



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

PLATAFORMAS DE REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD VIRTUAL PARA LA FORMACIÓN Y LA PRÁCTICA MÉDICA

TESIS DOCTORAL

Programa de Doctorado *Formación en la Sociedad del Conocimiento*



Doctorando

Santiago González Izard

Directores de tesis

Juan Antonio Juanes Méndez y Francisco José García-Peñalvo

Octubre, 2020



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Programa de Doctorado *Formación en la sociedad del conocimiento*

TESIS DOCTORAL

**PLATAFORMAS DE REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD
VIRTUAL PARA LA FORMACIÓN Y LA PRÁCTICA MÉDICA**

Directores

Dr. D. Juan Antonio Juanes Méndez

Dr. D. Francisco José García-Peñalvo

Doctorando

Santiago González Izard

Octubre, 2020

PROGRAMA DE DOCTORADO
FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO (RD 99/2011)

Grupo de Investigación en
Sistemas de Visualización
Médica Avanzada
(VisualMed System)



GRupo de Investigación en
InterAcción y eLearning
(GRIAL)



Dr. Juan Antonio Juanes Méndez, profesor Titular del Departamento de Anatomía Humana de la Universidad de Salamanca y Dr. Francisco José García Peñalvo, Catedrático del Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca en calidad de directores del trabajo de tesis doctoral titulado “Plataformas de realidad aumentada y realidad virtual para la formación y la práctica médica”, que ha sido realizado por D. Santiago González Izard,

HACEN CONSTAR

que dicho trabajo tiene suficientes méritos teóricos contrastados adecuadamente mediante las validaciones oportunas, publicaciones relacionadas y aportaciones novedosas. Por todo ello manifiestan su acuerdo para que sea autorizada la presentación y defensa del trabajo referido.

En Salamanca, a 1 de octubre de 2020,

Dr. D. Juan Antonio Juanes Méndez

Dr. D. Francisco José García Peñalvo

*A mis hijos,
que crearán el futuro
y definirán la innovación*

Agradecimientos

Al inicio de esta tesis, no imaginaba que tuviera que dedicar tanto esfuerzo y empeño en su realización, no obstante, ahora que por fin he finalizado, siento una gran satisfacción y espero sinceramente que pueda servir para mejorar un poco la sociedad en la que vivimos, y más concretamente por el ámbito de investigación, la formación y la práctica de nuestros profesionales médicos, que sin duda resulta de vital importancia para todos.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis directores de esta Tesis Doctoral, los profesores D. Juan Antonio Juanes Méndez y D. Francisco José García Peñalvo, por su dedicación y asesoramiento en todo momento.

Me gustaría agradecer a mi esposa la paciencia infinita que ha tenido para poder entender mis ausencias como consecuencia de mis estudios y dedicación a esta tesis. Espero poder compensar el tiempo que durante estos años no he podido dedicarle a ella y a mis hijos. Por tanto, este agradecimiento es sin duda también para ellos.

Por supuesto a mis padres y a mis hermanos, con los que me hubiera gustado poder pasar más momentos juntos durante este periodo. Un agradecimiento especial a mis padres, cuya educación y cariño me ha llevado a ser la persona que soy hoy.

La implementación de estos sistemas ha supuesto un trabajo muy importante, así como las tareas llevadas a cabo para la evaluación de estos. En ambos casos, no se podría haber llevado a cabo sin la colaboración de diferentes miembros de la empresa Arsoft, así como del Grupo de Investigación Visual Med Systems liderado por el profesor Dr. Juan Antonio Juanes Méndez, que ha puesto todos los medios que tiene a su disposición para facilitar la colaboración con diferentes profesionales médicos, muy necesaria para esta investigación y concretamente para la implementación de los proyectos.

Igualmente importante ha sido el apoyo de los diferentes miembros de todo el programa de doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento de la Universidad de Salamanca, destacando la colaboración del Dr. Francisco José García-Peñalvo.

A todos, muchas gracias por vuestro apoyo.

Resumen

En esta tesis se ha investigado la aplicación de las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual en medicina, tanto a nivel formativo como para la práctica médica. Nos centramos en la implementación de diferentes sistemas software, además de incluir estudios de sistemas existentes, análisis de los resultados obtenidos y evaluación de estos.

La Realidad Aumentada y la Realidad virtual tienen una gran capacidad de aplicación en muchos ámbitos, pero esta tesis se centra en su aplicación en el campo de la medicina a través del diseño, implementación y estudio de diferentes aplicaciones con estas tecnologías aplicadas al ámbito de la formación médica y la práctica clínica, en este último caso concretamente orientándose a la visualización médica avanzada de imágenes radiológicas.

Se analizará cómo la grabación y visualización de forma interactiva de contenidos 360 puede mejorar considerablemente el aprendizaje de los alumnos. Se han implementado diferentes simuladores de Realidad Virtual con el objetivo de analizar cómo pueden mejorar la formación práctica de los estudiantes de medicina. También se ha diseñado un sistema para realizar una formación a distancia empleando la Realidad Virtual, lo cual hoy en día resulta de gran interés, teniendo en cuenta cómo la pandemia causada por la enfermedad COVID-19 está cambiando los procedimientos formativos. Otro de los objetivos ha sido el diseño y estudio de una aplicación de Realidad Aumentada para formación médica en anatomía humana. Finalmente, se analiza el proyecto que más tiempo ha ocupado en la elaboración de esta tesis: Nextmed. Se trata de un proyecto de implementación propia en colaboración cuyo objetivo principal es cambiar el modo en que los profesionales trabajan con las imágenes médicas, aprovechando el potencial de la Realidad Aumentada, la Realidad Virtual, la Visión Artificial y la Inteligencia Artificial.

Es importante recalcar que, gran parte del trabajo de esta tesis es la implementación de los proyectos software indicados anteriormente y que se explican en las diferentes publicaciones.

En la sección *INTRODUCCIÓN*, se justifica la elaboración de esta tesis realizando una breve retrospectiva en la que se analizan diferentes necesidades identificadas por diferentes actores clave respecto a técnicas avanzadas de visualización de conceptos. Se indican además los objetivos principales de esta tesis y se explica cómo está organizado el documento.

A continuación, incluimos en *MARCO TEÓRICO* un análisis de los conceptos principales que son necesarios asimilar para comprender el contenido de esta tesis, así como un estudio del estado del arte y una breve introducción histórica necesaria para poner en contexto todo el trabajo desarrollado.

Se ha decidido mantener la estructura habitual de un artículo científico para esta tesis, facilitando así su lectura de forma paralela a los artículos científicos que la acompañan y

que amplían o complementan la información presentada. Teniendo esto en cuenta, el siguiente capítulo es el de *MATERIALES EMPLEADOS Y METODOLOGÍA*. Cabe recordar que gran parte del trabajo realizado para esta tesis es la implementación de diferentes sistemas de Realidad Aumentada y Realidad Virtual, empleando Visión Artificial e Inteligencia Artificial, que se han creado durante los últimos cuatro años. En este capítulo se analizan las diferentes librerías de software y aplicaciones empleadas, así como el hardware utilizado, para la implementación de los proyectos. También se incluye información sobre la metodología, indicando cómo se ha llevado a cabo esa fase de implementación de los proyectos, muy similar en todos ellos, incorporando el diagrama de clases de cada proyecto, que muestra la complejidad del código fuente con los diferentes scripts diseñados.

El capítulo de *RESULTADOS OBTENIDOS* se focaliza en mostrar los sistemas diseñados. Se incluyen además los resultados de las evaluaciones llevadas a cabo, aunque cabe recordar que, al igual que ocurre con el resto de los capítulos, el contenido principal se encuentra en los propios artículos, a pesar de que los diferentes capítulos de la tesis amplían o complementan dicho contenido.

En los capítulos finales, realizamos un análisis de los resultados de la investigación realizada en esta tesis, incluyendo el estado actual de las tecnologías en medicina y los resultados obtenidos, en la *DISCUSIÓN*. En el capítulo *LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS* se realiza una observación detallada de cómo se pueden mejorar los proyectos implementados y cómo estas tecnologías podrían avanzar en el futuro. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo realizado en el capítulo *CONCLUSIONES*.

Al haber presentado esta tesis en la modalidad de *tesis por compendio de artículos*, el contenido principal de la misma se encuentra reflejada en los propios artículos científicos y capítulos de libro publicados que encontramos en los anexos.

En el *ANEXO XII* se incluye un premio obtenido en una de las comunicaciones realizadas, mientras que en el *ANEXO XIII* se pueden consultar algunas de las publicaciones principales que la prensa ha realizado en relación al trabajo realizado para esta tesis. Debido al carácter innovador de los proyectos implementados y de los resultados obtenidos, así como al éxito en la evaluación de estos y la buena aceptación de la sociedad, han sido numerosas las apariciones en periódicos, o incluso radio y televisión.

Este trabajo de Tesis doctoral se presenta bajo la modalidad de compendio de artículos, en función de la normativa de la Universidad de Salamanca, citada en el capítulo II del Reglamento de Doctorado, en su artículo 14.1., sobre la elaboración y defensa de La Tesis Doctoral.

Palabras clave

Realidad Aumentada; Realidad Virtual; Visión Artificial; Imagen médica; Formación no presencial; Segmentación automática; Visualización 3D.

Tabla de contenidos

I.	INTRODUCCIÓN	19
I.1.	ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL	19
I.2.	JUSTIFICACIÓN DE NUESTRO ESTUDIO	21
I.3.	OBJETIVOS	23
I.3.1.	<i>Objetivos generales</i>	23
I.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	23
I.4.	CONTEXTO DE LA TESIS	26
I.5.	JUSTIFICACIÓN DE TESIS POR COMPENDIO	26
I.6.	ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	27
II.	MARCO TEÓRICO	29
II.1.	INICIO CON LOS DISPOSITIVOS MÓVILES	29
II.2.	IMPLANTACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA Y VIRTUAL	30
II.3.	SISTEMAS DE SIMULACIÓN EN EL ÁMBITO MÉDICO	33
II.4.	ESTEREOSCOPIA COMO BASE DE LA REALIDAD VIRTUAL	34
II.4.1.	<i>Introducción</i>	34
II.4.2.	<i>¿Qué es la estereoscopia?</i>	36
II.4.3.	<i>Polarización circular y polarización lineal</i>	38
II.5.	EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD VIRTUAL	39
II.5.1.	<i>¿Qué es un modelo 3D?</i>	40
II.5.2.	<i>¿Qué es la Realidad Virtual?</i>	44
II.5.3.	<i>¿Qué es la Realidad Aumentada?</i>	45
II.5.4.	<i>¿Qué es la Realidad Mixta?</i>	45
II.5.5.	<i>Diferenciación entre Realidad Aumentada, Realidad Virtual y Realidad Mixta</i>	46
II.6.	DISPOSITIVOS COMPLEMENTARIOS PARA REALIDAD VIRTUAL	47
II.6.1.	<i>Sensores de movimiento</i>	47
II.6.2.	<i>HMD (Head Mounted Display)</i>	47
II.6.3.	<i>Interacción con el mundo virtual</i>	49
II.6.3.1.	Interacción mediante botón	49
II.6.3.2.	Mandos o controllers	50
II.6.3.3.	Detección de movimiento con visión artificial	50
II.6.3.4.	Detección de movimiento con infrarrojos	50
II.6.3.5.	Guantes	51
II.6.4.	<i>Posicionamiento</i>	51
II.6.5.	<i>Procesamiento</i>	52
III.	MATERIALES EMPLEADOS Y METODOLOGÍA	53
III.1.	EQUIPAMIENTO Y HARDWARE UTILIZADO	53
III.1.1.	<i>Gafas Realidad Virtual Standalone</i>	53
III.1.1.1.	Cardboard	53
III.1.1.2.	Samsung Gear VR (diferentes modelos)	54
III.1.1.3.	Oculus Go	54

III.1.1.4.	Oculus Quest	55
III.1.2.	<i>Gafas de Realidad Virtual Tethered</i>	55
III.1.2.1.	Lenovo Explorer	56
III.1.2.2.	HTC Vive Pro	56
III.1.3.	<i>Dispositivos de Realidad Aumentada</i>	57
III.1.4.	<i>Otros dispositivos empleados</i>	59
III.1.4.1.	Cámaras 360	59
III.1.4.2.	Leap Motion	59
III.1.4.3.	Mandos	60
III.1.4.4.	Guantes	61
III.2.	COMPONENTES SOFTWARE EMPLEADOS	61
III.2.1.	UNITY3D	61
III.2.2.	<i>Visual Paradigm</i>	61
III.2.3.	<i>Vuforia</i>	61
III.2.4.	ARCORE	62
III.2.5.	ARKIT	62
III.2.6.	AR FOUNDATION	62
III.2.7.	Oculus SDK	63
III.2.8.	Google VR	63
III.2.9.	OpenVR	63
III.2.10.	Windows Mixed Reality	63
III.2.11.	<i>Librerías utilizadas para la implementación de los algoritmos de visión artificial</i>	63
III.2.12.	<i>JupyterLab</i>	64
III.3.	IMÁGENES MÉDICAS	64
III.4.	METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROYECTOS	64
III.4.1.	<i>Patrón MVC</i>	65
III.4.1.1.	Implementando la interacción con el usuario	65
III.4.2.	<i>Patrón DAO</i>	67
III.4.3.	<i>Patrón Observer</i>	67
III.4.4.	<i>Patrón Singleton</i>	68
III.4.5.	<i>Organización del código fuente</i>	68
III.4.6.	<i>Diagramas de clases</i>	70
III.4.6.1.	Proyecto para el estudio anatómico del cráneo humano con Realidad Virtual	71
III.4.6.2.	Proyecto para la disposición de una plataforma de Realidad Virtual para la Universidad de Salamanca para la formación en diferentes áreas empleando diferentes tecnologías	71
III.4.6.3.	Simulador de Realidad Virtual interactivo para protocolo de implantología dental	72
III.4.6.4.	Simulador de Realidad Virtual interactivo para protocolo de fijación transpedicular lumbar	73
III.4.6.5.	Simulador de Realidad Virtual para formación en protocolo de auscultación cardíaca	73
III.4.6.6.	Proyecto de Realidad Aumentada para la visualización de las diferentes estructuras anatómicas del cuerpo humano	74
III.4.6.7.	Proyecto Nextmed (todas sus versiones)	74
IV.	RESULTADOS OBTENIDOS	77
IV.1.	REALIDAD VIRTUAL COMO HERRAMIENTA DOCENTE	77
IV.1.1.	<i>Estudio de la anatomía del cráneo humano con Realidad Virtual</i>	77
IV.1.2.	<i>Sistema de inmersión 360</i>	79

IV.1.3.	<i>Simuladores de Realidad Virtual interactivos para protocolos médicos</i>	80
IV.1.4.	<i>Herramienta virtual inmersiva para formación en la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca</i>	84
IV.1.5.	<i>Resultados encuesta realizada a alumnos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca</i>	86
IV.1.5.1.	Grupo de control	86
IV.1.5.2.	Grupo experimental	90
IV.1.5.3.	Cuestionario satisfacción herramienta de Realidad Virtual	93
IV.2.	REALIDAD AUMENTADA COMO HERRAMIENTA DOCENTE	101
IV.3.	PROYECTO NEXTMED: REALIDAD AUMENTADA, REALIDAD VIRTUAL Y VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL ESTUDIO DE IMÁGENES MÉDICAS Y PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA	102
V.	DISCUSIÓN	105
VI.	CONCLUSIONES	109
VII.	LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS	111
VIII.	RESULTADOS ACADÉMICOS	113
VIII.1.	PRODUCTOS SOFTWARE	113
VIII.2.	REVISTAS CIENTÍFICAS	113
VIII.3.	CAPÍTULOS DE LIBRO	115
VIII.4.	CONGRESOS	116
VIII.5.	PREMIOS	117
VIII.6.	DIVULGACIÓN EN MEDIOS	117
VIII.7.	FINANCIACIÓN	117
IX.	BIBLIOGRAFÍA	119
X.	ANEXO I: VIRTUAL REALITY MEDICAL TRAINING SYSTEM	129
XI.	ANEXO II: VIRTUAL SIMULATION FOR SCOLIOSIS SURGERY	137
XII.	ANEXO III: 360° VISION APPLICATIONS FOR MEDICAL TRAINING	147
XIII.	ANEXO IV: VIRTUAL REALITY AS AN EDUCATIONAL AND TRAINING TOOL FOR MEDICINE	155
XIV.	ANEXO V: VIRTUAL REALITY EDUCATIONAL TOOL FOR HUMAN ANATOMY	161
XV.	ANEXO VI: NEXTMED, HOW TO ENHANCE 3D RADIOLOGICAL IMAGES WITH AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY	169
XVI.	ANEXO VII: APPLICATIONS OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN BIOMEDICAL IMAGING	179
XVII.	ANEXO VIII: NEXTMED, AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY PLATFORM FOR 3D MEDICAL IMAGING VISUALIZATION	185

XVIII. ANEXO IX: NEXTMED: AUTOMATIC IMAGING SEGMENTATION, 3D RECONSTRUCTION, AND 3D MODEL VISUALIZATION PLATFORM USING AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY	195
XIX. ANEXO X: VIRTUAL REALITY IN HIGHER EDUCATION AN EXPERIENCE WITH MEDICAL STUDENTS	215
XX. ANEXO XI: APP DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR LEARNING HUMAN ANATOMY THROUGH VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY	227
XXI. ANEXO XII: PREMIOS OBTENIDOS	247
XXII. ANEXO XIII: PRESENCIA EN MEDIOS	249

Índice de figuras

Figura 1 Gafas de estereoscopía en el Museo de Anatomía de la Universidad de Valladolid. Elaboración propia.....	21
Figura 2 Anuncio de la época de los 80. Fuente: BT Archives	29
Figura 3 HMD de Ivan Shuterland (obtenido de Developing Virtual Reality Applications: Foundations of Effective Design).....	31
Figura 4 Evolución del mercado de la Realidad Virtual en EEUU en millones de dólares (Fuente: Virtual Reality Market Size, Share & Trends Analysis Report By Device (HMD, GTD), By Technology (Semi & Fully Immersive, Non-immersive), By Component, By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027).....	32
Figura 5 Maniquí de prácticas médicas. Elaboración propia.....	34
Figura 6 Estereoscopio Zeiss (Fuente: Wikipedia. Estereoscopio).....	36
Figura 7 Efecto de polarización lineal representando la actuación del filtro sobre diferentes longitudes de onda. Fuente: Monográfico Sistemas de cine en 3D – Sistemas de polarización; escrito por Nacho Esnoz.	38
Figura 8 Efecto de polarización circular representando la actuación del filtro sobre diferentes longitudes de onda. Fuente: Monográfico Sistemas de cine en 3D – Sistemas de polarización; escrito por Nacho Esnoz.	39
Figura 9 Representación del modelo 3D de un cubo. Fuente: All about OpenGL ES 2x (part 1/3); http://blog.db-in.com/all-about-opengl-es-2-x-part-1/	41
Figura 10 Mallado de un modelo 3D. Fuente: Turbosquid, Realistic Male Bodyby Andor Kollar.	42
Figura 11 Modelo 3D texturizado. Fuente: Turbosquid, Realistic Male Bodyby Andor Kollar.....	43
Figura 12 Visualización de la anatomía de un pulmón con las gafas de Realidad Mixta Microsoft HoloLens. Fuente: Medium, artículo “YVR Mixed Reality & Vancouver Medical Community to Unite for Bi-monthly Meetups”.....	46
Figura 13 Gafas standalone Pimax (izquierda) y HTC Vive Pro (derecha). Estas últimas son actualmente muy utilizadas.	48
Figura 14 Oculus Quest. Fuente: Elaboración propia.	49
Figura 15 Controlador de Oculus Go. Fuente: Oculus.....	50
Figura 16 Dispositivo Leap Motion. Fuente: Ultraleap	50
Figura 17 Guantes de Realidad Virtual Senso Glove. Fuente: Elaboración propia.	51

Figura 18 Gafas para inserción de smartphone. De izquierda a derecha: gafas tipo cardboard de cartón, gafa de cartón de calidad superior, gafas de plástico con auriculares y botón y finalmente gafas Samsung Gear VR. Fuente: Elaboración propia	54
Figura 19 Oculus Go. Fuente: Elaboración propia.	54
Figura 20 Oculus Quest. Fuente: Elaboración propia.	55
Figura 21 Lenovo Explorer. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura 22 HTC Vive Pro con conexión wireless de alta frecuencia en zona de tracking. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 23 Gafas de Realidad Aumentada Epson Moverio BT300 (izquierda) y Vuzix M300 (derecha), utilizadas para probar la visualización de modelos anatómicos 3D con Realidad Aumentada. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 24 Visualizando modelo anatómico 3D del cuerpo humano en las gafas de Realidad Mixta Magic Leap. Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 25 Cámara Samsung Gear 360 (versión 2017, izquierda, y 2016, derecha). Fuente: Samsung.	59
Figura 26 Dispositivo Leap Motion para detección de movimientos y gestos de las manos.	60
Figura 27 Guantes de Realidad Virtual SENSO. Fuente: web senso.me.	61
Figura 28 Diagrama del patrón MVC. Fuente: https://stips.wordpress.com/2019/04/15/model-view-controller-mvc-en-ios-un-enfoque-moderno/	65
Figura 29 Implementación sencilla de patrón Singleton en Unity3D	68
Figura 30 Diagrama de clases proyecto Cráneo humano VR. Fuente: elaboración propia. Consultar siguiente enlace para su visualización ampliada: HTTPS://IBB.CO/CVJLMHB	71
Figura 31 Diagrama de clases proyecto Plataforma RV Formativa USAL Medical Studium. Fuente: elaboración propia. Consultar siguiente enlace para su visualización ampliada: HTTPS://IBB.CO/D27HWH6	72
Figura 32 Diagrama de clases proyecto software de simulación de protocolo de implantología dental. Fuente: elaboración propia. Consultar el siguiente enlace para poder visualizar de forma ampliada el diagrama: HTTPS://IBB.CO/QBTMXGM	72
Figura 33 Diagrama de clases proyecto Simulador de protocolo de fijación transpedicular lumbar. Fuente: elaboración propia. Consultar el siguiente enlace para poder visualizar de forma ampliada el diagrama: HTTPS://PHOTOS.APP.GOO.GL/QKTW948ET3J6CWG77	73
Figura 34 Diagrama de clases proyecto Simulador de Auscultación Cardíaca. Fuente: elaboración propia. Consultar el siguiente enlace para poder visualizar de forma ampliada el diagrama: HTTPS://IBB.CO/3DS1JYQ	73

Figura 35 Diagrama de clases proyecto HumanLayers. Fuente: elaboración propia. Consultar imagen ampliada en: HTTPS://IBB.CO/5BW8GL1	74
Figura 36 Diagrama de clases proyecto Nextmed Versión Android. Fuente: elaboración propia. Consultar imagen ampliada en: HTTPS://IBB.CO/TSH5CNZ	74
Figura 37 Diagrama de clases proyecto Nextmed Versión Virtual Reality. Fuente: elaboración propia. Consultar imagen ampliada en: HTTPS://IBB.CO/GVY6FWG	74
Figura 38 Diagrama de clases proyecto Nextmed Versión Escritorio. Fuente: elaboración propia. Consultar imagen ampliada en: HTTPS://IBB.CO/2FVQBDN	75
Figura 39 Módulo interactivo para el montaje de los diferentes huesos que conforman la bóveda del cráneo humano. Elaboración propia.	78
Figura 40 Paneles interactivos situados en una imagen 360 de un quirófano para explicar diferentes aparatos electrónicos. Elaboración propia.	79
Figura 41 Ejemplo de imagen 360 sin procesar grabada en un cirugía de Fijación Traspedicular Lumbar. Elaboración propia.	80
Figura 42 Imagen con estereoscopia del simulador de fijación transpedicular lumbar, donde el usuario utiliza el punzón para perforar la tercera vértebra. Fuente: Elaboración propia.	81
Figura 43 Selección de modo de ejecución del simulador	81
Figura 44 Imagen del simulador de Realidad Virtual para la realización de un protocolo de implantología dental.....	82
Figura 45 Simulador de auscultación cardíaca. En esta imagen, el usuario tiene activada la opción para ver los puntos de los diferentes focos de auscultación, y la opción de Esconder la piel desactivada. Elaboración propia.....	82
Figura 46 Interfaz de Ajustes del simulador de Auscultación. Elaboración propia.	83
Figura 47 Imágenes del sistema de Auscultación Cardíaca. Izq.: Evaluación tipo test. Der.: Escuchando el sonido del fonendo y visualizando la onda de sonido. Elaboración propia.	83
Figura 48 Menú principal de la plataforma de Realidad Virtual implementada para la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca.....	84
Figura 49 Captura de una visualización 360 con el cuerpo humano y las diferentes capas que el usuario puede añadir o quitar. Elaboración propia.....	85
Figura 50 Visualizando las diferentes capas del cuerpo humano con Realidad Aumentada con el sistema Human Layers RA. Elaboración propia.	101

I. Introducción

I.1. Antecedentes y estado actual

Ya en 1856 Sir David Brewster, reconocido científico escocés que realizó diferentes investigaciones en el campo de la óptica, publicó un interesante libro que hoy en día podemos encontrar de forma gratuita en Internet (Brewster, 2018). En este libro hacía un repaso de la estereoscopia, su historia, la teoría y sus aplicaciones en la educación, entre otras cuestiones.

En este libro (capítulo XIII), Sir David Brewster relata con suma brillantez cómo los maestros no están dotados por los gobiernos de las herramientas de enseñanza adecuadas, no estando en muchos casos mucho más aventajados que los propios alumnos.

"The teacher, however wisely chosen and well qualified, has not at his command the means of imparting knowledge. He may pour it in by the ear, or extract it from the printed page, or exhibit it in caricature in the miserable embellishments of the school-book, but unless he teaches through the eye, the great instrument of knowledge, by means of truthful pictures, or instruments, or models, or by the direct exhibition of the products of nature and of art, which can be submitted to the scrutiny of the senses, no satisfactory instruction can be conveyed."

"El maestro, aunque sabiamente elegido y bien cualificado, no tiene a su disposición los medios para impartir conocimientos. Lo puede impartir a través del oído, o extraerlo de una página impresa, o exhibirlo en caricatura en los miserables embellecimientos del libro escolar, pero a menos que enseñe a través del ojo, el gran instrumento del conocimiento, por medio de imágenes verídicas o instrumentos, o modelos, o por la exposición directa de los productos de la naturaleza y del arte, que pueden someterse al escrutinio de los sentidos, no se puede transmitir una instrucción satisfactoria."

En este admirable texto (Brewster, 2018) pone en relieve la importancia de poder enseñar a través de la visualización de conceptos, ya que el ser humano está acostumbrado a estudiar el mundo que le rodea utilizando de forma más relevante que el resto el sentido de la vista.

Sin duda alguna este texto es un preludio a la importancia de las imágenes y del uso de técnicas estereoscópicas como herramientas para la educación (Cabero Almenara, 2017). No obstante, Sir David Brewster estaba preocupado por la persistencia de las fotografías a lo largo de la historia, ya que si estas se desintegraban o sufrían daños por el paso de los tiempos los conocimientos que albergaban se perderían. La solución que propuso a

este problema fue la galvanografía o grabados electrolíticos, que permiten realizar grabados en metal por medio de la electrólisis.

No obstante, hoy en día no debemos mostrar tanta consideración por la pérdida del conocimiento por el paso del tiempo, ya que realmente, y aunque nos produzca cierta nostalgia a aquellos que disfrutamos con el tacto de un libro o una imagen impresa, actualmente la mayoría de información se almacena de forma digital. Esto, supuestamente, permitirá que la información perdure con el paso del tiempo. No entraremos en detalles sobre esta afirmación, ya que se podrían dar determinados sucesos, extremos e improbables pero posibles, al fin y al cabo, que podrían acabar con gran parte (o toda) la información que tenemos almacenada digitalmente. Sería interesante analizar los posibles resultados de una catástrofe de tal magnitud.

Por tanto, a mediados del siglo XIX ya se planteaba la estereoscopía y la visualización de objetos como algo fundamental en la enseñanza, y curiosamente en la actualidad, dos siglos después, los maestros y profesores siguen utilizando las mismas técnicas de enseñanza en sus aulas. Puede que se hayan introducido el uso de recursos audiovisuales, como vídeos, en algunos temas concretos, pero lo cierto es que lo más utilizado en el día a día de los profesionales de la enseñanza sigue siendo el libro y la oratoria.

Tal y como el propio Sir David Brewster indica, las representaciones estereoscópicas de determinados elementos de la naturaleza pueden resultar muy instructivas, pudiendo llegar de forma mucho más directa e impactante a nuestros sentidos que una simple descripción textual o imagen tradicional.

Sin embargo, en esa época no se podía imaginar cómo la estereoscopía iba a avanzar durante los próximos 160 años hasta convertirse en lo que hoy conocemos como mundo virtual. Esta virtualización del mundo que nos rodea nos ha permitido generar mucho más que imágenes estereoscópicas, ya que actualmente hablamos de modelos 3D. Estos no son más que representaciones tridimensionales de determinados objetos o conceptos que, gracias a la tecnología, pueden ser visualizados como elementos del mundo real, utilizando técnicas de Realidad Aumentada o Realidad Virtual, como veremos en próximos capítulos.

Esto sin duda trasciende las palabras del propio científico escocés, lo cual nos debería hacer pensar que, si a mediados del siglo XIX se consideraba la visión estereoscópica, a día de hoy elemento sin valor sepultado por las tecnologías actuales, deberíamos plantearnos seriamente el uso de las tecnologías 3D como herramientas formativas en todas las aulas, dotando a los profesores de las técnicas más eficientes para ilustrar debidamente a sus estudiantes, considerados el futuro en sus respectivos campos y por tanto nuestra esperanza para acercarnos más rápidamente a nuevos avances científicos.

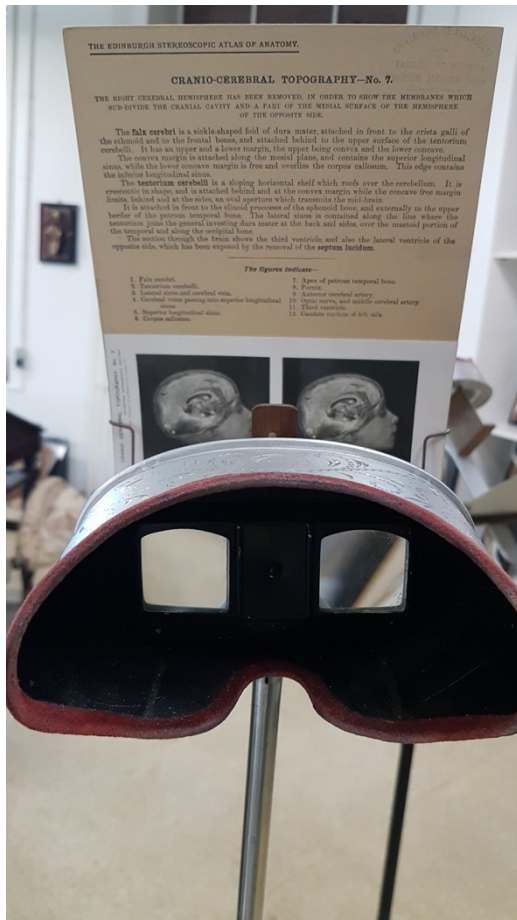


Figura 1 Gafas de estereoscopia en el Museo de Anatomía de la Universidad de Valladolid. Elaboración propia.

Sin ir más lejos, en la Figura 1 podemos ver unas gafas de estereoscopia que ya se usaban para la formación hace décadas. Estas concretamente se encuentran en un Museo sobre Anatomía humana disponible en la Universidad de Valladolid. Con estas gafas se podría obtener una recreación tridimensional del cráneo humano, lo cual resultaba interesante para los alumnos de medicina de aquel momento. Esto nos demuestra el interés que ya existe desde hace décadas en el campo de la formación médica por las técnicas de visualización 3D.

Como es evidente, estas técnicas han avanzado considerablemente en los últimos años, y en estos momentos disponemos de una tecnología de Realidad Virtual que nos ofrece recreaciones 3D mucho más avanzadas que las de entonces. De hecho, uno de los proyectos implementados en esta tesis, descrito en el paper *VIRTUAL REALITY EDUCATIONAL TOOL FOR HUMAN ANATOMY*, permite la visualización de un cráneo humano desde su interior, viajando por sus

diferentes estructuras anatómicas al tiempo que se escucha una explicación de cada una de ellas. El cráneo además ha sido generado a partir del TAC de un paciente, para incrementar el nivel de realismo.

Se presenta por tanto una necesidad en el mundo académico y formativo en general, cuyo núcleo principal es el de aprovechar las nuevas tecnologías de visualización, como son la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual, para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

1.2. Justificación de nuestro estudio

Los nuevos avances tecnológicos hacen que sea más fácil conseguir otros nuevos, lo cual hace que la ciencia avance a un ritmo exponencial, explicando por qué en los últimos 50 años hemos avanzado a nivel tecnológico más que en los 2000 anteriores. Esta misma teoría debería aplicarse a la educación: si aprovechamos la tecnología actual para mejorar los procesos de enseñanza, conseguiremos que las personas aprendan a un ritmo mayor, lo cual revertirá en nuevos avances, tejiendo así un bucle que no tiene otro fin más que el

avance científico y de la sociedad, siempre y cuando consigamos controlar dichos avances y aplicarlos correctamente.

Existe un campo concreto en el que, teniendo en cuenta el estado actual de la tecnología de Realidad Virtual y Realidad Aumentada, su aplicación puede ser de gran utilidad: la medicina.

No cabe la menor duda de que el estudio de la medicina se trata de una prioridad a nivel mundial, ya que revierte directamente en cada uno de los individuos. Hace relativamente muy poco, en el año 1900, la media de esperanza de vida en España no llegaba a los 35 años, y en China y la India ni siquiera llegaba a los 25 (Riley, 2001). Actualmente la media en España supera los 83 años. Sin duda el avance de la medicina ha contribuido a este hecho de forma excepcional, y desde luego es del gusto de todos que nos atienda un médico bien formado cuando ponemos nuestras vidas en sus manos.

Estas son las bases para la investigación que se llevará a cabo en esta tesis. Se analizará cómo el mundo 3D, a través de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual, puede utilizarse como herramienta formativa en el ámbito educativo, y más específicamente dentro de la disciplina médica.

Por otro lado, fuera del ámbito formativo, una parte importante de esta tesis está asociado al proyecto Nextmed, que permite la visualización de imágenes radiológicas, concretamente de tomografías computarizadas, mediante Realidad Aumentada y Realidad Virtual. En este sentido, se identificó una necesidad relacionada con hacer más sencillo a los especialistas el proceso de segmentación, que de forma general debe llevarse a cabo manualmente o de forma semiautomática. Esto implica que en la mayoría de los casos los facultativos no realizan la segmentación de la zona anatómica de interés, ya que supondría la dedicación de un tiempo del que realmente no disponen. Por tanto, tan sólo se lleva a cabo en determinados casos, a pesar de que sería interesante disponer de esa segmentación en muchas ocasiones.

