue necesario modificar algunos de los objetivos específicos ya que estos no exponían realmente las fases metodológicas ni las necesidades a suplir antes de poder desarrollar el sistema, a continuación se presentan los antiguos objetivos específicos.

- Caracterizar las angiografías
- Caracterizar el procesamiento de imágenes vasculares
- Desarrollar el sistema de angiografía virtual con dispositivos de interacción no convencionales
- Probar sistema

3.2. Actividades propuestas vs. Actividades realizadas

Las fase de recolección de información para el proyecto, tanto la caracterización de las angiografías como la caracterización del procesamiento de imágenes vasculares, fue acorde a la planeación, por otro lado el desarrollo del

sistema de angiografía virtual con dispositivos de interacción no convencionales presentó una serie de inconvenientes obligando a aumentar la cantidad de actividades, es decir, el proceso integración de los distintos dispositivos estaba dado por la documentación que provee el Framework VRPN. No obstante, pese a que dicha documentación específica que VRPN soporta DataGloves (guantes de realidad virtual) sin importar la plataforma en la que se utilice, no se logra la integración de los guantes en plataforma Linux. Fue necesario realizar pruebas con un modelo más reciente de DataGloves, incorporar el API del fabricante 5DT en el código fuente del servidor que corre en la terminal donde se encontrara conectado el guante, incluir un modulo del API de 5DT que reconoce gestos como representaciones binarias de números y replicar el servidor de dispositivos en terminales Windows para que cada guante funcione de manera independiente.

Por otro lado, ya que fueron modificados los objetivos específicos, se crearon nuevas fases metodológicas. Específicamente, el segundo objetivo específico se aborda por medio del diseño e implementación de un Framework que integre el motor gráfico OGRE y el Framework de interconexión de dispositivos VRPN siendo esta la primera fase del desarrollo del sistema. El implementar un Framework, facilita en gran medida el alcance de los demás objetivos, al permitir al desarrollador, obviar los detalles técnicos.

3.3. Efectividad en la estimación de tiempos del proyecto

Hubo aumento de actividades que entorpecieron y retrasaron las demás previamente planeadas, así que fue necesario un aumento en la dedicación horaria para lograr desatrazar el avance del proyecto en dicho momento.

Conjuntamente, la duración de la actividad de generación de modelos a partir de imágenes médicas, tomó mucho mas tiempo del planeado, duplicándolo, afortunadamente, la integración de los distintos dispositivos tomó menos tiempo del planeado salvo la integración de los DataGloves, lo que mitigó parcialmente el impacto de los incidentes mencionados (Figura 3.1).

3.4. Costo estimado vs. Costo real del proyecto

La mayoría de rublos mencionados en el presupuesto inicial se cumplieron como lo estipulado. Sin embargo, en su totalidad se obtuvo una ejecución presupuestal de aproximadamente 119%. Dicha sobre-ejecución fue causada por el retraso del proyecto lo que obligó a mayores pagos en créditos académicos y mayor dedicación por parte del director de trabajo de grado.

3.5. Efectividad en la estimación y mitigación de los riesgos del proyecto

A pesar de haber implementado gestión de riesgos, se tuvieron incidentes que fueron los causantes del atraso en el inicio real de actividades. El principal fue una mala plantación en la dedicación requerida por cada uno de los compromisos académicos y laborales, ya que este tipo de incidente se contempla en la gestión de riesgos, se evidencia que pudo y debió haber un mejor y más riguroso manejo del mismo.

Por otra parte, el otro incidente que impactó en gran medida el proyecto, estuvo relacionado con situaciones familiares las cuales no se tenían contempladas en absoluto.

Las consecuencias de las falencias en plantación y mitigación de riesgos fueron amortiguadas por las actividades de integración. Específicamente, la duración de la integración del HMD (Head Mounted Display) se redujo a 0 ya que la misma fue instantánea, así como la integración del Joystick, GamePad y Tracker, las cuales se redujeron a 1 día al igual que sus respectivas pruebas (Figura 3.1).

ACTIVIDAD	DURACION (días)
Caracterizar las angiografías	20
Análisis del proceso de angiografía por catéter	9
Análisis del proceso de angiografía virtual	9
Comparar las angiografías virtuales con las tradicionales	3
Establecer la información relevante de una angiografía	3
Identificar oportunidades de mejora al proceso de angiografía	1
Caracterizar el procesamiento de imágenes vasculares	18
Análisis del proceso de procesamiento de imágenes	7
Análisis de sistemas de angiografías virtuales similares	7
Establecer la información relevante de las imágenes	2
Definir posibilidades de representación	3
Establecer posibilidades de navegación	1
Desarrollar Framework	42
Instalar Frameworks	6
Generar clases abstractas de conexión de dispositivos	13
Generar clases de hilo auto gestionado	18
Generar clase abstracta Ugre para visualizaciones	5
Desarrollar el sistema	47
Generar modelos a partir de imágenes médicas	40
Corrección del modelo	2
Generar modelo continuo a partir de parámetros RGC	6
Discretizar modelo	19
Generar XML	10
Traducir a Mesh	0
Integrar HMD	0
Integrar Guantes	9
Integrar Joystick	1
Integrar WiiMote	1
Integrar GamePad	1
Integrar Tracker	1
Probar sistema	51
Evaluar similitud sistema actual con antecedentes	2
Probar guantes	1
Probar Joystick	1
Probar WiiMote	1
Probar GamePad	1
Probar Tracker	1

Figura 3.1: Duración real y actividades nuevas

Capítulo 4

MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco contextual

4.1.1. Radiología

La radiología es la rama de la medicina enfocada en la generación e interpretación de imágenes del interior del cuerpo por medio de tecnologías como rayos X u otros tipos de ondas, con el fin de diagnosticar y tratar diferentes tipos de enfermedades incluidas las enfermedades tratables con radiación como es el caso de la oncología de radiación o medicina nuclear [27].

La radiología maneja distintas técnicas de adquisición de imágenes de las estructuras del cuerpo. Entre ellas encontramos las siguientes [28]:

- **Radiografías:** También conocidas como roentgenografías por el científico que las descubrió, (Wilhelm Conrad Röntgen) generan imágenes por medio de la exposición del paciente a cantidades controladas de rayos X contra una lámina sensible a este tipo de radiación. Al tratar la lámina en cuestión con químicos, se pueden visualizar las estructuras más densas del cuerpo humano como el sistema óseo. En la actualidad se utilizan igualmente las radiografías digitales, las cuales funcionan con el mismo principio, solo que en vez de utilizar láminas radio-sensibles, los rayos X chocan contra una superficie con sensores que interpretan las señales generando una imagen que puede ser vista en la pantalla de un computador. Las radiografías fueron la única técnica disponible durante los primeros 50 años de la radiología y continúan siendo el estudio con más demanda para la evaluación de los pulmones, corazón y esqueleto por su amplia disponibilidad, velocidad y bajo costo.
- **Fluoroscopia:** Las fluoroscopías y angiografías tradicionales son aplicaciones especiales de la generación de imágenes por medio de rayos X. Ya que este tipo de técnicas disponen de un circuito cerrado de televisión, permiten la visualización de las estructuras de interés en tiempo real. Comúnmente se utiliza algún medio de contraste (o radio-opaco) para resaltar dichas estructuras. Frecuentemente este está hecho a base de Bario siendo administrado por vía oral o rectal cuando se desea realizar el estudio del tracto intestinal. En otros casos se utiliza un medio de contraste a base de yodo por vía oral, rectal, intravenosa o intraarterial para la visualización de procesos dinámicos como el flujo sanguíneo. Otra cualidad de los radio-opacos yodados, es la adherencia o rechazo a algunos tipos de tejidos normales, lo que puede resaltar anomalías como quistes, tumores o inflamaciones. En casos muy específicos, el medio de contraste puede ser reemplazado por aire o dióxido de carbono para la visualización del sistema gastrointestinal.

- **Tomografía Computarizada:** Esta técnica utiliza la radiación en conjunto con algoritmos computacionales para generar las imágenes. Se utiliza un dispositivo llamado tomógrafo el cual desplaza al paciente por medio de un anillo que puede tener de 8 a 64 detectores que registran progresivamente los planos axiales consecutivos del cuerpo, mientras por medio del computador, se generan los planos sagitales y coroneales permitiendo construir modelos en 3D (Figura 4.1). Los medios de contraste también pueden ser igualmente utilizados con el fin de obtener mayor detalle de las estructuras de interés.

