



Entornos Virtuales de Simulación para Formación Médica

PLAN DE INVESTIGACIÓN

PROGRAMA DE DOCTORADO EN FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Santiago González Izard

DIRECTORES: Juan Antonio Juanes Méndez y Francisco José García Peñalvo

FECHA: 10 de Mayo de 2017

INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA OBJETO DE ESTUDIO

La Realidad Aumentada y la Realidad Virtual son, en la actualidad, dos de las tecnologías más emergentes, con grandes posibilidades de actuación en diferentes campos [1], como la industria automovilística y aeroespacial, educación, entretenimiento y, por supuesto, medicina, donde destacaremos su actuación en la formación médica, pero también otros campos como podrían ser tratamientos contra la drogodependencia o problemas psicológicos [2, 3, 4, 5].

[6] Durante la última década, los gobiernos y grandes empresas han encontrado en la Realidad Virtual una tecnología con un gran potencial para la formación. Por eso no es de extrañar que organizaciones como la MSHA (*American Mine Safety and Health Administration*), encargada de la seguridad y el cuidado médico de los mineros en América, haya solicitado la implementación de sistemas de Realidad Virtual para la formación de los mineros. Esto es sólo un ejemplo de cómo esta tecnología puede ayudar a la sociedad actual y su tejido empresarial a mejorar la formación de las personas.

La Realidad Virtual nos permite crear entornos de visualización inmersiva de estructuras anatómicas, favoreciendo así considerablemente el proceso de aprendizaje médico, al poder observar cualquier estructura en tres dimensiones, gracias a la utilización de gafas estereoscópicas, obtenido así, un aspecto visual en el que los alumnos podrán apreciar una sensación de profundidad, pudiendo estudiar mucho más fácilmente la anatomía del cuerpo humano [7, 8]. Además, como se ha demostrado en multitud de estudios realizados, la inmersión permite a los alumnos comprender más rápidamente los conceptos, considerándose la Realidad Virtual como una importante herramienta de enseñanza-aprendizaje. Si comparamos estos sistemas con técnicas tradicionales, como son los propios libros de texto, atlas con imágenes, vídeos o incluso recreaciones tridimensionales para ordenador, nos encontramos con que ninguna de estas técnicas permite al alumno obtener una percepción de profundidad, que tan importante resulta para entender y comprender realmente la estructura volumétrica y forma de las diferentes partes anatómicas.

Sin embargo, tenemos que tener en cuenta que no se trata simplemente de utilizar unas gafas estereoscópicas, ya que lo más importante es crear los sistemas de Realidad Virtual para dichas gafas. Para ello, habrá que realizar un estudio exhaustivo, tanto de los contenidos, como del propio sistema en sí, para ofrecer al alumno una experiencia virtual que realmente consiga impactarle, pero sobre todo que le permita adquirir los conocimientos que ofrece el entorno virtual de una forma más eficiente que mediante la utilización de herramientas formativas clásicas [9, 1, 10, 7]. Tecnológicamente existen otras aproximaciones dentro del sector de la Realidad Virtual que no implican el uso de gafas, como son las CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), monitores binoculares omnidireccionales BOOM (*Binocular Omni-Oriented Monitors*) o mesas interactivas. Dentro de las tecnologías anteriores, quizás podemos destacar lo que se conoce como CAVE, que son entornos, normalmente rectangulares y de pocos metros cuadrados, donde en todas las paredes se proyecta una imagen, dando la sensación de encontrarnos dentro de un mundo virtual. No obstante, las CAVE son costosas y la tecnología que más está llegando a la sociedad y más se está popularizando son las gafas estereoscópicas de Realidad Virtual, por lo que nos centraremos en ellas como dispositivo a utilizar para nuestras simulaciones de Realidad Virtual.

Por otro lado, la Realidad Aumentada nos permite visualizar cualquier objeto virtual como si formara parte de nuestra realidad [17, 18]. Actualmente ya se ha comprobado la efectividad de esta técnica para el aprendizaje en ámbitos como las matemáticas, ciencia o ingeniería, y en esta ocasión estudiaremos su aplicación como recurso de enseñanza aprendizaje en el ámbito médico. Así, podremos por ejemplo visualizar un cráneo humano sobre una mesa y manipularlo como si fuera real, pudiendo incluso seccionarlo para estudiar su interior y todas sus partes [11, 12].

Por tanto, resulta evidente el interés del ámbito médico en aplicar las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual a la formación en este campo, especialmente en el de la anatomía, que será uno de los campos en los que se centrará la investigación de esta Tesis Doctoral.