Por tanto, la solución que se ha dado a dicho problema ha sido la automatización del proceso de segmentación, de forma que no sea necesaria la intervención de los especialistas para esta tarea, permitiendo así que se pueda llevar a cabo de forma generalizada.

Dentro de este mismo proyecto, también abarcamos la visualización de las imágenes médicas, no sólo la segmentación. Actualmente se están visualizando los resultados radiológicos en 2D, y en 3D a través de workstations con pantallas 2D, que son básicamente ordenadores con software específico para permitir la visualización y manipulación de las imágenes, obteniendo una representación 3D a partir de las mismas y permitiendo llevar a cabo mediciones, así como segmentaciones y otras tareas.

No obstante, la visualización con estas técnicas de modelos 3D supone perder las ventajas que obtenemos con las tres dimensiones. Al fin y al cabo, cuando tenemos un objeto real, podemos movernos a su alrededor y estudiarlo desde diferentes perspectivas, teniendo en cuenta la profundidad del objeto desde diferentes perspectivas. Esto no es posible si visualizamos el modelo 3D en una pantalla de ordenador, sin embargo, sí lo es si aplicamos las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Este es precisamente otro de los objetivos de este proyecto.

I.3. Objetivos

I.3.1. Objetivos generales

Dotar de herramientas tecnológicas adecuadas para la formación práctica de los futuros médicos y profesionales en ejercicio basadas en Realidad Aumentada y Realidad Virtual con independencia de una especialidad concreta, así como desarrollar una nueva herramienta para el estudio de imágenes médicas con estas tecnologías.

Publicar los resultados obtenidos en los desarrollos tecnológicos implementados para difundir el empleo de estos en el ámbito médico tanto desde el punto de vista educativo como práctico.

I.3.2. Objetivos específicos

Para ello con una metodología de casos se van a desarrollar prototipos funcionales de sistemas, que se encuadran en proyectos reales.

Cada uno de los prototipos sigue una metodología ágil de desarrollo basada en SCRUM (Schwaber & Beedle, 2001), según el cual se ha dividido el desarrollo del proyecto en etapas o sprints de 3 semanas. En cada uno de estos sprints, se ha creado una versión incremental del sistema que ha sido revisada por los usuarios finales, que en el caso de los proyectos implementados para esta tesis se trata de profesionales médicos. De esta forma, se garantiza en cierta medida que el software diseñado se ajusta a los requisitos del cliente, que en este caso son los propios usuarios. Al mismo tiempo, los resultados progresivos obtenidos en la fase de implementación han sido evaluados por los directores de esta tesis.

En la siguiente tabla se resumen los objetivos específicos de esta tesis, indicando el proyecto asociado a cada uno de estos objetivos, el software resultante del cumplimiento

de cada objetivo y finalmente el o los resultados académicos obtenidos como publicaciones científicas.

Objetivo	Proyecto	Resultado Software	Resultados académicos relacionados
Herramientas para el estudio de la Anatomía Humana: Implementación de diferentes sistemas tecnológicos para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje 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.	Aplicación de Realidad Virtual para el estudio del cráneo humano	<p>Anexo I: Virtual Reality medical training system</p> <p>(González Izard, S., & Juanes Méndez, J. A. (2016). Virtual Reality Medical Training System. TEEM '16: Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, 479-485)</p> <p>Anexo V: Virtual Reality Educational Tool for Human Anatomy</p> <p>(González Izard, S. G., Méndez, J. A. J., & Palomera, P. R. (2017a). Virtual reality educational tool for human anatomy. Journal of medical systems, 41(5), 76)</p> <p>Anexo X: Virtual Reality In Higher Education An Experience With Medical Students</p> <p>(González Izard, S., Vivo Vicent, C., Juanes Méndez, J. A., & Palau, R. (2020c). Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students. TEEM '20 (in press))</p>
	Diseño de una aplicación que permite la visualización de las diferentes estructuras corporales generales del cuerpo humano agrupadas en los diferentes sistemas a través de la Realidad Aumentada con dispositivos móviles y gafas de Realidad Aumentada/Mixta	<p>Aplicación de Realidad Aumentada <i>Human Layers</i></p> <p>Aplicación de Realidad Virtual <i>Human Layers</i></p>	<p>Anexo XI: App Design and Implementation For Learning Human Anatomy Through Virtual and Augmented Reality</p> <p>(González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J., & Moreno Belloso, C. (2020a). App Design and Implementation for Learning Human Anatomy Through Virtual and Augmented Reality. En D. Burgos, Radical Solutions and eLearning, Practical Innovations and Online Educational Technology (págs. 199-213). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4952-6)</p>
Simuladores de Realidad Virtual interactivos para la práctica en protocolos y conocimiento de entornos médicos	Cardiología: Simulación virtual para el aprendizaje práctico en auscultación cardíaca.	Aplicación de Realidad Virtual para la práctica de Auscultación Cardíaca	<p>Anexo X: Virtual Reality In Higher Education An Experience With Medical Students</p> <p>(González Izard, S., Vivo Vicent, C., Juanes Méndez, J. A., & Palau, R. (2020c). Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students. TEEM '20 (in press))</p>
	Conocimiento de entornos hospitalarios: Se introduce al usuario en el interior de un quirófano y se le explican virtualmente los diferentes	Aplicación de Realidad Virtual para inmersión 360 en entornos médicos reales	<p>Anexo III: 360° vision applications for medical training</p> <p>(González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J., Jiménez López, M., Pastor Vázquez, F., & Ruisoto, P.</p>

	equipamientos que se encuentran habitualmente en su interior. Se utiliza una cámara con tecnología 360 para la grabación del quirófano y se implementa un software de Realidad Virtual para visualizar el entorno de forma interactiva.		<p>(2017b). 360 Vision Applications for Medical Training. TEEM 2017: Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality. DOI: https://doi.org/10.1145/3144826.3145405)</p> <p>Anexo X: Virtual Reality In Higher Education An Experience With Medical Students</p> <p>(González Izard, S., Vivo Vicent, C., Juanes Méndez, J. A., & Palau, R. (2020c). Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students. TEEM '20 (in press))</p>
	Neurocirugía: 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 ha implementado un sistema para simular un procedimiento de fijación transpedicular lumbar. En este sistema el usuario interactúa con su entorno, realizando los pasos de la cirugía de forma completamente virtual.	Aplicación de Realidad Virtual para la práctica interactiva del protocolo de fijación transpedicular lumbar	<p>Anexo II: Virtual Simulation for Scoliosis Surgery</p> <p>(González Izard, S., Juanes Méndez, J., Gonçalves Estella, J., Sánchez Ledesma, M., García Peñalvo, F., & Ruisoto, P. (2017c). Virtual Simulation for Scoliosis Surgery. TEEM. Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality)</p> <p>Anexo IV: Virtual Reality as an Educational and Training Tool for Medicine</p> <p>(González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J., Estella, J. M. G., Sánchez Ledesma, M. J., & Ruisoto, P. (2018b). Virtual reality as an educational and training tool for medicine. Journal of medical systems, 42(3), 50)</p>
	Formación en implantología dental: Visualización y simulación virtual interactiva de un procedimiento de implantología dental.	Aplicación de Realidad Virtual para el estudio de proceso de implantología dental	<p><i>No se realizado ninguna publicación enfocada en la presentación de este proyecto concreto, al haber realizado otras dos publicaciones relacionadas con resultados similares</i></p> <p>(González Izard, S., Juanes Méndez, J., Gonçalves Estella, J., Sánchez Ledesma, M., García Peñalvo, F., & Ruisoto, P. (2017c). Virtual Simulation for Scoliosis Surgery. TEEM. Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality)</p> <p>(González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J., Estella, J. M. G., Sánchez Ledesma, M. J., & Ruisoto, P. (2018b). Virtual reality as an educational and training tool for medicine. Journal of medical systems, 42(3), 50)</p>
Nuevas técnicas avanzadas de visualización de imagen médica	Sistema de visualización y manipulación avanzada en 3D de resultados radiológicos a través de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual. El objetivo es permitir a los radiólogos y facultativos de otras especialidades médicas la	<ul style="list-style-type: none"> Nextmed RA: Aplicación móvil con tecnología de Realidad Aumentada para la visualización y el estudio de 	<p>Anexo VI: NextMed, How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality</p> <p>(González Izard, S., Juanes Méndez, J., Ruisoto, P., & García-Peñalvo, F. (2018a). NextMed: How to enhance 3D</p>

	<p>visualización en 3D de imágenes radiológicas, aprovechando las ventajas de la digitalización y de estas dos tecnologías. Además, un objetivo importante es que este proceso sea rápido y no suponga un coste elevado, para permitir su uso de forma generalizada a la hora de estudiar las imágenes médicas. Para ello se deben implementar algoritmos de visión artificial para la segmentación automática de diferentes estructuras anatómicas. Para ello será necesario aplicar técnicas de visión artificial para crear nuevos algoritmos de segmentación médica. 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. El desarrollo tecnológico de esta solución y la difusión de los resultados obtenidos es uno de los objetivos específicos más importantes de esta tesis.</p>	<p>imágenes médicas en 3D</p> <ul style="list-style-type: none"> Nextmed RV: Aplicación de Realidad Aumentada para la visualización y el estudio de imágenes médicas en 3D 	<p>radiological images with Augmented and Virtual Reality. TEEM, 397-404)</p> <p>Anexo VII: Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging</p> <p>(González Izard, S., Juanes Méndez, J., Ruisoto, P., & García-Peñalvo, F. (2019a). Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging. Journal Of Medical Systems, 43)</p> <p>Anexo VIII: NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization</p> <p>(González Izard, S., Alonso Plaza, Ó., Sánchez Torres, R., Juanes Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2019b). NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization: Explanation of the software platform developed for 3D models visualization related with medical images using Augmented and Virtual Reality technology. In Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (pp. 459-467))</p> <p>Anexo IX: Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D Model Visualization Platform Using Augmented and Virtual Reality</p> <p>(González Izard, S., Sánchez Torres, R., Alonso Plaza, Ó., Juanes Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2020b). Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D Model Visualization Platform Using Augmented and Virtual Reality. Sensors, 20 (10), 2962. doi:10.3390/s20102962)</p>
--	---	---	---

I.4. Contexto de la tesis

Esta investigación se ha llevado a cabo en el marco del Programa de Doctorado en Formación en la Sociedad del Conocimiento de la Universidad de Salamanca (García-Peñalvo, 2015a, 2015b).

I.5. Justificación de tesis por compendio

Este trabajo de Tesis doctoral se presenta bajo la modalidad de compendio de artículos, en función de la normativa de la Universidad de Salamanca, citada en el capítulo II del Reglamento de Doctorado, en su artículo 14.1., sobre la elaboración y defensa de La Tesis Doctoral.

En este trabajo se aportan diferentes artículos publicados, entre ellos cuatro en revistas JCR: dos encuadradas en el primer cuartil (Q1) y otras dos en el segundo cuartil (Q2), en sus categorías mejor valoradas en su año de publicación en el Journal Citation Reports (Science Edition) de la base datos Web of Science (WoS). Además, se han publicado diferentes capítulos de libro y se han presentado diversas comunicaciones a congresos de ámbito internacional. Todas las publicaciones realizadas se incluyen en los anexos de esta tesis doctoral.

I.6. Organización de la tesis

Cabe destacar que en esta tesis no se presenta un proyecto concreto, sino un conjunto de proyectos diferentes entre sí, que se han implementado como resultado de la investigación y los desarrollos realizados para la consecución de esta tesis, y que han finalizado en algunos casos con diferentes publicaciones de ámbito internacional, y en el caso de uno de ellos se han conseguido más de 600.000€ de financiación europea para su implementación en el ámbito de la colaboración público-privada con la Universidad de Salamanca. Estos proyectos tienen un objetivo común: investigar y presentar las consecuencias del uso de las tecnologías de Realidad Aumentada y Virtual en el ámbito médico, a través del desarrollo de diferentes herramientas software y la prueba de estos en entornos relevantes.

En primer lugar, se realiza una introducción para describir el marco teórico de esta tesis y explicar conceptos fundamentales para su entendimiento.

Para la implementación de los diferentes proyectos se han empleado una serie de tecnologías comunes, mientras que determinados módulos son específicos para cada proyecto. Por tanto, al compartir gran parte de material y método, la sección correspondiente (*MATERIALES EMPLEADOS Y METODOLOGÍA*) se ha redactado de forma común para todos los proyectos, haciendo referencia siempre a las publicaciones en cada caso. También se incluye un diagrama de clases de los principales proyectos desarrollados para esta tesis, con el objetivo de mostrar de forma esquemática el código fuente de cada uno de los sistemas.

En la sección *RESULTADOS OBTENIDOS* de esta tesis, se presentan los resultados organizados en diferentes proyectos. Con el objetivo de no repetir contenido, en esta sección se hará referencia a cada una de las publicaciones incluidas como anexos de este documento. En dichas publicaciones, se explicará el o los sistemas que se han desarrollado en el transcurso de las diferentes investigaciones y trabajos, asociados a un área concreta entre las tres siguientes:

- (1) Realidad Virtual como herramienta docente.

(2) Realidad Aumentada como herramienta docente.

(3) Proyecto Nextmed: Realidad Aumentada, Realidad Virtual y visión artificial para el estudio de imágenes médicas y planificación quirúrgica.

Por tanto, los resultados de cada uno de los proyectos que se han implementado durante esta tesis se detallan en cada uno de los tres apartados mencionados, con mención en cada caso a la publicación asociada, donde se amplían los detalles no sólo de los resultados obtenidos para el proyecto sino también del resto de secciones (introducción, material y método, resultados, discusión y conclusiones).

Finalmente, se incluye un apartado de *DISCUSIÓN*, *LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS* y *CONCLUSIONES* en relación a la investigación y desarrollos llevados a cabo.

Se incluyen, y referencian a lo largo de los diferentes capítulos de esta tesis, los anexos con las publicaciones realizadas.

Los últimos anexos se corresponden con los premios obtenidos y la presencia en medios de los resultados de esta tesis.

II. Marco teórico

II.1. Inicio con los dispositivos móviles

Fue en el año 1957 cuando se patentó el diseño del primer teléfono móvil, que sirvió de base para una investigación que culminó con el Altai, el primer teléfono móvil que se distribuyó comercialmente en 1963 y que se extendió por toda la Unión Soviética y algunos países de Europa del Este.



Figura 2 Anuncio de la época de los 80. Fuente: BT Archives

No obstante, para que personas de diferentes localizaciones pudieran comunicarse como lo hacemos hoy en día, fue necesario dar un paso más en cuanto a arquitectura de comunicación. De esta necesidad surgió la *telefonía celular*, que divide el espacio en diferentes *células*, donde cada una de estas celdas está cubierta por una antena de comunicación. De esta forma, podemos encontrarnos en una zona alejada del interlocutor y comunicarnos igualmente, aunque se encuentre en una zona cubierta por otra célula, ya que la comunicación se lleva a cabo a través de las células. El padre de esta tecnología fue Martin Cooper, que introdujo el primer radioteléfono en 1973 (Cooper et al., 1975). Sin embargo, la idea original es bastante anterior y pertenece a otro conocido científico. D.H. Ring concibió en 1947 la idea de la telefonía celular, sin embargo, la tecnología de la época todavía no estaba lo suficientemente avanzada, por lo que esta idea permaneció casi dos décadas cogiendo polvo (Agar, 2003).

No hace falta recalcar la importancia que tuvo el desarrollo de esta tecnología para la evolución de la sociedad y de las comunicaciones en las décadas siguientes. Podemos decir que esta invención supuso un cambio disruptivo en lo que a las comunicaciones se refiere, y esto a su vez cambió la sociedad.

De aquí pasamos al concepto de smartphone, que ya fue explorado en 1983 pero que no aparecería hasta el año 1997, de la mano de Ericsson. No obstante, nada tiene que ver el smartphone que conocemos hoy en día con el de aquella época. Lo cierto es que la comunidad científica debe sentirse muy orgullosa de los logros cosechados en los últimos

20 años, y especialmente en el campo de la informática. La capacidad de cálculo de los dispositivos de procesamiento, ya sean ordenadores o smartphones, ha crecido a un ritmo sorprendente, dando lugar a nuevas máquinas, dispositivos y avances que sin duda han cambiado a la sociedad y al propio individuo.

Pensemos que hace 20 años los teléfonos móviles nacieron como consecuencia de la necesidad de la sociedad de comunicarse a largas distancias, sin necesidad de encontrarse cerca de un teléfono fijo o una cabina telefónica. Hoy en día la evolución de estos dispositivos nada tiene que ver con nuestra necesidad de comunicarnos. De hecho, los nuevos avances tienen más que ver con el aumento de la capacidad de cálculo, la mejora de la calidad de imagen ofrecida por las pantallas, la mejora del diseño...

II.2. Implantación de la Realidad Aumentada y Virtual

La evolución de los smartphones hasta el día de hoy es lo que ha permitido que tecnologías como la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual puedan asentarse de una manera fehaciente en nuestra sociedad. Hagamos un ejercicio de retrospectiva viajando hasta el año 1962, momento en el que el visionario Morton Heiling (1926-1997) construyó un prototipo de visión conocido como Sensorama (Heiling, 1961). Resulta que Morton Heiling era un pionero de la Realidad Virtual, y ya por entonces fabricó el primer sistema del mundo con esta tecnología (Jones & Dawikins, 2017). Esta máquina ofrecía además una experiencia multisensorial, combinando películas tridimensionales, gracias a una visión binocular, con sonido estéreo, viento e incluso aromas (S. Hale & M. Stanney, 2015).

Sin embargo, su invento no tuvo éxito, principalmente por falta de financiación, pero podemos suponer que la sociedad no estaba preparada para visionar películas utilizando esta tecnología. Al fin y al cabo, era necesaria una gran máquina e inversión para poder disfrutar de esta experiencia de Realidad Virtual.

No obstante, si hablamos de la historia de la Realidad Virtual, debemos mencionar a Ivan Sutherland, quien diseñó su propio modelo de HMD (Head Mounted Display), el cual podemos ver en la Figura 3. Un HMD, concepto muy utilizado actualmente, consiste en unas gafas que incorporan diferentes sensores, entre ellos sensores de movimiento (al menos en la actualidad), y una pantalla donde se proyectan imágenes que, en este caso, se fusionan con el mundo real. Según esta definición, estas gafas encajan por tanto más dentro del ámbito de la Realidad Aumentada.

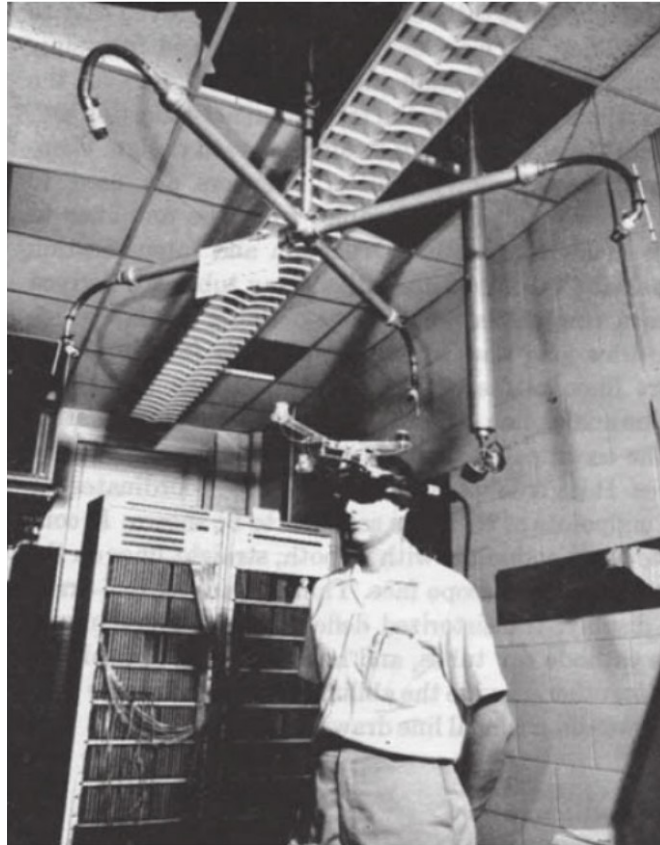


Figura 3 HMD de Ivan Shuterland (obtenido de Developing Virtual Reality Applications: Foundations of Effective Design)

¿Qué ha pasado en los últimos 55 años para que la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada se hayan convertido en dos tecnologías claramente emergentes? Pues bien, aquí es donde entra en juego el avance de los smartphones y de todo lo que rodea a estos dispositivos. Actualmente tenemos en nuestros bolsillos dispositivos con una increíble capacidad de procesamiento y unas pantallas con una calidad realmente impresionante (debemos medir con cuidado las palabras que utilizamos, ya que gracias al avance de la tecnología los lectores que analicen esta tesis en un futuro cercano pueden pensar que se ha exagerado en estas descripciones). Estas características son principalmente las que hacían falta para que la Realidad Virtual y Aumentada se puedan instalar en los hogares de todas las personas del mundo occidental durante los próximos 5 años. En el siguiente gráfico, obtenido del estudio publicado en 2017 por GVG (Research, 2017), queda en evidencia el claro crecimiento que han tenido estas tecnologías y que sin duda tendrán en los próximos años.

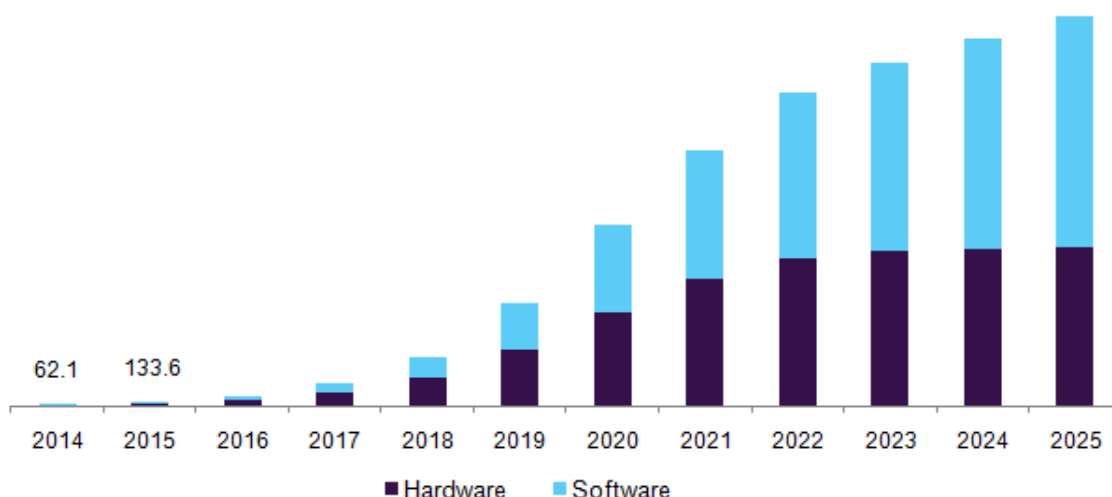


Figura 4 Evolución del mercado de la Realidad Virtual en EEUU en millones de dólares (Fuente: Virtual Reality Market Size, Share & Trends Analysis Report By Device (HMD, GTD), By Technology (Semi & Fully Immersive, Non-immersive), By Component, By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027)

Las tecnologías no deben existir porque podamos desarrollarlas, sino porque realmente aportan algo a la sociedad. En este sentido, ¿qué aportan la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual? En los diferentes anexos se da respuesta a estas cuestiones, pero cabe anticipar que tienen un gran potencial como herramientas para la formación, y más específicamente para la formación médica. Precisamente uno de los principales objetivos que se pretenden alcanzar con esta tesis es el estudio exhaustivo de estas tecnologías como recursos a utilizar en el ámbito de enseñanza-aprendizaje de la medicina. Para ello, no sólo analizaremos sus ventajas e inconvenientes, sino que implementaremos sistemas propios que nos permitan estudiar los resultados de su aplicación en estudiantes y profesionales de la medicina.

Sin embargo, estas tecnologías no son útiles exclusivamente para la formación médica, dentro de este campo tiene mucho que aportar fuera del mundo académico. Uno de los proyectos principales de esta tesis, sino el más importante, es el proyecto Nextmed, cuyo objetivo no está orientado a la formación, sino a la implantación en el día a día de un hospital. Este proyecto ha supuesto más de cinco años de investigación y trabajo al autor de esta tesis, consiguiendo un hito importante en 2018 con la recepción de una financiación de origen europeo por un total de aproximadamente 600.000€, orientados a apoyar la investigación y creación de un equipo de trabajo para acelerar el desarrollo del proyecto y orientarlo a su implantación en hospitales en 2021.

Por tanto, esta tesis doctoral no solo condensa años de investigación en el campo de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual aplicadas a la medicina, sino que describe además el proceso de implementación de sistemas reales como parte necesaria en el proceso de investigación, y que utilizan estas tecnologías para crear simuladores interactivos virtuales, sistemas inmersivos para el estudio de la anatomía humana y otros

sistemas que se describirán a lo largo de la tesis. Cada uno de estos sistemas se han testado en entornos reales para comprobar y medir su eficacia, teniendo en cuenta la importancia que los resultados de este estudio pueden arrojar al campo de la formación y la práctica médica, donde laboratorios farmacéuticos, universidades y otras entidades públicas y privadas tienen un gran interés, sin olvidarnos del interés que los propios seres humanos debemos mostrar por la mejora de las herramientas para la práctica médica y la formación de nuestros profesionales médicos, en cuyas manos ponemos nuestra supervivencia en multitud de ocasiones a lo largo de nuestras vidas.

II.3. Sistemas de simulación en el ámbito médico

La simulación para la mejora de la formación de los profesionales no es ni mucho menos un concepto nuevo, y como ocurre en muchas ocasiones cuando hablamos de nuevos sistemas tecnológicos, los primeros en emplearlos fueron los ejércitos. En 1930 Edwin Link patentó el Link Trainer, que podríamos considerar el primer simulador moderno, y que acabó siendo utilizado para formar a pilotos de diferentes ejércitos (Page, 2000).

En el caso de los simuladores orientados a la medicina, en 1999 el Instituto de Medicina de Estados Unidos publicaba el informe “Err is human: Building a safer health system”, donde reflejaba que hasta 100.000 personas morían al año sólo en EEUU por errores médicos, dejando en evidencia la necesidad de una mejora en la formación de los profesionales para evitar errores médicos (Donaldson et al., 2000).

Por otro lado, esta mejora de la formación médica debe cumplir con las exigencias éticas por las cuales se debe garantizar la seguridad e intimidad de los pacientes durante el aprendizaje de los profesionales médicos.

En este sentido, los simuladores en todas sus posibilidades tecnológicas, suponen una gran solución a ambos problemas, al mejorar la formación de los profesionales sin la necesidad de emplear pacientes reales (Mariscal et al., 2020).

Hasta el momento, los simuladores más utilizados han sido dispositivos específicamente diseñados para reproducir las reacciones del cuerpo humano para diferentes procesos, ya sea una cirugía o una ecografía. Estos dispositivos, que llamamos muñecos de simulación, a día de hoy se encuentran muy avanzados, no obstante, están muy especializados para la simulación de determinadas enfermedades y suponen una gran inversión, por lo que cada alumno de medicina no puede adquirirlos para su formación.



Figura 5 Maniquí de prácticas médicas. Elaboración propia.

Por otro lado, la evolución de la tecnología de Realidad Virtual ha permitido diseñar simuladores para protocolos concretos, de forma que con dispositivos de bajo coste los alumnos de medicina y residentes pueden realizar un protocolo con este simulador inmersivo tantas veces como deseen y desde cualquier lugar con una mínima inversión (González Izard et al, 2017c) (González Izard et al, 2018b).

Uno de los proyectos expuestos en esta tesis es precisamente un simulador inmersivo interactivo que se ha desarrollado y que ha sido utilizado por diferentes facultativos, e instalado en diferentes puestos de Realidad Virtual de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca (González Izard et al, 2020c).

II.4. Estereoscopía como base de la Realidad Virtual

II.4.1. Introducción

Los seres humanos siempre nos hemos empeñado en buscar el realismo en los sistemas de visualización que empleamos, ya sea un teléfono móvil, la televisión o el cine. Esto requiere que los sistemas de visión se acerquen lo máximo posible a las imágenes que captamos con nuestros ojos.

Al igual que muchos otros vertebrados, tenemos la suerte de contar con una *visión binocular*, lo cual nos permite percibir las distancias y los volúmenes de los objetos que nos rodean. En la visión binocular, que es aquella en la que se utilizan los dos ojos a la vez, cada ojo percibe una imagen ligeramente diferente, sin embargo, el cerebro se encarga de fusionar ambas imágenes para darnos la información en tres dimensiones. En la prehistoria, esta capacidad permitió a los cazadores medir distancias para capturar a sus presas, por tanto, podemos decir que se trata de una característica innata al ser humano y, por supuesto, de gran importancia desde la época prehistórica (Cutting, 1997) (Guerrero et al 2011).

De hecho, nuestros antepasados ya intentaban plasmar la visión tridimensional en sus pinturas, partiendo de las pinturas rupestres hasta la pintura egipcia. Las diferentes técnicas para representar a través de la pintura una visión realista del mundo que nos rodea se fueron depurando con los años, hasta que durante el Renacimiento aparecieron nuevas técnicas revolucionarias, como la *perspectiva aérea*. Sin embargo, todo esto no tiene mucho que ver con la estereoscopia, aunque sí nos permite entender la necesidad de su aparición como consecuencia de la voluntad del ser humano de crear imágenes que se asemejen lo máximo posible a la realidad que somos capaces de percibir.

Fue el físico Charles Wheatstones el primero en definir los principios de la estereoscopia, en una publicación que realizó en el año 1838, tan sólo 7 años después de la aparición de fotografía (Wheatstone, 1838). En esta publicación Wheatstones explica cómo, al crear dos imágenes sensiblemente diferentes una de la otra, tomadas desde dos perspectivas diferentes, podemos crear un efecto de profundidad. Sin embargo, para conseguirlo es necesario que se visualice cada una de estas imágenes con un ojo, de forma que la imagen de la izquierda sea captada únicamente por un ojo y la de la derecha por el otro. Para ello inventó el estereoscopio, un artilugio con cuatro espejos que permitía reflejar cada una de las imágenes a un ojo diferente. Como resultado, se consigue que nuestro cerebro cree una imagen con profundidad, creando así las primeras imágenes tridimensionales. Nace aquí la estereoscopia.



Figura 6 Estereoscopio Zeiss (Fuente: Wikipedia. Estereoscopio)

II.4.2. ¿Qué es la estereoscopia?

Para entender la estereoscopia, primero debemos entender cómo vemos los seres humanos. Como acabamos de ver, la visión binocular o visión estereoscópica es lo que nos permite percibir el mundo que nos rodea en tres dimensiones. Cuando realizamos una fotografía estamos captando igualmente el entorno, sin embargo, únicamente conseguimos una visión en dos dimensiones del mismo (Guerrero et al 2011). Nuestro ojo actúa de forma similar a una cámara fotográfica, captando la luz que emiten o reflejan los objetos de nuestro alrededor. Entonces, ¿por qué somos capaces de ver en tres dimensiones? La respuesta a esta pregunta radica en que nosotros, a diferencia de las cámaras fotográficas tradicionales (actualmente existen cámara con dos lentes), percibimos el mundo a través de dos ojos, donde cada uno de ellos tiene una imagen diferente del mismo. La diferencia entre ambas imágenes se debe a los pocos centímetros (aproximadamente 6 cm) que separan un ojo del otro, suficiente para que la imagen que capta cada uno de ellos sea diferente. Lo que hace nuestro cerebro es *mezclar* ambas imágenes para crear una imagen tridimensional, donde somos capaces de percibir la profundidad.

Podemos definir la estereoscopia como cualquier técnica capaz de crear una ilusión de profundidad en una imagen. Como ya se ha mencionado anteriormente, Sir Charles Wheatstones ideó la primera técnica para crear esta ilusión, no obstante, a día de hoy existen otros métodos para conseguirlo.

Gracias al cine, en las últimas décadas se han lanzado diferentes tecnologías que buscan crear imágenes tridimensionales, buscando normalmente un abaratamiento de las

instalaciones y una mayor calidad de imagen. Veamos brevemente algunos de los principales métodos de estereoscopía o visión 3D que utilizamos en la actualidad (Olm & Gaffney, 2010) (Esnoz, 2012) :

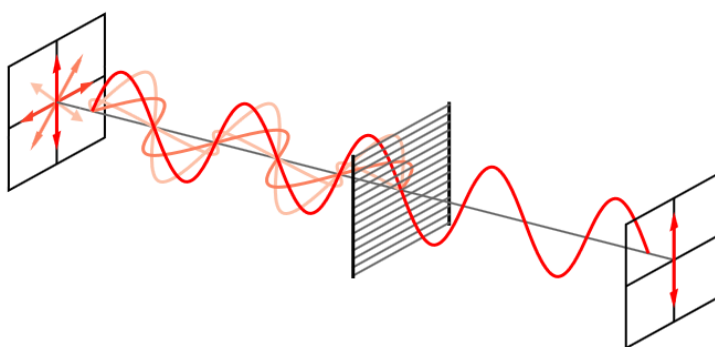
- **Anaglifos:** Los anaglifos son la opción más sencilla y económica para la visualización 3D, ampliamente conocidos desde finales del siglo XIX. La técnica consiste en que un ojo ve las imágenes a través de un filtro rojo, percibiendo las partes de la imagen de color rojo como claras, y los colores azules como partes oscuras. El otro ojo, con un filtro azul, tendrá el efecto contrario, y verá una imagen levemente diferente. El cerebro se encargará de juntar ambas imágenes y crear el efecto tridimensional. Uno de los principales problemas de esta técnica es la baja calidad de imagen que se consigue.
- **Gafas activas:** Con esta técnica la pantalla muestra una imagen para el ojo izquierdo y otra para el derecho de forma alternada y muy rápidamente, y las gafas se encargan de que cuando la pantalla muestra la imagen para el ojo derecho el izquierdo no pueda verlo, y viceversa. Estas gafas disponen de un sensor infrarrojo que sincroniza las imágenes, que se van alternando en la pantalla de forma tan rápida que el cerebro no es capaz de darse cuenta. El problema de estas gafas es que tienen un coste más alto.
- **Gafas pasivas:** Las gafas pasivas no necesitan de ningún sensor para sincronizar las imágenes, y tienen un coste menor. Se utiliza la técnica de polarización, que se explicará más adelante, para que cada ojo vea una imagen diferente que, como estamos viendo, es el aspecto clave en todos los casos. Vamos a ver dos de las técnicas más conocidas para el uso de gafas pasivas:
 - **RealD 3D:** Esta técnica consiste en mostrar a cada ojo una imagen y rápidamente mostrar otra para el otro ojo, realizando esta operación de forma alternada y continuada. Así, gracias a las gafas que lleva el usuario, cada imagen es percibida únicamente por un ojo, de forma que el cerebro se encarga de construir la imagen tridimensional. La clave está en cómo hace para mostrar una imagen diferente a cada ojo, cuya respuesta está en las bases de la polarización circular (ver a continuación). Debido a esto último, hacen falta unas pantallas especiales al utilizar este método, ya que deben conservar perfectamente la polarización.
 - **Dolby 3D:** En este caso no se utiliza la polarización para mostrar una imagen diferente a cada ojo, esta tarea se lleva a cabo utilizando en el proyecto un filtro que divide el color visible en seis bandas estrechas, dos en la región del rojo, dos en la del verde y dos en la del azul, de forma que,

gracias a las gafas, cada ojo ve un trío de colores. Aunque en este caso se produce un ahorro respecto a la pantalla, las gafas tienen un coste mayor.