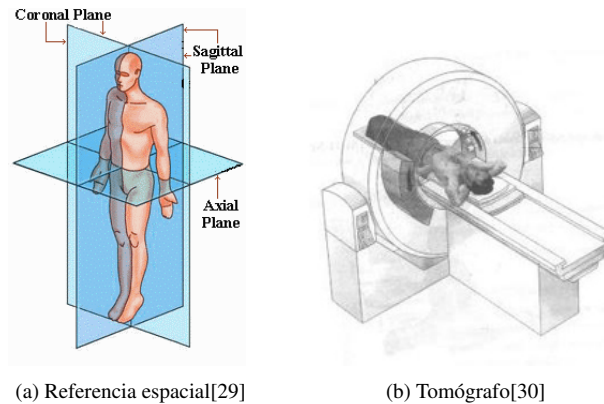


Figura 4.1: Tomografía Axial Computarizada

- **Ultrasonido:** Las ultrasonografías o ecografías utilizan ondas de sonido de alta frecuencia para visualizar estructuras de tejido suave en tiempo real. Aunque las imágenes generadas por esta técnica son las de menor calidad, el proceso no utiliza ningún tipo de radiación lo que las convierte en las más seguras. Por tal motivo, son las mayormente utilizadas en mujeres embarazadas ya que la radiación producida en los métodos anteriormente mencionados, pueden producir malformaciones fetales.
- **Magnetic Resonance Imaging (MRI):** Las imágenes generadas por resonancia magnética son construidas a partir de grandes campos magnéticos para desplazar y alinear los núcleos atómicos (usualmente los protones de hidrógeno) dentro de los tejidos corporales y luego utilizar una señal de radio que rebota en dichos núcleos atómicos alineados. Los diferentes tejidos resuenan en distintas frecuencias lo que implica que devuelven señales diferentes siendo un computador quien utiliza estas diferenciaciones para generar la imagen (Figura 4.2)[31].



Figura 4.2: Imagen generada por MRI [2]

- **Medicina nuclear:** Utilizada principalmente para diagnosticar y/o tratar cáncer, esta técnica utiliza un material radioactivo denominado radio-fármaco el cual puede ser ingerido, inhalado o inyectado dependiendo de la estructura que se desee visualizar. Esta radio-sonda se adhiere al órgano o área a examinar y emite rayos gamma desde esta. Dichos rayos son detectados por una gamma-cámara la cual construye una imagen digital (Figura 4.3) [32].

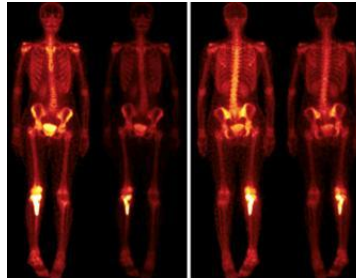


Figura 4.3: Gamma-grafía osea [3]

4.1.2. Angiografía

La angiografía como tal, es un examen que adquiere las imágenes generadas de los vasos como información para permitir al radiólogo, realizar diagnósticos del sistema arterio-venoso, información que no es alcanzable por medio de las radiografías comunes ya que este tipo de tejido no es lo suficientemente denso para absorber los rayos X lo que imposibilita que sean visualizados por los mismos (Figura 4.4).

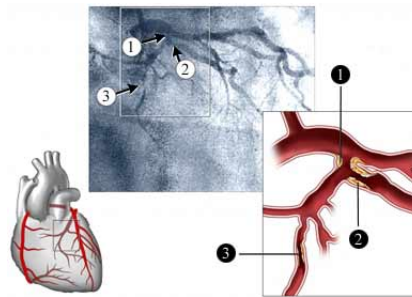


Figura 4.4: Angiografía tradicional [4]

El proceso de angiografía tradicional se divide en dos fases principales. La primera es la introducción del medio radio-opaco o medio de contraste el cual permite que los canales como venas, arterias y/o vasos linfáticos absorban los rayos X; el segundo, es la obtención de imágenes por medio de las radiografías tradicionales.

Las angiografías oficialmente iniciaron con el nobel portugués Egas Moniz [33], el cual en el año de 1927 creó la angiografía por contraste radio-opaco. En ese tiempo, esta técnica era demasiado riesgosa y era únicamente utilizada para diagnosticar trastornos cerebrales (tumores o malformaciones). Posteriormente las angiografías aumentaron su impacto ya que fueron utilizadas en otras partes del cuerpo, por otro lado, fueron más comúnmente utilizadas gracias

a una disminución drástica en el riesgo que implicaba. Esto se logró al implementar la técnica de Seldinger la cual eliminaba la necesidad de mantener el instrumental afilado dentro de la estructura de interés [34].

Cabe anotar que el término angiografía es el nombre de cualquier técnica que involucre la visualización de los canales del cuerpo como venas, arterias o cualquier otra estructura anatómica similar. Por lo tanto para cuestiones técnicas, se puede subdividir entre las siguientes:

- **Flebografía:** Estudio del recorrido de la circulación venosa.
- **Arteriografía:** Análisis de los vasos sanguíneos.
- **Angio-cardiografía:** Examen de las arterias ligadas al corazón.
- **Angio-neumografía:** Revisión de los canales involucrados con el tejido pulmonar.
- **Linfografía:** Exploración de los vasos linfáticos.

Las angiografías son en su mayoría ambulatorias. El proceso consiste en la inserción intravenosa de un catéter en una vena superficial a través de un área rasurada y localmente anestesiada. Comúnmente se ingresa por la ingle utilizando la arteria femoral o por el antebrazo por medio de la vena cubital (Figura 4.5). Dicho catéter es guiado a través de las arterias hasta el área de interés donde se inyecta el medio de contraste para posteriormente tomar las diferentes radiografías necesarias para el diagnóstico.

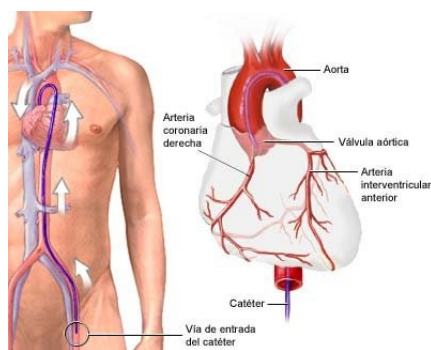


Figura 4.5: Catéter en angiografía tradicional [5]

Las angiografías poseen una serie de riesgos inherentes, por ejemplo, se tiene el riesgo de producir células cancerígenas por las dosis de radiación que recibe el paciente. Por otro lado, el medio de contraste por si solo, es potencial causante de reacciones adversas tales como simples náuseas, calor generalizado y enrojecimiento de la cara hasta reacciones más severas como urticaria generalizada, edema de laringe, hipotensión, bronco-espasmo severo o shock e incluso pueden llevar a la muerte por insuficiencia cardio-respiratoria, daño neurológico irreversible por hipotensión (baja presión sanguínea) o hipoxia (disminución severa de los niveles de oxígeno) [15]. Conjuntamente, la sangre puede generar coágulos ante la presencia del catéter con las consecuencias que esto implica además de la probabilidad de perforar alguna arteria con el catéter causando hemorragia o separación del tejido que pueda, posteriormente, bloquear el conducto. En casos menos comunes, si el paciente es diabético o sufre de alguna enfermedad en los riñones, puede sufrir daño renal al momento de eliminar el medio de contraste a través de la orina [4].

A pesar de todos los riesgos anteriormente mencionados, las angiografías se justifican en si mismas por la amplia variedad de beneficios, ya que además de permitir identificar la estructura del árbol cardiovascular por la fidelidad de

la información presentada y de aumentar la precisión de los diagnósticos y futuros tratamientos, exhibe la presencia de trombos, estenosis (estrechamiento), shunt arteriovenoso (cortocircuito), malformaciones y/o aneurismas (hernia) (Figura 4.6).