Los datos revisados en la bibliografía que se adjunta constatan la importancia que la Realidad Virtual tendrá en nuestras vidas en un futuro cercano, y resulta evidente que esta nueva tecnología tendrá aplicación en el ámbito docente, y especialmente en el campo médico. En esta Tesis Doctoral no solo se estudiará cómo la Realidad Virtual puede aplicarse con este objetivo concreto, sino que además se implementarán diferentes sistemas software que sirvan como herramientas educativas para estudiantes de diversas disciplinas médicas, analizando el impacto que estas herramientas tienen como recurso docente.

HIPÓTESIS DE TRABAJO Y PRINCIPALES OBJETIVOS A ALCANZAR

En este plan de investigación, se analizarán las diferentes oportunidades que ofrecen las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual al ámbito de la formación en la medicina. Se realizará un estudio con una base fundamental enfocada hacia el aprendizaje de la Anatomía Humana, además de otras aplicaciones orientadas a otras materias como la cardiología, la cirugía, odontología y la radiología.

Además, este trabajo de Tesis Doctoral no se limitará únicamente al estudio y análisis de otros proyectos, sino que se desarrollarán diferentes sistemas de Realidad Aumentada y Realidad Virtual para el ámbito médico. Estos sistemas se diseñarán como herramientas para la formación en diferentes estructuras anatómicas del cuerpo humano, simulación de procedimientos quirúrgicos, visualización y manipulación en 3D de partes de cuerpo humano...

Se pretende elaborar diversos ejemplos que sirvan de modelos para diferentes aplicaciones y disciplinas médicas. Aunque aún se están analizando las herramientas que se implementarán, inicialmente las materias a desarrollar van dirigidas hacia cuatro campos: la Anatomía Humana, la Cardiología, la Odontología, Cirugía y la Radiología.

Uno de los objetivos principales de los proyectos de Realidad Virtual y Aumentada que se implementarán y serán objeto de estudio en nuestra Tesis, será conseguir introducir al alumno en el interior del cuerpo humano, centrándose en estructuras anatómicas concretas. Uno de los desarrollos que se pretende elaborar consistirá en un entorno virtual orientado al conocimiento de la anatomía del cráneo. El contenido de este procedimiento tecnológico pretenderá que el alumno se sumerja en el interior del cráneo para obtener una experiencia virtual, de carácter inmersivo, que le permita, de forma autónoma, valorar morfológicamente las estructuras anatómicas que constituyen el cráneo humano. Estas explicaciones irán acompañadas de animaciones virtuales que mejoren su comprensión.

Puesto que en la anatomía resulta de gran importancia conocer cómo están organizadas las diferentes estructuras óseas, y cómo se acoplan estas estructuras entre sí, se diseñará un sistema de Realidad Virtual inmersivo cuyo objetivo será que el usuario sea capaz de realizar el montaje de dichas estructuras óseas de forma autónoma a través del propio movimiento de sus manos. Por tanto, la herramienta incluirá una simulación virtual interactiva que resultará de gran interés para los alumnos, al tratarse de un ejercicio de aprendizaje completamente práctico.

Este sistema interactivo obliga al alumno a conocer todas las partes que componen el cráneo humano y tener una noción clara de cómo se acoplan unas con otras.

Así, se diseñarán diferentes sistemas de formación en anatomía humana utilizando la Realidad Virtual como recurso principal, sin embargo, también será objeto de estudio la Realidad Aumentada, que aunque no aporta al alumno una inmersión como lo hace la Realidad Virtual, tiene otras ventajas que merece la pena ser estudiadas [13]. Además hay que tener en cuenta que la Realidad Virtual, en el estado de madurez actual, aún produce sensación de mareo en algunas personas, por lo que la Realidad Aumentada puede ser una alternativa tecnológica interesante para estos usuarios. En la Tesis se estudiará cuáles son los aspectos a tener en cuenta para evitar producir este tipo de sensaciones negativas en los usuarios.

La Realidad Aumentada permite al alumno visualizar modelos 3D de cualquier parte del cuerpo humano como si dichos modelos fueran reales, ya que los introduce en la realidad. Esto supone una gran herramienta formativa para el ámbito de la anatomía, ya que no resulta necesario contar con huesos o cuerpos humanos reales, reduciendo así el coste de procesos formativos y por otro lado permitiendo al alumno visualizar las estructuras anatómicas, en 3D y con sensación de profundidad, en cualquier momento y lugar.

Parte de los contenidos de las herramientas de Realidad Virtual serán adaptados para que puedan ser visualizados con tecnologías de Realidad Aumentada (RA en adelante). Esto supone un gran complemento, ya que mientras que la RV aporta al alumno una visión inmersiva, la RA le permite una visualización más realista.