II.4.3. Polarización circular y polarización lineal

Como hemos visto, todas las técnicas de estereoscopia utilizan dos imágenes ligeramente diferentes, y hacen que cada ojo vea una imagen diferente, sin embargo, según la técnica que se utilice esto último se consigue de una forma diferente. Actualmente, son muy comunes las gafas polarizadas para la visualización de imágenes en 3D, con las que en la pantalla se proyectan a la vez las dos imágenes superpuestas, y son las gafas las encargadas de mostrar a cada ojo la imagen que le corresponde. En el caso de las gafas polarizadas, se utiliza la polarización lineal o polarización circular para conseguirlo. Veamos en qué consiste cada una (Esnoz, 2012):

- **Polarización lineal:** En este caso, cada ojo dispone de un filtro que sólo deja pasar las imágenes en determinada longitud de onda. En la siguiente imagen esquemática podemos ver un ejemplo de un filtro, donde en la izquierda podemos ver cómo se generan diferentes longitudes de onda y el filtro situado en la parte centra sólo deja pasar aquellas que son verticales.



*Figura 7 Efecto de polarización lineal representando la actuación del filtro sobre diferentes longitudes de onda.
Fuente: Monográfico Sistemas de cine en 3D – Sistemas de polarización; escrito por Nacho Esnoz.*

- **Polarización circular:** En este caso podemos decir que cada imagen rota en un sentido, y cada cristal no deja ver la imagen que rota en uno de los sentidos.

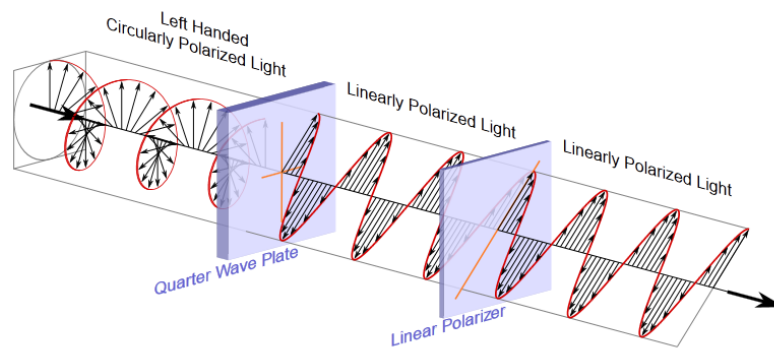


Figura 8 Efecto de polarización circular representando la actuación del filtro sobre diferentes longitudes de onda.
Fuente: Monográfico Sistemas de cine en 3D – Sistemas de polarización; escrito por Nacho Esnoz.

II.5. Evolución de las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual

Los conceptos de Realidad Aumentada y Realidad Virtual están íntimamente ligados a los modelos 3D, si bien no necesariamente implican la aparición de estos es habitual que el contenido mostrado con estas tecnologías los incluya.

Podemos ubicar la aparición de los primeros modelos 3D, tal y como los conocemos hoy en día, en la década de 1960. Una de las primeras animaciones en 3D que se conocen se le atribuye a William Ferrer, que trabajó durante esta década para Boeing empleando, como no podía ser de otra manera, ordenadores para diseñar y animar ciertos modelos (Kerlow, 2009).

Gracias a la digitalización del mundo que nos rodea y la aparición de los modelos 3D, hemos podido avanzar a un ritmo frenético en muchos ámbitos y sectores diferentes de nuestra sociedad. Pensemos por ejemplo en el modo en que se diseñan los coches que conducimos todos los días, los aviones y trenes o los edificios y rascacielos en los que vivimos. Hace pocas décadas todos estos elementos se diseñaban utilizando métodos tradicionales como son el papel y el bolígrafo. La visualización antes de la producción se llevaba a cabo por medio de la imaginación.

Hoy todo esto ha cambiado. De hecho, uno de los primeros sectores en aprovechar el potencial de los modelos 3D fue la industria. Actualmente, todos los coches, aviones, barcos o trenes que se producen tienen todos sus componentes diseñados en 3D. Y esto es así porque realmente esto aporta un gran número de ventajas, como pueden ser una visualización más cercana a la realidad sin necesidad de fabricar el producto, un mejor entendimiento de complejos circuitos o elementos mecánicos, mayor agilidad en el diseño, mejor gestión de la información, etc.

Otro sector que ha avanzado mucho tanto en su uso como en la calidad de los resultados obtenidos es el del entretenimiento, englobando aquí tanto a la industria del videojuego como a la del cine. En la actualidad, existen videojuegos que consiguen unos efectos 3D tremendamente realistas, y lo mismo podríamos decir de ciertas representaciones tridimensionales que podemos encontrar en muchas películas modernas.

Hoy en día, sin embargo, el uso de los modelos 3D se ha extendido a prácticamente cualquier ámbito, y por supuesto, también al ámbito médico (Saeed Alqahtani et al, 2017). Si hacemos una búsqueda rápida en Internet podremos encontrar modelos 3D de una calidad muy alta de prácticamente cualquier parte del cuerpo humano. Es más, podremos descargar una representación tridimensional del ser humano con un nivel de detalle desde el punto de vista anatómico sorprendente. Esto no hace otra cosa más que favorecer el avance del conocimiento médico y la instrucción no sólo de los estudiantes, sino también de profesionales experimentados y cualificados, que encontrarán en los modelos 3D una forma fascinante de estudiar el cuerpo humano.

II.5.1. ¿Qué es un modelo 3D?

En esta tesis se van a estudiar las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Estas tecnologías se basan en el manejo y la visualización de modelos 3D, con lo cual resulta de vital importancia introducir, al menos brevemente, los conceptos básicos de los mismos.

Un modelo 3D no es más que una sucesión de vértices localizados en un espacio tridimensional. Visto así, puede parecer algo complicado pero lo cierto es que no lo es. Imaginemos un simple cubo, formado por 6 caras y 8 vértices.

Un modelo 3D de este cubo no es más que un fichero en el que se representa la posición en el espacio tridimensional de cada uno de estos vértices, así como de las caras. Las caras, como podemos imaginar, están definidas por una sucesión de vértices.

En la siguiente imagen, podemos ver una representación 2D de un cubo 3D.

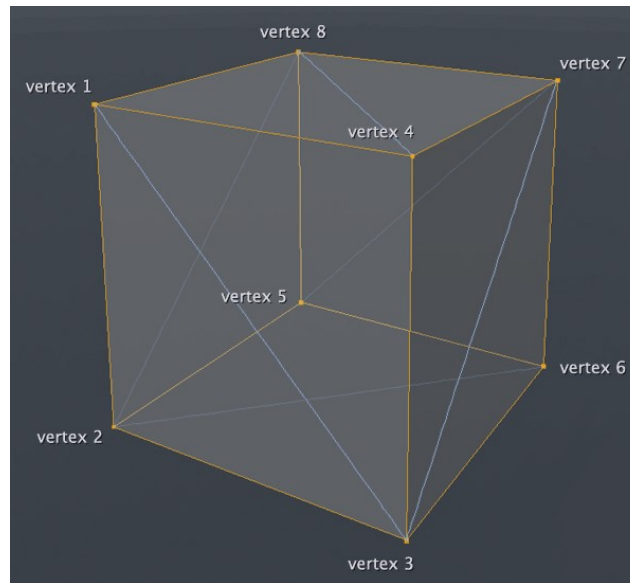


Figura 9 Representación del modelo 3D de un cubo. Fuente: All about OpenGL ES 2x (part 1/3); <http://blog.db-in.com/all-about-opengl-es-2-x-part-1/>.

Actualmente existen multitud de formatos de modelos 3D, al igual que existen multitud de formatos para documentos de texto: doc, docx, pages, pdf, txt, rtf... Un ejemplo de formato de modelo 3D es OBJ. Este formato, basado en texto, es un formato abierto, lo cual ha facilitado e impulsado que sea ampliamente utilizado. Vamos a ver un ejemplo simple, en este caso un triángulo (McHenry & Bajcsy, 2008).

```
v 0.0 0.0 0.0
```

```
v 0.0 1.0 0.0
```

```
v 1.0 0.0 0.0
```

```
f 1 2 3
```

Las tres primeras líneas definen los tres vértices y la última línea indica cómo formar una “cara” o polígono, en este caso uniendo los vértices 1, 2 y 3.

Obviamente aquí se ha tratado de simplificar al máximo la complejidad de los modelos 3D, ya que existen muchas otras variables y cuestiones que no se han contemplado. Por ejemplo, un elemento fundamental de los modelos 3D son las texturas, que dan la apariencia final al modelo.

Si nos fijamos en la imagen anterior del cubo, vemos que las caras del mismo no tienen ningún color, ni ninguna forma, más allá de la representación gris que nos aporta el motor gráfico del cual se ha obtenido dicha imagen. Si por ejemplo queremos representar en 3D una caja de cereales, necesitaremos incorporar las imágenes que tienen las caras de la caja

original en cada una de las caras de nuestro prisma rectangular. Estas imágenes es lo que denominamos texturas.

Los formatos de los modelos 3D definen cómo se deben aplicar las texturas a cada uno de los polígonos que componen un modelo 3D. También se pueden definir muchas otras características, como por ejemplo cómo debe reflejar la luz para representar, por ejemplo, brillos.

Los modelos 3D que se utilizarán para la implementación de los sistemas presentados en esta tesis doctoral tendrán normalmente un alto número de polígonos, lo cual incide directamente en la forma en que se desarrollarán los sistemas y el hardware que será necesario utilizar, como se explicará más adelante.

En la siguiente imagen podemos ver parte de un modelo 3D de un ser humano, donde se pueden apreciar los diferentes polígonos que lo componen:

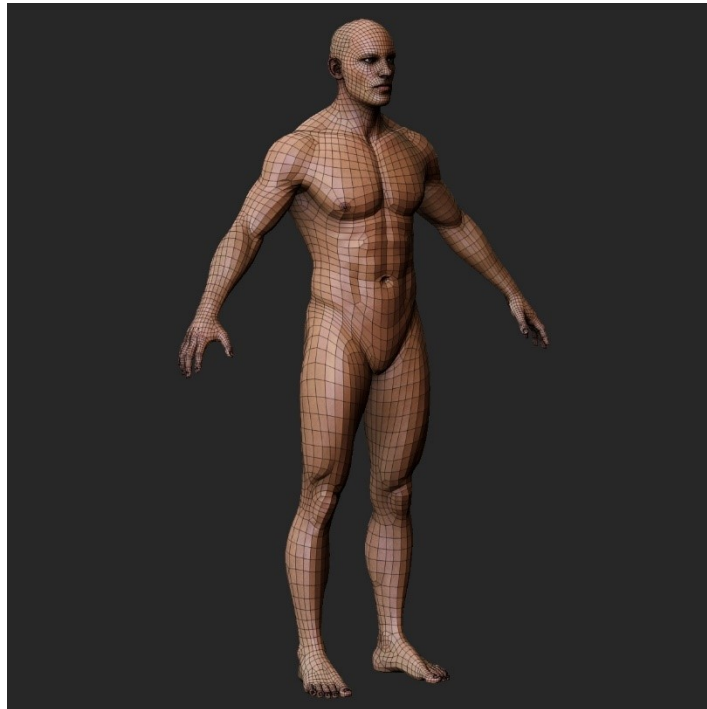


Figura 10 Mallado de un modelo 3D. Fuente: Turbosquid, Realistic Male Bodyby Andor Kollar.

Y en la imagen siguiente podemos ver ese mismo modelo con las texturas aplicadas:



Figura 11 Modelo 3D texturizado. Fuente: Turbosquid, Realistic Male Bodyby Andor Kollar.

Como podemos apreciar, las texturas son un elemento fundamental en los modelos 3D. Desgraciadamente, el uso de texturas de alta calidad es otro de los elementos que influyen en el rendimiento de los sistemas que manejan modelos 3D, por ello será necesario tener un equilibrio entre el número de polígonos y la calidad de las texturas utilizadas para conseguir un sistema informático que funcione correctamente.

Afortunadamente, los fabricantes de dispositivos móviles son conscientes del potencial de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual, y por ese motivo están desarrollando dispositivos optimizados que mejoran la velocidad y calidad de renderizado de gráficos, desarrollando chips con altas capacidades de renderizado y sensores para mejorar las experiencias, como medición de luz ambiental. Esto supone una gran noticia para estas tecnologías, que verán cómo se incrementa rápidamente su presencia en el mercado durante los próximos años, ya que cada vez un número mayor de dispositivos estarán preparados para ejecutar aplicaciones que trabajen con entornos 3D.

Una vez entendidos los modelos 3D, tenemos que comprender cómo los visualizamos. Hasta hace muy poco prácticamente todo el mundo visualizaba los modelos 3D en pantallas tradicionales, sin embargo, la aparición de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual están cambiando para siempre la forma en que visualizamos el mundo virtual.

II.5.2. ¿Qué es la Realidad Virtual?

Debido a una falta de consenso en cuanto a qué sistemas se pueden enmarcar dentro de la Realidad Virtual y cuáles no, a lo largo de la historia se han dado diferentes definiciones de este concepto (Biocca & Levy, 1995):

La Realidad Virtual consiste en simulaciones electrónicas de entornos experimentados por medio de gafas (head mounted displays) y ropa cableada que permite al usuario final interactuar de una forma realista en situaciones tridimensionales.

La definición anterior es bastante correcta, eliminando la referencia al uso de *ropa cableada*, puesto que en la actualidad el avance de la tecnología nos ha permitido disponer de dispositivos de Realidad Virtual realmente livianos y cómodos que nada que ver tienen con los dispositivos de Realidad Virtual de hace 25 años.

Podemos encontrar una definición similar dada por Eric Greenbaum, pionero de la Realidad Virtual desde 1992:

La Realidad Virtual es un mundo alternativo compuesto por imágenes generadas por ordenador que responden a los movimientos humanos. Estos entornos simulados son normalmente visitados con la ayuda de un costoso traje que incluye características como gafas de video estereoscópico y guantes con datos transmitidos por fibra óptica.

En esta definición Greenbaum matiza que no es necesario disponer de costosos trajes para obtener una experiencia que podamos considerar Realidad Virtual. Actualmente, gracias a los avances en los algoritmos de visión artificial, unido por supuesto a los avances en hardware que permiten ejecutar dichos algoritmos en un tiempo aceptable, se pueden detectar y realizar un seguimiento de las manos del usuario, no siendo por tanto necesario disponer de guantes. Seguramente si le preguntaran hoy a Greenbaum qué es la Realidad Virtual daría una respuesta diferente a la que ofreció hace 25 años.

En base a mi experiencia, podemos definir la Realidad Virtual de la siguiente forma:

Tecnología que proporciona una sensación de inmersión en un mundo virtual con el cual el usuario podría interactuar. Esta interacción se puede llevar a cabo mediante guantes que incluyen sensores para reconocer el movimiento de las manos, con reconocimiento gestual o con cualquier otra técnica que permita captar los movimientos del usuario y trasladarlos al mundo virtual.

II.5.3. ¿Qué es la Realidad Aumentada?

La Realidad Aumentada consiste en fusionar el mundo virtual con el mundo real, de forma que por medio de un dispositivo electrónico podremos visualizar elementos virtuales superpuestos al mundo físico que nos rodea.

Los dispositivos que nos permiten obtener una visión de Realidad Aumentada son desde smartphones y tabletas hasta gafas de Realidad Aumentada, o incluso lentillas (esta última opción aún no disponible).

Aunque la Realidad Aumentada tiene muchos usos, es cierto que a día de hoy todavía no ha llegado al día a día de la sociedad, habiéndose implantando en mayor medida en entornos industriales y, más recientemente, en la medicina, además de para usos específicos como aplicaciones orientadas al ocio o al guiado (Joo-Nogata et al, 2017a) (Joo-Nogata et al, 2017b) (Sánchez-Sepúlveda et al, 2019, 2020).

Gracias a la Realidad Aumentada podemos visualizar elementos tridimensionales como si fueran objetos reales, ya que estarán emplazados en el mundo real, podremos movernos a su alrededor y estudiarlos aprovechando el verdadero potencial de las tres dimensiones.

Por ejemplo, los estudiantes de medicina pueden emplear la Realidad Aumentada para visualizar el sistema nervioso del cuerpo humano como si tuvieran un cadáver real, pero con la capacidad de ir *eliminando capas* para visualizar únicamente lo que les interesa.

Con esta tecnología las ilustraciones y esquemas que aparecen en los libros de medicina podrían convertirse en elementos tridimensionales y cobrar vida, suponiendo un recurso educativo con un potencial mucho mayor para impactar en los estudiantes y acercarlos un poco más al mundo real.

II.5.4. ¿Qué es la Realidad Mixta?

La Realidad Mixta, una tecnología que se ha empezado a desarrollar con posterioridad a las anteriores, es una combinación de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual, permitiendo tanto una inmersión virtual completa como una visión de la realidad con información virtual sobre la misma. Las gafas de Realidad Mixta, como las Microsoft HoloLens, disponen tanto de grandes pantallas como de cámaras y sensores para el reconocimiento objetos y planos, de forma que tienen una comprensión del entorno del usuario y son capaces de emplazar elementos virtuales en el mismo. Para ello, el software de las gafas crea lo que se conoce como una nube de puntos, que consiste en la detección de características o *features*. Estas *features* son puntos con una componente tridimensional que fija la posición de cada una en el espacio. Para reconocer una *feature*, el sistema se base en cambios de color, mientras que algunos sistemas más avanzados

pueden tener sensores de reconocimiento de profundidad, en cuyo caso esta información sería utilizada para la creación de las *features*. Este último es el caso de la tecnología LIDAR, que está siendo incorporada en algunos dispositivos móviles de última generación, mejorando así las experiencias de Realidad Aumentada y Mixta gracias a una mejor detección de planos y comprensión del espacio en tres dimensiones.

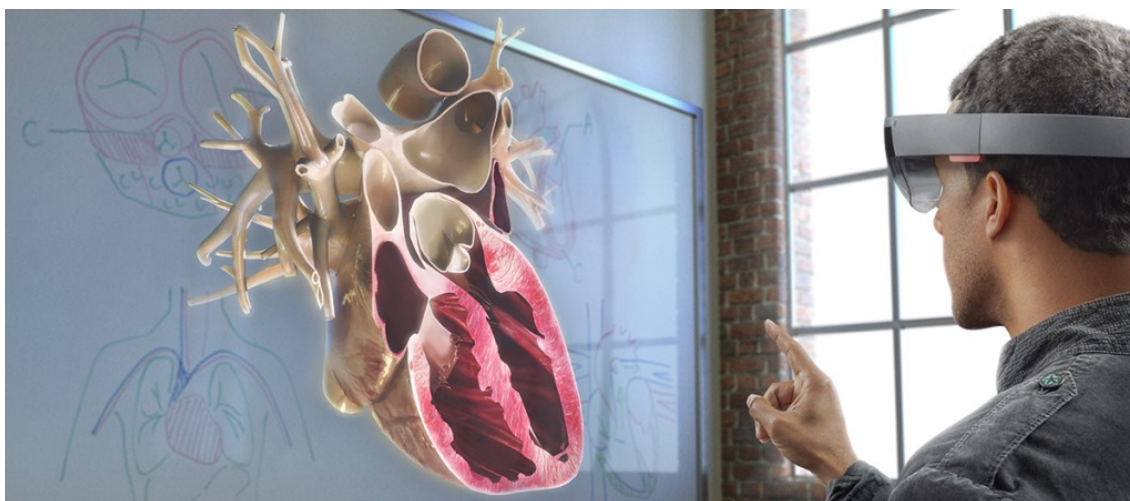


Figura 12 Visualización de la anatomía de un pulmón con las gafas de Realidad Mixta Microsoft HoloLens. Fuente: Medium, artículo “YVR Mixed Reality & Vancouver Medical Community to Unite for Bi-monthly Meetups”.

Una de las ventajas de la Realidad Mixta es que permite a varias personas visualizar el mismo objeto virtual en el mismo sitio, permitiendo incluso su manipulación de forma colaborativa. Por ejemplo, podríamos ver un modelo 3D a escala real del cuerpo humano en un aula, y manipularlo añadiendo o quitando capas (piel, músculos, huesos, arterias, venas, nervios, etc.) para estudiar su anatomía.

II.5.5. Diferenciación entre Realidad Aumentada, Realidad Virtual y Realidad Mixta

Por tanto la Realidad Aumentada es una tecnología que nos permite superponer a la realidad información virtual, la Realidad Virtual por el contrario implica la inmersión completa en un mundo virtual, dejando por tanto de percibir el entorno, y finalmente la Realidad Mixta, aunque es común encontrarse con definiciones que indican que son una mezcla de RA y RV, lo cierto es que más bien se trata del mismo concepto de Realidad Aumentada pero implicando un reconocimiento del entorno y la colocación de los elementos virtuales en el mismo. Este reconocimiento del entorno se lleva a cabo mediante la creación de lo que llamamos nubes de puntos. Estas nubes de puntos son matrices multidimensionales que representan puntos en un espacio tridimensional donde cada uno de esos puntos a su vez almacena diferente información. Básicamente permiten

almacenar la información de un espacio para ser capaz de reconocer dicho espacio con posterioridad.

II.6. Dispositivos complementarios para Realidad Virtual

La Realidad Virtual es una tecnología que implica el uso de ciertos dispositivos. El más evidente es por supuesto las gafas de Realidad Virtual, sin las cuales en principio resultaría imposible poder disfrutar de ella, aunque bien es cierto que existen otras posibilidades, como pueden ser las *cave*, que se explicarán más adelante.

II.6.1. Sensores de movimiento

Además de las gafas, hay ciertos elementos que hoy resultan imprescindibles para conseguir una experiencia de Realidad Virtual, tal y como la entendemos en la actualidad. Uno de los elementos más importante es el giroscopio.

El giroscopio es un sensor que permite a las aplicaciones de Realidad Virtual conocer la posición del usuario y detectar el movimiento de la cabeza, algo imprescindible para que cuando giremos la cabeza hacia un lado la perspectiva de visualización del mundo virtual se modifique para que podamos ver lo que tenemos hacia ese lado. Es decir, que permite que al mirar hacia la derecha veamos lo que tenemos hacia la derecha.

Puesto que algunos smartphones no cuentan con este sensor, algunos sistemas utilizan el magnetómetro y el acelerómetro para conseguir sustituir la funcionalidad del giroscopio. El magnetómetro, que hace la función de una brújula, permite al sistema conocer hacia qué dirección está mirando el usuario, mientras que el acelerómetro le indica si está mirando hacia arriba o hacia abajo (y los grados correspondientes). No obstante, conviene destacar que el uso del giroscopio es lo más habitual y la mayoría de smartphones actuales cuentan con este sensor.

II.6.2. HMD (Head Mounted Display)

Por supuesto, un elemento hardware esencial es la pantalla, que puede estar incluida en las propias gafas o en caso contrario formará parte del smartphone que incorporamos a las mismas. En este sentido, hay que diferenciar entre las gafas en las que introducimos un smartphone y aquellas que ya disponen de todos los elementos necesarios y no necesitan un smartphone para funcionar. Según estas características, podemos diferenciar tres tipos de gafas de Realidad Virtual, basándonos en los diferentes modelos que podemos encontrar en estos momentos en el mercado:

- Gafas para smartphones: Dentro de esta clasificación podemos encontrar gafas que no incluyen ningún tipo de hardware, como pueden ser las Cardboard, y otras que incluyen un panel táctil o botones como elementos de interacción. Son normalmente la opción más económica y también suponen una gran parte del mercado actual de gafas de Realidad Virtual (Brown & Green, 2016).
- Gafas para PC: Este tipo de gafas, donde destacan claramente en la fecha actual los modelos Oculus Rift y HTC Vive, disponen de los sensores necesarios para detectar el movimiento de cabeza de los usuarios para saber hacia dónde están mirando, sin embargo, el procesamiento y el renderizado se lleva a cabo en un PC al cual están conectados por medio de un cable. En un futuro seguramente no sea necesario la conexión por medio de cable, y según avance la capacidad de miniaturización del hardware y se puedan instalar procesadores de gran potencia en las propias gafas, este tipo de dispositivos seguramente desaparezcan para dar paso a aquellos que se enmarcan en la siguiente clasificación. El precio de estos dispositivos ronda los 700€ pero hay que tener en cuenta que resulta necesario contar con un ordenador de gran potencia para su funcionamiento.

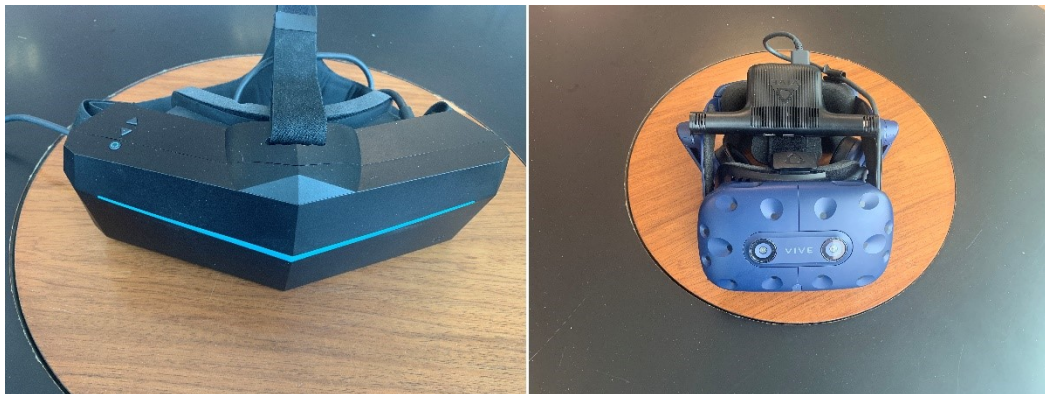


Figura 13 Gafas standalone Pimax (izquierda) y HTC Vive Pro (derecha). Estas últimas son actualmente muy utilizadas.

- Gafas autónomas o standalone: Este tipo de gafas disponen de todos los elementos necesarios para disfrutar de una experiencia de Realidad Virtual, incluyendo procesador, sensores de movimiento y pantalla. No necesitan por tanto conectarse a un ordenador, introducir un smartphone ni ningún elemento adicional: son completamente autónomas. En la actualidad, uno de los modelos más populares son las Oculus Quest, que por un precio ligeramente superior a los 500€ incorporan sensores de reconocimiento espacial y un hardware suficiente para obtener calidades de renderizado suficientes para muchos sistemas (Hillmann, 2019). Recientemente este fabricante ha anunciado el lanzamiento de una segunda versión de este modelo de gafas, indicando además que dejará de fabricar cualquier otro dispositivo de Realidad Virtual que no sea standalone, demostrando

el potencial que tienen estos dispositivos. Esta estrategia es acertada desde el punto de vista que estos nuevos modelos son dispositivos standalone, pero también permiten conectarse al ordenador, por lo que realmente son muy versátiles.



Figura 14 Oculus Quest. Fuente: Elaboración propia.

II.6.3. Interacción con el mundo virtual

Aunque es cierto que con las gafas anteriores y los elementos necesarios que se han indicado (smartphone o PC en los dos primeros casos), se puede obtener una experiencia de Realidad Virtual, cada vez es más habitual contar con sensores que nos permitan interactuar con el mundo virtual de la forma más realista posible. Para cubrir esta necesidad, disponemos de cinco opciones diferentes que veremos a continuación:

II.6.3.1. Interacción mediante botón

En esta opción no existen ningún dispositivo adicional para interactuar con el sistema, simplemente se utiliza un botón en las propias gafas para que el usuario pueda seleccionar una opción u otra, disparar, coger una herramienta, etc. El usuario dispone de un puntero (un haz láser que puede ver en las gafas) con el que puede apuntar a un elemento virtual y presionando el botón interactuará con el mismo. Incluso se puede implementar esta interacción sin necesidad de botones, por ejemplo, manteniendo el puntero apuntando al mismo elemento durante un tiempo determinado (si mira a un elemento de la interfaz gráfica durante X segundos ese elemento habría sido pulsado).

II.6.3.2. Mandos o controllers

Los mandos incorporan sensores de movimiento que permiten desarrollar sistemas donde el usuario puede apuntar hacia elementos del mundo virtual para interactuar con ellos. En esta tesis, se describirán diferentes sistemas que se han desarrollado donde muchos de ellos emplean un mando para poder reconocer los movimientos de las manos del usuario y permitirle interactuar con el mundo virtual de una forma más realista que en el caso de



Figura 15 Controlador de Oculus Go. Fuente: Oculus.

los punteros. Esto implica que podemos hacer que el usuario apunte a cualquier elemento de su alrededor, pero no acercarse al mismo, ya que con no somos capaces de reconocer el movimiento que el usuario realiza al acercarse a ese objeto. Este es el caso, por ejemplo, del mando de las Oculus Go. Sin embargo, con un mando con los sensores adecuados esto sí puede hacerse, como sería el caso de los mandos de HTC Vive u Oculus Quest.

II.6.3.3. Detección de movimiento con visión artificial

Para esta opción resulta necesario contar con una cámara que permita reconocer los movimientos del usuario, al menos de sus manos. La cámara puede estar integrada en las propias gafas o ser un elemento externo. El sistema reconocerá las manos del usuario (y puede que más partes del cuerpo) y realizará un seguimiento o tracking de las mismas, trasladando su posición y movimiento al mundo virtual. Aunque es muy posible que esta opción sea muy utilizada en un futuro cercano, lo cierto es que actualmente no es muy utilizada. Un ejemplo de esta tecnología es el sensor Kinect de Microsoft (Zhang, 2012), muy utilizado en videojuegos y con el que se han creado muchos proyectos en otros ámbitos, pero cuya tecnología aún no se ha incorporado en gafas de Realidad Virtual.

II.6.3.4. Detección de movimiento con infrarrojos

También existe la opción de detectar el movimiento de las manos del usuario mediante sensores infrarrojos, con dispositivos como el Leap Motion, no obstante, este tipo de dispositivos es cada vez menos utilizado, ya que cada vez es más habitual encontrar en las propias gafas



Figura 16 Dispositivo Leap Motion. Fuente: Ultraleap

sensores de este tipo o basados en visión artificial para reconocer las manos y sus movimientos.



Figura 17 Guantes de Realidad Virtual Senso Glove. Fuente: Elaboración propia.

II.6.3.5. Guantes

Los guantes son la gran promesa para la interacción con el mundo virtual, ya que no sólo permitirán transmitir los movimientos de las manos al mundo virtual, sino que además nos permitirán sentirlo, que es lo que conocemos como dispositivo háptico. Para las investigaciones llevadas a cabo, se han adquirido los guantes *Senso Glove*, que podemos ver en la Figura 17.

II.6.4. Posicionamiento

Existen sistemas que posicionan al usuario en un punto concreto y estático del mundo virtual, mientras que otras soluciones de Realidad Virtual incluyen sensores para detectar la posición del usuario, de forma que pueda moverse en el mundo real y transmitir ese movimiento al mundo virtual.

Esto es un gran avance, ya que hasta hace muy poco el usuario se encontraba fijo en el entorno virtual y era el propio sistema el que le movía por su interior o él mismo tenía que señalar hacia dónde quería moverse.

Entre los dispositivos que incorporan sensores de posicionamiento podemos destacar las Oculus Rift o HTC Vive, con las que se pueden crear experiencias donde gracias a esta capacidad la sensación de inmersión es aún mayor. No obstante, la necesidad de conectar las gafas a un ordenador mediante un cable limita por el momento la experiencia y capacidad para moverse libremente, impedimento que sin duda se solucionará durante los próximos años. De hecho, las HTC Vive en su versión Pro ya permiten instalar un sistema de comunicación de las gafas con el ordenador con tecnología WiFi de alta frecuencia, solucionando así el problema del cable para la libertad de movimiento.

Es por ello por lo que están proliferando los dispositivos llamados *standalone*, que son aquellos que incorporan un procesador y otros elementos necesarios para evitar la conexión con un ordenador. Un ejemplo de estos dispositivos son las Oculus Quest o las HTC Vive Focus Plus. Estos modelos incorporan sensores 6DoF (Six Degrees Of Freedom), lo cual implica que reconocen el movimiento del usuario en todas las posibles direcciones, detectando cuándo se agacha, anda en cualquier dirección, etc. Gracias a

estos sensores las experiencias de Realidad Virtual son mucho más realistas, causadas por una mejor interacción del usuario con el entorno virtual.

II.6.5. Procesamiento

Ya se ha comentado anteriormente que algunas gafas incorporan sus propios procesadores (standalone), y que otras utilizan aquellos que incluyen los smartphones o los ordenadores para poder realizar el proceso de renderizado y procesamiento, uno de los factores clave para obtener una experiencia de calidad. Otras gafas tan sólo incorporan la pantalla, y opcionalmente otros sensores, pero el procesado y renderizado lo realiza un ordenador al cual deben estar conectadas.

Cuanto mejor sea la calidad del renderizado, más reales nos parecerán las imágenes que visualicemos. Del mismo modo, cuanto más rápido se realicen los cálculos, mejor experiencia obtendremos, ya que un renderizado lento podría ocasionar que cuando miremos hacia un lado tardemos en ver lo que tenemos en esa dirección, causando sensación de mareo. Esto se debe a que el sistema ha tardado en crear esos frames. Tal y como se ha descrito en *II.5.1 ¿Qué es un modelo 3D?* la cantidad de polígonos de los modelos 3D que tratamos de visualizar en el entorno virtual será un factor clave en cuanto a la capacidad de renderizado que necesitaremos. Por ejemplo, si queremos visualizar modelos 3D obtenidos de imágenes DICOM, hay que tener en cuenta que estos modelos 3D normalmente tienen una gran cantidad de polígonos, incluso si han sufrido algún tipo de suavizado para disminuir la carga poligonal. Por tanto, necesitaremos unas gafas de Realidad Virtual con esta capacidad.

III. Materiales empleados y metodología

Esta tesis se apoya en una serie de publicaciones científicas, todas ellas desarrolladas en torno a la misma investigación, pero con diferentes resultados. En todos los casos, se han utilizado una serie de herramientas y metodologías comunes, por ello se presentan de forma conjunta los materiales y métodos empleados, mientras que en las publicaciones anexas se pueden estudiar aquellos específicos para cada resultado de la investigación.

III.1. Equipamiento y hardware utilizado

Se han empleado diferentes gafas de Realidad Virtual, Aumentada y Mixta, para el desarrollo de los sistemas que se detallan en esta tesis. Además, hemos empleado diferentes dispositivos alternativos como guantes sensorizados importados de Rusia (no sin dificultad), cámaras 360, sensores de detección de manos basados en tecnología infrarroja o estaciones de tracking espacial.

Por supuesto han sido necesarios equipos informáticos de gran potencia, destacando la necesidad de montaje de un equipo con una alta capacidad de procesamiento y renderizado, montando procesadores i7 de última generación y la tarjeta gráfica NVIDIA RTX 2080 Ti.