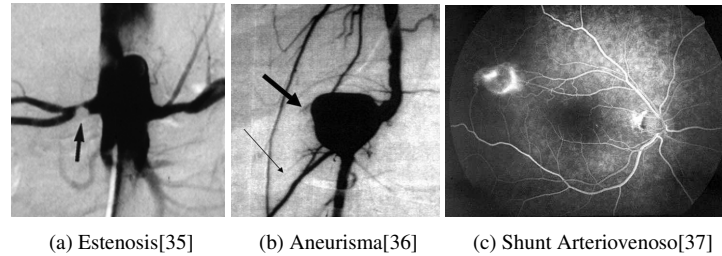


Figura 4.6: Algunos diagnósticos posibles por medio de angiografías

Técnicamente, el procedimiento de angiografía es invasivo por el hecho de necesitar la inserción del catéter. No obstante, se pueden encontrar técnicas no invasivas como la angiografía virtual (angio-tomografía o angiografía por tomografía computarizada) que proporcionan información de diagnóstico con igual precisión que la técnica invasiva [4].

4.2. Marco Teórico

4.2.1. Computación gráfica

La computación gráfica se define como el uso de un computador para producir y manipular imágenes. Nace oficialmente en 1955 con la primer aplicación gráfica interactiva, esta tenía como nombre SAGE (Semi-Automatic Ground Environment), un sistema creado en la guerra fría con el objetivo de rastrear las naves que ingresaran al espacio aéreo estadounidense [38].

Esta disciplina ha tenido un enorme crecimiento en la industria mostrando su potencial en varios campos de la misma. Entre los mas importantes encontramos [39]:

4.2.1.1. Visualización científica

La visualización científica como ramificación de la computación gráfica, tiene como objetivo exponer visual, táctil o auditivamente (entre otros) una serie de datos, facilitando así su entendimiento. La forma en la que se presenta la información está dada por la naturaleza de las cifras a estudiar y por la creatividad misma de quien las presenta para que el método que se escoja con dicho propósito, sea el más intuitivo posible (Figura 4.7) [40].

4.2.1.2. Computer-Aided Design (CAD)

El diseño asistido por computador ha modificado por completo la forma de trabajar de los arquitectos y diseñadores industriales al haber potenciado su productividad, dicho fenómeno ocurrió puesto que los productos y técnicas que brinda, reducen sus tiempos de producción al eliminar las diferentes molestias del papel y tinta. Sin embargo, los beneficios del CAD van mucho mas allá, ya que las herramientas CAD no solo generan versiones digitalizadas y planas de los diseños realizados, sino que por el contrario, permite la visualización tridimensional de los mismos desde diferentes perspectivas con el máximo detalle [41] (Figura 4.8).

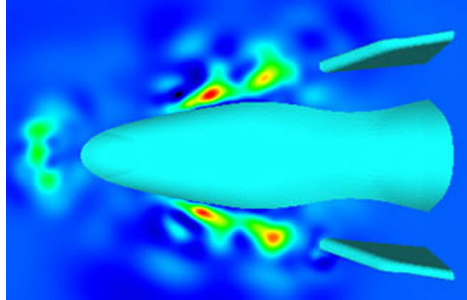


Figura 4.7: Visualización de flujo de aire en turbina de avión [6]

Cabe resaltar que por la utilización del color para representar la velocidad del aire, se pueden identificar con facilidad las zonas en la que este se mueve con mayor rapidez.

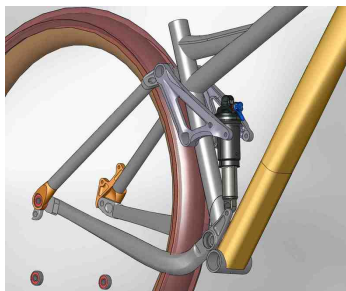


Figura 4.8: Diseño CAD de amortiguador de bicicleta [7]

Por otro lado, CAD ha impulsado la industria del diseño tanto a nivel arquitectónico como productivo, al haber aumentado la calidad de los productos permitiendo una mayor cantidad de iteraciones de los mismos. Asimismo, reduce los costos de producción al facilitar la generación de prototipos virtuales del producto o estructura en proceso de diseño sin la necesidad de materiales [42].

4.2.1.3. Entretenimiento

Desde 1972 cuando se desarrolló el juego Pong en Atari, la computación gráfica generó una industria que el día de hoy se convertiría en la quinta industria legal que mas dinero mueve a nivel mundial [43]. Esta última se nutre por parte de la computación gráfica desde la animación como las conocidas películas creadas por Pixar o DreamWorks, o desde el desarrollo de software y hardware con todo el mercado de consolas de videojuegos y la programación del juego mismo.

4.2.1.4. Medicina virtual

Hoy en día, una gran variedad de modalidades de imagenología computacional son ampliamente utilizadas por los profesionales de la medicina con fines de diagnóstico, entrenamiento, planeación pre-quirúrgica, tele-medicina entre otros[44]. Todo esto es posible gracias a los avances en computación gráfica que permiten la generación de ambientes virtuales específicos por paciente, a continuación se presentan las técnicas principales y más comúnmente utilizadas y requeridas de imagenología computacional[45]:

Visualización de volúmenes

Tal y como su nombre lo indica, es la presentación virtual de órganos o cuerpos extraños que hacen parte de la anatomía del paciente, el acercamiento más común es la reformación multi-planar, la cual consiste en la presentación

del cuerpo u órgano en cuestión, como una serie de cortes 2D. Puesto que cada corte puede ser analizado individualmente, los radiólogos aprenden a reconocer patrones estudiando el recorrido de los mismos. A pesar de que esta técnica es ampliamente utilizada en la práctica, existen situaciones en las que la presentación del cuerpo en 3D se vuelve necesaria.

Existen actualmente en el mercado gran cantidad de aplicaciones que permiten la reconstrucción tridimensional de la estructura de interés. Dicha reconstrucción genera una malla (típicamente de triángulos) la cual puede ser renderizada (Figura 4.9). Comúnmente se utiliza el algoritmo "Cubos Marchantes" para dicho fin [45].

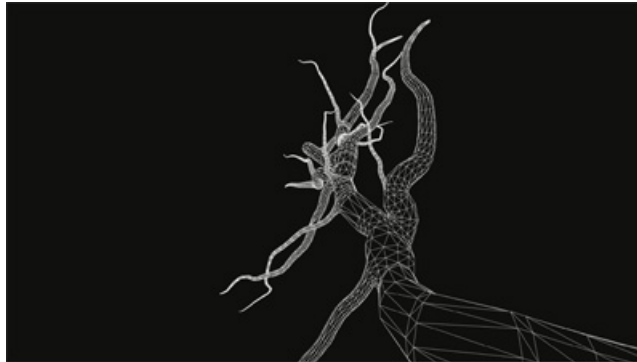


Figura 4.9: Malla de venas [8]

Fusión de imágenes

Ante la variedad de tecnologías de obtención y procesamiento de imágenes, puede llegar a ser útil presentar unificadamente el resultado de varias de dichas técnicas, obteniendo como producto final una visualización enriquecida con la información que cada una de las técnicas utilizadas. Este proceso se logra haciendo corresponder los datos de las diferentes técnicas, teniendo presente en todo momento, que cada uno de ellos tiene una naturaleza espacial y de formato distinta por venir de diferentes fuentes, esta metodología se le conoce como "Registro de imágenes". Dicho registro es más comúnmente utilizado entre modelos 3D, sin embargo, existen casos en los que se realiza dicho proceso con imágenes 2D a modelos 3D y ocasionalmente entre imágenes 2D [45].

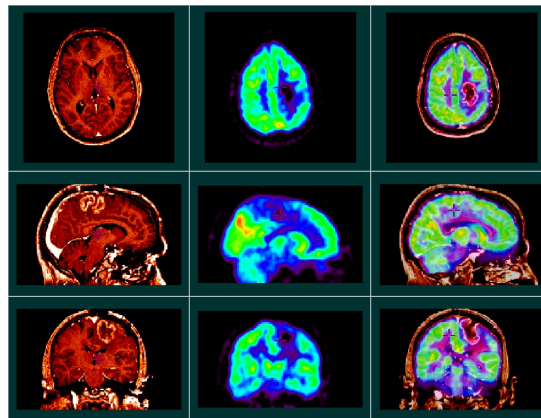


Figura 4.10: Registro de imágenes [9]

Fusión de un modelo 3D obtenido por tomografía de emisión de positrones (PET) con otro modelo 3D generado por medio de resonancia magnética (MR)

Modelado de tejidos blandos

La principal utilidad del modelado de tejidos blandos es la simulación de órganos y estructuras poco densas para sistemas de entrenamiento en cirugía. En un principio, dicha técnica se enfocaba meramente en la geometría del cuerpo en cuestión (su forma básica), deformándolo por medio de una serie de puntos de control que afectaban la forma de la estructura en estudio, sin embargo, en la mayoría de situaciones, el estado final del cuerpo ante los distintos estímulos, solía distar ampliamente de lo físicamente correcto.