Los objetivos marcados son los siguientes:

1. Estudio de la Anatomía Humana: Desarrollo de un sistema de Realidad Virtual para la visualización del interior del cráneo humano mediante inmersión virtual a través del estudio de los diferentes huesos y forámenes que lo componen.
2. Cardiología: Simulación virtual para el aprendizaje en auscultación cardiaca.
3. Cirugía: Se introducirá al usuario en el interior de un quirófano y se le explicarán virtualmente los diferentes equipamientos que se encuentran habitualmente en su interior. Se utilizará una cámara con tecnología 360 para la grabación del quirófano y el montaje de un sistema inmersivo. [14] Además, teniendo en cuenta el interés de la comunidad médica por los simuladores virtuales, de forma que les permita entrenar los pasos de una cirugía, se implementará un sistema que permita simular un procedimiento de fijación transpedicular lumbar. En este sistema el

usuario interactuará con su entorno, realizando los pasos de la cirugía de forma completamente virtual.

4. Odontología: Visualización y simulación virtual interactiva de un procedimiento de implantología dental.
5. Radiología: Sistema de visualización y manipulación avanzada en 3D de resultados radiológicos a través de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual. Se utilizará reconocimiento de manos mediante dispositivo Leap Motion para la manipulación de los modelos 3D. El objetivo es poder visualizar de una manera diferente la gran cantidad de datos que a día de hoy se generan [15], y que nos obligan a buscar una nueva forma de acceder a los mismos, en el campo médico, aprovechando las ventajas de la digitalización y de estas dos tecnologías. También se analizará la posible aplicación de este sistema para planificación de cirugías, donde se ha comprobado que el estudio de los resultados no invasivos mediante modelos 3D aporta un entendimiento más rápido y sencillo de las lesiones [16].

El potencial que la Realidad Virtual tiene como herramienta formativa en el ámbito médico empieza a ser una realidad creciente [11, 7, 12]. Las herramientas que se implementarán durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral pretenderán demostrar si esta tecnología mejora la eficiencia en el aprendizaje y en los procesos formativos, para poder ser utilizada en el análisis y estudios prequirúrgicos y en otras exploraciones clínicas. En este sentido se realizarán estudios estadísticos de los resultados involucrando profesionales médicos y alumnos de medicina que puedan probar los sistemas desarrollados y comprobar su eficacia, para comprobar que la hipótesis planteada sobre el potencial de esta tecnología en este ámbito es válida o no.

METODOLOGÍA A UTILIZAR

Para desarrollar nuestro sistema de Realidad Aumentada y Realidad Virtual necesitaremos elaborar un contenido virtual, mediante la reconstrucción de modelos de estructuras anatómicas, en 3D.

Con el objetivo de contar con modelos anatómicos en 3D que aporten el máximo nivel de realismo, para este proyecto se crearán a partir de estructuras anatómicas reales desde secciones seriadas de imágenes radiológicas. Para ello se utilizará un tomógrafo computarizado que dará lugar a un conjunto de imágenes en formato DICOM. Estas imágenes se importarán a programas comerciales, de código abierto (3D Slicer, Osirix, entre otros). Mediante la utilización de estos procedimientos informáticos se generará una malla tridimensional de las estructuras anatómicas, creadas a partir de las imágenes radiológicas. Los modelos 3D que se utilizarán tendrán que ser renderizados por dispositivos móviles, que tienen la característica de tener una capacidad de procesamiento limitada. Por ese motivo, resulta de vital importancia que los modelos tengan el número de polígonos adecuados, con el propósito de generar modelos con una calidad aceptable para este tipo de dispositivos móviles. Para ello se realizará un suavizado de la malla.

Una vez que se dispongamos de las mallas de los modelos 3D, se utilizará el motor de videojuegos Unity3D para realizar el diseño de la experiencia virtual.

Para que las mallas generadas en pasos anteriores sean lo más realistas posibles, se les asignarán materiales, colores y se creará el entorno de iluminación más adecuado para que la experiencia sea lo más realista posible, teniendo en cuenta siempre la capacidad de procesamiento de la que disponen los dispositivos móviles donde se ejecutarán el sistema a desarrollar.

Se elaborará un guion que deberá seguir el entorno virtual, para lo cual será necesario crear los contenidos formativos del mismo. Una vez se conoce cómo deberá ser el diseño del entorno virtual, se realizará toda la programación necesaria para crear la experiencia virtual a la cual se hace referencia en el guion. Esto supone una de las partes más complicadas del proceso, ya que implica una gran cantidad de trabajo, donde la habilidad de programación, la capacidad creativa y el dominio de la tecnología suponen aspectos clave para una correcta implementación del sistema.