III.1.1. Gafas Realidad Virtual Standalone

III.1.1.1. Cardboard

En primer lugar, las gafas Cardboard, las más sencillas y económicas de todas, permiten al usuario introducir su propio smartphone en su interior para poder disfrutar de una visión estereoscópica en experiencias inmersivas. Para ello, las gafas disponen de lentes estereoscópicas y un soporte para colocar el móvil a tan sólo unos pocos centímetros de nuestros ojos. No obstante, gracias a estas lentes obtenemos una visión clara de la imagen proyectada en la pantalla del smartphone. Esta pantalla está dividida en dos zonas, una que veremos con el ojo izquierdo y otra con el ojo derecho. Aplicando los principios de estereoscopia explicados en *2.4 ESTEREOSCOPIA COMO BASE DE LA REALIDAD VIRTUAL*, estas dos imágenes son ligeramente diferentes.



Figura 18 Gafas para inserción de smartphone. De izquierda a derecha: gafas tipo cardboard de cartón, gafa de cartón de calidad superior, gafas de plástico con auriculares y botón y finalmente gafas Samsung Gear VR. Fuente: Elaboración propia

III.1.1.2. Samsung Gear VR (diferentes modelos)

Otra de las gafas de Realidad Virtual utilizadas han sido las Samsung Gear VR, cuyo funcionamiento es igual que el de las Cardboard, con la diferencia de que tan sólo determinados smartphones del fabricante Samsung podían ser introducidos en su interior. Estas gafas además incorporan un mando que nos permiten apuntar a objetos del mundo virtual, pero si acercamos el mando a los mismos el sistema no es capaz de reconocer dicho movimiento, ya que no existe *tracking* del mismo: el sistema no monitoriza la posición del mando y su movimiento en el mundo real, tan sólo su rotación en los tres ejes.

III.1.1.3. Oculus Go

Las siguientes gafas utilizadas han sido las Oculus Go, que supusieron un gran salto de calidad en el momento de su lanzamiento en 2018. Estas gafas ya incorporan su propia pantalla y procesador, por lo que el usuario no tiene que añadir ningún elemento adicional como las anteriores. La calidad de visualización y la experiencia de usuario en general es bastante aceptable para tratarse de un dispositivo standalone de bajo coste.



Figura 19 Oculus Go. Fuente: Elaboración propia.

III.1.1.4. Oculus Quest

Otra de las gafas standalone que hemos utilizado para nuestros desarrollos informáticos han sido las Oculus Quest, que pueden verse como la evolución de las Oculus Go y que incorporan grandes novedades. Una de las más importantes es su capacidad para detectar



Figura 20 Oculus Quest. Fuente: Elaboración propia.

el movimiento de los usuarios, tanto del headset como de los mandos. Las gafas incorporan sensores capaces de reconocer el espacio que rodea al usuario, y detectar la posición del usuario dentro de este espacio. Estos sensores permiten seis grados de movimiento (comúnmente llamado 6DoF o 6 Degrees of Freedom): 1) rotación de la cabeza a izquierda y derecha, 2) rotación de la cabeza hacia arriba y hacia abajo, 3)

inclinación de la cabeza hacia un lado y hacia el otro, 4) traslación hacia adelante y hacia atrás, 5) traslación hacia izquierda y derecha y 6) traslación hacia arriba y hacia abajo. Además, siempre que los mandos se encuentren en el campo de visión de las gafas, también será posible detectar estos seis grados de movimiento para cada uno de los mandos. Esta opción mejora considerablemente el grado de realismo de las experiencias virtuales inmersivas.

III.1.2. Gafas de Realidad Virtual Tethered

Las gafas de Realidad Virtual o Head-Mounted Displays (HMD) anteriores eran dispositivos *standalone*: dispositivos que no necesitan conectarse a un ordenador porque incorporan todos los elementos necesarios (haciendo uso de smartphones en el caso de las primeras).

A continuación, veremos las gafas de Realidad Virtual con conexión a ordenador que hemos utilizado.

III.1.2.1. Lenovo Explorer

En primer lugar, tenemos las Lenovo Explorer, un dispositivo compatible con Windows Mixed Reality que ofrece una buena calidad de visualización e interacción virtual a bajo coste. Windows Mixed Reality es una función incorporada en el sistema operativo Windows 10 y que ofrece acceso a diferentes aplicaciones desde el mundo virtual gracias a gafas como estas. También permiten seis grados de libertad, permitiendo la simulación de protocolo médicos como es el caso del simulador que se ha implementado para esta tesis para cirugía de fijación transpedicular lumbar. Este simulador inicialmente fue desarrollado para las Samsung Gear VR y Oculus Go, y posteriormente ha sido adaptado para ser utilizado en las Lenovo Explorer, que al permitir 6DoF ofrece un nivel de realismo mayor que las anteriores.



Figura 21 Lenovo Explorer. Fuente: Elaboración propia.

III.1.2.2. HTC Vive Pro



Figura 22 HTC Vive Pro con conexión wireless de alta frecuencia en zona de tracking. Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes gafas empleadas han sido las HTC Vive Pro, un dispositivo de gran potencia y con elementos de gran calidad, con la diferencia respecto a la anterior de que su coste es cuantitativamente mayor. En lugar de utilizar sensores incorporados en las gafas para permitir seis grados de movimiento, emplea sensores externos que deben colocarse alrededor del usuario y que permiten triangular su posición dentro del espacio delimitado por estos sensores. Aunque puede utilizarse tan sólo un sensor, el tracking del HMD y los mandos tiene una mejor eficacia si se utilizan dos sensores.

El posicionamiento del usuario en el mundo virtual, o lo que es lo mismo, la detección del movimiento del usuario y su

traslación al mundo virtual, es más preciso con esta tecnología que con los sensores incorporados en las gafas que utilizan las Oculus Quest o las Lenovo Explorer, al menos en este momento, no obstante, estos últimos obtienen grandes resultados.

Se ha utilizado para estas gafas el kit de conexión HTC Vive Wireless, consiguiendo que no sea necesario conectar un cable desde las gafas al ordenador, y mejorando así la capacidad de movimiento del usuario. Para ello se ha instalado sobre la placa base o *motherboard* de uno de los PCs utilizados una tarjeta Wifi de alta frecuencia que se comunica con un sensor específico que hemos colocado en las gafas. Además, se ha configurado una zona de tracking fijando unos sensores de tracking en el techo, definiendo un espacio de más de 9 metros cuadrados por los que el usuario se puede mover.

III.1.3. Dispositivos de Realidad Aumentada

En cuanto a dispositivos de Realidad Aumentada, hemos empleado diferentes smartphones y tabletas tanto Android como iOS, incluyendo los siguientes: Samsung Galaxy S6, Samsung Galaxy S7, Samsung Galaxy Tab S, Samsung Galaxy Tab S2, Samsung Galaxy Tab S3 y iPhone XR.

También hemos investigado y probado algunos nuestros desarrollos en las siguientes gafas de Realidad Aumentada: Epson Moverio BT200, Epson Moverio BT300 y Vuzix M300.

Las dos primeras son muy similares y muestran dos pantallas, una para cada ojo, consiguiendo una visualización aceptable del contenido de Realidad Aumentada. Las Vuzix sin embargo optan por una sola pantalla que puede ser colocada en ambos lados, y concentran todo el hardware de procesamiento en una "patilla" que va unida a la pantalla. En el caso de las Epson incorporan una unidad externa que puede ser introducida en el bolsillo y que están conectadas a las gafas por medio de un cable.

Las tres gafas no obstante no han sido finalmente utilizadas para ningún desarrollo de visualización 3D, ya que no tienen la capacidad de renderizado suficiente, lo cual implicaba que el contenido virtual se visualizaba con una tasa de frames por segundo muy baja (fps o frames per second).



Figura 23 Gafas de Realidad Aumentada Epson Moverio BT300 (izquierda) y Vuzix M300 (derecha), utilizadas para probar la visualización de modelos anatómicos 3D con Realidad Aumentada. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente hemos utilizado las gafas Magic Leap como dispositivo de Realidad Mixta. Estas gafas tienen un alto coste económico, pero ofrecen experiencias de visualización de gran calidad y disponen de un núcleo de procesamiento de gran potencia, permitiendo la renderización de modelos 3D con mayor carga poligonal y texturas de mayor calidad. Además, disponen de sensores para reconocer el entorno del usuario, permitiendo la colocación y fijación de objetos a su alrededor. No obstante, el éxito comercial de estas gafas ha sido muy reducido, quizás por su competencia con las Microsoft HoloLens, unido a una baja aceptación por parte del mercado.



Figura 24 Visualizando modelo anatómico 3D del cuerpo humano en las gafas de Realidad Mixta Magic Leap. Fuente: Elaboración propia.

III.1.4.Otros dispositivos empleados

III.1.4.1. Cámaras 360

Hemos utilizado la cámara Samsung Gear 360, tanto en su versión de 2016 como la versión de 2017, ligeramente más avanzada. Estas cámaras hacen que sea muy sencillo grabar entornos para su posterior visualización de forma inmersiva con Realidad Virtual. La versión de 2017 es capaz de grabar video a 4K (4096x2048) a 24 fps, y realizar fotos de 15 megapíxeles. Estas características son suficientes para imágenes 360 para entornos inmersivos, no obstante, las grabaciones de video realizadas en quirófanos para cirugías no alcanzan la calidad de imagen suficiente como para discernir detalles importantes de la anatomía del paciente. Para ello sería necesario utilizar equipos profesionales, con cámaras cuyo precio pueden superar fácilmente los 20.000€. Teniendo esto en cuenta estas cámaras de bajo coste representan una gran alternativa económica, a pesar de no lograr la misma calidad de imagen.



Figura 25 Cámara Samsung Gear 360 (versión 2017, izquierda, y 2016, derecha). Fuente: Samsung.

III.1.4.2. Leap Motion

En los primeros desarrollos de nuestro proyecto Nextmed para PC utilizamos el dispositivo Leap Motion para interactuar con el modelo 3D del paciente (González Izard et al, 2018a).



Figura 26 Dispositivo Leap Motion para detección de movimientos y gestos de las manos.

En el caso de Leap Motion, se ilumina una zona con luz infrarroja, de forma que cuando un objeto, como nuestras manos, se encuentran en dicha zona, se refleja parte de la luz y esta luz reflejada es recogida por los sensores del dispositivo. La información obtenida se traslada al driver instalado en el ordenador en forma de matriz de píxeles, donde cada posición de la matriz no representa un color, sino un valor de intensidad luminosa. Estos

datos son interpretados y, se utiliza un modelo matemático capaz de interpretar los valores para realizar una recreación de las manos. Por último, se utilizan técnicas de visión estereoscópica para determinar la posición de las manos en el espacio: gracias a la separación de las dos cámaras del dispositivo obtenemos dos imágenes con una pequeña disparidad, lo cual permite obtener las coordenadas en el espacio de cada punto de la matriz obtenida.

III.1.4.3. Mandos

Las gafas de Realidad Virtual incluyen en su mayoría mandos para poder interactuar con el entorno virtual. Estos mandos pueden ser más o menos avanzados. Por ejemplo, los que hemos utilizado con las Samsung Gear VR o las Oculus Go detectan movimientos de rotación, como si fueran una brújula capaces de entender hacia dónde está apuntando el usuario, pero estas gafas no son capaces de entender dónde se encuentra exactamente el mando respecto a la posición de las gafas. Sin embargo, los mandos de las gafas Lenovo Explorer, Oculus Quest y HTC Vive Pro (entre otras) sí son capaces de reconocer esta posición, lo cual nos ha permitido desarrollar sistemas más avanzados que aportan un mayor nivel de realismo al usuario. Con el objetivo de poder probar esta capacidad, hemos adaptado el simulador de Realidad Virtual para fijación transpedicular lumbar para las gafas Lenovo Explorer, ya que este proyecto originalmente se creó para las gafas Oculus Go, véase (González Izard et al, 2017c) (González Izard et al, 2018b).

III.1.4.4. Guantes

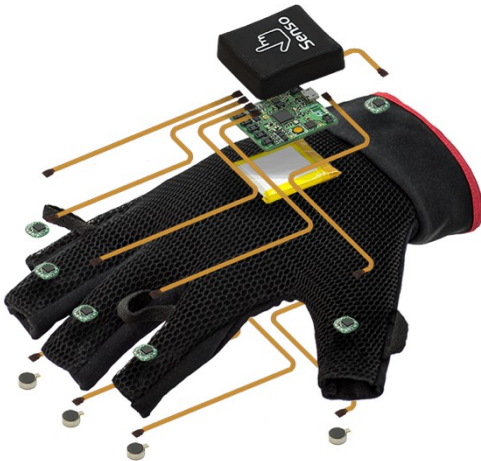


Figura 27 Guantes de Realidad Virtual SENZO. Fuente: web.senzo.me.

Aunque actualmente las gafas de Realidad Virtual incorporan sensores que permiten reconocer el movimiento de las manos, esto no era posible con los primeros modelos de estos dispositivos. Por ello, adquirimos unos guantes de Realidad Virtual y los empleamos en sustitución de los mandos para diseñar simulaciones más realistas. Además, estos guantes incorporan unos dispositivos de vibración que nos permitían ofrecer una respuesta al usuario frente a la interacción con elementos virtuales. De esta forma el usuario puede *sentir* que está tocando un objeto virtual.

III.2. Componentes software empleados

III.2.1. UNITY3D

Unity3D (comúnmente llamado Unity) es un potente motor de videojuegos multiplataforma utilizado en una gran cantidad de videojuegos creados alrededor del mundo. Ofrece también una potente plataforma para creación de aplicaciones orientadas a la industria o la educación (Creighton, 2010).

Se ha elegido Unity3D para el diseño de nuestra aplicación debido a su potente motor de renderizado 3D, su soporte para tecnologías AR y VR (Wang et al., 2010) y su sistema multiplataforma integrado.

III.2.2. Visual Paradigm

Se ha empleado Visual Paradigm para la creación de diagramas para la fase de Ingeniería de Software de los proyectos. Esta herramienta es de gran utilidad para gestionar proyectos y crear diagramas de secuencia, diagramas de clases, de paquetes...

III.2.3. Vuforia

Se ha utilizado el SDK de Vuforia para llevar a cabo las proyecciones del modelo 3D en el espacio real obtenido por la cámara del dispositivo, facilitando la programación para

mostrar el modelo 3D sobre una imagen, e incluso mostrarlo sobre, por ejemplo, una mesa, sin necesidad de ningún código o imagen utilizada como marcador (imagen de referencia que permite obtener información espacial utilizada para proyectar con la perspectiva correcta el modelo 3D). Para conseguir esta característica Vuforia hace uso de las librerías nativas Arcore y Arkit.

III.2.4.ARCORE

Arcore es una librería para la implementación de plataformas de Realidad Aumentada tanto para dispositivos Android como para dispositivos iOS. Esta librería es capaz de crear una nube de puntos del espacio que rodea al dispositivo basándose exclusivamente en las imágenes obtenidas de la cámara, sin necesidad de incluir sensores de profundidad.

La librería, compatible con el entorno de programación Unity3D, permite desarrollar aplicaciones compatibles tanto con dispositivos Android como iOS, lo cual hace que sea una opción muy interesante para desarrollar sistemas de Realidad Aumentada, ya que, a diferencia de Vuforia, se trata además de una librería de uso gratuito.

III.2.5.ARKIT

En la fecha de redacción de esta tesis doctoral, Arkit es la librería de Realidad Aumentada más potente que existe. Esto puede deberse a que tan sólo permite implementar aplicaciones para dispositivos iOS, lo cual supone una ventaja respecto a Arcore, que debe funcionar con dispositivos y sensores muy diferentes entre sí. Es decir, Arkit puede recoger información más precisa sobre el movimiento del usuario al saber exactamente cómo serán los valores que recibirá de los sensores de acelerómetro y giroscopio, sin embargo, Arcore recibe estos valores de sensores muy variados, ya que tiene que lidiar con hardware de muchos fabricantes diferentes.

III.2.6.AR FOUNDATION

AR Foundation es un framework de alto nivel implementado por Unity para permitir una abstracción en el uso de las librerías Arcore y Arkit, permitiendo desarrollar aplicaciones multiplataforma que internamente utilicen estas dos librerías nativas de forma transparente para el programador.

Gracias a AR Foundation podemos implementar aplicaciones de Realidad Aumentada que utilicen las capacidades avanzadas de Arcore y Arkit, empleando Arcore en caso de ejecutar en dispositivos Android compatibles y Arkit para dispositivos iOS compatibles.

III.2.7.Oculus SDK

Oculus proporciona un SDK (Software Development Kit) para implementar aplicaciones de Realidad Virtual para sus dispositivos. Este SDK es compatible con Unity3D, y ofrece un conjunto de scripts y Game Objects reutilizables para abstraer al programador de tareas tan importantes como detectar el movimiento del usuario a través de los sensores incorporados en sus dispositivos. En este caso el SDK ofrece un Game Object "Camera" que sustituimos por la cámara por defecto de Unity y que renderizará en la pantalla de las gafas todo lo que se encuentra dentro del campo de visión en la escena de Unity. El Game Object tiene asociados scripts que se encargan de mover esta cámara por el mundo de Unity atendiendo al movimiento del usuario en el mundo real.

III.2.8.Google VR

Al igual que el SDK de Oculus, Google proporciona su propio SDK compatible con Unity3D para dispositivos Cardboard.

III.2.9.OpenVR

Valve, empresa desarrolladora de videojuegos, ha desarrollado esta API para facilitar el desarrollo de sistemas de Realidad Virtual para diferentes plataformas hardware. Además, Valve ha publicado también un plugin para Unity (SteamVR Unity Plugin) que permite acceder a las funcionalidades de OpenVR y desarrollar así sistemas RV para una gran multitud de dispositivos diferentes compatibles.

III.2.10. Windows Mixed Reality

Es una plataforma de Realidad Mixta para dispositivos ejecutando sistema operativo Windows. En nuestro caso, hemos utilizado esta plataforma para trabajar desde Unity con las gafas Lenovo Explorer, realizando una adaptación del simulador original de Realidad Virtual para fijación transpedicular lumbar para este dispositivo (González Izard et al, 2017c) (González Izard et al, 2018b).

III.2.11. Librerías utilizadas para la implementación de los algoritmos de visión artificial

Tanto para el tratamiento de imágenes médicas como para su visualización se han utilizado las bibliotecas Insight Segmentation and Registration Toolkit (ITK) y Visualization Toolkit (VTK).

ITK es un framework de código abierto especializado en el tratamiento de imágenes médicas (Schroeder, 2000). Por otro lado, VTK es una biblioteca de código abierto especializada en la visualización científica, en este caso de imágenes médicas (Geveci, 2012). Ambas librerías han sido desarrolladas por Kitware y son la base utilizada por muchos programas de tratamiento de imágenes médicas, como pueden ser 3DSlicer u Osirix.

Estas librerías se explican en mayor detalle en *NEXTMED: AUTOMATIC IMAGING SEGMENTATION, 3D RECONSTRUCTION, AND 3D MODEL VISUALIZATION PLATFORM USING AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY*.

III.2.12. JupyterLab

Para la visualización de los resultados de los diferentes pasos y del progreso de los algoritmos de visión artificial implementados para el proyecto Nextmed, se ha creado una interfaz utilizando JupyterLab. Esta aplicación web permite gestionar fácilmente los diferentes algoritmos en lo que se conoce como cuadernos de implementación, y es muy utilizada por la comunidad de investigadores. Esta interfaz que hemos implementado es muy útil para comprobar el resultado de las diferentes fases del proceso de segmentación.

Esta interfaz, junto a la habilidad de JupyterLab para fijar diferentes interfaces en pantalla al tiempo que se continúa viendo el código fuente, ofrece una estación de trabajo para la visualización y experimentación de una forma ágil, rápida y siendo multiplataforma, ya que es accesible mediante un navegador web.

III.3. Imágenes médicas

Para poder probar que los algoritmos de visión artificial diseñados para el proyecto NextMed son fiables independientemente del resultado radiológico que tomen como entrada, hemos utilizado un gran número de estudios de Tomografía Computarizada (TC) durante la implementación de nuestros algoritmos. Concretamente hemos empleado el dataset LIDC-IDRI, de forma que los algoritmos han segmentado automáticamente, y creado un modelo 3D, de cada uno de estos resultados. Siete centros y ocho compañías de imagen médica han colaborado para crear los datos de LIDC-IDRI, que contiene 1018 casos (escáneres torácicos helicoidales de Tomografía Computarizada) de 1010 pacientes (Lii et al., 2015).

III.4. Metodología para la implementación de los proyectos

En esta sección se indicarán cuáles han sido los principales patrones de implementación utilizados en los diferentes proyectos.

También se muestra un diagrama de clases de cada uno de los proyectos implementados para esta tesis. Debe tenerse en cuenta que estos diagramas deben mostrar información de un gran número de scripts o clases, por lo que resulta inviable su visualización en un tamaño tan reducido como es un dina-4. Por ese motivo se insta al lector a leer este documento en su versión digital, donde podrá navegar por los diagramas y consultar su información haciendo uso de la herramienta zoom.

III.4.1. Patrón MVC

En programación, los ingenieros de software normalmente categorizamos todo el código fuente separándolo en tres módulos principales: modelo, vista y controlador. Esta división sigue la filosofía del patrón de desarrollo comúnmente conocido como MVC (*Model View Controller*), que define la arquitectura del software, y tiene muchas variantes en la actualidad para ajustarlo a las características concretas de la tecnología que utilice el programador para cada sistema (Buschmann et al, 1996)(Aniche et al, 2016) (Blum, 2016) (ElSayed et al, 2018).

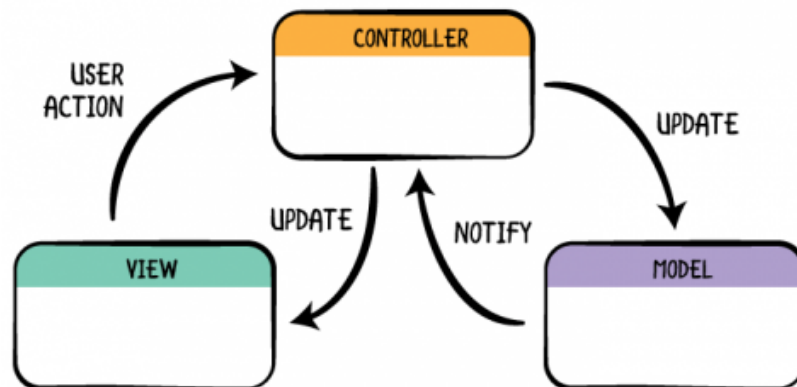


Figura 28 Diagrama del patrón MVC. Fuente: <https://stips.wordpress.com/2019/04/15/model-view-controller-mvc-en-ios-un-enfoque-moderno/>

El funcionamiento de este patrón es muy sencillo: separa el código asociado al almacenamiento y recuperación de los datos (Modelo), del código encargado de mostrar los datos al usuario y de recibir los eventos de interacción con el mismo (Vista) y, por último, del código que almacena la lógica de negocio de la aplicación (Controlador).

III.4.1.1. Implementando la interacción con el usuario

Mientras que el Modelo y el Controlador de un sistema de Realidad Aumentada y Virtual no difieren en principio demasiado de estos mismos módulos en sistemas tradicionales, la Vista sin embargo sí se ve muy afectada. Y es que la forma en que mostramos la información al usuario es muy diferente a los sistemas que emplean una pantalla o monitor.

Cuando desarrollamos un sistema de Realidad Virtual, tendremos en cuenta que el usuario puede mirar hacia cualquier dirección, e incluso caminar y moverse para visualizar nueva información. En este sentido, diferenciamos en la vista aquella información que queremos que esté siempre presente al usuario, que es lo que llamamos interfaz principal, de aquella información que varía en función de la situación del usuario, que es lo que llamamos su entorno. El ejemplo más parecido lo encontramos en los videojuegos, donde tenemos, por un lado, una interfaz que está siempre visible y que nos muestra la puntuación del usuario, su estado de salud o cualquier otra información (que dependerá de cada juego en particular). Esto es lo que en Unity llamamos Canvas, y en los sistemas de Realidad Virtual podríamos tener un Canvas *anclado* a la cámara, de forma que siempre está visible, independientemente de hacia dónde mire el usuario. Por otro lado, podremos tener Canvas en *Worldspace*, es decir, Canvas situados en el entorno del usuario y en una posición fija de ese entorno, que normalmente son Canvas que representan interfaces interactivas. Los sistemas que hemos desarrollado utilizan en su mayoría Canvas *Worldspace*, ya que, a diferencia de los videojuegos, donde el usuario normalmente se mueve continuamente por su entorno, y donde los entornos pueden llegar a tener un tamaño realmente grande, en nuestros simuladores y sistemas el usuario no puede moverse o tiene un movimiento limitado, por lo que las interfaces siempre están accesibles.

Respecto al módulo Controlador, por supuesto existen ciertas diferencias, ya que hay que tener en cuenta todo el hardware que se utiliza para interactuar con el usuario y mostrarle la información, lo cual no existe en sistemas tradicionales orientados a PC (sensores incluidos en las gafas de Realidad Virtual, mandos controlador, etc.). No obstante, los SDK de Realidad Virtual, como el de *OCULUS* u *OPENVR*, abstraen al programador de gran parte de la problemática asociada a trabajar con este hardware. Aun así, es necesario implementar scripts en el módulo Controlador para ajustar la experiencia de usuario que queremos ofrecer.

En el caso de la Realidad Aumentada, la diferencia es la misma que en los sistemas de Realidad Virtual respecto a los tradicionales: la información que mostramos al usuario, y que por lo tanto forma parte de la Vista, se divide entre aquella información que posicionamos en el entorno del usuario (Realidad Aumentada), y la información que permanece fija en la pantalla del dispositivo. Esta última suele ser la interfaz de usuario, es decir, botones para interactuar, pantallas informativas...

Además, como diseñadores de plataformas de Realidad Virtual, se debe tener en cuenta que el usuario puede llegar a tener una sensación de mareo si no implementamos correctamente nuestros sistemas. Por ejemplo, si movemos al usuario por su entorno sin que él mismo tenga que andar en el mundo real, su cerebro estará recibiendo una información visual que le indica que se está moviendo, ya que se encuentra inmerso

dentro del mundo virtual. Sin embargo, sus oídos no estarán reconociendo ningún cambio de posición, y esa diferencia entre la información que el usuario recibe por sus ojos respecto a la que recibe de sus oídos y el resto de los sentidos es fácil que produzca en el usuario sensación de mareo. Por este motivo hay que evitar que el sistema mueva la cámara automáticamente, dejando el control al SDK de Realidad Virtual que estemos utilizando en cada caso, y que la moverá exclusivamente siguiendo la información que recibe de los sensores de movimiento.

III.4.2. Patrón DAO

El patrón DAO (*Data Access Object*) consiste en encapsular en determinadas clases toda la lógica asociada al acceso y modificación de los datos, que son las clases DAO. Por otro lado, se encapsulan todos los datos en clases llamadas VO (*Value Object*) (Buschmann et al, 1996) (Rojas, 2020).

Mientras que las clases VO tan sólo incluyen atributos y métodos de acceso a los datos que guardan (Getters y Setters), los DAO pueden llegar a ser más complejos si se dispone de una arquitectura Cliente-Servidor, como es el caso del proyecto Nextmed. En este caso se ha implementado un módulo de comunicación con el servidor para la gestión de los datos, que incluye el intercambio de archivos multimedia.

III.4.3. Patrón Observer

El patrón *Observer* es muy útil en Unity y se ha utilizado mucho en la implementación de los proyectos. Permite definir un objeto *Sujeto* y un conjunto de objetos *Observadores*. El sujeto mantiene un listado de observadores, de forma que cuando ocurre un evento determinado puede notificar a todos sus observadores que ha ocurrido dicho evento para que cada uno de ellos actúe en consecuencia (Gamma et al., 1995) (Buschmann et al, 1996) (Rojas, 2020).

Por ejemplo, en la implementación de los simuladores de Realidad Virtual, nuestra mano o la herramienta que movemos dispone de lo que llamamos un *Collider*, que es un Game Object que permite detectar colisiones con otros colliders. Así, cuando el collider de nuestra herramienta colisiona con el collider de, por ejemplo, un tornillo (en el caso del simulador de fijación transpedicular lumbar), el controlador que detecta dicha colisión puede notificar a distintos scripts que esto ha ocurrido para que se actúe en consecuencia: reproducir un sonido, activar los siguientes colliders, mostrar un panel informativo al usuario, hacer que la herramienta desaparezca, mostrar un video, etc.

III.4.4. Patrón Singleton

El patrón *Singleton* permite acceder a los métodos de una clase sin necesidad de instanciarla, y garantiza que en un momento dado tan sólo puede existir como máximo una instancia de dicha clase (Gamma et al., 1995) (Buschmann et al, 1996) (Rojas, 2020).

Se ha empleado mucho este patrón en Unity, ya que los scripts encapsulan un comportamiento o conjunto de comportamientos relacionados, no obstante, cada uno de estos scripts necesita acceder al comportamiento de otros. Puesto que existe un gran número de scripts, y pueden existir muchas instancias de cada uno de ellos por la creación o existencia de muchos GameObjects que tengan un mismo comportamiento, resulta de interés que, en lugar de que cada uno de ellos mantenga una instancia, todos ellos accedan al método de la clase que implementa el patrón singleton a través de una misma instancia.

Una implementación sencilla de este patrón puede ser la siguiente:

```
1  using System;
2
3  public class ControllerAssembly : MonoBehaviour
4  {
5      private static ControllerAssembly instance = null;
6
7      void Start()
8      {
9          instance = this;
10
11          ///Resto de código
12      }
13
14      /// *****
15      /// <summary>
16      ///     Gets the instance.
17      /// </summary>
18      /// <returns>The instance.</returns>
19      /// *****
20      public static ControllerAssembly GetInstance()
21      {
22          return instance;
23      }
24
25 }
```

Figura 29 Implementación sencilla de patrón Singleton en Unity3D

III.4.5. Organización del código fuente

C# ha sido el lenguaje de programación utilizado principalmente para la implementación de los sistemas de Realidad Aumentada y Realidad Virtual, con *UNITY3D* como plataforma de desarrollo. Se han utilizado las diferentes librerías mencionadas anteriormente en este mismo apartado, escogiendo una u otra en función del tipo de sistema en cada caso.

Para abordar la implementación de cualquiera de los proyectos, en primer lugar, se ha realizado un estudio del proyecto a implementar, creando un diagrama de navegación del sistema y un diseño preliminar de las diferentes interfaces con Photoshop.

A continuación, se ha programado la vista del proyecto, es decir, el diseño gráfico en Unity y los scripts asociados a la vista.

Una vez diseñada la vista, se procede a programar el modelo según se haya diseñado en la fase de ingeniería y diseño arquitectónico. En la mayoría de los proyectos los datos están almacenados localmente, no obstante, en el caso de Nextmed, que es un proyecto de gran envergadura, existe una arquitectura Cliente-Servidor, y los datos están almacenados tanto localmente como en el servidor. En este proyecto concreto el modelo es complejo, y se definirá más adelante en esta misma sección.

Respecto al controlador, en la mayoría de los proyectos es un script donde se programa toda la lógica de la aplicación. De nuevo, en el proyecto Nextmed resulta complejo debido al alto número de funcionalidades que ofrece.

En cuanto a la estructura de los proyectos, en todos los casos encontramos una estructura común:

- **Scripts:** En esta carpeta se organizan todos los scripts C# del proyecto. Para organizar los scripts habitualmente se crea una carpeta para el controlador, otra para la vista y otra para el modelo. Además, se ha creado en la mayoría de los proyectos una carpeta *Utils* donde incluir scripts generales de utilidad para diferentes proyectos, así como un scripts *Parameters* para incluir valores estáticos del proyecto que pueden ser modificados para cambiar el comportamiento.
- **Scenes:** Aquí se incluyen todas las escenas del proyecto. Recordemos que las escenas en Unity organizan los diferentes módulos, apartados o funcionalidades del software. Aunque inicialmente las escenas se pensaron para dividir un videojuego en niveles, puesto que actualmente Unity3D se utiliza para la implementación de muchos sistemas que se alejan del mundo de los videojuegos, las escenas sirven para otros propósitos de separación del código del proyecto.
- **Resources:** En esta carpeta organizamos todos los recursos del proyecto, incluyendo audios, imágenes, videos, modelos 3D...
- **StreamingAssets:** En esta carpeta se copian recursos que pueden ser posteriormente accesibles por la aplicación. A diferencia de los Assets o recursos incluidos en la carpeta Resources, los recursos de Streaming Assets no son incluidos en la build durante el proceso de compilación, sino que se copian a un directorio concreto del dispositivo.
- **Carpetas para los SDKs** incluidos en el proyecto.

III.4.6. Diagramas de clases

A continuación, se presentan los diagramas de clases de los diferentes proyectos. Estos diagramas muestran la mayor parte de los scripts que se han generado como resultado de la fase de implementación de cada proyecto. En la mayoría de los casos, los diagramas adquieren un gran tamaño, por lo que tan sólo se podrán analizar correctamente en la versión digital de este documento, empleando una herramienta de Zoom. Con el objetivo de facilitar la lectura de los diagramas, teniendo en cuenta la complejidad de estos y su tamaño, se facilita el siguiente link desde el que se pueden descargar las imágenes originales: <HTTPS://IBB.CO/ALBUM/MDRRX7>

Los diagramas de clases se han creado utilizando la herramienta *VISUAL PARADIGM*.

Debido a las cláusulas de confidencialidad del proyecto Nextmed, en el diagrama de clases no se muestran los métodos de cada clase, tan sólo los atributos con visibilidad pública.

Algunos proyectos comparten conjuntos de clases o scripts. Por ejemplo, tal y como se explica en *VIRTUAL REALITY EDUCATIONAL TOOL FOR HUMAN ANATOMY*, el módulo RemoteVR se desarrolló para permitir utilizar un móvil como controlador para dispositivos Cardboard. Para ello, se implementó una aplicación para dispositivos móviles Android que recogía los datos de los sensores que se encargan de reconocer los movimientos del dispositivo: el acelerómetro y giroscopio. Esta aplicación se instala en un smartphone Android que se utilizará como mando o controlador. Para la aplicación de Realidad Virtual, instalada en el dispositivo que se inserta en las gafas, se desarrolló otro módulo que establecía una conexión con la aplicación anterior a través de un socket, de forma que recibe constantemente información de los sensores comentados. De esta forma, se puede convertir cualquier teléfono móvil Android en un mando para dispositivos Cardboard. Además, se permite la interacción con el entorno virtual, ya que la aplicación Android permite al usuario pulsar sobre la pantalla, traducándose este evento en una interacción. Gracias a este desarrollo el usuario puede por ejemplo coger con su mano estructuras anatómicas del cráneo para poder moverlas libremente.

Esto resultaba de gran interés en el momento en que se implementó la solución, no obstante, como consecuencia del lanzamiento de nuevos dispositivos de Realidad Virtual de bajo coste que incorporan controladores, se actualizaron los proyectos para su uso en este nuevo hardware, como es el caso de las gafas *OCULUS Go*. No obstante, el módulo de software no se ha eliminado del proyecto, de hecho, está presente en diferentes proyectos a pesar de que no se utilice, aumentando así el número de dispositivos compatibles.