En contraparte al modelado geométrico es el modelado físico, el cual omite la geometría misma ocasionando un comportamiento más realista, esto modelos incluyen información del tejido (dureza, tensión, posición, etc) generando una simulación acorde a la realidad. Cabe recalcar que un tópico de crítica importancia en esta técnica, es la detección de colisiones, especialmente entre objetos deformables y rígidos, puesto que la simulación de este tipo de sucesos involucra muchos más factores con la posibilidad de una mayor cantidad de reacciones.

Filtrado y segmentación de imágenes

Existe una serie de técnicas de filtrado del ruido de las imágenes obtenidas por medio de escaners, puesto que este es un efecto adverso inevitable. Dicho ruido difumina los límites de las diferentes estructuras anatómicas se ven afectados impidiendo identificar los distintos órganos y demás cuerpos que componen la imagen [45].

La segmentación de imágenes médicas ha sido desde entonces un amplio campo de estudio. Por lo tanto existen una gran cantidad de métodos de segmentación, los más comúnmente utilizados son [10]:

- **Clasificadores:** Dichas técnicas tienen como objetivo, fraccionar un espacio característico por medio de etiquetas cuantificables. Dicho espacio característico puede ser de cuantas dimensiones sea necesario, por ejemplo, el umbral de una imagen, vendría siendo un espacio característico de una dimensión. Implementaciones específicas de este tipo de segmentación son la umbralización o la técnica de región creciente.
- **Umbralización:** Busca segmentar la imagen al agrupar los datos de la misma, es decir, unifica los valores del modelo (puede ser color, densidad y demás) entre rangos definidos ya sea por el usuario o por el sistema mismo. Esta técnica es efectiva en estructuras altamente contrastantes ya que el producto final no presenta gran cantidad de detalle pero fortalece en gran medida la disparidad entre los diferentes elementos de la imagen (Figura 4.11).

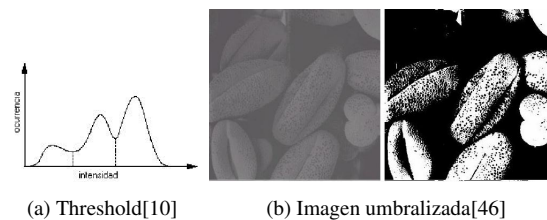


Figura 4.11: Umbralización

En este ejemplo, los valores incluidos en el rango del threshold dado, fueron pintados de negro mientras que los valores excluidos fueron representados en blanco.

- **Región-creciente:** Se extraen los puntos adyacentes a una semilla seleccionada manualmente por el usuario (punto inicial). Posteriormente se extraen los puntos adyacentes a estos y así sucesivamente siempre y cuando estos cumplan con algún criterio predefinido (por ejemplo, misma intensidad). Al igual que la umbralización, por su sencillez, estas técnicas son comúnmente utilizadas en conjunto con otras para obtener mejores resultados.
- **Agrupamiento:** También conocido como clustering, el agrupamiento utiliza heurísticas similares a las técnicas clasificadoras, con la diferencia principal de no requerir al usuario en el proceso. En su forma más básica, esta técnica unifica los datos calculando la media del valor de interés (como la intensidad o densidad) por cada clase, para posteriormente modificar los datos en cada punto del modelo por el valor de la media más cercano a este (Figura 4.12).

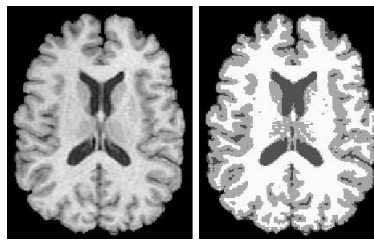


Figura 4.12: Técnica de agrupamiento [10]

- **Markov random field (MRF):** Los campos aleatorios de Markov no son clasificados típicamente como una técnica de segmentación, sino que por el contrario, se identifica como un complemento al método de agrupamiento. Los MRF modelan de manera estadística la interacción de cada punto con respecto a su vecindario bajo la suposición de que una estructura anatómica de un solo punto es de nula y por lo tanto asume que en la mayoría de los casos, cada punto hace parte de un cuerpo mucho mayor siendo este último el mismo del vecindario de puntos.
- **Artificial neural network (ANN):** Usadas más comúnmente con técnicas de clasificadores, las Redes Neuronales Artificiales (Artificial Neural Network) simulan aprender de errores en los resultados de la técnica con la que se esté utilizando en conjunto optimizando los resultados después de cada iteración. Las redes neuronales funcionan básicamente como un grafo de elementos simples capaces de realizar operaciones básicas, cada nodo de dicho grafo, posee un peso para cada una de sus conexiones, pudiéndolo modificar tras conocer el resultado de su último cálculo en conjunto.
- **Plantillas:** A pesar de la variabilidad anatómica de cada individuo, las estructuras encontradas entre ellos presentan patrones generalizados que pueden ser recolectados para la posterior construcción de un molde genérico para su posterior uso. La idea principal de esta técnica, consiste en utilizar el molde anteriormente mencionado (si este está disponible) como guía para la detección de las distintas partes del sistema anatómico de interés de un paciente específico, facilitando el reconocimiento de elementos individuales al compararlo con la estructura genérica.

4.2.1.5. Realidad Virtual

Se conoce como realidad virtual a toda simulación computacional generada o asistida de algún elemento del mundo real o imaginario [47] y que contrario a la creencia popular, no necesariamente debe dar al usuario la sensación de encontrarse en un mundo distinto al que realmente se encuentra.

A grandes rasgos, los sistemas de realidad virtual pueden ser divididos en [48]:

- **No-Inmersivos:** También conocidos como sistemas de escritorio, son aquellos que utilizan los medios convencionales de interacción y visualización, es decir, mouse, teclado y pantalla. Son usualmente utilizados para visualización científica y tienen como ventaja primordial el bajo costo que representa su implementación.
- **Inmersivos:** Son estos sistemas los cuales dan al usuario la sensación de estar en un mundo real o imaginario distinto al que realmente está. Para lograr esto, utiliza distintos dispositivos especializados de interacción como guantes, trackers o trajes especiales, así como hardware de visualización como Head Mounted Display (HMD) entre otros.

Aunque la realidad virtual inició con fines militares, hoy en día se ha posicionado en varias ramas de la industria, una de ellas es la tele-presencia/tele-robótica, la cual se vuelve necesaria para realizar exploraciones en lugares donde la presencia humana es imposible o demasiado riesgosa. Otro uso de la realidad virtual ampliamente conocido es en medicina en sistemas de entrenamiento o visualización. En arquitectura la realidad virtual se presenta con herramientas CAD, en entretenimiento con los videojuegos y películas animadas, en psicología con tratamiento de exposición a pacientes y mas[49].

4.2.1.6. Interacción Hombre-Máquina (HCI)

La interacción por si misma, puede ser vista como un proceso de transferencia de información. De este modo la interacción hombre-maquina podría ser definida como todo tópico de diseño, evaluación e implementación de sistemas de cómputo interactivos que optimicen dicho proceso de transferencia de información entre el usuario, el sistema que utiliza y viceversa. Dicha información no tiene siempre la misma naturaleza, hecho que se refleja en la variedad de dispositivos existentes lo que demuestra que los datos pueden ser introducidos y extraídos en igual numero de configuraciones [50, 51].

Cabe aclarar que gracias a la masificación de los sistemas computacionales en la industria y academia, actualmente se presentan mayor cantidad de incidentes que prueban que una intuitiva interacción con los mismos es esencial, especialmente al existir gran cantidad de antecedentes que demuestran los beneficios económicos a nivel empresarial, los beneficios de calidad a nivel industrial y beneficios de seguridad a nivel médico entre otros [25, 18].