Para diseñar las experiencias virtuales, se utilizará el software Unity3D. Se ha elegido esta herramienta, muy utilizada para el diseño de videojuegos, porque el diseño de las experiencias virtuales que se quieren implementar no dista demasiado del diseño de un videojuego. Además, Unity3D es un sistema multiplataforma, es decir, el mismo código es utilizable para la exportación del sistema para un sistema operativo Android, que para otro iOS. Incluso se puede exportar para PC, Play Station, Xbox, Web GL...

Otra ventaja de Unity3D es que dispone de *frameworks* de desarrollo específicos para Realidad Virtual y Realidad Aumentada, como son Cardboard SDK y Oculus SDK para el primer caso y Vuforia para implementación de Realidad Aumentada.

El lenguaje de programación que se utilizará será C++, ya que es el más extendido para el caso de Unity3D.

En cuanto al hardware, el sistema se ejecutará en *smartphones* Android o iOS, haciendo uso de gafas estereoscópicas de Realidad Virtual, aunque ya se ha comentado que se podría exportar la herramienta para otras plataformas. Las gafas que se utilizarán serán las Samsung Gear VR Innovator Edition, Samsung Gear VR además de otros modelos diferentes de gafas Cardboard. Al utilizar esta gran variedad de dispositivos diferentes para el desarrollo y las pruebas, se garantiza que la experiencia virtual del usuario tenga una calidad alta independientemente del dispositivo o gafas que utilice.

Se estudiará además la posible implementación de un sistema de visualización y manipulación avanzada en 3D de partes del cuerpo humano, para lo cual la plataforma de destino podría ser un PC, con sistema operativo Windows, OS X o incluso ambos.

En los sistemas de Realidad Virtual visualizaremos un conjunto de modelos 3D con animaciones que formen una experiencia visual atractiva para el usuario, para lo cual también es importante tener en cuenta el fondo a utilizar. Este fondo podría simplemente ser un fondo negro u otro color plano, pero en la mayoría de los casos utilizaremos imágenes esféricas o 360 de, por ejemplo, un quirófano.

Una vez se ha creado el sistema de Realidad Virtual y el de Realidad Aumentada, resultará necesario validar los resultados y conocer las opiniones de los potenciales usuarios, así como la eficacia docente de los procedimientos desarrollados. Para ello, se formarán varios grupos experimentales de estudiantes de medicina, que probarán los diferentes desarrollos de Realidad Virtual y Aumentada elaborados. Se llevarán a cabo pruebas evaluativas que analicen la eficacia docente y de aprendizaje de los procedimientos tecnológicos elaborados. Además, se recogerán sus impresiones y críticas, con el objetivo de estudiar las ventajas que aporta este sistema respecto a las técnicas de formación tradicionales. Se llevará a cabo un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

MEDIOS Y RECURSOS MATERIALES DISPONIBLES

Contexto:

La investigación que se efectuará será parte del programa de Doctorado: Formación en la Sociedad del Conocimiento [19-22], desarrollado en el Instituto Universitario de Ciencias de la Educación (IUCE) de la Universidad de Salamanca.

Recursos humanos:

Para la realización de este proyecto contaremos con la colaboración de la empresa salmantina ARSOFT, especializada en la implementación de sistemas de Realidad Aumentada y Realidad Virtual, que cuenta con todos los recursos necesarios para llevar a cabo la implementación del sistema *software* de Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Por otro lado, los Grupos de Investigación de la Universidad de Salamanca VisualMed Systems y GRIAL, que representan la otra entidad colaboradora, la Universidad de Salamanca, poniendo a disposición del estudiante todos los recursos médicos necesarios para permitirle generar los modelos 3D para la implementación del proyecto. Este grupo, formado por neurocirujanos, radiólogos, anatomistas y otros especialistas, nos aportan además otro elemento fundamental: el conocimiento médico especializado necesario para generar los contenidos y conformar el guion del temario. Esto resulta fundamental, ya que, aunque se cuenta con los conocimientos de diseño y programación de sistemas de Realidad Virtual, uno de los objetivos de esta Tesis es la implementación de recursos educativos, por lo que el contenido que ofrece estos sistemas deberá estar debidamente estudiado y contrastado.

Recursos materiales y tecnológicos:

Entre las distintas herramientas software que se utilizarán para la implementación de los sistemas de Realidad Virtual y Realidad Aumentada, cabe destacar los siguientes: Unity3D, Cardboard SDK, Oculus SDK y Vuforia SDK. Por supuesto se hará uso de muchas otras herramientas complementarias para el diseño gráfico, edición de audio, edición de vídeo, *stitching* de imágenes 360...