III.4.6.1. Proyecto para el estudio anatómico del cráneo humano con Realidad Virtual

Las publicaciones relacionadas con este proyecto son las siguientes:

- ***VIRTUAL REALITY MEDICAL TRAINING SYSTEM***
- ***VIRTUAL REALITY EDUCATIONAL TOOL FOR HUMAN ANATOMY***

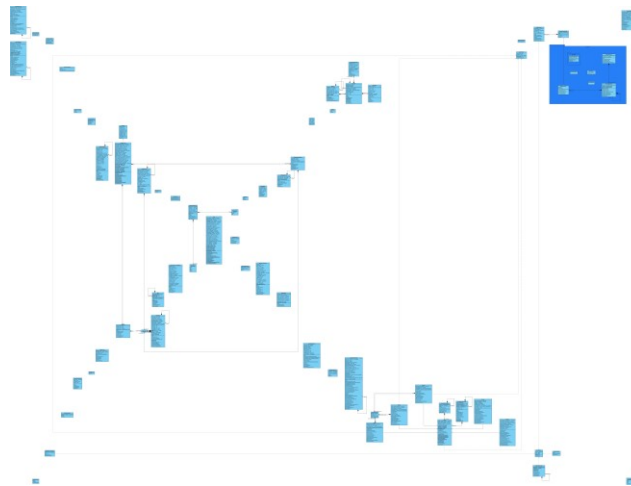


Figura 30 Diagrama de clases proyecto Cráneo humano VR. Fuente: elaboración propia. Consultar siguiente enlace para su visualización ampliada: [HTTPS://1BB.CO/CVJLMHb](https://1bb.co/cvJLMHb)

III.4.6.2. Proyecto para la disposición de una plataforma de Realidad Virtual para la Universidad de Salamanca para la formación en diferentes áreas empleando diferentes tecnologías

Las publicaciones relacionadas con este proyecto son las siguientes:

- ***VIRTUAL REALITY IN HIGHER EDUCATION AN EXPERIENCE WITH MEDICAL STUDENTS***
- ***APP DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR LEARNING HUMAN ANATOMY THROUGH VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY***

Nos encontramos en este caso con un diagrama de clases complejo por el alto número de subsistemas software que compone este proyecto. Se recomienda, al igual que en el resto de casos, consultar en enlace web proporcionado en el pie de cada diagrama de clases para poder entender la complejidad de cada proyecto a nivel de ingeniería del software y programación.

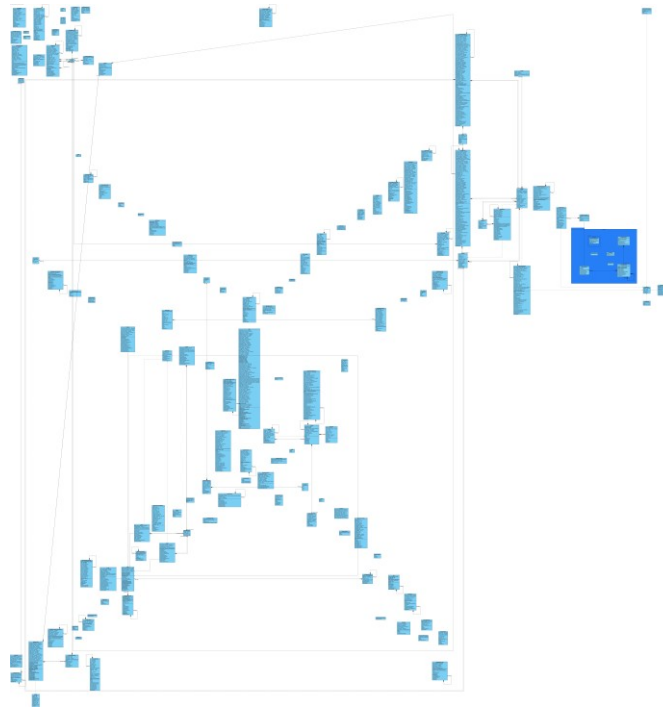


Figura 31 Diagrama de clases proyecto Plataforma RV Formativa USAL Medical Studium. Fuente: elaboración propia. Consultar siguiente enlace para su visualización ampliada: [HTTPS://IBB.CO/D27HWH6](https://ibb.co/d27hWH6)

III.4.6.3. Simulador de Realidad Virtual interactivo para protocolo de implantología dental

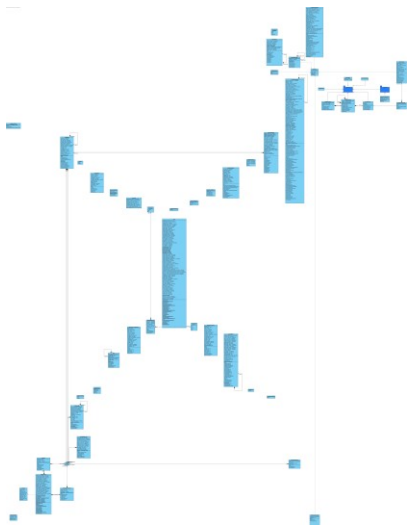


Figura 32 Diagrama de clases proyecto software de simulación de protocolo de implantología dental. Fuente: elaboración propia. Consultar el siguiente enlace para poder visualizar de forma ampliada el diagrama: [HTTPS://IBB.CO/QBTMXGM](https://ibb.co/QBTMXGM)

No se ha realizado ninguna publicación sobre este proyecto concreto, al considerarse similar a otros proyectos, como el *PROYECTO PARA LA SIMULACIÓN DE UN PROTOCOLO DE FIJACIÓN TRANSPEDICULAR LUMBAR*, en el sentido en que ambos sistemas están orientados a simular un protocolo concreto por medio de la interacción e inmersión virtual.

En este caso, el usuario puede visualizar los pasos básicos para realizar un procedimiento de implantología dental, así como hacerlos por sí mismo de forma interactiva, al tiempo que escucha explicaciones y videos sobre dicho protocolo.

Este proyecto fue inicialmente diseñado para gafas Cardboard, empleando el módulo “Remote Control” para convertir cualquier teléfono en un controller para poder realizar las interacciones.

III.4.6.4. Simulador de Realidad Virtual interactivo para protocolo de fijación transpedicular lumbar

Publicación relacionada: *VIRTUAL SIMULATION FOR SCOLIOSIS SURGERY*.

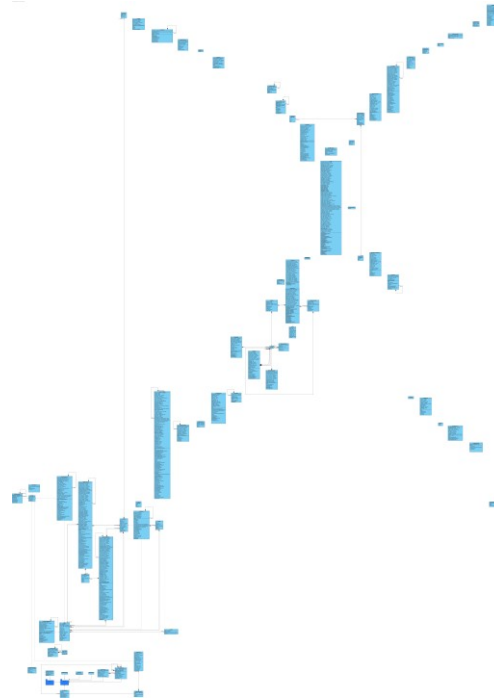


Figura 33 Diagrama de clases proyecto Simulador de protocolo de fijación transpedicular lumbar. Fuente: elaboración propia. Consultar el siguiente enlace para poder visualizar de forma ampliada el diagrama: [HTTPS://PHOTOS.APP.GOO.GL/QKTW948Et3J6cWG77](https://photos.app.goo.gl/QKTW948Et3J6cWG77)

III.4.6.5. Simulador de Realidad Virtual para formación en protocolo de auscultación cardíaca

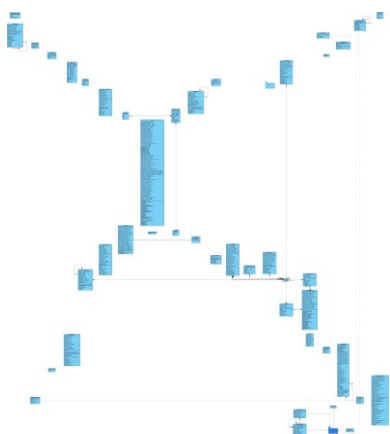


Figura 34 Diagrama de clases proyecto Simulador de Auscultación Cardíaca. Fuente: elaboración propia. Consultar el siguiente enlace para poder visualizar de forma ampliada el diagrama: [HTTPS://1BB.CO/3DS1JYQ](https://1bb.co/3ds1JYQ)

No se ha realizado ninguna publicación de este proyecto puesto que ya se han realizado diferentes publicaciones relacionadas con los simuladores de Realidad Virtual. No obstante, se sigue trabajando en el mismo con la colaboración de cardiólogos de Valladolid para dotar al proyecto de un mayor número de sonidos de auscultación para nuevas cardiopatías. Se realizará una publicación más adelante tras la prueba del sistema.

Este simulador ha sido implementado para dispositivos Oculus GO, motivo por el cual no vemos en el diagrama de clases el módulo “Remote Control”. Posteriormente se ha adaptado el sistema para mejorar su compatibilidad con nuevos dispositivos más avanzados.

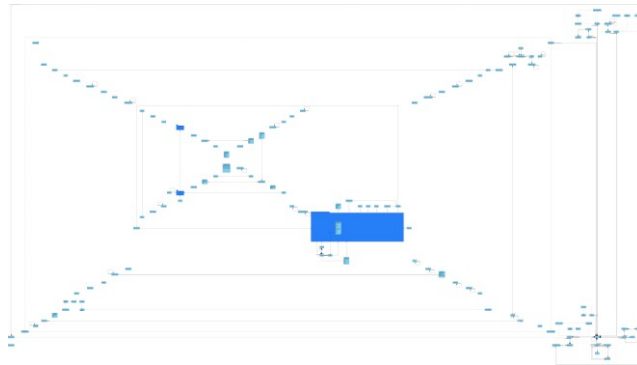


Figura 38 Diagrama de clases proyecto Nextmed Versión Escritorio. Fuente: elaboración propia. Consultar imagen ampliada en: [HTTPS://IBB.CO/2FVQBDN](https://ibb.co/2FVQBDN)

Por motivos de confidencialidad y seguridad, no es posible mostrar los diagramas de clases correspondientes a la arquitectura cloud de Nextmed.

IV. Resultados obtenidos

IV.1. Realidad Virtual como herramienta docente

IV.1.1. Estudio de la anatomía del cráneo humano con Realidad Virtual

Tras la generación de nuestro modelo craneal en 3D partiendo de imágenes médicas de una paciente real y su implementación de un sistema de visualización e interacción con el entorno virtual, mediante gafas de visión estereoscópica, hemos obtenido una herramienta formativa para las titulaciones en ciencias de la salud, que permite al usuario navegar por el interior del cráneo con un alto grado de realismo, pudiendo, además, interactuar con el sistema para guiar la navegación por las diferentes partes de esta estructura anatómica.

Con este procedimiento tecnológico desarrollado, el usuario podrá estudiar el cráneo no sólo desde el exterior, valorando la disposición y relaciones de las distintas piezas óseas que conforman el cráneo, sino también desde su interior, analizando las diferentes fosas craneales que configuran la base del cráneo, así como los distintos orificios que cada una de ellas contiene. La incorporación en nuestro desarrollo de diferentes animaciones y efectos especiales para que el usuario obtenga la experiencia virtual y esta sea lo más dinámica posible, ayuda al usuario a entender de forma más precisa lo que está viendo en cada momento. Para crear estos efectos especiales, hemos asignado una serie de modelos 3D animados, a cada hueso o foramen del cráneo que queremos señalar, y en el momento en que las explicaciones auditivas hacen referencia a estas partes, renderizamos dichos modelos para crear los diferentes efectos que nos permitirán destacarlas. Además, para que la escena sea más dinámica, la posición de la cámara cambia, ya que será la posición desde la que el usuario visualizará el entorno virtual. De esta forma el usuario verá el interior del cráneo desde diferentes perspectivas, puesto que desde algunas se ven huesos y forámenes que no son visibles desde otras.

El sistema comienza con una explicación general de la constitución y organización del cráneo, para posteriormente indicarnos los distintos huesos que lo conforman. Una vez analizado de forma global la estructura externa, nos adentramos a su interior, a través del foramen magno o agujero occipital, para poder visualizar, desde el interior, la base craneal con las diferentes fosas craneales, mostrando las delimitaciones que las separan cada una de ellas.

Cuando nos introducimos en el interior del cráneo por el gran agujero del hueso occipital (el foramen magno), podemos observar que su base, está escalonada en tres pisos o

niveles denominados fosas craneales: la fosa craneal posterior, la fosa cerebral media, y la fosa cerebral anterior. El usuario viajará por cada una de estas fosas en los 5 temarios en los que está dividido este proyecto, disponiendo de un menú de navegación que le permitirá acceder a un temario o a otro.

Se incluye además un módulo de evaluación donde el usuario se encontrará dentro del cráneo y deberá señalar las secciones anatómicas que el sistema le indique, de forma que si falla se considerará respuesta errónea. Al contestar a la última pregunta, obtendrá la evaluación final obtenida.

Finalmente, como herramienta práctica e interactiva, se ha diseñado un módulo en el que el usuario debe *montar* el cráneo humano como si de un puzzle se tratara, partiendo de los diferentes huesos aislados y separados. Para ello, el usuario deberá elegir si montar la parte superior o la parte inferior del cráneo humano, y coger los diferentes huesos según se va indicando y colocarlos en su posición correcta, tal y como podemos ver en la siguiente imagen.

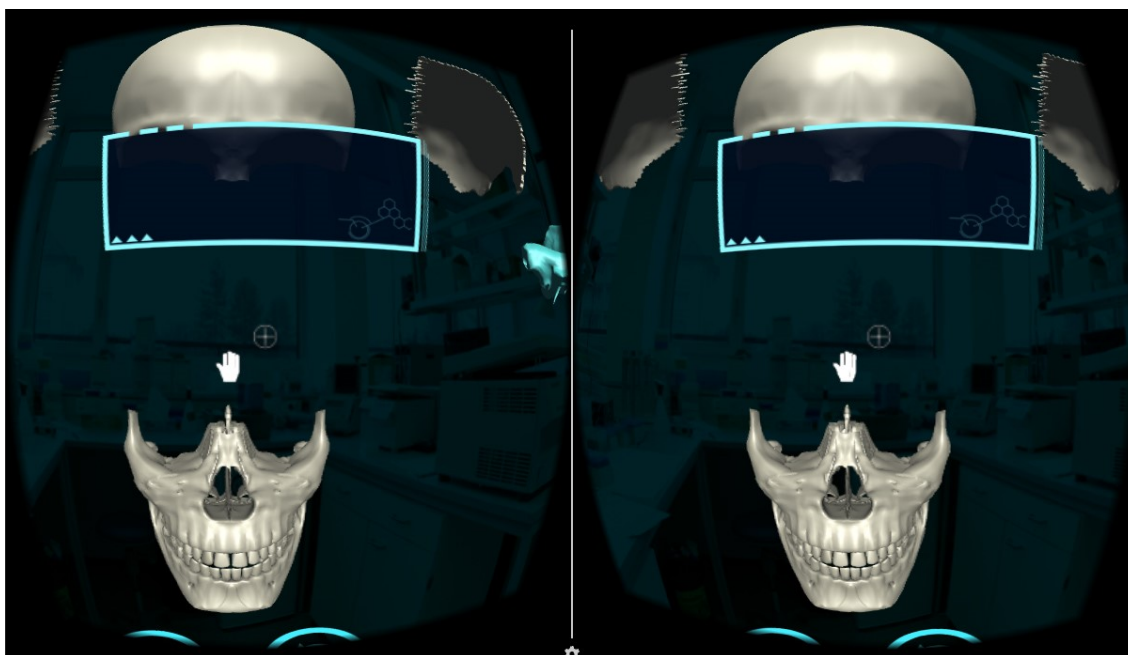


Figura 39 Módulo interactivo para el montaje de los diferentes huesos que conforman la bóveda del cráneo humano. Elaboración propia.

La interacción para poder coger un hueso y arrastrarlo a su posición se lleva a cabo utilizando el módulo RemoteVR desarrollado, que permite convertir cualquier smartphone Android en un controlador de Realidad Virtual.

Este sistema se detalla en *VIRTUAL REALITY MEDICAL TRAINING SYSTEM* y en *VIRTUAL REALITY EDUCATIONAL TOOL FOR HUMAN ANATOMY*.

IV.1.2. Sistema de inmersión 360

Una herramienta hardware que puede mejorar mucho los recursos formativos en el ámbito médico son las cámaras 360. Una grabación 360 es aquella en la que se han grabado imágenes en todas las posibles direcciones tomando como origen el mismo punto del espacio. Es decir, una cámara 360 graba todo lo que ocurre a su alrededor, en cualquier dirección y al mismo tiempo. Exploramos esta tecnología a través de la creación de un proyecto de visualización de espacios en modo inmersivo, de forma que el usuario puede sentir que se encuentra en dichos espacios. Tal y como se puede ver en la siguiente imagen, se incluyen paneles interactivos en el espacio para que el usuario pueda interactuar con los mismos para acceder a información sobre cada uno de los aparatos que le rodean.



Figura 40 Paneles interactivos situados en una imagen 360 de un quirófano para explicar diferentes aparatos electrónicos. Elaboración propia.

Además, utilizamos esta tecnología en el simulador inmersivo mencionado anteriormente, de forma que gracias a grabaciones de cirugías reales los estudiantes y residentes de medicina pueden recrear la experiencia de encontrarse en el quirófano tantas veces como deseen. Esto resulta de gran utilidad, ya que a pesar de que los estudiantes pueden acudir a determinadas cirugías como parte de su proceso de aprendizaje, el número de estudiantes que pueden acudir es muy reducido, por lo que a pesar de ser una experiencia realmente interesante para ellos, tan sólo pueden llevarla a cabo en muy contadas ocasiones. Gracias a la Realidad Virtual esto cambia. Además, las grabaciones 360° y el software necesario para su visualización resultan muy económicos, al no

precisar de complejos desarrollos informáticos; incluso un video grabado con esta tecnología puede ser publicado en Youtube para su visualización tanto con gafas de Realidad Virtual como sin ellas.

Para poder desarrollar sistemas que muestren grabaciones 360 primero ha sido necesario acudir a diferentes cirugías y grabar todo el proceso con cámaras especiales de grabación 360, como la Samsung Gear 360 (se han adquirido y empleado los dos modelos existentes). Estas grabaciones se han llevado a cabo con sumo cuidado para no interferir en la actividad de los diferentes profesionales médicos presentes en la cirugía, y evitando al mismo tiempo contaminar las herramientas y espacio de trabajo.



Figura 41 Ejemplo de imagen 360 sin procesar grabada en un cirugía de Fijación Traspedicular Lumbar. Elaboración propia.

Este sistema se detalla en *360° VISION APPLICATIONS FOR MEDICAL TRAINING*.

IV.1.3. Simuladores de Realidad Virtual interactivos para protocolos médicos

La Realidad Virtual aporta una posibilidad única para la formación de estudiantes y residentes de medicina, pues permite practicar una cirugía y determinados protocolos médicos tantas veces como se desee sin la necesidad de manipular material médico o pacientes reales. En las siguientes publicaciones *VIRTUAL SIMULATION FOR SCOLIOSIS SURGERY*, *VIRTUAL REALITY AS AN EDUCATIONAL AND TRAINING TOOL FOR MEDICINE* y *VIRTUAL REALITY IN HIGHER EDUCATION AN EXPERIENCE WITH MEDICAL STUDENTS* investigamos esta capacidad a través del desarrollo de un simulador interactivo de Realidad Virtual implementado para la formación en un protocolo de fijación transpedicular lumbar para patología de escoliosis.

En la imagen siguiente vemos una captura de la pantalla de las gafas. Se pueden ver dos perspectivas diferentes de lo mismo, cuyo objetivo es crear, con la ayuda de las lentes de las gafas, un efecto de estereoscopia. Al ser la imagen de la izquierda ligeramente diferente de la imagen de la derecha, el cerebro crea una imagen tridimensional, lo cual aporta al usuario un efecto de profundidad en la imagen.

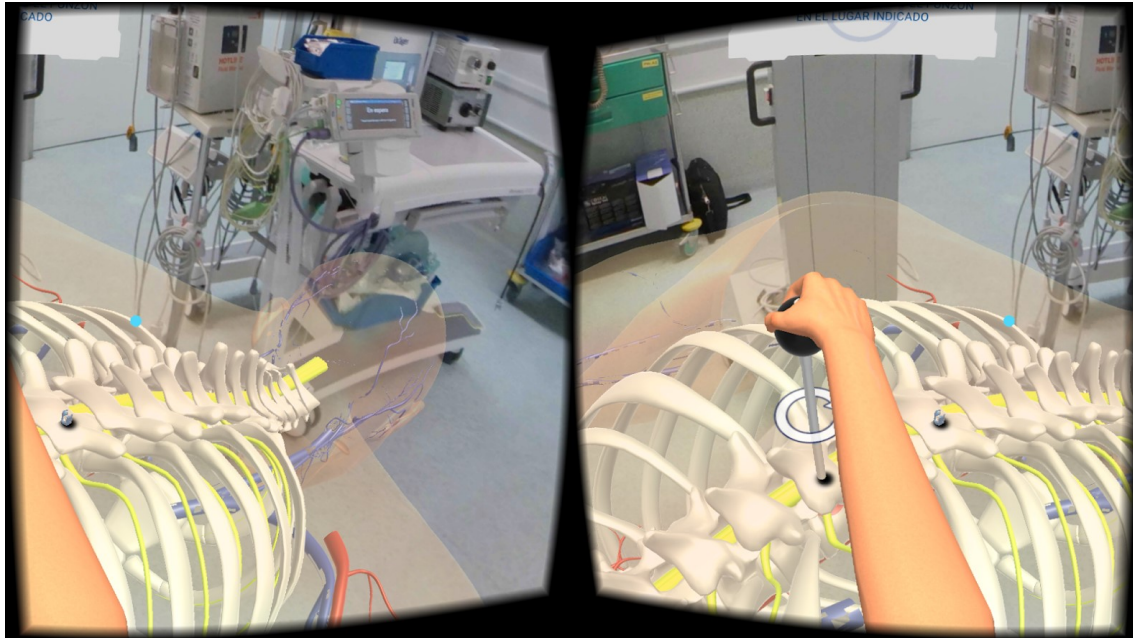


Figura 42 Imagen con estereoscopia del simulador de fijación transpedicular lumbar, donde el usuario utiliza el punzón para perforar la tercera vértebra. Fuente: Elaboración propia.

También hemos realizado un simulador para la revisión de los pasos principales de un protocolo de implantología dental. Al igual que en simulador comentado anteriormente, se permite al usuario seleccionar tres opciones de ejecución:



Figura 43 Selección de modo de ejecución del simulador

- Instrucciones: El usuario no realiza ningún tipo de interacción, tan sólo se limita a ver los pasos que se deben ir dando, que se reproducen automáticamente.

- Modo Guiado: Se muestran indicaciones visuales al usuario para que sepa cuál es el siguiente elemento con el que debe interactuar. En el caso de este

simulador de implantología dental, se le señala cuál es la siguiente pieza que debe colocar. Por ejemplo, en la siguiente imagen, se indica con una indicación visual verde la pieza que debe colocar y la zona en la que debe introducir dicha pieza, al tiempo que se muestra un vídeo real sobre este paso.

- **Modo Experto:** En este modo el usuario no obtiene ningún tipo de ayuda visual para llevar a cabo el protocolo.



Figura 44 Imagen del simulador de Realidad Virtual para la realización de un protocolo de implantología dental

Se trata de un simulador sencillo en el que el usuario debe realizar los pasos principales para la fijación de un implante dental. Durante la simulación interactiva, el usuario puede además ver, junto a los modelos 3D, vídeos de los diferentes pasos en cirugías reales.

Otro sistema de simulación que se ha implementado es el simulador de auscultación cardíaca, donde los estudiantes, residentes médicos e incluso especialistas en cardiología, pueden practicar el protocolo de auscultación, debiendo escuchar los diferentes focos de auscultación de un paciente e identificar qué cardiopatía tiene. El sistema le presentará al usuario un paciente con una cardiopatía aleatoria, y el profesional deberá identificarla, de forma que al final obtendrá una evaluación automática.

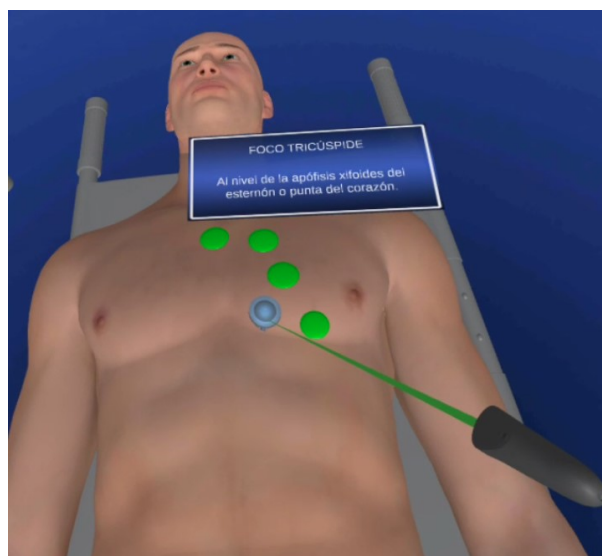


Figura 45 Simulador de auscultación cardíaca. En esta imagen, el usuario tiene activada la opción para ver los puntos de los diferentes focos de auscultación, y la opción de Esconder la piel desactivada. Elaboración propia.

Esto resulta de gran utilidad ya que los profesionales médicos no pueden practicar la auscultación de forma ilimitada, y con este sistema aprenden por un lado a encontrar los focos de auscultación y por otro a reconocer los sonidos asociados a diferentes cardiopatías para cada posible foco de auscultación, pudiendo practicar en cualquier sitio y en cualquier momento.



Figura 46 Interfaz de Ajustes del simulador de Auscultación. Elaboración propia.

Desde la interfaz de ajustes, que podemos ver en la imagen, el usuario puede modificar el idioma de la aplicación, elegir si se deben mostrar o no los focos de auscultación para facilitar el proceso, esconder la piel para poder ver la posición del corazón y sus estructuras, ver la puntuación acumulada, centrar el fonendoscopio en el centro de la pantalla o cambiar el modo de ejecución a modo de entrenamiento o modo de evaluación.

En el modo de evaluación el sistema pregunta al usuario qué cardiopatía cree que tiene el paciente en base a los sonidos de los distintos focos de

auscultación escuchados. Por otro lado, en el modo entrenamiento el sistema le indica a qué cardiopatía se corresponde los sonidos que está escuchando el paciente.



Figura 47 Imágenes del sistema de Auscultación Cardíaca. Izq.: Evaluación tipo test. Der.: Escuchando el sonido del fonendo y visualizando la onda de sonido. Elaboración propia.

IV.1.4. Herramienta virtual inmersiva para formación en la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca

Una de las grandes ventajas de la Realidad Virtual es la capacidad para crear nuevos recursos formativos que aprovechen las ventajas de la inmersión. Con este objetivo hemos desarrollado una completa plataforma para la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca. La plataforma consiste en un sistema de Realidad Virtual donde los usuarios pueden acceder a diferentes píldoras formativas. Estas píldoras formativas incluyen (1) temario sobre anatomía del cráneo humano, (2) inmersión en quirófano, (3) inmersión en sala de tomógrafo computarizado, (4) grabación 360 de diferentes cirugías, (5) visualización de las diferentes estructuras anatómicas del cuerpo humano divididas en capas y otras píldoras. Además, el sistema permite la incorporación de nuevas experiencias.



Figura 48 Menú principal de la plataforma de Realidad Virtual implementada para la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca

En el caso de píldora formativa (1), el usuario puede estudiar la anatomía del cráneo humano desde su propio interior, como se ha descrito anteriormente (se ha incluido el proyecto de estudio del cráneo humano dentro de este proyecto). Al igual que en la película *El chip prodigioso* (1987, título original *InnerSpace*), donde el protagonista viaja por el interior del cuerpo humano al haber sido miniaturizado, gracias al sistema que hemos desarrollado el usuario puede "viajar" por el interior del cráneo humano al tiempo que recibe indicaciones de cada una de las estructuras anatómicas que está visualizando.

Otro punto muy interesante que también hemos desarrollado en esta plataforma es la opción de poder *entrar* en diferentes espacios de forma inmersiva (puntos 2 y 3), como por ejemplo en un quirófano o una sala de tomografía computarizada. El objetivo no es sólo poder visualizar estos entornos, sino poder obtener información detallada sobre los mismos. Por ello, cuando el usuario se encuentra en uno de estos espacios, se le muestra de forma interactiva información sobre diferentes sistemas que, como profesional, deberá aprender a utilizar.

Otra píldora muy interesante (5) es la de *capas del cuerpo humano*. En este módulo el usuario puede añadir o quitar capas del cuerpo humano para visualizar todas sus estructuras anatómicas. Para ello utilizamos un modelo 3D muy preciso del cuerpo humano, donde está representada una gran parte de su anatomía. El usuario puede visualizar de forma aislada los músculos, los huesos, nervios, arterias y venas, órganos..., así como fusionar diferentes capas.



Figura 49 Captura de una visualización 360 con el cuerpo humano y las diferentes capas que el usuario puede añadir o quitar. Elaboración propia.

Este sistema se detalla en las publicaciones *VIRTUAL REALITY IN HIGHER EDUCATION AN EXPERIENCE WITH MEDICAL STUDENTS* y en *APP DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR LEARNING HUMAN ANATOMY THROUGH VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY*.

IV.1.5. Resultados encuesta realizada a alumnos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca

Para poder demostrar la utilidad de la Realidad Virtual en el ámbito formativo, se ha llevado a cabo una sesión de prueba con 38 alumnos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca. Puesto que para la elaboración de esta tesis se han desarrollado una gran variedad de sistemas, hemos elegido uno para esta sesión de evaluación, concretamente la píldora formativa sobre la anatomía del cráneo humano. En la publicación *VIRTUAL REALITY IN HIGHER EDUCATION AN EXPERIENCE WITH MEDICAL STUDENTS* se resumen los principales resultados mostrados en esta sección.

Para la evaluación, se ha dividido la muestra en dos grupos, uno de control que ha estudiado la anatomía del cráneo humano con las herramientas disponibles en ese momento en la Universidad, y otro grupo que ha utilizado nuestro sistema de Realidad Virtual. Los conocimientos necesarios para responder a las preguntas del cuestionario estaban disponibles en los dos materiales de enseñanza.

En primer lugar, en cuanto al cuestionario para valorar los contenidos que han adquirido los estudiantes, es decir, el cuestionario de evaluación de conocimientos anatómicos, podemos ver la gran diferencia entre el primer y el segundo grupo, tras tener la experiencia virtual.

IV.1.5.1. Grupo de control

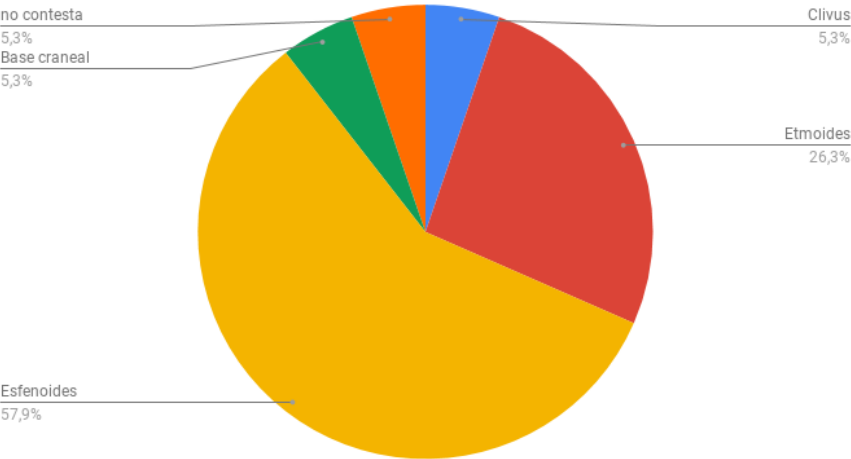
Tabla 1 Resultados cuestionario grupo de control

Alumnos	1-¿Qué hueso contiene la estructura denominada "Silla Turca"?	2-¿Qué hueso contiene una lámina con forámenes para los nervios olfatorios?	3-¿Qué hueso trata la superficie correspondiente a la frente y la prominencia de la cubierta de los ojos?	4-¿Qué hueso está formado por la parte posterior, inferior y media del cráneo?	5-¿Qué hueso contiene el órgano auditivo?	Puntuación
1	Clivus	Esfenoides	Frontal	Occipital	no contesta	4 / 10
2	Etmoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Cóclea	6 / 10
3	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	no contesta	8 / 10

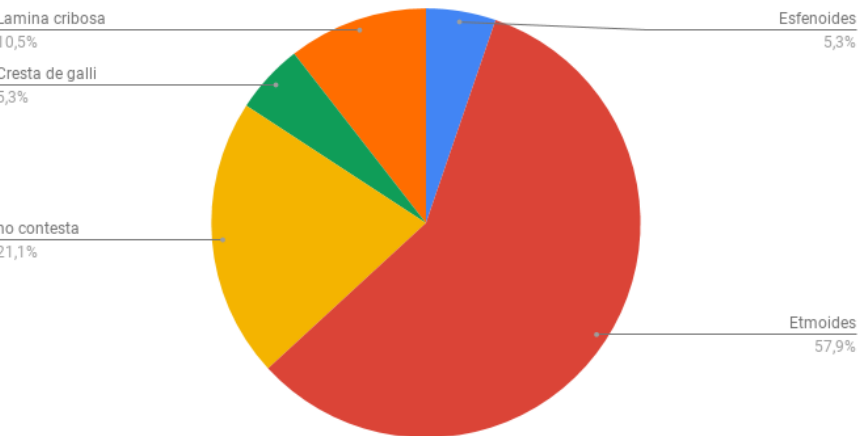
4	Esfenoides	Etmoides	Frontal	no contesta	no contesta	6 / 10
5	Esfenoides	Etmoides	Frontal	no contesta	no contesta	6 / 10
6	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
7	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
8	Etmoides	no contesta	Frontal	Occipital	Parietal	4 / 10
9	Etmoides	no contesta	Frontal	Occipital	Parietal	4 / 10
10	Etmoides	Cresta de Galli	no contesta	Esfenoides	no contesta	0 / 10
11	Base craneal	Lamina cribosa	no contesta	Occipital	Temporal	4 / 10
12	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Temporal	No contesta	6 / 10
13	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
14	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
15	Esfenoides	Etmoides	Frontal	no contesta	Temporal	8 / 10
16	Etmoides	no contesta	No contesta	no contesta	no contesta	0 / 10
17	Esfenoides	Lamina cribosa	no contesta	no contesta	no contesta	2 / 10
18	no contesta	no contesta	Frontal	Temporal	Parietal	2 / 10
19	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	no contesta	8 / 10

A continuación, se presentan gráficos de los resultados del cuestionario para el grupo de control, aquel que ha utilizado técnicas tradicionales.