Un motivo evidente de los problemas que actualmente se presentan con respecto a interacción hombre-máquina es la pobre usabilidad de los productos software la cual no se especificada en la mayoría de los casos en los requerimientos. Infortunadamente, incluso si dichos requerimientos están correctamente estipulados y presentan de manera explicita las necesidades de usabilidad de los usuarios, los entornos actuales de desarrollo de interfaces de usuario no soportan adecuadamente la mayoría de dichas solicitudes, con el agravante de no poseer la versatilidad necesaria para afrontar las necesidades emergentes. Por tal motivo, Obrenovic y Adikari expresan la necesidad de un paradigma radicalmente nuevo junto con un soporte de desarrollo mejorado [52, 53] para manejar este tipo de problemas recurrentes.

4.3. Antecedentes

Indudablemente la forma en que se realizan muchos de los métodos radiológicos hoy en día, se vieron afectados en gran medida por la masificación de las Tomografías Axiales Computarizadas (TAC), este impacto se evidencia especialmente en lo referente a diagnósticos e intervenciones de tejidos blandos[54] como el sistema cardiovascular, por tal motivo, en la última década se han venido desarrollando una serie de sistemas que utilizan las bondades del TAC y demás técnicas radiológicas de visualización para realizar angiografías de una manera menos invasiva y dolorosa.

Se analizan principalmente dos trabajos por su similitud al proyecto actual, el primero es el caso de Enrico Gobbetti[11] en el trabajo llamado "Interactive Virtual Angioscopy" del centro para estudios avanzados, investigación y desarrollo en Sardinia, Italia. El autor expone el desarrollo de una herramienta interactiva que al igual que el sistema actual, visualiza datos previamente adquiridos por técnicas genéricas. Aunque este sistema utiliza dispositivos de inmersión con visualización estereoscópica del modelo, utiliza los dispositivos de interacción convencionales o lo limita a uno solo (Figura 4.13), dejando sin explotar todo el potencial de una interacción hombre-máquina de alta versatilidad.



Figura 4.13: Tomado de "Interactive Virtual Angioscopy" de Enrico Gobbetti [11]

Por otro lado, el trabajo llamado "3D Interactive Virtual Angioscopy" escrito por Dirk Bartz[55] del departamento de neurología del hospital universitario de Tübingen (Alemania) el cual expone el desarrollo de un sistema que omite las ventajas espaciales inherentes a la inmersión virtual y que al igual que la mayoría de trabajos encontrados, se enfoca principalmente en los métodos de segmentación de las imágenes dejando de lado la posibilidad de uso de interacción no genérica.

Capítulo 5

DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

5.1. Determinar las características y particularidades de las técnicas angiográficas.

La información necesaria para caracterizar dichos procesos fue obtenida principalmente desde los desarrollos investigativos de diferentes universidades, se comenzó por conceptualizar la radiología de manera genérica, investigando los distintos métodos de visualización de las estructuras del cuerpo para poder localizar las angiografías en su marco de conocimiento.

Se identifica que las angiografías tradicionales, además de tener una serie de ventajas que las posicionan fuertemente en el ámbito médico, posee igualmente desventajas con respecto a la integridad del paciente por la naturaleza semi-invasiva de la técnica y las características adversas de los químicos inyectables necesarios para la intervención. Estas desventajas se pueden minimizar al utilizar otras técnicas radiológicas diferentes a las radiografías, haciendo énfasis en que estas técnicas modernas, al utilizar equipos de cómputo, permiten el componente virtual de las diferentes técnicas y teniendo como resultado, las ventajas previamente mencionadas de las contraparte digital de la radiología.

5.2. Integrar el motor gráfico OGRE y el Framework de interconexión de dispositivos VRPN.

La selección de los Frameworks no tuvo un arduo proceso, con respecto al motor gráfico, se requería que fuera open-source por el hecho de tener poco presupuesto para el proyecto, de igual forma, este debía tener una amplia documentación, popularidad y para facilidad de implementación en etapas futuras, debía tener la capacidad de interpretar cuaterniones. Por ello se elige OGRE, no implicando así que otros motores gráficos open-source del mercado no cumplieran las características anteriormente mencionadas, sino porque actualmente se conoce en un mayor nivel dicho motor gráfico lo que lo vuelve el candidato perfecto, además de eliminar la necesidad de previa capacitación y de lidiar con la inexperiencia de nuevo software, lo que impactaría negativamente en el desarrollo del proyecto.

Con respecto a VRPN, los Frameworks encontrados se enfocan en la conexión local de un solo tipo de dispositivo, características que eliminarían las ventajas que se buscaban con el proyecto, además, VRPN permite la conexión de distintos dispositivos en terminales locales y remotas utilizando las bondades de los sistemas distribuidos.

Con la unión de estos Frameworks y las librerías utilitarias Boost, se crea VOB (Vrpn-Ogre-Boost). VOB es una abstracción y parcial implementación del patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador) más específicamente los módulos de Vista y Controlador (Figura 5.1), permitiendo al usuario de VOB la implementación del modelo con relativa facilidad sin preocuparse de los detalles técnicos del manejo de eventos y configuración de la escena.

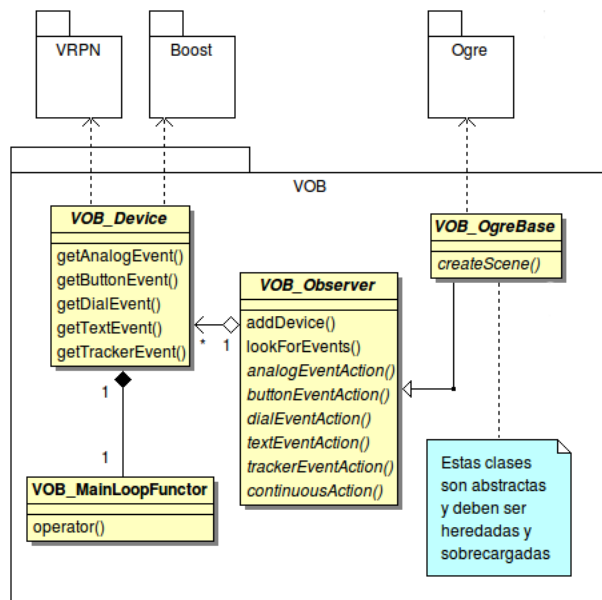


Figura 5.1: Diseño final de VOB

De igual forma, VOB implementa el patrón Observer asegurándole al usuario la recolección de los eventos de los dispositivos, esto lo logra creando 5 buffers dedicados para cada conexión de dispositivo, una para cada tipo de evento (análogo, botón, dial, texto, tracker) que exista, de igual manera, VOB_Observer es una clase en la que cada instancia gestiona su propio hilo de proceso (a esto se le conoce en Boost como Functor) permitiendo un ciclo infinito de verificación de eventos en los diferentes buffers de cada uno de los dispositivos conectados.

5.3. Generar modelos visualizables en OGRE a partir de parámetros de modelos RGC (Right Generalized Cylinder)

Los datos de entrada al sistema vienen en forma de un archivo XML el cual tiene los parámetros de una sucesión de cilindros unidos por un eje común. El eje común de los cilindros se interpreta por medio de la terna de Frenet, la cual permite abstraer un segmento de línea describiéndola en función de su longitud, curvatura y torción (Figura 5.2a). Por otro lado, el cilindro en sí, está abstraído en los parámetros necesarios para calcular un contorno de Fourier, el cual utiliza una armónicos para simular una serie de cuerpos orbitando, generando contornos complejos al mapear el recorrido de la última órbita (Figura 5.2b).

La interpretación de los parámetros para la terna de Frenet y los contornos de Fourier son interpretados el módulo de RGC que hace parte del trabajo "Modèle d'état de cylindre généralisé et la quantification de sténoses artérielles en imagerie 3D" de Leonardo Flórez del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Lyon, Francia. Dicho módulo discretiza los parámetros en una grilla del sistema de análisis de imágenes ITK y la traduce al sistema de visualización de imágenes VTK (Figura 5.3). Puesto que estos formatos de datos no son compatibles con OGRE, se hace necesaria la discretización del modelo recorriéndolo a lo largo del eje y al rededor de este (Figura 5.4) generando un nuevo archivo XML con la información de los puntos y vértices.