Los recursos disponibles en estos momentos para la ejecución del proyecto son los siguientes:

- Diferentes modelos de gafas de Realidad Virtual: Samsung Gear VR, Samsung Gear VR Innovator Edition, Oculus Rift y cinco modelos diferentes de gafas *Cardboard*, tanto de plástico como de cartón.
- Cámara Samsung Gear 360: permite realizar fotografías esféricas o en 360, así como vídeos. Esta cámara se utilizará para filmar cirugías con esta tecnología, realizar fotografías esféricas de un quirófano para utilizar dichas imágenes como fondo de las experiencias virtuales.
- *Leap Motion*: Dispositivo que utiliza la tecnología de infrarrojos para detectar las manos y su movimiento. Se estudiará la utilización de este dispositivo como mecanismo de interacción entre el usuario y el sistema.
- Dispositivos móviles: Se dispone de diferentes *smartphones* y *tablets* para poder ejecutar y probar las herramientas en diferentes arquitecturas y sistemas operativos: Samsung Gear S6, Samsung Gear S7, iPhone S6, Nexus 9, LG G3...
- Máquinas: Actualmente se dispone de tres computadores, todos ellos con gran nivel de procesamiento, lo cual resulta imprescindible ya que se manejan grandes cantidades de datos y se requiere una capacidad de cálculo muy alta.
- Programas: Unity3D, Visual Studio, 3D Slicer, Osirix, Photoshop, iMovie...
- Sala *Chroma Key*: Esta sala resulta necesaria para poder realizar el trabajo de montaje de imágenes para la Tesis. Estas imágenes representan de una forma eficiente las funcionalidades del sistema, por lo que resultan necesarias para poder documentar las herramientas virtuales que se desarrollarán. Gracias a las fotografías que tomaremos en la sala *chroma*, podremos aislar el fondo y posteriormente montar imágenes utilizando pantallazos de los sistemas diseñados.

PLANIFICACIÓN TEMPORAL AJUSTADA A TRES AÑOS

Para esta Tesis se van a desarrollar cuatro herramientas *software*, donde cada una de estas herramientas implica una serie de actividades a implementar, siendo muchas de ellas comunes entre sí.

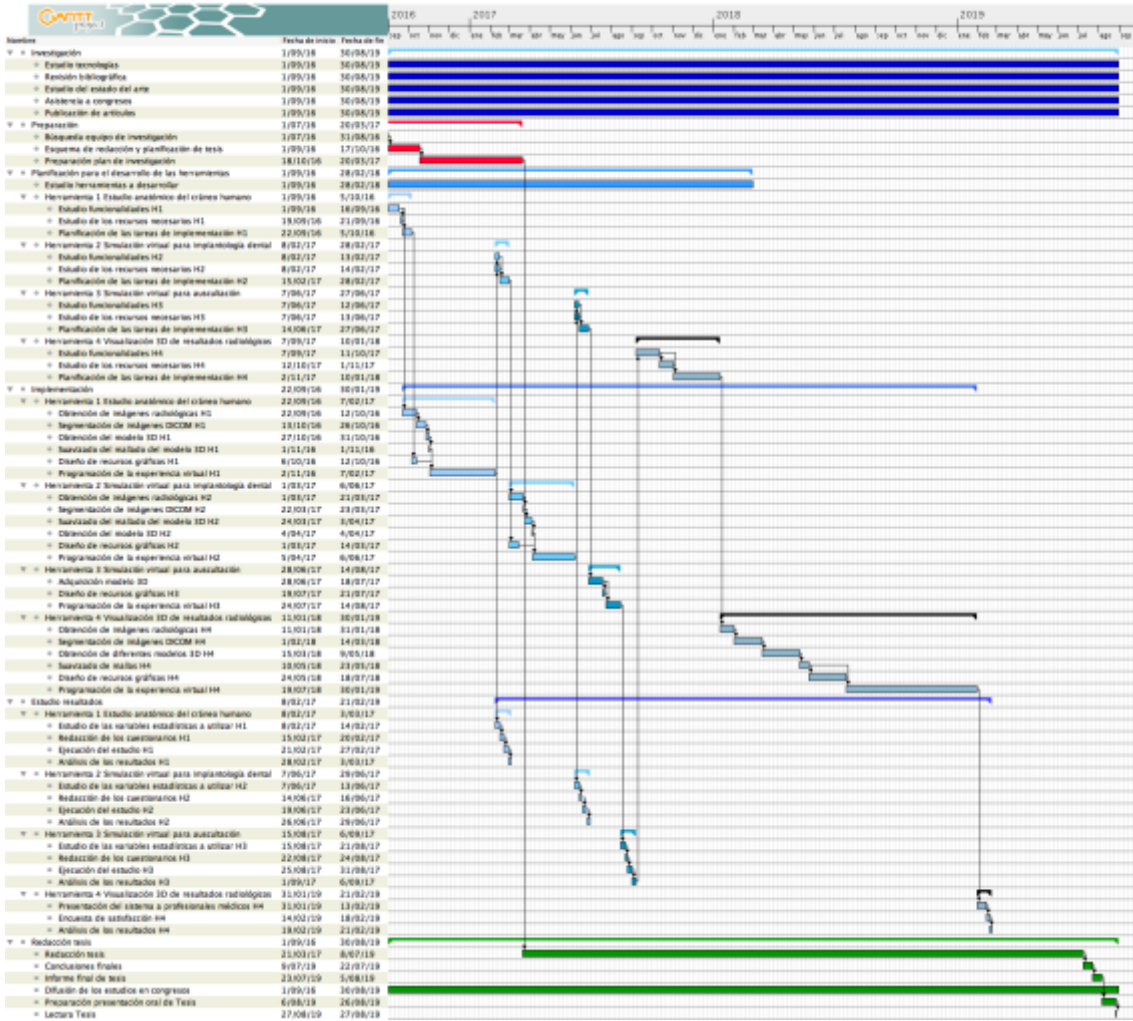
Se ha dividido la planificación temporal en seis grandes apartados, donde cada uno de ellos contiene a su vez otros apartados o tareas:

- 1. Investigación:** Este conjunto de tareas se llevará a cabo durante la duración completa del doctorando, e incluso después, ya que las tecnologías avanzan continuamente y resulta necesario seguir siempre investigando para mantener el nivel de innovación. Con este objetivo, se asistirá a congresos de interés y se realizarán publicaciones en entidades de importancia internacional para dar a conocer los avances realizados a la comunidad.
- 2. Preparación:** Conjunto de tareas necesarias para planificar y organizar una Tesis.
- 3. Planificación para el desarrollo de las herramientas:** Para poder abordar la implementación de una herramienta *software* y testar su funcionalidad es necesario primero organizar cómo se va a llevar a cabo la implementación. Este apartado está dividido a su vez en cuatro subapartados: uno para cada herramienta.
- 4. Implementación:** Al igual que en el caso anterior, este apartado está dividido en un subapartado para cada herramienta, que a su vez contiene el conjunto de tareas que se deben llevar a cabo para la implementación del sistema *software*.
- 5. Estudio resultados:** Una vez implementadas las herramientas, resulta necesario elaborar un cuestionario y analizar el impacto de las mismas en los usuarios, con el objetivo de determinar su viabilidad y el interés del mercado. Al igual que antes, se divide este apartado en un subapartado para cada herramienta.
- 6. Redacción tesis:** La redacción de la Tesis comienza desde el mismo momento en que se termina de preparar el plan de investigación, avanzando progresivamente al mismo tiempo que se llevan a cabo el resto de tareas.

A continuación, se muestran las tareas que se llevarán a cabo y una estimación temporal para cada una de ellas.