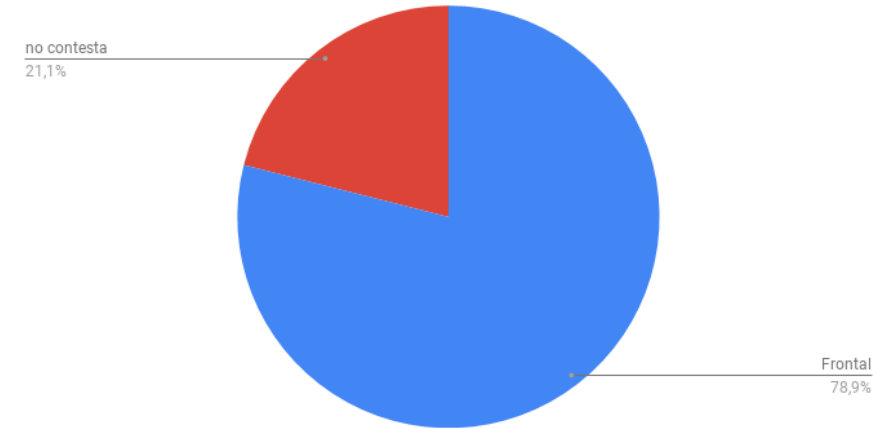
1- ¿Qué hueso contiene la parte "Silla Turca"?



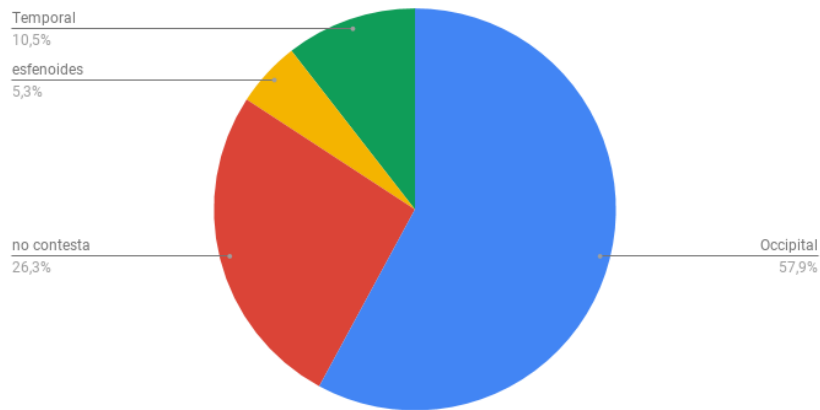
2- ¿Qué hueso contiene una lámina con agujeros para los nervios olfatorios?



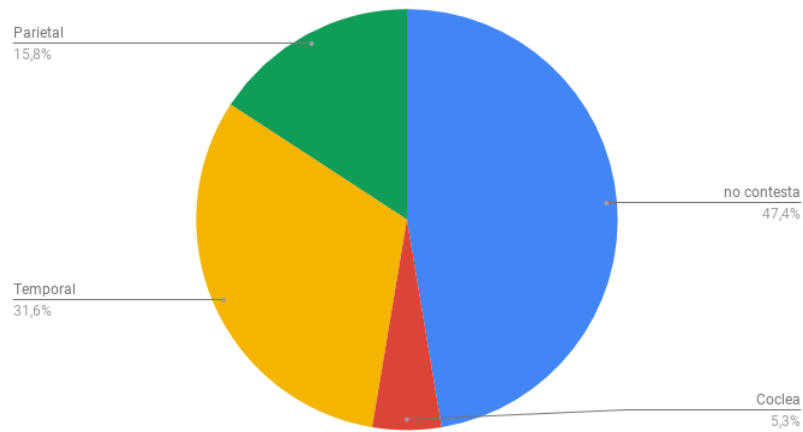
3- ¿Qué hueso trata la superficie correspondiente a la frente y la prominencia de la cubierta de los ojos?



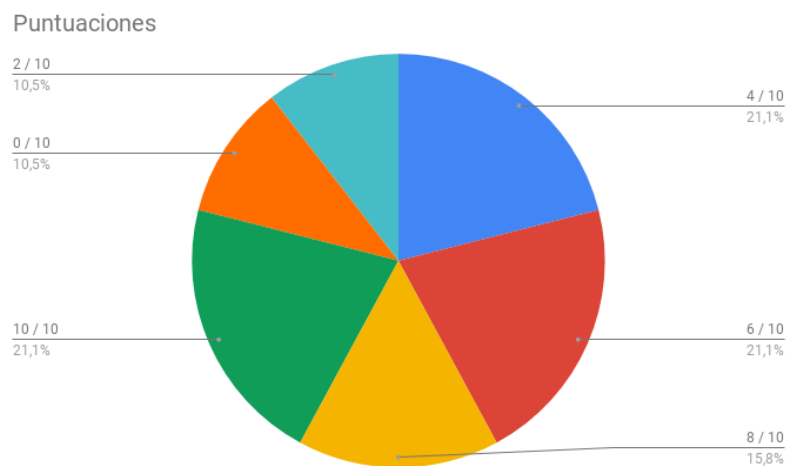
4- ¿Qué hueso está formado por la parte posterior, inferior y media el cráneo?



5- ¿Qué hueso contiene el órgano auditivo?



Una vez hemos obtenido los resultados de cada pregunta, podemos ver en el siguiente gráfico las puntuaciones totales de los alumnos.



Así pues, podemos observar que cuatro estudiantes han obtenido un 10 (21.1%), tres un 8 (15.8%), cuatro un 6 (21.1%), cuatro un 4 (21.1%), dos un 2 (10.5%), y dos un 0 (10.5%).

IV.1.5.2. Grupo experimental

En segundo lugar, en cuanto al cuestionario para valorar los contenidos que han adquirido los estudiantes pertenecientes al segundo grupo, que ha empleado el sistema que se ha desarrollado, podemos ver la gran diferencia entre uno y otro.

Tabla 2 Resultados cuestionario grupo experimental

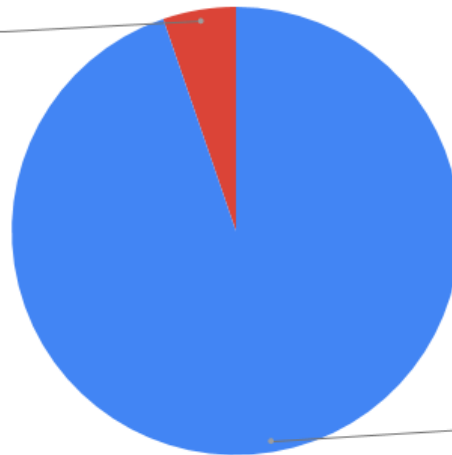
Alumnos	1-¿Qué hueso contiene la estructura "Silla Turca"?	2-¿Qué hueso contiene una lámina con forámenes para los nervios olfatorios?	3-¿Qué hueso trata la superficie correspondiente a la frente y la prominencia de la cubierta de los ojos?	4-¿Qué hueso está formado por la parte posterior, inferior y media del cráneo?	5-¿Qué hueso contiene el órgano auditivo?	Puntuación
1	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
2	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
3	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
4	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
5	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Temporal	Temporal	8 / 10
6	no contesta	no contesta	Frontal	Occipital	Parietal	4 / 10
7	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Temporal	no contesta	6 / 10
8	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
9	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
10	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10

11	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
12	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Esfenoides	8 / 10
13	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
14	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
15	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
16	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Esfenoides	8 / 10
17	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
18	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10
19	Esfenoides	Etmoides	Frontal	Occipital	Temporal	10 / 10

A continuación, se presentan gráficos de las preguntas que se les hizo al grupo que ha utilizado la experiencia virtual inmersiva.

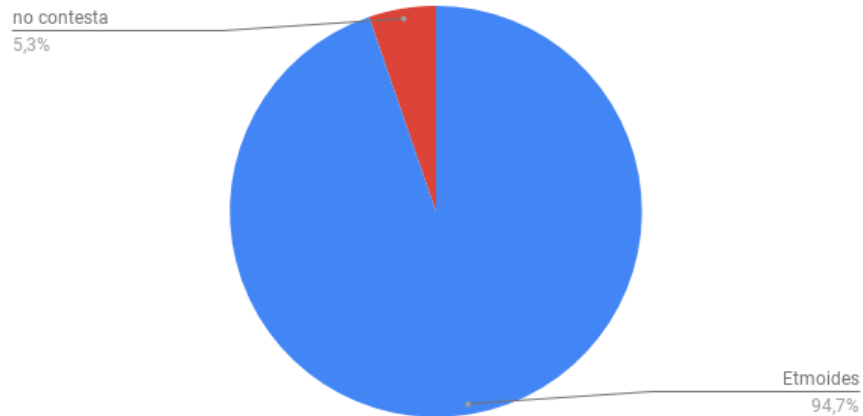
1- ¿Qué hueso contiene la parte "Silla Turca"?

no contesta
5,3%

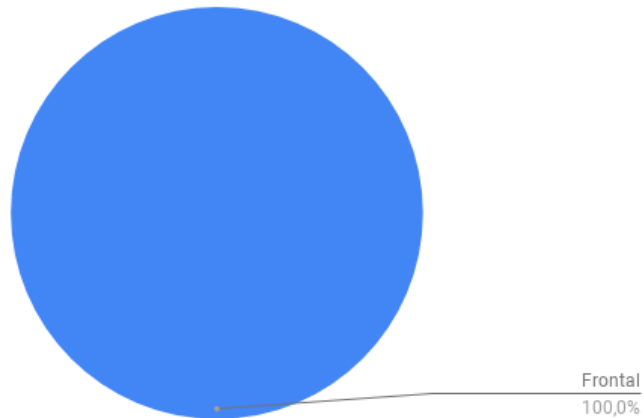


Esfenoides
94,7%

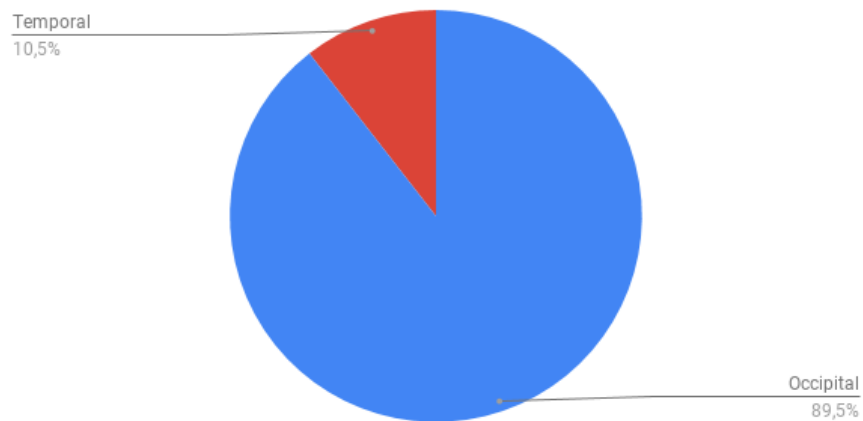
2- ¿Qué hueso contiene una lámina con agujeros para los nervios olfatorios?



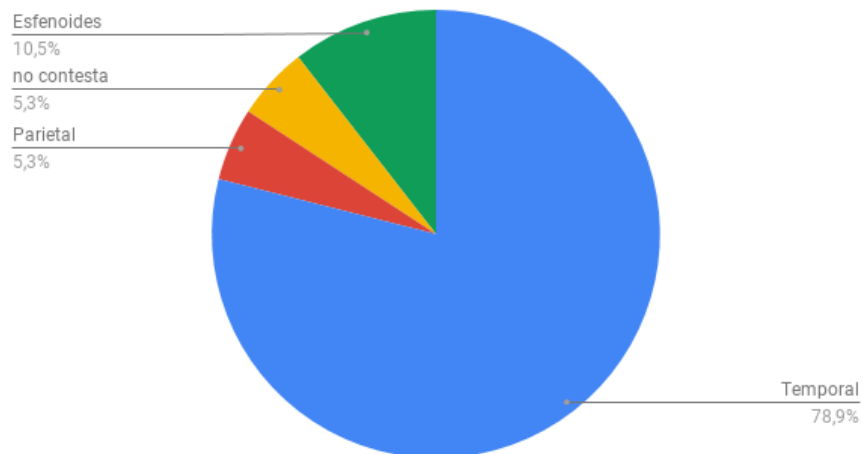
3- ¿Qué hueso trata la superficie correspondiente a la frente y la prominencia de la cubierta de los ojos?



4- ¿Qué hueso está formado por la parte posterior, inferior y media el cráneo?

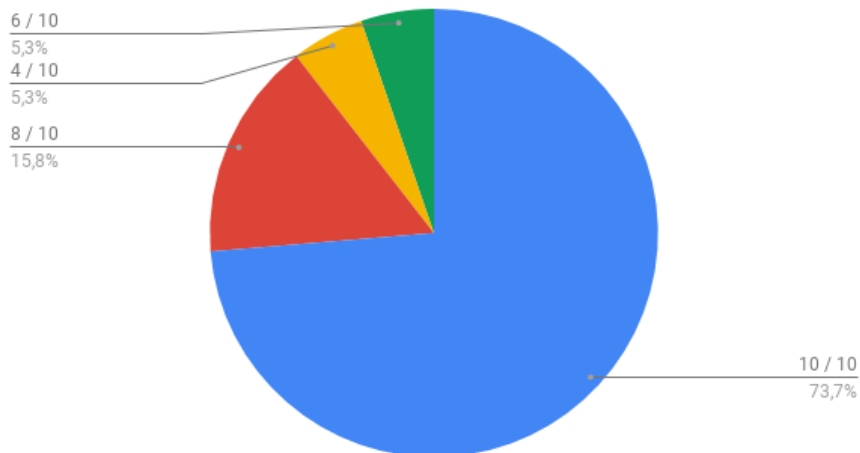


5- ¿Qué hueso contiene el órgano auditivo?



Los resultados obtenidos en el segundo grupo son claramente mejores al haber empleado la experiencia virtual inmersiva como herramienta didáctica. El siguiente gráfico las puntuaciones totales de los alumnos.

Puntuaciones



IV.1.5.3. Cuestionario satisfacción herramienta de Realidad Virtual

Por otro lado, hemos entregado a los 19 alumnos del segundo grupo un cuestionario para que valorasen de forma subjetiva la herramienta de Realidad Virtual como recurso didáctico, para comprobar si estarían dispuestos a utilizarlo y si les resulta una herramienta interesante.

Tabla 3 Valoración subjetiva con cuestionario de escala dicotómica sobre la valoración de la experiencia general de aprendizaje con Realidad Virtual

1- ¿Ha tenido en alguna ocasión una experiencia virtual de aprendizaje, con entornos tecnológicos con gafas de Realidad Virtual?	2- ¿Ha tenido alguna experiencia virtual de aprendizaje destinada a su ámbito de estudio? (sin contar con esta)	3- ¿Se ha mareado usando la plataforma?	4- ¿Recomendaría a sus otros compañeros dicha experiencia?
No	No	No	Sí
No	No	No	Sí
No	No	No	Sí
Sí	Sí	No	Sí
No	No	A veces	Sí
Sí	No	No	Sí
Sí	No	A veces	Sí
No	No	No	Sí
Sí	Sí	A veces	Sí
No	Sí	A veces	Sí
No	No	No	Sí
No	No	No	Sí
No	No	No	Sí
No	No	No	Sí
No	No	A veces	Sí
Sí	No	No	Sí
No	No	No	Sí

Sí	No	No	Sí
Sí	No	No	Sí

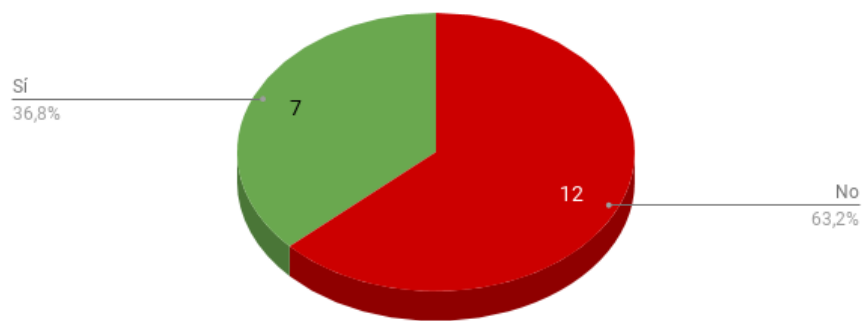
Tabla 4 Resultados cuestionario de escala continua (valores de 1 a 4 siendo 1 la respuesta más negativa y 4 la más positiva) respecto a la valoración general de la plataforma

¿Considera que ha sido de utilidad la experiencia inmersiva?	¿Le gusta esta experiencia inmersiva?	¿Le ha ayudado el material didáctico a seguir aprendiendo?	¿Motiva la práctica de gafas de realidad virtual para aprender?	¿Las gafas de realidad virtual que ha utilizado son cómodas?	¿Los materiales proporcionados tienen un diseño atractivo?	¿La plataforma que ha utilizado para el estudio de contenidos de la materia es de fácil uso?	¿La plataforma que ha utilizado para el aprendizaje de contenidos interactivos es innovadora?	¿Considera que la plataforma utilizada es innovadora?	Observaciones:
4	4	4	4	3	3	4	4	4	
3	4	4	4	3	3	4	4	4	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	Es una buena forma de motivar al aprendizaje
4	4	4	3	4	4	3	3	4	
3	4	4	4	3	4	3	4	4	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	
4	4	4	4	3	3	3	4	4	
4	4	4	4	2	3	4	3	3	
4	4	4	4	3	4	4	4	4	
4	4	4	3	3	3	4	3	3	
4	4	4	4	3	4	4	4	4	
4	4	4	3	3	3	3	3	4	
4	4	4	4	3	3	4	4	4	
3	4	3	3	3	2	3	3	4	
4	4	4	4	4	3	3	4	4	

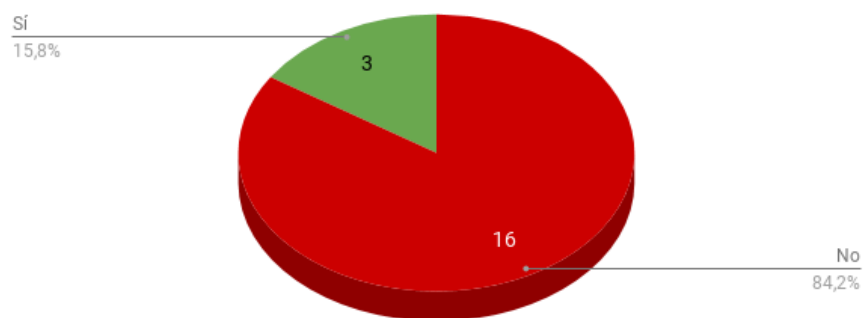
4	4	4	4	4	4	3	4	4
4	4	4	3	3	3	3	3	4
4	4	4	4	3	3	4	4	4
4	4	4	4	3	4	4	4	3

En los siguientes gráficos se ve de forma más detallada:

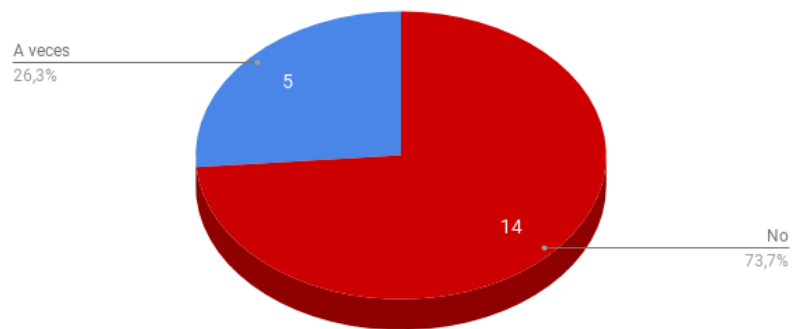
Recuento de 1- ¿Ha tenido en alguna ocasión una experiencia virtual de aprendizaje, con entornos tecnológicos con gafas de Realidad Virtual?



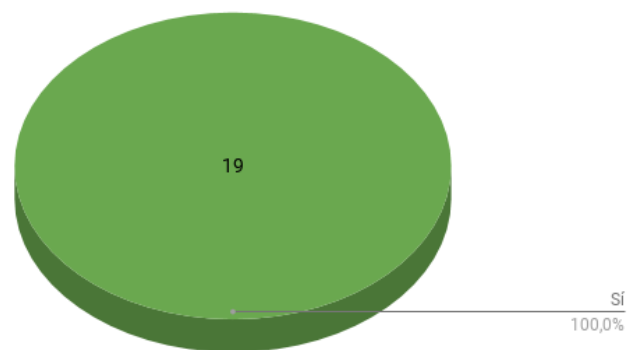
Recuento de 2- ¿Ha tenido alguna experiencia virtual de aprendizaje destinada a su ámbito de estudio? (sin contar con esta)



Recuento de 3- ¿Se ha mareado usando la plataforma?

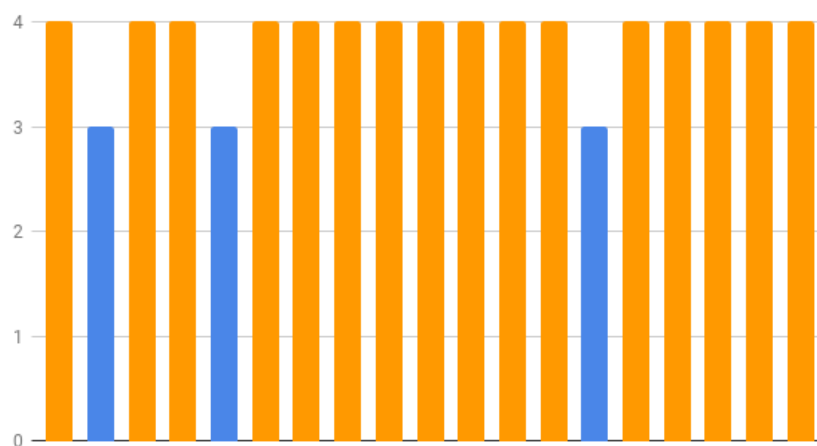


4- ¿Recomendaría a sus otros compañeros dicha experiencia?

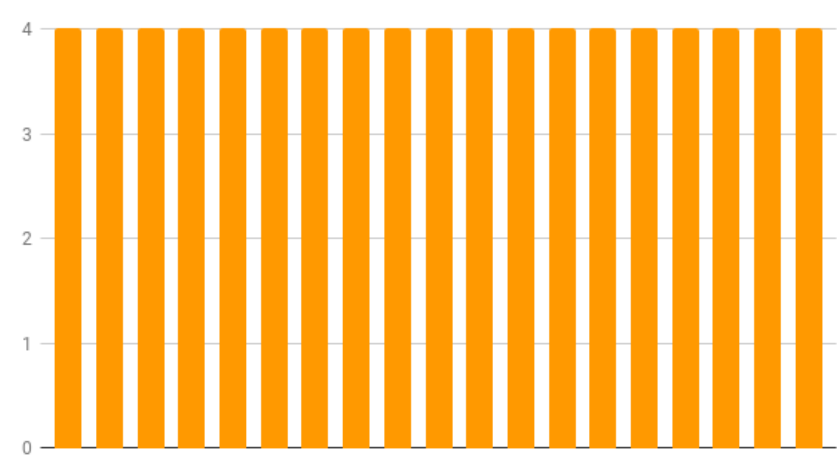


Las siguientes gráficas se muestran los ítems con las valoraciones de los estudiantes, teniendo en cuenta que nada (1), poco (2), bastante (3) y mucho (4).

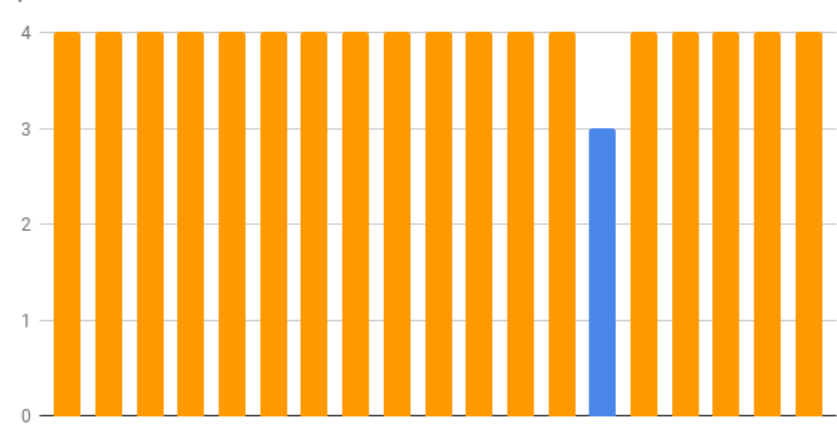
¿Considera que ha sido de utilidad la experiencia inmersiva?



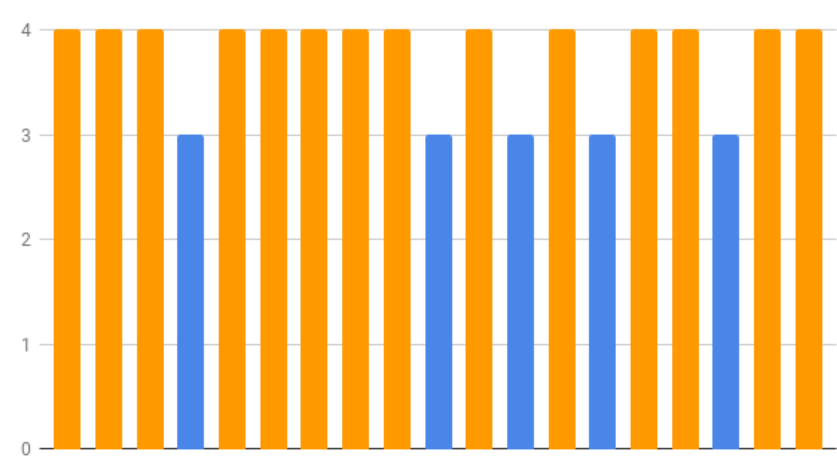
¿Le ha gustado esta experiencia inmersiva?



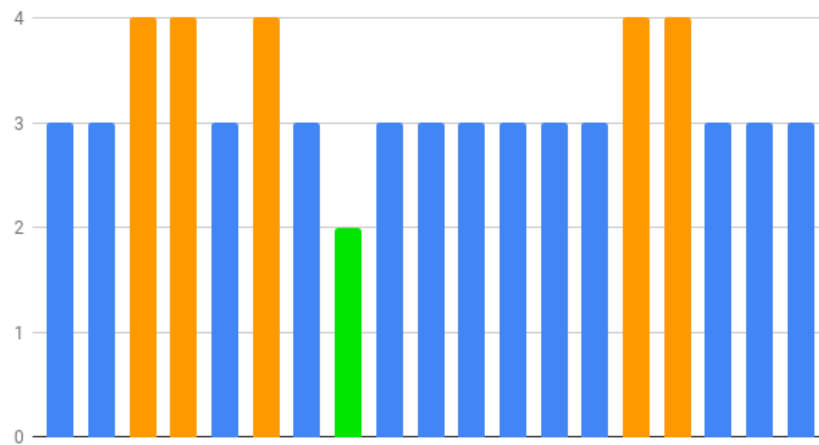
¿Le motiva el material didáctico proporcionado para seguir aprendiendo?



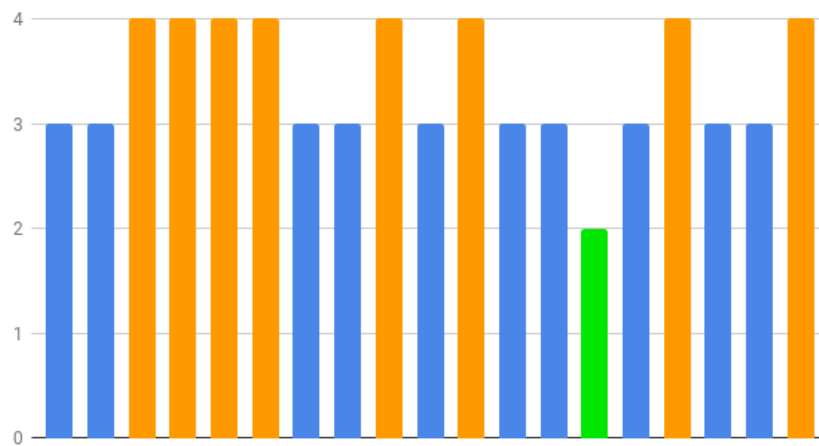
¿Ve práctica la utilización de gafas a la hora de aprender?



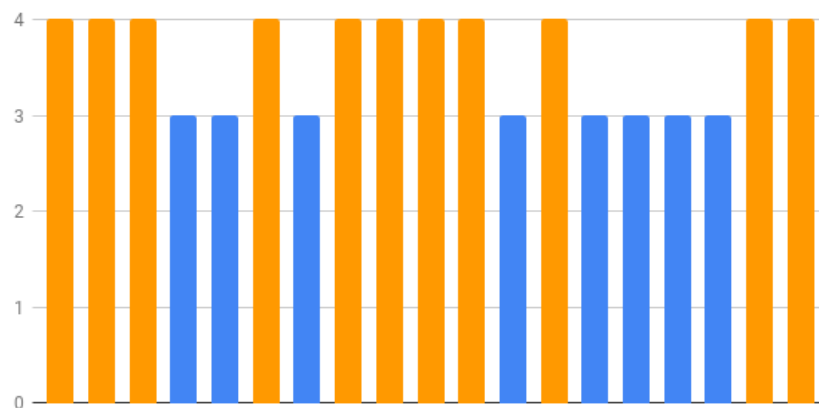
¿Las gafas de realidad virtual que ha utilizado son cómodas?



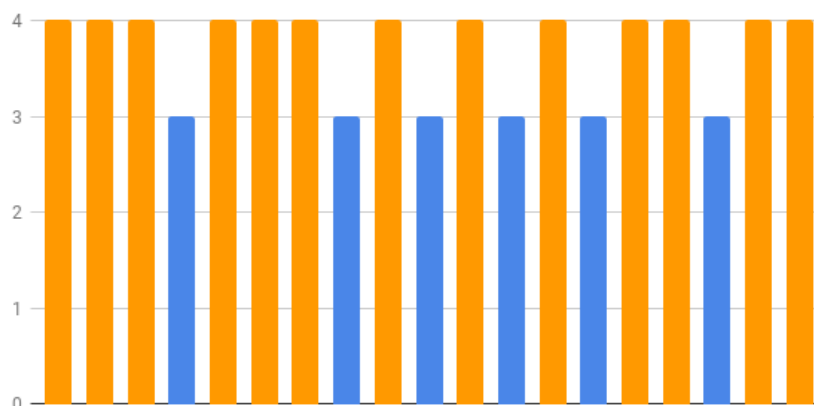
¿Los materiales proporcionados tienen un diseño atractivo?



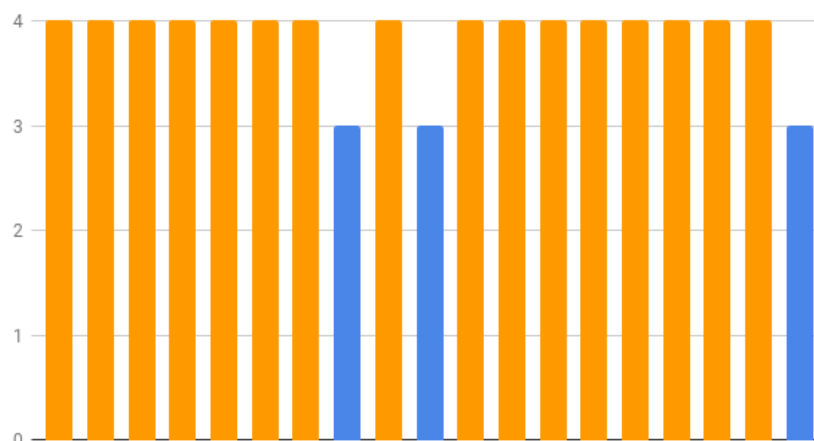
¿La plataforma que ha utilizado para el estudio de contenidos de la materia es de fácil uso?



¿La plataforma que ha utilizado para el aprendizaje de contenidos es interactiva?



¿Considera que la plataforma utilizada es innovadora?



De este cuestionario de satisfacción podemos deducir que la plataforma de Realidad Virtual implementada resulta innovadora, atractiva, de fácil uso y facilita la adquisición de conocimientos, en este caso, sobre anatomía humana.

Además, los resultados de los cuestionarios de evaluación de conocimientos reflejan que la plataforma de Realidad Virtual implementada consigue transmitir de una forma mucho más eficiente los conocimientos a los alumnos, en comparación con las herramientas didácticas tradicionales como son los libros con imágenes ilustradas.

IV.2. Realidad Aumentada como herramienta docente

El mismo sistema para el análisis de la anatomía del cuerpo humano que se ha implementado con Realidad Virtual para la plataforma explicada en la *SECCIÓN 4.2* lo hemos desarrollado con Realidad Aumentada, aprovechando la ventaja que aporta esta tecnología para situar objetos virtuales en el entorno del usuario. Al igual que en las salas de anatomía de las facultades es habitual encontrar una representación de un cuerpo humano a modo maniquí o modelo anatómico 3D, nuestro sistema, que hemos llamado Human Layers, ofrece exactamente lo mismo. Los usuarios pueden visualizar el cuerpo humano, y añadir o quitar capas, utilizando tan sólo su móvil o unas gafas de Realidad Aumentada. Este sistema está explicado en detalle en el capítulo del libro *Radical Solutions & eLearning* de la trilogía *Radical Solutions in Higher Education*. El capítulo que hemos publicado recibe el título de *APP DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR LEARNING HUMAN ANATOMY THROUGH VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY*.

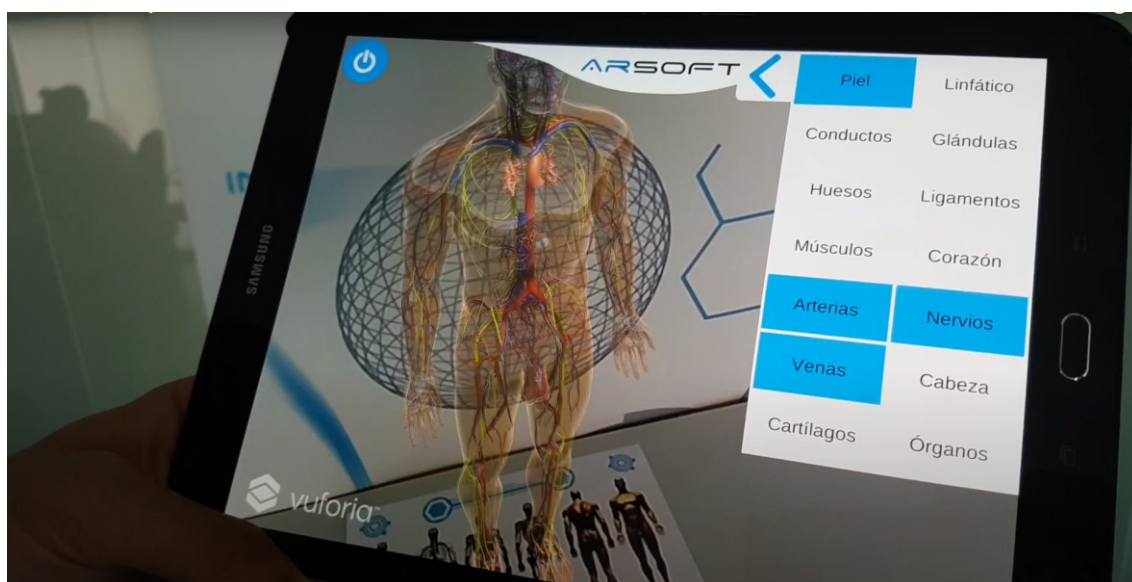


Figura 50 Visualizando las diferentes capas del cuerpo humano con Realidad Aumentada con el sistema Human Layers RA. Elaboración propia.