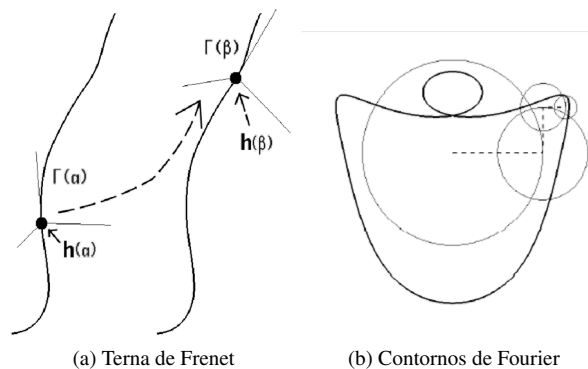


Figura 5.2: Abstracción matemática del modelo [12]

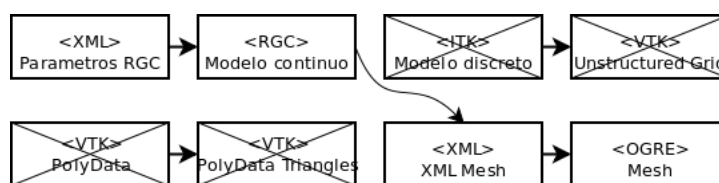


Figura 5.3: Traducciones de formato excluidas

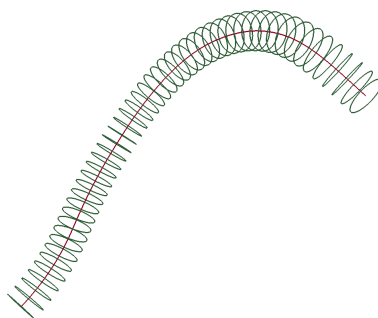


Figura 5.4: Cilindro RGC [12]

Puesto que OGRE provee una aplicación de traducción de formato XML a su tipo de archivo (Mesh) llamada OgreXmlConverter, se programa un llamado de consola desde el sistema para que sea el mismo Ogre el que realiza la traducción final de los datos. Cabe aclarar que no existe heurística para la discretización del modelo, ya que es el usuario quien define el nivel de detalle que necesite. La presentación de los modelos es en forma de malla, puesto que el sistema tiene como objetivo la presentación de la estructura de vaso sanguíneo obviando detalles como textura y color.

5.4. Desarrollar el sistema de angiografía virtual con dispositivos de interacción no convencionales.

La visualización del vaso sanguíneo se presenta como un recorrido guiado por dentro de la estructura, o como un desplazamiento libre incluso fuera de la misma, estos son los dos modos de interacción que maneja SAVI los cuales fueron nombrados "modo guiado" y "modo libre" respectivamente. En el primero, el movimiento se limita solo a

avance y retroceso, ya que todo desplazamiento se realiza sobre el eje del canal guiado por los puntos previamente discretizados en el eje del modelo y orientando la cámara con los vectores tangente, normal y binormal que hacen parte de la terna de Frenet; el segundo, permite una movilidad total utilizando un mayor numero de gestos y comandos desde los dispositivos (Figura 5.5). Estos últimos, tal y como lo mencionan los objetivos, son dispositivos de interacción no convencionales siendo el WiiMote, GamePad, Joystick y DataGloves los seleccionados para el proyecto, todos estos funcionan excluyéndose pero siempre trabajando en conjunto con el HMD y tracker.

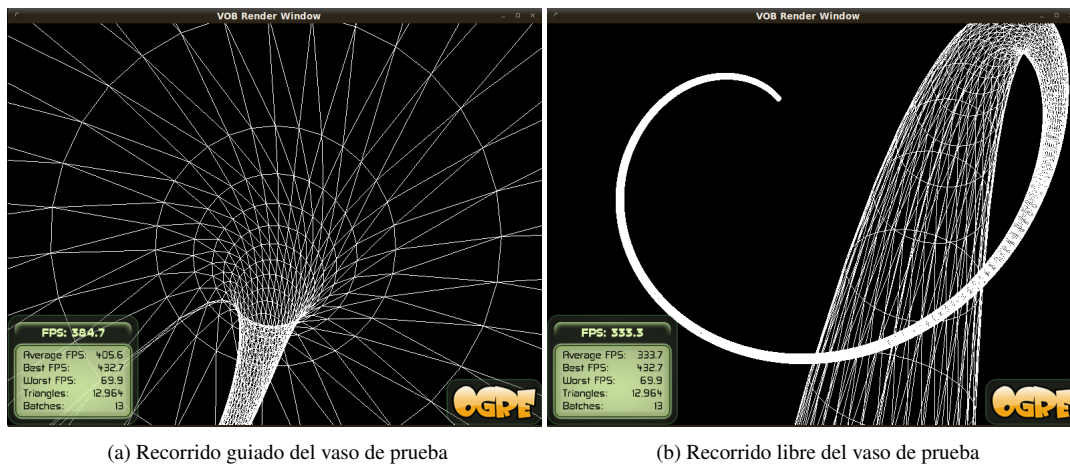


Figura 5.5: Visualización del sistema

La integración del HMD y tracker se realiza con relativa sencillez, no obstante, el registro del movimiento era poco fluido e incomodo, es por ello que se consideró filtrar los datos recibidos para suavizar el movimiento pero se descubrió que es tan solo un problema de ruido ya que estos dispositivos son muy sensibles al magnetismo que generan los equipos electrónicos y luces de neón. Por lo tanto se sugiere utilizar el emisor del tracker relativamente cerca al sensor o en un área adecuada para este tipo de dispositivos.

5.4.1. GamePad, WiiMote y Joystick

Los tres dispositivos son de naturaleza similar lo que hace que su integración al sistema sigan un patrón, los tres dispositivos generan eventos de tipo botón y análogos. Específicamente el Joystick genera estos últimos al inclinar la palanca (Figura 5.8) mientras que el WiiMote (Figura 5.7) y GamePad (Figura 5.6) los generan al inclinarse.



Figura 5.6: Logitech Wingman Gamepad Extreme [13]

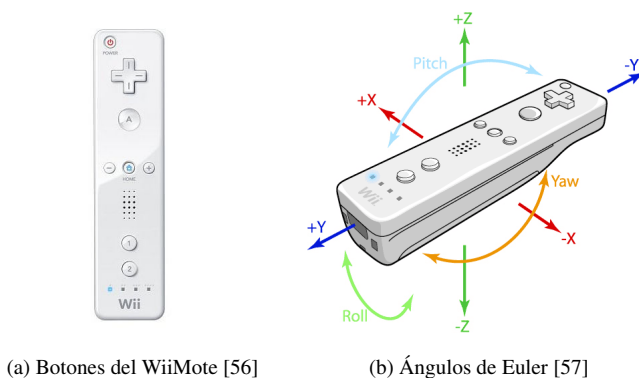


Figura 5.7: WiiMote



Figura 5.8: Joystick Logitech WingMan Force 3D [14]

5.4.2. DataGloves

Puesto que los DataGloves son dispositivos de una naturaleza totalmente distinta a los previamente mencionados, el modo de interacción cambia radicalmente. La primer diferencia sustancial de la interacción de los guantes con respecto a los demás dispositivos, es la ausencia de algún elemento que pueda ser usado como control de dirección, por lo tanto, al momento de utilizar los DataGloves en SAVI, solo se podrá controlar la cámara por medio de la orientación de la cabeza. Por otro lado, cabe recalcar el hecho de que en este caso se están usando dos dispositivos en vez de uno, por tal motivo fue necesaria la implementación de gestos distintos para cada mano.

La mano derecha es la que controla el desplazamiento dentro del modelo, tal y como se presenta en la siguiente serie de figuras (Ver Figura 5.9).

Por otro lado, la mano izquierda brinda la posibilidad de emular el apagado del tracker, no obstante, su función principal es la selección entre el modo guiado y el modo libre dependiendo de la apertura de la mano; el modo guiado se selecciona teniendo el puño cerrado, dando la ilusión de estar "agarrando" el modelo; en contraparte, al abrir la mano, se "suelta" la estructura seleccionando el modo libre.