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin	Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
Investigación	1/09/16	30/08/19	Herramienta 3 Simulación virtual para auscultación	28/06/17	14/08/17
Estudio tecnologías	1/09/16	30/08/19	Adquisición modelo 3D	28/06/17	18/07/17
Revisión bibliográfica	1/09/16	30/08/19	Diseño de recursos gráficos H3	19/07/17	21/07/17
Estudio del estado del arte	1/09/16	30/08/19	Programación de la experiencia virtual H3	24/07/17	14/08/17
Asistencia a congresos	1/09/16	30/08/19	Herramienta 4 Visualización 3D de resultados radiológicos	11/01/18	30/01/19
Publicación de artículos	1/09/16	30/08/19	Obtención de imágenes radiológicas H4	11/01/18	31/01/18
Preparación	1/07/16	20/03/17	Segmentación de imágenes DICOM H4	1/02/18	14/03/18
Búsqueda equipo de investigación	1/07/16	31/08/16	Obtención de diferentes modelos 3D H4	15/03/18	9/05/18
Esquema de redacción y planificación de tesis	1/09/16	17/10/16	Suavizado de mallas H4	10/05/18	23/05/18
Preparación plan de investigación	18/10/16	20/03/17	Diseño de recursos gráficos H4	24/05/18	18/07/18
Planificación para el desarrollo de las herramientas	1/09/16	28/02/18	Programación de la experiencia virtual H4	19/07/18	30/01/19
Estudio herramientas a desarrollar	1/09/16	28/02/18	Estudio resultados	8/02/17	23/02/19
Herramienta 1 Estudio anatómico del cráneo humano	1/09/16	5/10/16	Herramienta 1 Estudio anatómico del cráneo humano	8/02/17	3/03/17
Estudio funcionalidades H1	1/09/16	16/09/16	Estudio de las variables estadísticas a utilizar H1	8/02/17	14/02/17
Estudio de los recursos necesarios H1	19/09/16	21/09/16	Redacción de los cuestionarios H1	15/02/17	20/02/17
Planificación de las tareas de implementación H1	22/09/16	5/10/16	Ejecución del estudio H1	21/02/17	27/02/17
Herramienta 2 Simulación virtual para implantología dental	8/02/17	28/02/17	Análisis de los resultados H1	28/02/17	3/03/17
Estudio funcionalidades H2	8/02/17	13/02/17	Herramienta 2 Simulación virtual para implantología dental	7/06/17	29/06/17
Estudio de los recursos necesarios H2	8/02/17	14/02/17	Estudio de las variables estadísticas a utilizar H2	7/06/17	13/06/17
Planificación de las tareas de implementación H2	15/02/17	28/02/17	Redacción de los cuestionarios H2	14/06/17	16/06/17
Herramienta 3 Simulación virtual para auscultación	7/06/17	27/06/17	Ejecución del estudio H2	19/06/17	23/06/17
Estudio funcionalidades H3	7/06/17	12/06/17	Análisis de los resultados H2	26/06/17	29/06/17
Estudio de los recursos necesarios H3	7/06/17	13/06/17	Herramienta 3 Simulación virtual para auscultación	15/08/17	6/09/17
Planificación de las tareas de implementación H3	14/06/17	27/06/17	Estudio de las variables estadísticas a utilizar H3	15/08/17	21/08/17
Herramienta 4 Visualización 3D de resultados radiológicos	7/09/17	10/01/18	Redacción de los cuestionarios H3	22/08/17	24/08/17
Estudio funcionalidades H4	7/09/17	11/10/17	Ejecución del estudio H3	25/08/17	31/08/17
Estudio de los recursos necesarios H4	12/10/17	1/11/17	Análisis de los resultados H3	1/09/17	6/09/17
Planificación de las tareas de implementación H4	2/11/17	10/01/18	Herramienta 4 Visualización 3D de resultados radiológicos	31/01/19	21/02/19
Implementación	22/09/16	30/01/19	Presentación del sistema a profesionales médicos H4	31/01/19	13/02/19
Herramienta 1 Estudio anatómico del cráneo humano	22/09/16	7/02/17	Encuesta de satisfacción H4	14/02/19	18/02/19
Obtención de imágenes radiológicas H1	22/09/16	12/10/16	Análisis de los resultados H4	19/02/19	21/02/19
Segmentación de imágenes DICOM H1	13/10/16	26/10/16	Redacción tesis	1/09/16	30/08/19
Obtención del modelo 3D H1	27/10/16	31/10/16	Redacción tesis	21/03/17	8/07/19
Suavizado del mallado del modelo 3D H1	1/11/16	1/11/16	Conclusiones finales	9/07/19	22/07/19
Diseño de recursos gráficos H1	6/10/16	12/10/16	Informe final de tesis	23/07/19	5/08/19
Programación de la experiencia virtual H1	2/11/16	7/02/17	Difusión de los estudios en congresos	1/09/16	30/08/19
Herramienta 2 Simulación virtual para implantología dental	1/03/17	6/06/17	Preparación presentación oral de Tesis	6/08/19	26/08/19
Obtención de imágenes radiológicas H2	1/03/17	21/03/17	Lectura Tesis	27/08/19	27/08/19
Segmentación de imágenes DICOM H2	22/03/17	23/03/17			
Suavizado del mallado del modelo 3D H2	24/03/17	3/04/17			
Obtención del modelo 3D H2	4/04/17	4/04/17			
Diseño de recursos gráficos H2	1/03/17	14/03/17			
Programación de la experiencia virtual H2	5/04/17	6/06/17			

En este caso podemos ver el diagrama de Gantt completo (incluye las dos imágenes anteriores), mostrando la relación existente entre cada una de las tareas y su distribución a lo largo del tiempo, además de mostrar las dependencias de unas con otras.