Además, posteriormente hemos adaptado este sistema para que pueda ser utilizado en un dispositivo más moderno: *LAS GAFAS DE REALIDAD AUMENTADA O MIXTA MAGIC LEAP*. El usuario puede ver a través de las gafas una representación 3D de un cuerpo humano colocado en su entorno, moverse a su alrededor y añadir u ocultar capas (músculos, huesos, arterias, nervios...) para visualizar las zonas anatómicas que le interese. La ventaja de utilizar unas gafas de este tipo, como las Magic Leap, es que aporta mayor nivel de realismo respecto a un móvil o una tableta; no obstante el contenido visualizado es en cualquier caso el mismo.

IV.3. Proyecto Nextmed: Realidad Aumentada, Realidad Virtual y Visión Artificial para el estudio de imágenes médicas y planificación quirúrgica

La investigación y los resultados asociados a este proyecto, el más importante de esta tesis, se detallan en las siguientes publicaciones:

- *NEXTMED: HOW TO ENHANCE 3D RADIOLOGICAL IMAGES WITH AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY*
- *APPLICATIONS OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN BIOMEDICAL IMAGING*
- *NEXTMED, AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY PLATFORM FOR 3D MEDICAL IMAGING VISUALIZATION*
- *NEXTMED: AUTOMATIC IMAGING SEGMENTATION, 3D RECONSTRUCTION, AND 3D MODEL VISUALIZATION PLATFORM USING AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY*

El trabajo realizado en el proyecto Nextmed supone un salto cualitativo en cuanto al estudio de resultados radiológicos se refiere, principalmente por dos puntos importantes. En primer lugar, introducimos la posibilidad de la utilización de la segmentación automática en el trabajo diario de los profesionales médicos y, en segundo lugar, permitimos la visualización y manipulación de los modelos 3D de forma industrializada (no de forma específica para casos concretos) mediante tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Hasta el momento, han sido numerosos los casos en los que se diseñan sistemas para visualizar un modelo 3D concreto con estas técnicas, sin embargo el futuro de estas tecnologías en el sector médico no se debe limitar a su utilización para casos concretos, sino en ser utilizables para todas las imágenes médicas obtenidas con independencia de la gravedad o estado del paciente (Nikou et al., 2000). Ese es precisamente el objetivo de Nextmed: llevar el potencial de la Realidad Aumentada y Virtual a todos los hospitales, y en estos momentos ya disponemos de todas las herramientas para conseguirlo, con capacidad para segmentar y generar un modelo 3D de forma automática de diferentes regiones anatómicas, en cuestión de segundos y sin la intervención de ningún profesional médico.

Por tanto, la diferencia fundamental de este trabajo respecto a otros similares es que Nextmed se ha desarrollado pensando en su implantación en un hospital real para su uso diario: mientras que otros trabajos (Ecabert et al., 2008)(Ruskó, Bekes, & Fidrich, 2009) (Sargent & Park, 2016)(Chen et al., 2019) se han centrado de forma más exclusiva en los algoritmos de segmentación, este trabajo incluye estos algoritmos como parte de una plataforma completa que aborda otras cuestiones, como el almacenamiento y la gestión segura de los datos recibidos y generados y lo que quizás supone la mayor innovación: el estudio de los resultados de la segmentación mediante plataformas de Realidad Aumentada y Virtual y el módulo software de segmentación completamente automática para diferentes regiones anatómicas mediante el desarrollo de algoritmos de visión

artificial. Este módulo es una pieza fundamental del sistema, clave para que pueda ser empleado de forma completamente automatizada.

Gracias a Nextmed, en estos momentos ya es posible incorporar estas técnicas en el trabajo diario de los médicos, lo cual actualmente supone una gran inversión económica y de tiempo, debido al tiempo necesario para la segmentación, creación del modelo 3D e importación en una plataforma de visualización 3D avanzada. Además, aunque ya se empiezan a ver avances con las nuevas versiones, las plataformas de visualización como Osirix o 3DSlicer normalmente emplean tecnologías tradicionales que no aprovechan realmente las ventajas de las tres dimensiones, como sí lo hacen la Realidad Aumentada y Virtual.

Podemos sintetizar los aspectos fundamentales de este trabajo en los siguientes puntos:

- Se ha conseguido segmentar de forma automática y en tiempos reducidos diferentes estructuras anatómicas.
- Se crea un mallado 3D de cada región segmentada.
- Se ofrece al facultativo una herramienta de visualización de imágenes médicas en 3D con tres versiones diferentes: realidad aumentada, realidad virtual y ordenador.
- Todos los algoritmos han sido testados con más de 1.000 estudios radiológicos de tomografía computarizada.
- El trabajo realizado da lugar al proyecto Nextmed, que está preparado para su implantación en el trabajo diario de radiólogos y especialistas, al estar todo el proceso automatizado.

V. Discusión

Las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual tienen un gran recorrido aún por delante, ofreciendo sin duda grandes oportunidades para la formación médica, como se ha podido demostrar en este trabajo de tesis doctoral.

Hemos estudiado dos formas diferentes de aplicar estas tecnologías en el campo médico: por una parte, se han desarrollado procedimientos enfocados hacia la formación y por otra parte, se han implementado herramientas tecnológicas hacia la práctica médico-quirúrgica.

Estos desarrollos elaborados quedan suficientemente detallados y descritos en artículos publicados, incorporados en el capítulo de anexos de nuestra Tesis Doctoral (González Izard et al, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

En esta misma línea de trabajo, existen otros estudios desarrollados por otros autores orientados a la aplicación de las tecnologías de Realidad Aumentada y Virtual en estudios superiores, y más concretamente en medicina (Stadie, 2008)(Ruthenbeck, 2013)(Briz Ponce L. 2015)(Pensieri, 2016)(Briz Ponce, 2016^a)(Briz-Ponce, 2016b) Briz-Ponce, 2017)(Sánchez-Sepúlveda, 2019). Algunos de ellos se limitan a realizar un análisis de estas tecnologías y estudiar cómo pueden emplearse para tal fin, mientras que otros, al igual que se ha realizado en esta tesis, han desarrollado sistemas software propios para llevar a cabo dicha investigación (Kuntze, 2001)(Henn, 2002)(Quintero, 2008) (Wang et al., 2016) (Lim et al., 2017)(Hughes, 2018). A diferencia de la mayoría del resto de estudios, el objetivo de los proyectos implementados en esta tesis no se centraba exclusivamente en investigar y evaluar los sistemas, sino en que pudieran ser utilizados como una herramienta más en el proceso de enseñanza-aprendizaje una vez finalizada la investigación. En este sentido, la mayoría de los diferentes proyectos presentados en esta tesis están disponibles bajo una misma plataforma denominada *Medical Studium* para los alumnos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca, que pueden hacer uso del sistema por medio de una sala habilitada para este tipo de formación, con un total de 10 gafas de Realidad Virtual a su disposición (González Izard et al, 2020c).

No obstante, las diferentes Universidades del ámbito nacional, aún no están realizando una apuesta clara por estas tecnologías; pudiendo deberse en gran medida a la inversión que es necesario llevar a cabo para adoptarlas e incorporarlas a la docencia. Sin embargo, los precios de los dispositivos tecnológicos necesarios, se han reducido drásticamente en los últimos dos años, por lo que esta barrera económica podría desaparecer muy pronto.

La llegada de la pandemia causada por la enfermedad COVID-19 (García Peñalvo et al, 2020) (García-Peñalvo & Corell, 2020)(García-Peñalvo et al., 2020) (Watermeyer et al, 2020), podría cambiar la falta de inversión de los centros de estudios superiores en

tecnologías disruptivas. Tanto las Universidades como otros centros de formación, ya sea en educación primaria, media o superior, se ha hecho necesario contar con nuevas herramientas tecnológicas para formar a sus estudiantes. Esto incluye plataformas tradicionales de eLearning, como plataformas Moodle, pero también debe mirarse más hacia el futuro y aprovechar todas las ventajas que las nuevas tecnologías, como la Realidad Aumentada y Virtual, nos ofrecen.

En esta tesis, se ha demostrado que se pueden implementar sistemas tanto de Realidad Aumentada como Virtual que realmente aportan ventajas en la formación médica respecto a otros recursos más tradicionales.

La implementación de estos sistemas, suponen una inversión perfectamente asumible por las diferentes entidades de formación, inferiores en muchos casos a los 10.000€.

Hemos demostrado por las pruebas de evaluación realizadas y presentadas en nuestro trabajo de Tesis Doctoral, que estas tecnologías y los sistemas implementados suponen una clara mejora respecto a otras herramientas tradicionales, que no necesariamente deben ser sustituidas sino más bien complementadas.

Destacamos en nuestro estudio que los estudiantes de las ciencias de la salud, acogen estos contenidos inmersivos con gran interés, lo cual puede provocar en muchos casos que algunos alumnos mejoren sus resultados académicos no sólo porque la tecnología permita asimilar más fácilmente los contenidos, sino porque se sienten más motivados para el estudio.

En relación con estos sistemas, cabe destacar la implementación de la ya citada plataforma de Realidad Virtual, que está siendo utilizada por la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca: *Medical Studium* (González Izard et al., 2020c). Se trata por tanto de la una de las primeras plataformas a nivel mundial para el acceso a diferentes contenidos inmersivos, a través de lo que se ha denominado píldoras formativas. Estas píldoras formativas además pueden incluir contenido muy diferente, desde imágenes o videos 360, hasta una inmersión virtual en estructuras anatómicas, a modo viaje por el cuerpo humano, o incluso simuladores de Realidad Virtual interactivos para practicar protocolos quirúrgicos.

Desde que empezó la expansión de la Realidad Aumentada, marcada en gran medida por el fracasado lanzamiento de las Google Glass en 2012, la medicina ha sido uno de los sectores donde más se ha aplicado (Van Dam, 2000)(Van Dam, 2002)(Stadie, 2008) (Ruthenbeck, 2013). No obstante, en la mayoría de los casos, se trata de aplicaciones piloto o pruebas de concepto, que en ocasiones han tenido mucha repercusión mediática, pero que en la realidad en muy pocos casos se han acabado implantando realmente en el

día a día de la actividad médica profesional (Reddy, 1996) (Hanna et al., 2018) (Escalada-Hernández, 2019).

Con el proyecto desarrollado y presentado en esta tesis Doctoral, bajo el epífrase “Nextmed”, se ha conseguido desarrollar una primera versión de un sistema radiológico completamente funcional e integrable en el día a día de un hospital. Este sistema, explicado en esta Tesis y en los diferentes artículos científicos reflejados y disponibles en los anexos, supera considerablemente los objetivos iniciales planteados y se puede decir que es el proyecto principal de esta tesis. Se trata de la primera plataforma completa que permite automatizar, de una forma industrializada y escalable, la segmentación de estructuras anatómicas partiendo de imágenes radiológicas en el formato DICOM (Digital Imaging and Communication On Medicine), así como la creación, visualización, estudio y manipulación de los modelos 3D obtenidos de las estructuras segmentadas con tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual (González Izard et al, 2018a, 2019a, 2019b, 2020b).

Consideramos que el futuro de la visualización de las imágenes médicas no es el análisis de imágenes 2D con transparencia, ni tampoco el estudio en workstations de los modelos 3D generados. El futuro y la tecnología ofrecen mucho más, y debe ser aprovechado, especialmente si tenemos en cuenta que se pueden llevar a cabo diagnósticos más precisos que redunden en mejores tratamientos para salvar vidas.

Nuestro proyecto NextMed, es en cualquier caso una herramienta más para los profesionales médicos, en los cuales reside realmente el valor y el activo fundamental: la tecnología no debe ser más que una herramienta para hacernos las tareas más sencillas.

El proyecto Nextmed continúa aún su desarrollo, y el objetivo será su implantación en hospitales tanto en territorio nacional como internacional.

Es evidente que estos entornos tecnológicos de Realidad Virtual y Aumentada, aplicados a la formación médica y a la práctica clínica, evolucionaran, sin duda, de forma paralela a la sociedad, de manera que las necesidades docentes en medicina impulsaran el progreso tecnológico y este a su vez inducirán a cambios en los modelos educativos, lo que en definitiva confirma que en la era de la información y la comunicación, el binomio educación-tecnología será uno de los pilares básicos para el desarrollo, el crecimiento y el progreso de la sociedad..

VI. Conclusiones

Tras llevar a cabo un trabajo de Tesis Doctoral en el que se han desarrollado diferentes sistemas tecnológicos para formación médica y práctica clínica, en diferentes especialidades médicas, haciendo uso para ello de tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

1ª.- La implementación de estos sistemas tecnológicos de visión estereoscópica virtual, ha supuesto un atractivo recurso de enseñanza-aprendizaje de la anatomía humana, manifestando un excelente grado de satisfacción por los alumnos que las han manejado.

2ª.- La visión espacial que ofrecen estas tecnologías, así como su grado de inmersión en el interior de estructuras anatómicas corporales, hace de estos medios unos buenos recursos docentes que facilitan y acercan al estudiante a una visión más certera de la realidad, al poder analizar con detalle las estructuras morfológicas corporales.

3ª.- Estas tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada son aplicables a cualquier especialidad médica como se ha podido mostrar en diferentes ejemplos tecnológicos desarrollados; constituyéndose por tanto en recursos complementarios muy positivos en la formación médica y en la práctica clínica diaria.

4ª.- La posibilidad de llevar a cabo sistemas de simulación clínica, basados en estas tecnologías de realidad virtual y aumentada, incrementan sin duda el adiestramiento y adquisición de competencias, necesarias para la posterior práctica clínica. Desarrollos de simulación como el que hemos llevado a cabo sobre la auscultación clínica y otros procedimientos, facilitan sin duda un conocimiento y entrenamiento adecuado previo a su actuación sobre un paciente real.

5ª.- En el mismo sentido que lo anteriormente reflejado, los sistemas de realidad virtual y aumentada nos han permitido simular protocolos de actuaciones quirúrgicas; pudiendo seguir el usuario, de forma virtual, todo el procesamiento de abordaje quirúrgico de cualquier tipo de cirugía, familiarizándose con los procesos prácticos clínicos.

6ª.- Una de las especialidades más beneficiadas de estas tecnologías es la anatomía radiológica: al poder crear sistemas de visualización tridimensional de estructuras morfológicas corporales, desde las secciones seriadas de Tomografía Computarizada y/o de Resonancia Magnética, se contribuye no sólo a una mejor comprensión anatómica de las estructuras, sino también a un mejor diagnóstico clínico, al poder navegar por imágenes corporales en tres dimensiones e incluso sumergirse por el interior de las mismas. La posibilidad de estudiar con Realidad Aumentada y Virtual imágenes médicas sin necesidad de invertir una gran cantidad de tiempo en el proceso de segmentación,

supone un gran avance para la implantación de estas tecnologías y el estudio radiológico en 3D.

7ª.- Todos los desarrollos tecnológicos llevados a cabo y presentados en este trabajo de Tesis Doctoral, han sido evaluados y/o sometidos a encuestas de satisfacción por diferentes usuarios que los manejaron, obteniendo así una información muy positiva de su utilización; considerando estos recursos muy valiosos como herramientas complementarias en el proceso académico de formación médica y estudios radiológicos.

8ª y última.- En un futuro no muy lejano se prevé una implantación más extendida de estas tecnologías en la docencia de la medicina y la práctica clínica.

VII. Líneas de trabajo futuras

Actualmente ya se están implementando lentillas de Realidad Aumentada. Se ha conseguido colocar un reducido número de píxeles en las mismas, cuya energía se consigue por medio de baterías orgánicas. Ya todo el mundo es conocedor de la gran capacidad que tenemos la humanidad de crecer a nivel tecnológico, siempre a un ritmo mayor del que se podía pensar. Por eso es factible pensar que, en unos años, personalmente diría que, en unos 15 años, la sociedad en general podrá disponer de lentillas de Realidad Aumentada, que integrarán el contenido virtual completamente en nuestras vidas.

Una vez dicho esto, está claro que tanto la Realidad Aumentada como la Realidad Virtual tienen aún mucho recorrido en nuestras vidas, y por supuesto en la medicina. Todavía estamos empezando a darnos cuenta de cómo estas tecnologías pueden ayudarnos en nuestras vidas, y cómo pueden ayudar y mejorar considerablemente el trabajo diario de nuestros tan necesarios profesionales médicos.

Respecto a los proyectos implementados, destacando la plataforma formativa de Realidad Virtual *Medical Studium*, sería muy interesante poder desarrollar una aplicación independiente para la creación de contenido, que puede incluir la importación y configuración de contenidos 360 interactivos, clases virtuales inmersivas o incluso la creación de simuladores de RV interactivos. Todo esto por supuesto de una forma sencilla, usable y sin ningún tipo de conocimiento requerido de diseño 3D o programación. Esto supondría una democratización de esta tecnología, ya que pondría en manos de los centros formativos la capacidad de creación de contenido, no siendo necesario contar con empresas especializadas para este objetivo, con la reducción de costes que esto supondría. Aunque, como se ha comentado en el capítulo anterior, existen diferentes plataformas con esta orientación, lo cierto es que no existe aún ninguna plataforma lo suficientemente avanzada como para permitir la implantación a medio y largo plazo en los centros formativos.

En cuanto a los sistemas de Realidad Aumentada, cuentan con la ventaja de que actualmente prácticamente la totalidad de los estudiantes cuentan con un smartphone con la potencia de procesamiento y renderizado suficiente como para permitir la visualización de contenidos de Realidad Aumentada. Al igual que en el caso de la RV, contar con una plataforma que permita la creación y gestión de contenidos es un elemento necesario para la implantación real de esta tecnología. No obstante, sí es cierto que en este caso ya existen algunas plataformas interesantes para conseguirlo.

En relación con la visualización 3D avanzada de imágenes médicas, como se menciona en los artículos publicados, el avance tanto de la Visión Artificial como, especialmente,

de la Inteligencia Artificial, permitirán en unos años disponer de algoritmos de segmentación automática de todas las estructuras anatómicas del cuerpo humano con buenos resultados. Esto, unido a un gran avance de las tecnologías de visualización 3D, supondrá que todos tengamos totalmente normalizado el ver a los profesionales médicos con gafas, o incluso lentillas de Realidad Aumentada. Podrán mirar a un paciente y, como si pudieran hacer un escáner radiológico en tiempo real, podrán ver nuestro interior, centrarse en una estructura anatómica concreta, como un órgano, y estudiar su anatomía y funcionamiento.

Como líneas de trabajo futuras en el proyecto Nextmed, se incluye la incorporación de un módulo de visualización de nubes de puntos para trabajar en tiempo real con las imágenes DICOM, fusionando esta nube de puntos con los resultados de la segmentación automática e implementando funcionalidades de corte, filtrado por Threshold u otras más avanzadas como son la aplicación de Inteligencia Artificial para la detección de anomalías anatómicas que puedan facilitar un diagnóstico o incluso automatizarlo.

Todo esto sin duda llegará, y lo que ahora puede parecer para algunos un sueño, se convertirá, como ha ocurrido siempre con la ciencia ficción en cuanto a tecnología se refiere, en una realidad. Aquellos que sean capaces de soñar serán los que más se acerquen al futuro. Por eso es necesario soñar para innovar.

VIII. Resultados académicos

VIII.1. Productos Software

En esta tesis, se han generado diferentes productos software. Algunos de ellos están siendo utilizados por diferentes organizaciones, como por ejemplo la Universidad de Salamanca o entidades privadas para el caso de las herramientas formativas, o por el Hospital Clínico Universitario de Salamanca, en el caso del proyecto Nextmed.

Estos productos software son los siguientes:

- Simulador inmersivo de Realidad Virtual para el estudio de la anatomía del cráneo humano.
- Plataforma de Realidad Virtual para la formación de estudiantes de medicina con diferentes píldoras formativas, incluyendo simulador inmersivo de entornos 360 y Human Layers VR.
- Human Layers AR, disponible para su descarga gratuita en el Play Store, así como para dispositivos Magic Leap.
- Nextmed: Para la investigación y el desarrollo de este proyecto se han conseguido más de 600.000€ de fondos de CDTI. Las publicaciones realizadas incluyen mención a dicha financiación.
- Simulador para la realización de protocolo de fijación transpedicular lumbar.
- Simulador auscultación.
- Simulador implantología dental.

VIII.2. Revistas científicas

A continuación, se listan los diferentes artículos publicados hasta el momento de la redacción de esta tesis ordenados por orden cronológico de publicación (más reciente primero). Estos artículos se incluirán en las páginas siguientes de este anexo en su formato original, incluyendo para cada uno de ellos un resumen en español, ya que todos ellos están escritos en inglés.

- Virtual reality medical training system (González Izard & Juanes, 2016)
 - Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM '16
 - Noviembre 2016 | conference-article

- DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1145/3012430.3012560](https://doi.org/10.1145/3012430.3012560)
- ISBN: 9781450347471
- Virtual Reality Educational Tool for Human Anatomy (González Izard et al., 2017a)
 - Journal of Medical Systems
 - JCR: Q2
 - Mayo 2017 | journal-article
 - DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s10916-017-0723-6](https://doi.org/10.1007/s10916-017-0723-6)
 - Part of ISSN: 0148-5598 (Print)
 - Part of ISSN: 1573-689X (Online)
- 360° vision applications for medical training (González Izard et al., 2017b)
 - Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM 2017
 - Octubre 2017 | conference-article
 - DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1145/3144826.3145405](https://doi.org/10.1145/3144826.3145405)
 - ISBN: 9781450353861
- Virtual Simulation for Scoliosis Surgery (González Izard et al., 2017c)
 - Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM 2017
 - Octubre 2017 | conference-article
 - DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1145/3144826.3145404](https://doi.org/10.1145/3144826.3145404)
 - ISBN: 9781450353861
- NextMed: How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality (González Izard et al., 2018a)
 - Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM'18
 - Octubre 2018 | conference-article
 - DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1145/3284179.3284247](https://doi.org/10.1145/3284179.3284247)
 - ISBN: 9781450365185
- Virtual Reality as an Educational and Training Tool for Medicine (González Izard et al., 2018b)
 - Journal of Medical Systems
 - JCR: Q2
 - Febrero 2018 | journal-article
 - DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s10916-018-0900-2](https://doi.org/10.1007/s10916-018-0900-2)
 - Part of ISSN: 0148-5598 (Print)
 - Part of ISSN: 1573-689X (Online)
- Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging (González Izard et al., 2019a)
 - Journal of Medical Systems

- JCR: Q1
- 2019-04 | journal-article
- DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s10916-019-1239-z](https://doi.org/10.1007/s10916-019-1239-z)
- Part of ISSN: 0148-5598 (Print)
- Part of ISSN: 1573-689X (Online)
- NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization (González Izard et al., 2019b)
 - Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM'19
 - Octubre 2019 | conference-article
 - DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1145/3362789.3362936](https://doi.org/10.1145/3362789.3362936)
 - ISBN: 9781450371919
- Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D Model Visualization Platform Using Augmented and Virtual Reality (González Izard et al., 2020b)
 - MDPI
 - Sensors 2020, 20, 2962.
 - JCR: Q1
 - Mayo 2020 /journal-article
 - DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/s20102962](https://doi.org/10.3390/s20102962)
 - ISSN: 1424-8220
- Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students (González Izard et al., 2020c)
 - Proceedings of the Eighth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM'20
 - Noviembre 2020 | conference-article
 - *Aceptado, pendiente de publicación*

VIII.3. Capítulos de libro

Se ha publicado el capítulo de libro titulado *App Design and Implementation for Learning Human Anatomy Through Virtual and Augmented Reality* en el libro *Radical Solutions and eLearning*.

Título capítulo:	App Design and Implementation for Learning Human Anatomy Through Virtual and Augmented Reality (González Izard et al., 2020a)
Libro:	Radical Solutions and eLearning.
Fecha publicación:	Mayo 2020

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-981-15-4952-6_13](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4952-6_13)
Editorial: Springer, Singapore
ISBN (impreso): 978-981-15-4951-9
ISBN (online): 978-981-15-4952-6

VIII.4. Congresos

- Presentación en congreso y autor principal paper Virtual Reality Medical Training System en TEEM'16. Noviembre 2016.
- Presentación en congreso y autor principal “Sistema de inmersión virtual aplicado a la anatomía humana” en 2º Congresso Nacional de Investigaçã em Educaçã Médica. Covilhã, Portugal. Noviembre 2016.
- Presentación en congreso y autor principal Stereoscopic vision with Virtual Reality headsets to study cranial bones en IATED INTED 2017. Marzo 2017.
- Presentación en congreso y autor principal Educational Virtual Reality tool to teach students to respect environment en Edu Learn 2017. Julio 2017.
- Presentación en congreso y autor principal Interactive Virtual Reality system for auscultation training en Edu Learn 2017. Julio 2017.
- Presentación en congreso y autor principal Virtual Simulation for Scoliosis Surgery en TEEM'17. Octubre 2017.
- Presentación en congreso y autor principal 360 Vision Application for medical training en TEEM'17. Octubre 2017.
- Presentación en congreso Simulación virtual en fijación transpedicular lumbar. Mayo 2018.
- Presentación en congreso y autor principal NextMed: How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality en TEEM'18. Octubre 2018.
- Presentación en congreso y autor principal NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization. Octubre 2019.
- Ponente en congreso “Segunda Jornada de Rehabilitación Intervencionista”. Burgos. Ponencia: “Tendencias tecnológicas en rehabilitación intervencionista:

procedimientos interactivos de simulación y visión 3D, y sistemas de Realidad Virtual y Aumentada”. Septiembre, 2019.

VIII.5. Premios

Premio a la mejor publicación en TEEM 2018 (ver *ANEXO XII*).

VIII.6. Divulgación en medios

Debido al alto nivel de innovación de los trabajos desarrollados en esta tesis, algunos medios han realizado publicaciones sobre los mismos. Se pueden consultar estas publicaciones en el *ANEXO XIII*.

También se han concedido entrevistas tanto en la radio, en diferentes ocasiones, como en la televisión local y autonómica.

El mérito de estas publicaciones, como se indica en otras ocasiones, es compartido con otros grandes profesionales con los que se ha colaborado para la elaboración de esta tesis.

VIII.7. Financiación

El proyecto Nextmed y la investigación llevada a cabo respecto al mismo ha sido financiado por el programa Retos-Colaboración de la Unión Europea (FEDER), en colaboración con la agencia nacional de investigación española, con número de registro RTC-2017-6682-1.

IX. Bibliografía

- Agar, J. (2003). *Constant Touch, a global history of the mobile phone*. UK: Iconbooks.
- Aniche, M., Bavota, G., Treude, C., Van Deursen, A., & Gerosa, M. A. (2016, October). A validated set of smells in model-view-controller architectures. In *2016 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)* (pp. 233-243). IEEE.
- Biocca, F., & Levy, M. R. (1995). *Communication in the Age of Virtual Reality*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Blum, N. (2016). *Team Development of Model View Controller Software in the Unity 3D Engine*. 2016 NCUR.
- Brewster, S. D. (2018). *The Stereoscope: Its History, Theory, and Construction, With Its Application to the Fine and Useful Arts and to Education*. Forgotten Books.
- Briz-Ponce, L., & García-Peñalvo, F. J. (2015). An empirical assessment of a technology acceptance model for apps in medical education. *Journal of medical systems*, 39(11), 176. doi:10.1007/s10916-015-0352-x
- Briz Ponce, L. (2016a). *Análisis de la efectividad en las Aplicaciones m-health en dispositivos móviles dentro del ámbito de la formación médica*. (U. d. Salamanca, Ed.) Obtenido de <https://goo.gl/4UMpEY>
- Briz-Ponce, L., Juanes-Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J., & Pereira, A. (2016b). Effects of mobile learning in medical education: a counterfactual evaluation. *Journal of medical systems*, 40(6), 136. doi:10.1007/s10916-016-0487-4
- Briz-Ponce, L., Pereira, A., Carvalho, L., Juanes-Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2017). Learning with mobile technologies—Students’ behavior. *Computers in Human Behavior*, 72, 612-620. doi:10.1016/j.chb.2016.05.02
- Brown, A., & Green, T. (2016). Low-Cost Tools and Resources for the Classroom. *TechTrends*, 60, 517-519. doi:<https://doi.org/10.1007/s11528-016-0102-z>
- Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., & Stal, M. (1996). *Pattern-oriented software architecture. A system of patterns*. Volume 1. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons
- Cabero Almenara, J. F. (2017). Dispositivos móviles y realidad aumentada en el aprendizaje del alumnado universitario. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 167-185

Chen, C., Dou, Q., Chen, H., Qin, J., & Heng, P.-A. (2019). Synergistic Image and Feature Adaptation: Towards Cross-Modality Domain Adaptation for Medical Image Segmentation. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 33(1). doi:<https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.3301865>

Cooper, M., R.W. Dronsuth, A.J. Leitich, J.C.N. Lynk, J.J. Mikulski, J.F. Mitchell, R.A. Richardson, and J.H. Sangster. "Radio Telephone System." US3906166 A (September 16,1975): 21

Creighton, R. H. (2010). *Unity 3D Game Development by Example: A Seat-of-Your-Pants Manual for Building Fun, Groovy Little Games*. Packt Publishing Ltd.

Cutting, J.E. (1997). How the eye measures reality and virtual reality. *Behaviour Research Methods, Instruments & Computers*, 27-36.

Donaldson, M. S., Corrigan, J. M., & Kohn, L. T. (Eds.). (2000). *To err is human: building a safer health system* (Vol. 6). National Academies Press. DOI: <https://doi.org/10.17226/9728>

Ecabert, O., Peters, J., Schramm, H., Lorenz, C., Berg, .. v., Walker, M. J., . . . Weese, J. (2008). Automatic Model-Based Segmentation of the Heart in CT Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 27(9), 1189-1201. doi:10.1109/TMI.2008.918330

ElSayed, N. A., Smith, R. T., Marriott, K., & Thomas, B. H. (2018). Context-aware design pattern for situated analytics: Blended Model View Controller. *Journal of Visual Languages & Computing*, 44, 1-12

Escalada-Hernández, P. (2019). Design and evaluation of a prototype of augmented reality applied to medical devices. *International Journal of Medical Informatics*, 128, 87-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.05.004>

Esnoz, N. (2012). Monográfico: Sistemas de cine en 3D - Primeras tecnologías de visionado 3D. Observatorio Tecnológico, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/cajon-de-sastre/38-cajon-de-sastre/1019-monografico-sistemas-de-cine-en-3d-?start=1>

Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1995). *Design patterns: Elements of reusable object oriented software*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley

García-Peñalvo, F. J. (2015a). Engineering Contributions to a Multicultural Perspective of the Knowledge Society. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 10(1), 17-18. DOI:10.1109/RITA.2015.2391371

García-Peñalvo, F. J. (2015b). Presentación del Programa de Doctorado “Formación en la Sociedad del Conocimiento. DOI:10.13140/RG.2.1.1648.0729

García-Peñalvo, F. J., & Corell, A. (2020). La COVID-19: ¿enzima de la transformación digital de la docencia o reflejo de una crisis metodológica y competencial en la educación superior? *Campus Virtuales*, 9(2)

García-Peñalvo, F. J., Corell, A., Abella-García, V., & Grande, M. (2020). La evaluación online en la educación superior en tiempos de la COVID-19. *Education in the Knowledge Society*, 21, 12. DOI:10.14201/eks.23013

Geveci, B., Schroeder, W., Brown, A., & Wilson, G. (2012). VTK. The Architecture of Open Source Applications.

González Izard, S., & Juanes Méndez, J. A. (2016). Virtual Reality Medical Training System. TEEM '16: Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, 479-485. DOI:10.1145/3012430.3012560

González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., Ruisoto Palomera, P. (2017a). Virtual reality educational tool for human anatomy. *Journal of medical systems*, 41(5), 76

González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J., Jiménez López, M., Pastor Vázquez, F., & Ruisoto, P. (2017b). 360 Vision Applications for Medical Training. TEEM 2017: Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality. DOI: <https://doi.org/10.1145/3144826.3145405>

González Izard, S., Juanes Méndez, J., Gonçalves Estella, J., Sánchez Ledesma, M., García Peñalvo, F., & Ruisoto, P. (2017c). Virtual Simulation for Scoliosis Surgery. TEEM. Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality

González Izard, S., Juanes Méndez, J., Ruisoto, P., & García-Peñalvo, F. (2018a). NextMed: How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality. TEEM, 397-404

González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J., Estella, J. M. G., Sánchez Ledesma, M. J., & Ruisoto, P. (2018b). Virtual reality as an educational and training tool for medicine. *Journal of medical systems*, 42(3), 50

González Izard, S., Juanes Méndez, J., Ruisoto, P., & García-Peñalvo, F. (2019a). Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging. *Journal Of Medical Systems*, 43

González Izard, S., Alonso Plaza, Ó., Sánchez Torres, R., Juanes Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2019b). NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization: Explanation of the software platform developed for 3D models visualization related with medical images using Augmented and Virtual Reality technology. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 459-467)

González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J., & Moreno Belloso, C. (2020a). App Design and Implementation for Learning Human Anatomy Through Virtual and Augmented Reality. En D. Burgos, *Radical Solutions and eLearning, Practical Innovations and Online Educational Technology* (págs. 199-213). Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-4952-6>

González Izard, S., Sánchez Torres, R., Alonso Plaza, Ó., Juanes Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2020b). Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D Model Visualization Platform Using Augmented and Virtual Reality. *Sensors*, 20 (10), 2962. DOI:10.3390/s20102962

González Izard, S., Vivo Vicent, C., Juanes Méndez, J. A., & Palau, R. (2020c). Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students. *TEEM '20* (in press)

Guerrero, C. D. Q., Ballen, E. L. S., & Manrique, W. J. S. (2008). Diseño de un prototipo de sistema de realidad virtual inmersivo simplificado. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 18(1), 35-50.