Fue necesario realizar pruebas con un modelo más reciente de DataGloves, incorporar el API del fabricante 5DT en el código fuente del servidor que corre en la terminal donde se encontrara conectado el guante, incluir un modulo del API de 5DT que reconoce gestos como representaciones binarias de números y replicar el servidor de dispositivos en terminales Windows para que cada guante funcionara de manera independiente.

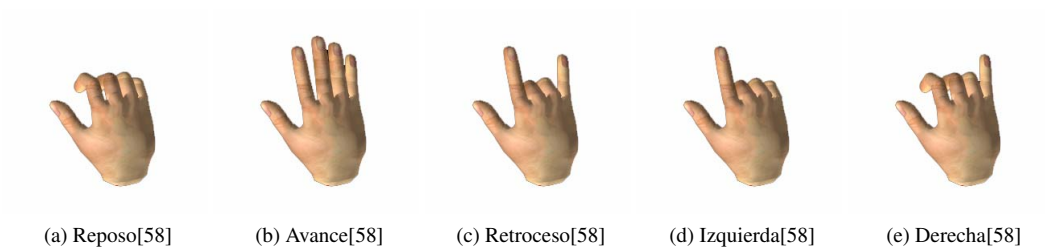


Figura 5.9: Gestos del DataGlove derecho para SAVI

Capítulo 6

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1. Conclusiones

La pregunta generadora del presente proyecto impulsaba a buscar nuevas alternativas de interacción especificando como integrarlas a los sistemas existentes; es así como a lo largo del presente documento, se expusieron una serie de dispositivos no convencionales en sistemas médicos, además del desarrollo de VOB como alternativa de integración de los mismos.

Tal y como lo mencionan los resultados de los estudios de la universidad de Ohio y la ponencia de trigésimo-cuarto encuentro de la sociedad de factores humanos en Santa Mónica, la interacción hombre-máquina puede llegar a ser el factor decisivo en la productividad de las empresas o del éxito de alguna intervención médica, no obstante, las aplicaciones se siguen enfocando en la parte estética de lo visual mas que en su facilidad, comodidad y verdadera utilidad.

El sistema desarrollado tiene el potencial de inspirar y/o ser una plataforma de pruebas para poder diseñar mas y mejores maneras de interactuar con sistemas de la naturaleza de SAVI por su versatilidad en cuanto a dispositivos de interacción, y de como dicha mejora, puede representar una disminución en los riesgos de complicaciones de los pacientes por mala utilización por parte del personal de salud o a nivel empresarial, generar ahorros significativos.

Por último, se encontraron diferentes sistemas que aunque tienen un enfoque más interactivo, limitan la interacción al dispositivo seleccionado por dicho proyecto eliminando la posibilidad de escalar a nuevas y posiblemente mejores maneras de interacción. SAVI junto con VOB elimina estos problemas brindando la posibilidad de una mayor personalización sin obligar al usuario a acoplarse a la manera en que el desarrollador espera que este interactúe con el sistema.

Esta forma de interacción, en la cual es el sistema el que cambia con el usuario es el nuevo paradigma propuesto que buscan Obrenovic y Adikari [52, 53], de igual manera un trabajo futuro sería la validación del mismo.

6.2. Recomendaciones

Ya que los principales obstáculos en el desarrollo del proyecto se presentaron por problemas con los Frameworks utilizados, se sugiere validar el correcto funcionamiento de los mismos en los principales aspectos a utilizar para minimizar incidentes de falsas asunciones.

Por otro lado, después de haber presentado la importancia de una correcta interacción hombre-maquina, se invita al

departamento a profundizar en la enseñanza de dichos temas a futuros profesionales en el área, e igualmente, mantener un inventario de dispositivos actuales para complementar dicha instrucción.

6.3. Trabajos Futuros

Actualmente, la interacción desde SAVI al usuario es solo visual, por lo tanto, sería interesante aumentar la cantidad de sentidos involucrados con el fin de establecer el modelo de interacción de sistemas médicos óptimo en cuanto a facilidad y completitud, bajo esa recomendación, se sugiere añadir al sistema, un modulo que permita la retroalimentación de fuerzas y conjuntamente, identificar cuales serían los mejores dispositivos para dicho fin ya que los presentados en el presente proyecto carecen de esa capacidad exceptuando el Joystick.

Utilizar SAVI para realizar estudios de interacción, sería la mejor manera de explotar el potencial del sistema y de igual manera, validar si un paradigma de interacción como este es realmente útil para los sistemas del futuro.

Paralelamente, VOB tiene el potencial de ser utilizado en sistemas distintos a los relacionado con el área médica, por lo tanto podría ser empleado con el fin de integrar dispositivos no convencionales en sistemas de otras ramas de la industria, con la posibilidad de reconocer oportunidades de mejora al Framework.

Del mismo modo, el sistema no tiene la necesidad de utilizar OGRE, por lo tanto, el utilizar otros motores gráficos podría dar información valiosa para sistemas de esta naturaleza.

Bibliografía

- [1] THI. (2009, Ene) Angiografía. Texas Heart Institute. [Online]. Available: http://www.texasheartinstitute.org/HIC/Topics_Esp/Diag/diango_sp.cfm
- [2] E. Phillips. (2009) Magnetic resonance imaging (mri). Melissa Memorial Hospital. [Online]. Available: <http://www.melissamemorial.org/CMS/Show?id=18>
- [3] A. Coral-Follenco. (2010) Imagenología en medicina nuclear. Université de Paris VI - "Pierre et Marie Curie". [Online]. Available: <http://www.ipitimes.com/mnuclear.htm>
- [4] Ferato. (2010) Angiografía. Enciclopedia Médica - CSC (Ferato). [Online]. Available: <http://www.ferato.com/wiki/index.php/Angiograf%C3%ADa>
- [5] AEEC. (2006) Angiografía coronaria. Enfermería en cardiología. [Online]. Available: http://www.enfermeriaencardiologia.com/grupos/hemodinamica/formacion/galeria/diapositivas/dibujos_anatomicos/angiografia_c
- [6] E. Vega. (2008) La percepción en la visualización científica. Universidad Nacional Autónoma de México. [Online]. Available: <http://www.enterate.unam.mx/artic/2008/septiembre/art3.html>
- [7] D. Howes. (2006) Cad models and the mainliner. Trek. [Online]. Available: http://trekmountain.typepad.com/photos/uncategorized/2007/08/01/mainliner_140_cad_image01_2.jpg
- [8] R. LASSALLE. (2008) Mri. Sellulloyd. [Online]. Available: <http://dekobot.com/blog/?p=1147>
- [9] L. Ding. (1999) Registration of multimodal volume images. Wallace-Kettering Neuroscience Institute. [Online]. Available: <http://www.cs.wright.edu/people/faculty/agoshtas/nih96.html>
- [10] E. Coto. (2003) Métodos de segmentación de imágenes médicas. Universidad Central de Venezuela. [Online]. Available: lcg.ciens.ucv.ve/ernesto/nds/CotoND200305.pdf
- [11] E. Gobbetti, P. Pili, A. Zorcolo, and M. Tuveri, "Interactive virtual angioscopy," 1998. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.13.3236>
- [12] L. Florez, "Modele d'état de cylindre generalise et la quantification de stenoses arterielles en imagerie 3d," Ph.D. dissertation, INSA de Lyon, 2006.
- [13] UTV. (2003) Mega gaming peripheral comparison. UTV techtree. [Online]. Available: http://www.techtree.com/India/Reviews/Mega_Gaming_Peripheral_Comparison/551-48589-544-14.html
- [14] TCC. (2000) Logitech wingman force 3d. The Control Center. [Online]. Available: <http://www.joystick.net/reviews/joysticks/force3d1.htm>