REFERENCIAS

- [1] Häfner, P., Häfner, V., and Ovtcharova, J. 2013. *Teaching Methodology for Virtual Reality Practical Course in Engineering Education*. Procedia - Procedia Computer Science, 25, 251–260.
- [2] Kuntze, M. F., Stoermer, R., and Mager, R. 2001. *Immersive virtual environments in cues exposure*. Cyberpsychology and Behavior. 4, 497-501.
- [3] Burdea, G., and Coiffet, P. 2003. Virtual reality technology. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 12(6), 663-664.
- [4] Kizony, R., and Katz, N. 2003. *Adapting an immersive virtual reality system for rehabilitation*. The Journal of Visualization and Computer Animation, 14(5), 261-268.
- [5] Kilteni, K., Normand, J. M., Sanchez-Vives, M. V., and Slater, M. 2012. *Extending body space in immersive virtual reality: a very long arm illusion*. PloS one, 7(7), e40867.
- [6] Pedram, S., Perez, P., Dowsett, B., 2013. *Assessing The Impact Of Virtual Reality-Based Training On Health And Safety Issues In The Mining Industry*. International Symposium for Next Generation Infrastructure
- [7] Johnsen, K., Dickerson, R., Raji, A., Lok, B., Jackson, J., Shin, M., and Lind, D. S. 2005. *Experiences in using immersive virtual characters to educate medical communication skills*. In *Proceedings of the IEEE VR 2005*. (pp. 179-186). USA: IEEE.
- [8] Psotka, J. 1995. *Immersive training systems: Virtual reality and education and training*. *Instructional science*, 23(5-6), 405-431.
- [9] Quintero, C., Sarmiento, W. J. and Sierra-Ballén E. L. 2008. *Diseño de un prototipo de Sistema de Realidad Virtual Inmersivo Simplificado*. En: *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 18(1), 35 – 50.
- [10] Sauter, P.M. 2003. *VR2Go A New Method for Virtual Reality Development*. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 37(1), 19 – 24.
- [11] Henn, J. S., Lemole Jr, G. M., Ferreira, M. A., Gonzalez, L. F., Schornak, M., Preul, M. C., and Spetzler, R. F. 2002. *Interactive stereoscopic virtual reality: a new tool for neurosurgical education: Technical note*. *Journal of neurosurgery*, 96(1), 144-149.
- [12] Coleman, J., Nduka, C. C., and Darzi, A. 1994. *Virtual reality and laparoscopic surgery*. *British journal of surgery*, 81(12), 1709-1711.
- [13] Nichols S and Patel H 2002. *Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence*. *Applied Ergonomics*, 33, 251-271.
- [14] Chan, S., Conti, F., Salisbury, K., and Blevins, N. H. 2013. *Virtual reality simulation in neurosurgery: technologies and evolution*. *Neurosurgery*, 72, A154-A164.
- [15] Van Dam, A., Laidlaw, D. H., and Simpson, R. M. 2002. *Experiments in immersive virtual reality for scientific visualization*. *Computers and Graphics*, 26(4), 535-555.
- [16] Stadie, A. T., Kockro, R. A., Reisch, R., Tropine, A., Boor, S., Stoeter, P., and Perneczky, A. 2008. *Virtual reality system for planning minimally invasive neurosurgery*.
- [17] Joo-Nagata, J., García-Bermejo Giner, J., & Martínez Abad, F. (2017). *Augmented Reality in Pedestrian Navigation applied in a context of Mobile Learning: Resources for enhanced comprehension of Science, Technology, Engineering and Mathematics*. *International Journal of Engineering Education*, 33(2B), 768–780.
- [18] Joo-Nagata, J., Martínez Abad, F., García-Bermejo Giner, J., and García-Peñalvo, F. J. (2017). *Augmented reality and pedestrian navigation through its implementation in m-learning and e-learning: Evaluation of an educational program in Chile*. *Computers & Education*, 111, 1-17.
- [19] García-Peñalvo, F. J. (2013). *Aportaciones de la Ingeniería en una Perspectiva Multicultural de la Sociedad del Conocimiento*. *VAEP-RITA*, 1(4), 201-202.
- [20] García-Peñalvo, F. J. (2013). *Education in knowledge society: A new PhD programme approach*. In F. J. García-Peñalvo (Ed.), *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)* (pp. 575-577). New York, NY, USA: ACM.
- [21] García-Peñalvo, F. J. (2014). *Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar*. *Education in the Knowledge Society*, 15(1), 4-9.
- [22] García-Peñalvo, F. J. (2015). *Engineering contributions to a Knowledge Society multicultural perspective*. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, 10(1), 17-18. doi:10.1109/RITA.2015.2391371