- [15] D. Colodenco. (2001) Reacciones adversas a medios de contraste radiológicos: criterios y conductas. Asociación Argentina de Alergia e Inmunología Clínica y Sociedad Argentina de Radiología. [Online]. Available: www.sld.cu/galerias/pdf/.../recciones_adversas_medios_de_contraste.pdf
- [16] C. Morales. (2007, Dic) Angiotomografía con multidetectores (tcmd): ¿nueva prueba de oro para el diagnóstico de lesiones vasculares de las extremidades? Scientific Electronic Library Online. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-07932007000400005&script=sci_arttext
- [17] A. Rodriguez. (2008) Radiología. [Online]. Available: <http://clinica.unsaac.edu.pe/radiologia.html>
- [18] J. Wood, "Medical devices can be too complex," *USA Today Magazine*, vol. 126, 1997.
- [19] CN. (2010) Angiografía. CardioNet.it. [Online]. Available: www.cardionet.it/divulgativo/esamiInterventi/esami/angiografia.pdf
- [20] RSNA. (2010) Angiografía por catéter. Radiological Society of North America. [Online]. Available: <http://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=angiocath>
- [21] H. de Greenwich. (2006) ¿qué es una angiografía o arteriografía? Virginia Radiology Associates. [Online]. Available: www.greenhosp.org/pe_pdf.../cardiology_angiography.pdf
- [22] C. Gale. (2008) Radiologic technology. American Society of Radiologic Technologists. [Online]. Available: http://findarticles.com/p/articles/mi_hb3387/is_3_77/ai_n29243770/
- [23] A. Alcaraz. (2007) Pruebas radiológicas con contraste. Tratado Enfermería Cuidados Críticos Pediátricos y Neonatales. [Online]. Available: <http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion2/capitulo31/capitulo31.htm>
- [24] C. Gamundi, "Farmacia hospitalaria - tomo ii," *Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria*, 2002. [Online]. Available: <http://www.sefh.es/bibliotecavirtual/fhtomo2/CAP01.pdf>
- [25] C. Karat. (1990) Cost-benefit analysis of usability engineering techniques. Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting. [Online]. Available: http://www.interaction-design.org/references/conferences/proceedings_of_the_human_factors_society_34th_annual_meeting.html
- [26] UIPR. (2001) Human computer interfaces. Universidad Interamericana de Puerto Rico. [Online]. Available: <http://www.sg.inter.edu/acc/prMISv01/irizarryj/tres.html>
- [27] RSNA. (2010) Who is a radiologist? Radiological Society of North America. [Online]. Available: <http://www.radiologyinfo.org/en/careers/index.cfm?pg=diagcareer>
- [28] TMN. (2010) What is radiology? The Medical News. [Online]. Available: <http://www.news-medical.net/health/What-is-Radiology.aspx>
- [29] U. Spine. (2010) Spinal deformity in adults: Common types of idiopathic and degenerative disorders. Vertical Health. [Online]. Available: http://static.spineuniverse.com/displaygraphic.php/139/dp_planes-BB.gif
- [30] Bortolossi. (2010) Tomography game. Universidad Federal Fluminense. [Online]. Available: <http://www.uff.br/cdme/tomografia/tomografia-html/tomografia-en.html>
- [31] D. Dugdale. (2010) Resonancia magnética. University of Washington School of Medicine. [Online]. Available: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003335.htm>

- [32] RSNA. (2010) En qué consiste la medicina nuclear general. Radiological Society of North America. [Online]. Available: <http://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=gennuclear>
- [33] F. Nobel. (2010) The nobel prize in physiology or medicine 1949. The Nobel Prize. [Online]. Available: http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1949/moniz-bio.html
- [34] E. Panadero. (2007) Técnica de seldinger. Unidad de Urgencias y Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital General Universitario Gregorio Marañón. [Online]. Available: <http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion3/capitulo46/capitulo46.htm>
- [35] F. de Cobelli. (2010) Renal arterial stenosis: Prospective comparison of color doppler us and breath-hold, three-dimensional, dynamic, gadolinium-enhanced mr angiography. Radiological Society of North America. [Online]. Available: <http://radiology.rsna.org/content/214/2/373.full>
- [36] UDP. (2010) Trattamento endovascolare degli aneurismi poplitei. Clinica di chirurgia vascolare ed endovascolare - Università di Padova. [Online]. Available: <http://www.chirurgiavascolarepadova.it/ViewPageDinamiche.aspx?id=57&l=2>
- [37] USACH. (2010) Descripción del parásito toxoplasma gondii. Universidad de Santiago de Chile. [Online]. Available: <http://toxoplasma-gondii.blogspot.com/>
- [38] DIICC. (2007) Historia de la computación gráfica. Universidad de Concepcion. [Online]. Available: asignaturas.inf.udec.cl/cgraf/public_html/historia.pdf
- [39] L. Florez. (2009) Introducción a la computación gráfica. Pontificia Universidad Javeriana. [Online]. Available: http://sophia.javeriana.edu.co/lib/exe/fetch.php?id=computacion_grafica&cache=cache&media=courses:compugrafica:01_introduccion.pdf
- [40] A. Meneses. (2010) Visualización científica. Primero congreso internacional de supercomputo (ISUM). [Online]. Available: <http://www.isum2010.com.mx/visualizacion-cientifica>
- [41] AD. (2010) The importance of cad. Architectural Drafting. [Online]. Available: <http://www.architecturaldrafting.com/importance-cad.html>
- [42] V. Bradley. (2004) 13 potential benefits of 3d cad. 3DCADTips. [Online]. Available: http://www.caddigest.com/subjects/mcad/select/093004_3dcadtips_3dcad.htm
- [43] Economía. (2010) Las industrias que más dinero mueven en el mundo. elEconomista.es. [Online]. Available: <http://listas.economista.es/economia/240-las-industrias-que-ms-dinero-mueven-en-el-mundo>
- [44] R. McCloy. (2001) Virtual reality in surgery. British Medical Journal. [Online]. Available: <http://www.bmj.com/content/323/7318/912.full>
- [45] F. Vidal. (2006) Principles and applications of computer graphics in medicine. University of Wales. [Online]. Available: <http://www.google.com>
- [46] UCIIM. Operaciones puntuales. Universidad Carlos III de Madrid. [Online]. Available: http://www.tsc.uc3m.es/imagen/Curso_ProcesadoBasico/Contenido/OperacionesPuntuales/OperacionesPuntuales.html

- [47] E. Corrado. (2001) Tecnologías de realidad virtual: Modelo edificio inteligente. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México. [Online]. Available: <http://telematica.cicese.mx/computo/super/cicese2000/realvirtual/>
- [48] J. Ledesma. (2008) Introducción a la realidad virtual. Universidad Politécnica de Madrid. [Online]. Available: <http://insn.die.upm.es/docs/VR0304.pdf>
- [49] C. Bustacara. (2008) Realidad virtual. Pontificia Universidad Javeriana. [Online]. Available: http://sophia.javeriana.edu.co/cbustaca/Realidad8_03/MaterialCurso.html
- [50] A. Dix. (2005) Human-computer interaction. Asociación Cognac. [Online]. Available: http://cognac.ai.ru.nl/studie/MMI_summary.pdf
- [51] Hewett. (1996) Human-computer interaction. ACM. [Online]. Available: <http://old.sigchi.org/cdg/cdg2.html>
- [52] Z. Obrenovic. (2005) Model-driven development of user interfaces: Promises and challenges. EUROCON 2005. [Online]. Available: <http://sophia.javeriana.edu.co/lcdiaz/HCi2008-1/DA-HCI.pdf>
- [53] S. Adikari. (2006) User and usability modeling for uci/umi: A research design. University of Canberra. [Online]. Available: <http://sophia.javeriana.edu.co/lcdiaz/HCi2008-1/sabilityInHCI.pdf>
- [54] G. Barrera. (1998) La tecnología en la medicina moderna. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. [Online]. Available: <http://www.umich.mx/univ/publica/contacto/mar98/ciencia2.html>
- [55] D. Bartz, M. Skalej, D. Welte, and W. Straber, "3d interactive virtual angioscopy," 1999. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.42.7674>
- [56] BlueSoleil. (2008) Bluetooth. WiiProjects.org. [Online]. Available: <http://www.wiiprojects.org/bluetooth.html>
- [57] Nderc. (2010) Wiimotelib. Notre Dame extended Research Community. [Online]. Available: <http://nderc.wikispaces.com/WiiMotelib>
- [58] 5DT. (2010) 5dt data glove ultra series user's manual. Fifth Dimension Technologies. [Online]. Available: <http://www.5dt.com/downloads/dataglove/ultra/5DT%20Data%20Glove%20Ultra%20-%20Manual.pdf>