Guerrero, J., Pajares, G., & Guijarro, M. (2011). Técnicas de procesamiento de imágenes estereoscópicas. *Universidad Complutense de Madrid*

Hamza-Lup, F. G., Rolland, J. P., & Hughes, C. (2018). A distributed augmented reality system for medical training and simulation. *arXiv preprint arXiv:1811.12815*

Hanna, M. G., Ahmed, I., Nine, J., Prajapati, S., & Pantanowitz, L. (2018). Augmented reality technology using Microsoft HoloLens in anatomic pathology. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 142(5), 638-644. DOI: <https://doi.org/10.5858/arpa.2017-0189-OA>

Heiling, M. L. (1961). Sensorama simulator. EEUU Patente nº US3050870A

Henn, J. S. (2002). Interactive stereoscopic virtual reality: a new tool for neurosurgical education. *Journal of neurosurgery*, 96, 144-149. DOI:10.3171/jns.2002.96.1.0144

Hillmann, C. (2019). Comparing the Gear VR, Oculus Go, and Oculus Quest. In *Unreal for Mobile and Standalone VR* (pp. 141-167). Apress, Berkeley, CA

Iii, S. G. A., McLennan, G., McNittgray, M. F., Meyer, C. R., & Reeves, A. P. (2015). Data from LIDC-IDRI. The cancer imaging archive

Jones, S., & Dawkins, S. (2018). The sensorama revisited: evaluating the application of multi-sensory input on the sense of presence in 360-degree immersive film in virtual reality. In *Augmented reality and virtual reality* (pp. 183-197). Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-64027-3_13

Joo Nagata, J., García-Bermejo Giner, J., & Martínez Abad, F. (2017a). 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.

Joo-Nagata, J., Abad, F. M., Giner, J. G. B., & García-Peñalvo, F. J. (2017b). 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. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.04.003

Kerlow, I. V. (2009). *The art of 3D computer animation and effects*. John Wiley & Sons.

Kuntze, M. F., Stoermer, R., Mager, R., Roessler, A., Mueller-Spahn, F., & Bullinger, A. H. (2001). Immersive virtual environments in cue exposure. *Cyberpsychology & behavior*, 4(4), 497-501

Larsen, E., Umminger, F., Ye, X., Rimon, N., Stafford, J. R., & Lou, X. (2018). U.S. Patent No. 10,073,516. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Lim, K. y., Suresh, P., & Schulze, J. P. (2017). Oculus Rift with Stereo Camera for Augmented Reality Medical Intubation Training. *Electronic Imaging, The Engineering Reality of Virtual Reality*, 5-10. DOI: <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2017.3.ERVR-089>

Mariscal, G., Jiménez, E., Vivas-Urias, M. D., Redondo-Duarte, S., & Moreno-Pérez, S. (2020). Virtual Reality Simulation-Based Learning. *Education in the Knowledge Society*, 21, 11. DOI: 10.14201/eks.20809

McHenry, K., & Bajcsy, P. (2008). An overview of 3D data content, file formats and viewers. *National Center for Supercomputing Applications*, 1205, 22.

Nikou, C., Digioia III, A. M., Blackwell, M., Jaramaz, B., & Kanade, T. (2000). Augmented reality imaging technology for orthopaedic surgery. *Operative Techniques in Orthopaedics*, 10(1), 82-86. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1048-6666\(00\)80047-6](https://doi.org/10.1016/S1048-6666(00)80047-6)

Olm, J., & Gaffney, B. (2010). 3D stereo digital intermediate workflow. The VES handbook of visual effects: industry standard VFX practices and procedures. Focal Press, Oxford, 434-447

Page, R. (2000). Brief history of flight simulation. SimTecT 2000 Proceedings, 1-11. DOI: 10.1.1.132.5428

Pensieri, C., & Pennacchini, M. (2016). Virtual reality in medicine. In Handbook on 3D3C Platforms (pp. 353-401). Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-22041-3_14

Reddy, R. (1996). The challenge of artificial intelligence. IEEE Computer, 29(10), 86-88

Research, G. V. (2017). Virtual Reality Market Size, Share & Trends Analysis Report By Device, By Technology, By Component, By Application (Aerospace & Defense, Commercial, Consumer Electronics, Industrial & Medical), By Region, And Segment Forecasts, 2018 - 2025. GVG. Report ID: GVR-1-68038-831-2

Riley, James C. 2001. Rising Life Expectancy: A Global History. New York: Cambridge University Press.

Rojas, J. (2020). Generation of POJOs and DAOs Classes from Metadata Database. IEEE Latin America Transactions, 100(1e)

Ruskó, L., Bekes, G., & Fidrich, M. (2009). Automatic segmentation of the liver from multi- and single-phase contrast-enhanced CT images. Medical Image Analysis, 13(6), 871-882. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.media.2009.07.009>

Ruthenbeck, G. S. (2013). Virtual reality surgical simulator software development tools. Journal of Simulation, 7(2), 101-108. DOI:10.1057/jos.2012.22

S. Hale, K., & M. Stanney, K. (2015). Handbook of Virtual Environments. Design, Implementation and Applications. Taylor and Francis Group

S. Wang, Z. M. (2010). A new method of virtual reality based on Unity3D. A new method of virtual reality based on Unity3D (1-5). Beijing: 18th International Conference on Geoinformatics

Saeed Alqahtani, A., Foad Daghestani, L., & Fattouh Ibrahim, L. (2017). Environments and System Types of Virtual Reality. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8. DOI: 10.14569/IJACSA.2017.080610

Sanchez-Sepulveda, M. V., Torres-Kompen, R., Fonseca, D., & Franquesa-Sanchez, J. (2019). Methodologies of learning served by virtual reality: A case study in urban interventions. *Applied Sciences*, 9(23), 5161

Sanchez-Sepulveda, M. V., Fonseca, D., García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J., Frabquesa, J., Redondo, E., & Moreira, F. (2020). Evaluation of an interactive educational system in urban knowledge acquisition and representation based on students' profiles. *Expert Systems*, In Press. DOI: 10.1111/exsy.12570

Sargent, D., & Park, S. Y. (2016). Automatic segmentation of mammogram and tomosynthesis images. *Medical Imaging*, 9784. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2217123>

Schild, J., Misztal, S., Roth, B., Flock, L., Luiz, T., Lerner, D., ... & Kemp, C. (2018). Applying multi-user virtual reality to collaborative medical training. In 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (pp. 775-776). IEEE

Schroeder, W. A. (2000). Visualizing with vtk: a tutorial. 20, 20-27. DOI: <https://doi.org/10.1109/38.865875>

Schwaber, K., & Beedle, M. (2001). Agile software development with Scrum. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR

Sousa, M., Mendes, D., Paulo, S., Matela, N., Jorge, J., & Lopes, D. S. (2017). Vrrrroom: Virtual reality for radiologists in the reading room. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 4057-4062). DOI: 10.1145/3025453.3025566

Stadie, A. T. (2008). Virtual reality system for planning minimally invasive neurosurgery. *Journal of Neurosurgery*, 108(2), 382-394. DOI: 10.3171/JNS/2008/108/2/0382

Van Dam, A., Forsberg, A. S., Laidlaw, D. H., LaViola, J. J., & Simpson, R. M. (2000). Immersive VR for scientific visualization: A progress report. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 20(6), 26-52

Van Dam, A., Laidlaw, D. H., & Simpson, R. M. (2002). Experiments in immersive virtual reality for scientific visualization. *Computers & Graphics*, 26(4), 535-555

Wang, Leo L., Hao-Hua W., Bilici, N., Tenney-Soeito R. (2016). Gunner Googles: Implementing Augmented Reality into Medical Educatio. *Medicine Meets Virtual Reality*, 22, 446-451. DOI: 10.3233/978-1-61499-625-5-446

Watermeyer, R., Crick, T., Knight, C., & Goodall, J. (2020). COVID-19 and digital disruption in UK universities: afflictions and affordances of emergency online migration. *Higher Education*(In Press) DOI: 10.1007/s10734-020-00561-y

Wheatstone, C. (1838). XVIII. Contributions to the physiology of vision.—Part the first. on some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. Philosophical transactions of the Royal Society of London, (128), 371-394.

Zhang, Z. (2012). Microsoft Kinect Sensor and Its Effect. IEEE MultiMedia, 19(2), 4-10.
DOI: 10.1109/MMUL.2012.24

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS

X. Anexo I: Virtual Reality medical training system

La tecnología de Realidad Virtual nos permite adentrarnos en las estructuras anatómicas facilitando el aprendizaje médico. Mediante la inmersión en estructuras corporales como por ejemplo el interior del cráneo humano, las gafas de visión estereoscópica convierten a esta innovadora tecnología en una potente herramienta para la formación y el entrenamiento en todas las áreas de conocimiento de la salud, y particularmente en la medicina. Este trabajo muestra el potencial formativo de la aplicación de la Realidad Virtual en el estudio de la anatomía humana, donde puede ser utilizada como herramienta médica educativa.

El sistema software que se presenta, desarrollado con la colaboración de la empresa ARSOFT y el grupo de investigación Visual Med Systems, nos permite introducirnos en el cráneo humano mediante inmersión virtual, y analizar anatómicamente desde su interior cada una de sus estructuras anatómicas.

El estudio morfológico de fosas craneales resulta de gran importancia, dado el creciente número de técnicas de microcirugía que requieren un conocimiento detallado de la morfología de estas estructuras.

El modelo 3D del cráneo no es un modelo 3D teórico, sino un modelo 3D obtenido a partir de imágenes médicas reales en formato DICOM que posteriormente ha sido suavizado para permitir su renderización en un dispositivo móvil.

Nuestro procedimiento tecnológico consiste en un software que se ejecuta en gafas de visión estereoscópica para proporcionar un entorno de visualización virtual inmersiva e interactiva donde los usuarios puedan conseguir la sensación de encontrarse dentro de un entorno virtual, donde en este caso mostramos los diferentes huesos y forámenes que componen el cráneo humano, incluyendo explicaciones auditivas que describen cada una de las estructuras que el usuario puede ver en este *viaje virtual* por el interior del cráneo. Además, el software permite al usuario realizar una autoevaluación, por lo que puede considerarse también como una excelente herramienta de capacitación.

Virtual Reality Medical Training System

Santiago González Izard

ARSOFT

Calle del Duero 12, 37185, Villamayor,

Parque Científico Universidad de

Salamanca, ARSOFT

+34 644 23 63 06

santiago@arsoft-company.com

Juan Antonio Juanes Méndez

VisualMed System Group,

Universidad de Salamanca

Avda. Alfonso X El Sabio s/n

+34 630 41 56 12

jajm@usal.es

ABSTRACT

Virtual Reality techniques allow us to enter anatomical structure visualisation environments which facilitate medical training. By allowing virtual immersion in a body structure such as the interior of the cranium, stereoscopic vision goggles make these innovative teaching technologies a powerful tool for training in all areas of health sciences, in particular in the sphere of medicine. This work shows the teaching potential of applying Virtual Reality in studies of the human anatomy, where it can be used as a tool for education in medicine. The system we present, developed by the company AR Soft and the research group VisualMed Systems, allows us to enter the cranium through virtual immersion, anatomically analysing each of its component bone structures and visualising the cranium from both inside and out. Exhaustive morphological knowledge of cranial fossae is hugely important, given the increasing use of microsurgery techniques which require suitable knowledge of the detailed morphology of this anatomical structure. Our technological procedure is based entirely on software which will run in stereoscopic goggles to give users the sensation of being in a virtual environment, clearly showing the different bones and foramina which make up the cranium, and accompanied by audio explanations. This procedure allows users to carry out self-assessment, meaning it is also an outstanding training tool.

Categories and Subject Descriptors

Computing Methodologies - Symbolic and algebraic manipulation
- Artificial Intelligence - Computer Vision - Image and video acquisition - 3D Imaging

Social and professional topics - Professional topics - Computing education programs

Software and its engineering - Software organization and properties
- Contextual software domains - Virtual worlds software

General Terms

Documentation, Performance, Design, Experimentation.

Keywords

Virtual Reality; Virtual 3D World Immersion; Stereoscopic Vision; Immersive System; Medical Training; Skull; Training Virtual Tool.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

Conference '10, Month 1–2, 2010, City, State, Country.

Copyright 2010 ACM 1-58113-000-0/00/0010 ...\$15.00.

1. INTRODUCTION

Whenever we speak of Virtual Reality, we automatically think of stereoscopic goggles; however, goggles are merely the tip of the iceberg of this technology, since specific software is required in order to enjoy immersive experiences [1-6].

There is a wide range of development tools and programming languages focused on the development of mobile applications. This is also true of Virtual Reality, where there are different development environments orientated towards the implementation of Virtual Reality systems, such as Unreal and Unity. The first, written entirely in C++, uses different graphics libraries for 3-D rendering. Unity on the other hand, uses graphic engines in line with the operating system it runs on (Microsoft Windows, OS, Linux). These environments were not created with Virtual Reality in mind, but rather were focused on the development of video games. However, since creating a video game and creating a Virtual Reality experience are very similar tasks, these tools –which are not the only ones– are used for both purposes [7-14].

In our work groups we currently have a large number of 3-D anatomical models of the human body, all with excellent quality and an exceptional degree of realism. We have generated a range of 3-D anatomical models of different parts of the human body based on radiological section images obtained through imaging techniques such as computed tomography and MRI. These images use the standard Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) format which, using commercially available medical image processing software, were processed for subsequent handling in computerised technological environments.

Different Virtual Reality technological applications are currently available on the market which moves around the inside of different parts of the human body using stereoscopic vision systems with 3-D goggles. Many of these developments use video recorded in 360° which is then displayed with Virtual Reality goggles. These videos cannot be viewed in a normal way, since the images are distorted. A Virtual Reality display places video images inside a sphere, with the camera located in the centre, moving in line with the movements users make with their head [8, 11, 12, 14].

The aim of our work is to present and offer a Virtual Reality technological tool which provides training in the field of medicine, and, more specifically in the sphere of the human anatomy, with further application in the fields of neuroradiology and neurosurgery, facilitating understanding of the morphology of the cranium through immersion in a virtual reality environment, created through the generation of anatomical models from computed tomography radiological images of an actual cranium. With this procedure, our aim is also to give users (students, interns, doctors) the possibility to interact with the system in order to direct

the different explanations and finally apply this knowledge to clinical practice, using the benefits offered by Virtual Reality.

The difference between our development and other procedures is that we provide the possibility of interaction in order to take decisions on which explanations we wish to display within the virtual environment. This ability to interact also allows us to develop a learning system in which the user must find the exact location of a specific bone. In the future, this ability to interact will make it possible to simulate surgical interventions, allowing the student or doctor to train in a virtual environment and carry out a simulated procedure without using a real body.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1 Hardware

Our technological procedure used hardware to develop an immersive Virtual Reality system with the following elements:

- Gyroscope and accelerometer: the Virtual Reality system uses these sensors to detect where the user is looking and show the correct image of the virtual environment he or she is immersed in.
- Screen: this is supported by the mobile device which is attached to the goggles. If we look at the screen without lenses, we will see that it is divided into two sections, with each section showing the same image. This is due to the fact that each of these sections will be visible through one of the lenses, and our brain will join these images in order to obtain a three-dimensional image. It is a similar principle to the one used in 3-D cinemas and TV sets.
- Biconvex or aspherical lenses: It should be remembered that we are going to use a screen which is a very short distance from the eyes. In consequence, lenses which will provide a correct image with 3-D effect need to be placed between our eyes and the screen in order to obtain a good vision (Figure 1).



Figure 1 Samsung Gear VR Goggles used in this study

Apart from these stereographic vision goggles, Virtual Reality systems also need devices with high processing power and a powerful graphics card in order to manage high quality 3-D models.

Our application is developed for Samsung Gear VR goggles (Figure 1), which are now available for different Samsung devices: S7, S7 edge, Note5, S6, S6 edge; Note5 and S6 edge+ devices are also compatible, although they may require additional software.

These goggles achieve an angle of vision of 96° and an interpupillar distance of between 55 and 71 mm. Unlike other headsets, they have a small touchscreen which provides the hardware to interact

with the user. These goggles also have high screen resolution and are very comfortable to wear.

2.2 Anatomic 3-D Model Generation

Our 3-D model of the cranium was developed using an Astecion computed tomography, by Toshiba Medical Systems, (Figure 2) of Complejo Hospitalario Universitario de Salamanca, following the protocol for study of the cranium: one in anteroposterior projection and one in lateral position.



Figure 2 Computed tomography Toshiba Medical System used for the image collection

A thickness and cutting interval of 1.5 mm was then selected, acquiring serial sections of the cranium (Figure 3).

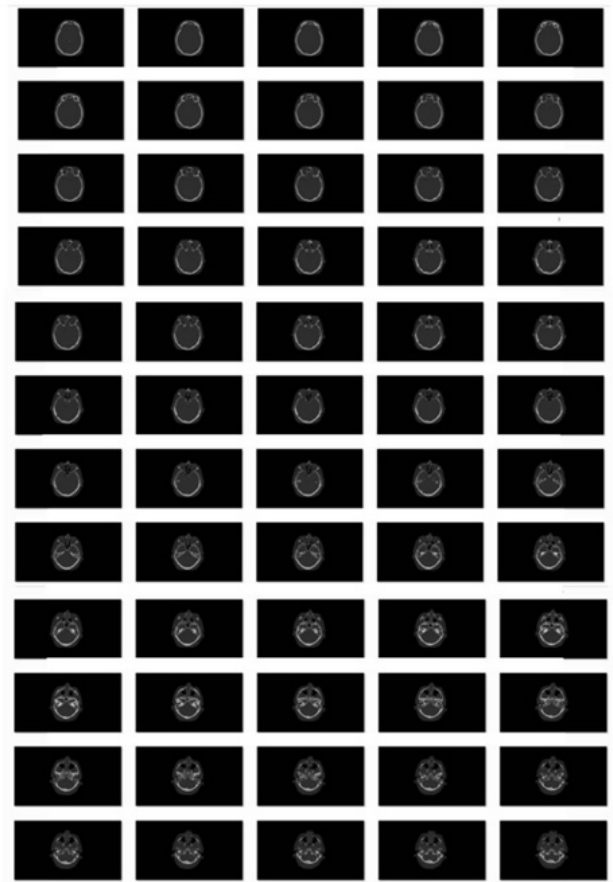


Figure 3 Serial sections of the brain

The DICOM raw data files provided by the equipment were used to reconstruct, for each orientation, a volume which was saved in format ANALYZE 7.5. Superficial 3-D models were then obtained, consisting of geometrical models delimited by polygonal meshes (Figure 4).

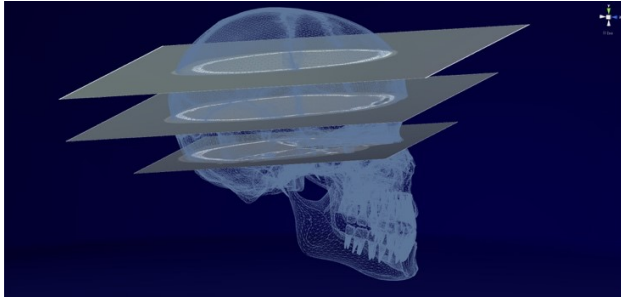


Figure 4 Brain mesh generated from brain sections

An algorithm known as marching cubes was then applied, obtaining a triangular mesh model of the surface of each of these cranial structures (Figure 5). Given the high resolution of the images, the mesh was simplified and smoothed, obtaining polygonal models which could then be edited more easily.



Figure 5 Detail of the brain mesh

The whole 3-D model of the cranium was generated by the composition of the images of each of the cuts made by way of computed tomography (Figure 6).

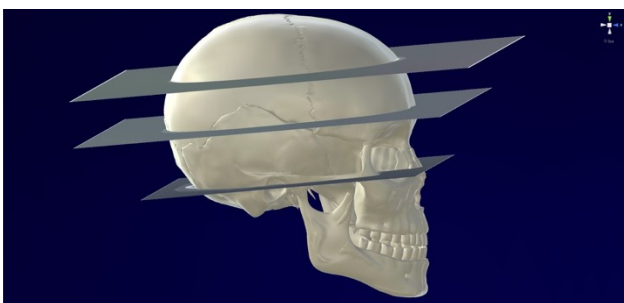


Figure 6 Textured brain created from sections

2.3 Navigation Virtual Tool

Figure 7 shows an example of the duplicated image which is shown on the screen of the Virtual Reality goggles, an image which we have always seen through the lenses, obtaining a sensation of tridimensionality. This image shows the final result of the 3-D

modelling of the cranium with a certain degree of transparency, allowing us to visualise the brain contained in its interior.

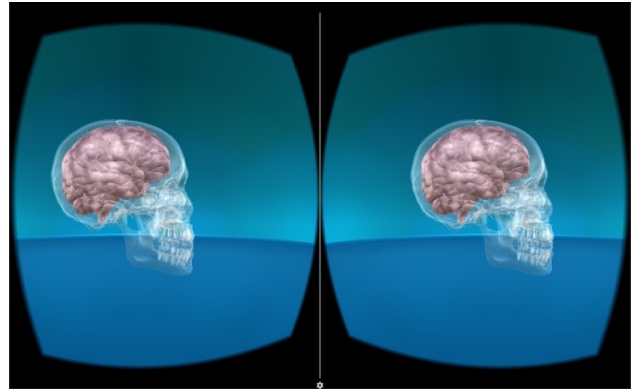


Figure 7 Stereoscopic vision of the 3-D model generated

In order to assign a colour to the cranium and the different constituent bones, we assign a material to each 3-D model, which is assigned a colour along with this material. This is what we call shader, i.e. algorithms which continuously calculate the colour each rendered pixel should have, based on the light they receive and the material assigned to the mesh. It is therefore important to choose both the material (which provides texture and colour) and the correct shader (Figure 8) in order to obtain good quality in the rendered images.

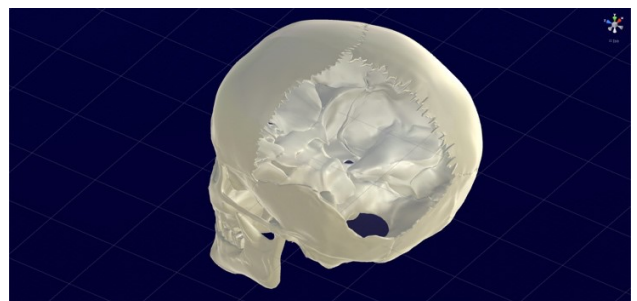


Figure 8 Visualization of the textured material with shader

In order to implement the system in ARSOFT, we have used the Unity 3-D video games engine (Figure 9) along with the development tools package or SDK supplied by Oculus (we also work with other SDKs such as Cardboard). We have therefore developed a system to create immersive Virtual Reality experiences, importing new 3-D models and creating, thanks to the structure we have developed, explanations which enhance parts of the 3-D model and even allow users to interact with the system.

One of the most basic, although no less important, aspects of this system is that it is capable of enhancing the parts of the cranium being explained, meaning the user can see and accurately assess its delimitations.

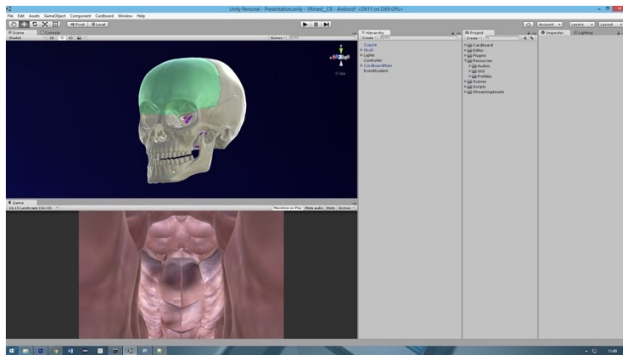


Figure 9 Development tool used to create the virtual experience, Unity 3D

One of the problems we came across is that some explanations talk of both external and internal parts of the cranium. Since we want users to see exactly where each of the zones are located, it is important that they can be viewed regardless of whether they are inside or outside the cranium; in consequence, whenever an internal (i.e. non-visible) part is to be focused on, our system makes the other osseous parts semi-transparent, thus allowing us to see the internal zone we are interested in, as shown in Figure 10.

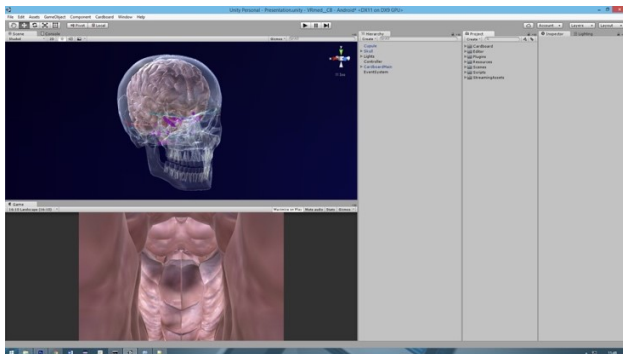


Figure 10 Material alterations changing its transparency to visualize interior parts

A further benefit of our technological development is that it allows users to interact with the system and direct the explanations, rather than simply displaying a video. This means we can have immersive expositions of the whole cranium, whilst students can move all around it and direct the virtual experience to the area of interest.

Users can also carry out self-assessment tests of their knowledge. In this case, the system will ask for a specific bone to be found inside the cranium (Figure 11). The student must look for and select this bone with the fewest number of faults possible. This self-assessment is much more efficient than those which can be carried out with 2-D systems, since it is much closer to reality.

In order for a user to select a specific bone, the 3-D model must be broken down into different meshes, where each mesh constitutes an identifiable bone of the cranium. Furthermore, it is necessary to implement a user-interaction system, which requires equipment similar to a traditional PC mouse. In this case, unlike with a mouse, the pointer moves based on movements made with the head. Once the pointer is indicating the bone to be selected, the user simply has to touch the small touch panel fitted in the goggles.

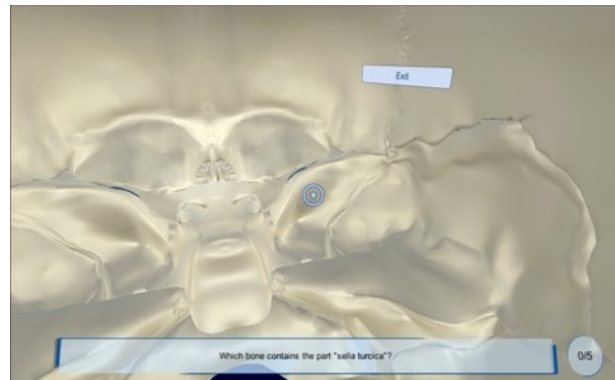


Figure 11 Virtual evaluation test

3. RESULTS

After generating our 3-D cranial model and implementing a system for visualisation and interaction with the virtual environment using stereoscopic goggles, we have obtained a training tool for students of health sciences, allowing users to navigate around the inside of the cranium with a high degree of realism and also interact with the system in order to guide this navigation around the different parts of the anatomical structure.

This technological procedure will allow users to study the cranium not only from the outside, assessing the layout and relations of the different osseous pieces which make up the cranium, but also from the inside, analysing the different cranial fossae which make up the base of the cranium as well as their different orifices. The incorporation of different animations and special effects means users obtain the most dynamic virtual experience possible, helping them to better and more accurately understand what they are seeing at each moment. These special effects are created by assigning a series of animated 3-D models to each bone or foramen of the cranium to be indicated and then, at the moment the audio explanations refer to these parts, rendering the models to create different effects which will allow us to focus on them. Furthermore, camera position changes in order to ensure the scene is as dynamic as possible, as this will be the position from which the user will view the virtual environment. Users will therefore see the interior of the cranium from different perspectives, allowing them to see bones and foramen which are not visible from other positions.

The system starts with a general explanation of the constitution and organisation of the cranium, in order to then indicate the different constituent bones. Having analysed the external structure overall, we focus on the interior, through the foramen magnum or occipital hole, in order to view, from the inside, the cranial base with the different cranial fossae, showing the boundaries which separate each of them.

When entering the cranium through the large hole of the occipital bone (foramen magnum), it can be seen that its base is staggered over three levels called cranial fossae: the posterior cranial fossa, the middle cranial fossa, and the anterior cranial fossa (Figure 12).

These three fossae are delimited by two boundary lines, an anterior one and a posterior one. The first, the anterior, is the prolongation of the anterior clinoid apophysis of the lesser wings of the sphenoid through to the side of the cranium, starting in the prechiasmatic sulcus. The second line, the posterior limiter, extends from the

upper edge of the petrous part of the temporal bone to the back of the sphenoid sella.

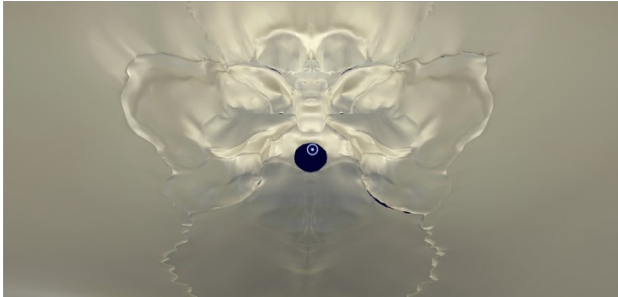


Figure 12 Global vision of the different Cranial Fossas

The bones which form part of each of the cranial fossae are indicated, along with the orifices in each of the fossae and the vascular-nervous elements which cross them. The user can select the explanation to hear and visualise at all times.

The **Anterior Cranial Fossa**: made up of the Frontal, Ethmoid and Sphenoid bones, specifically the lesser wings and body part of this unpaired medial bone of the base of the cranium (Figure 13). It contains the frontal lobes and is the smallest fossa.

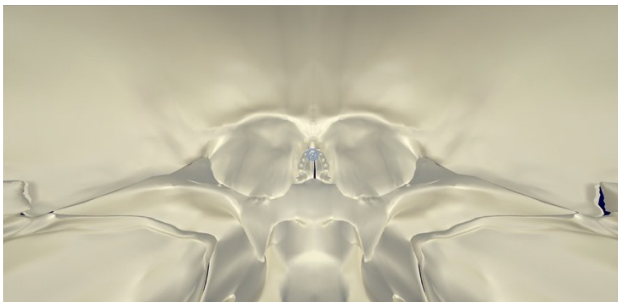


Figure 13 Anterior Cranial Fossa Visualization

The surface of this fossa presents sinuous impressions which mark the orbital gyri of the frontal lobes; this fossa has the cribriform plate of the ethmoid, which the small nerve fibres of the olfactory nerve, or first cranial nerve, cross. In this anterior cranial fossa there are other small orifices such as the blind foramen, the anterior and posterior ethmoid foramina.

The **Middle Cranial Fossa**: goes from the lesser wings of the sphenoid to the upper edge of the petrous part of the temporal bone, contains the sella turcica (where the hypophysis is found). The following orifices are particularly visible in this fossa:

The optic foramen, located anterior and lateral to the sella turcica, and through which the optic nerve (second cranial nerve) passes, along with the ophthalmic artery.

Between the greater and lesser wings of the sphenoid is another orifice, known as superior orbital fissure or sphenoid indentation (Figure 14), crossed by: the oculomotor nerve (cranial nerve III), the trochlear n. (or cranial nerve IV) and the abducens n. (or cranial nerve VI), in addition to the first branch of the trigeminal nerve or ophthalmic n. and the ophthalmic vein.

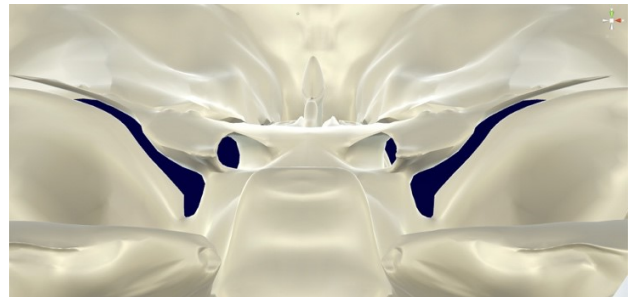


Figure 14 Middle Cranial Fossa detail with optical foramen and superior orbital fissure

Another important orifice in the middle cranial fossa is the greater foramen rotundum, located posterior to the superior orbital fissure, where the superior maxillary nerve (second branch of the trigeminal nerve) crosses; we also observe the foramen ovale, located posterior and lateral to the greater round hole, where the mandibular nerve or inferior maxillary nerve pass (the third branch of the trigeminal nerve, along with lesser meningeal artery). The foramen spinosum (or minor round hole), located posterior to the foramen ovale, where the artery and the middle meningeal vein cross, along with a meningeal branch of the inferior mandibular nerve.

Finally, we can also consider the anterior foramen lacerum, of medial situation, in the limit between the temporal bone and sphenoids, to form part of this medium cranial fossa. With regards to this orifice, we find the internal carotid artery, the venous and nerve plexuses corresponding to this artery, and the superficial and deep petrosal nerves.

This middle cranial fossa supports the temporal lobes of the brain.

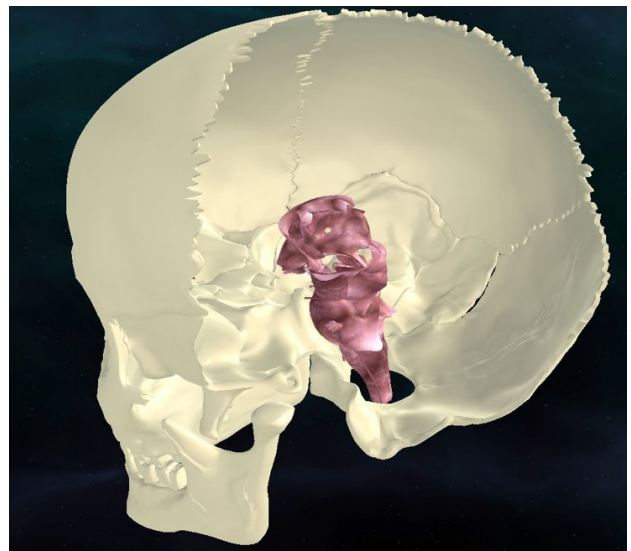


Figure 15 Foramen magnum vision with transition between spinal cord and brain trunk

The **Posterior Cranial Fossa**: starts posterior to the superior edge of the petrous part of the temporal bone, the posterior clinoid apophysis and the quadrilateral plate of the sphenoid. It is formed

in a large proportion by the basilar, lateral and flaky parts of the occipital bone.

It is the largest and deepest of the three cranial fossa and houses the cerebellum, at the trunk of the brain.

This fossa presents the most voluminous orifice of the base of the cranium, the foramen magnum or occipital orifice, through which the medulla of the brain will continue, with the spinal cord (Figure 15). The vertebral arteries and their meningeal branches also cross this foramen magnum. This fossa also contains other orifices, most notably, the jugular foramen, located in the petrous part of the temporal bone, through which cranial nerves IX, X and XI pass, in addition to the sigmoid sinus and inferior petrosal sinus.

Other orifices of this posterior fossa are the internal auditory canal, located above the jugular foramen, where the cranial pair VII and VIII cross, on the bottom of this canal. Here we also find the labyrinthine artery.

This fossa also presents the hypoglossal canal, a small orifice on the sides of the foramen magnum, in relation to the occipital condyles, where the hypoglossal nerve or cranial nerve XII crosses.

This system counts on a simple interface which offers the user two possibilities (Figure 16): obtain different explanations through the virtual journey, where the explanation can be selected at any time (Figure 17), or carry out an assessment test in order to check knowledge in a unique manner, searching inside the cranium for bones or orifices indicated by the system with the fewest number of faults possible.

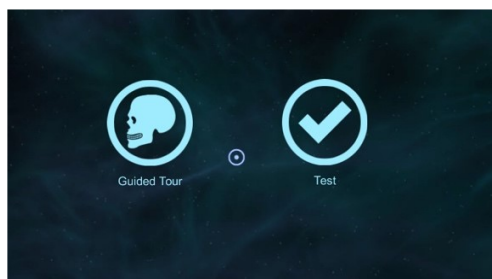


Figure 16 Initial menu

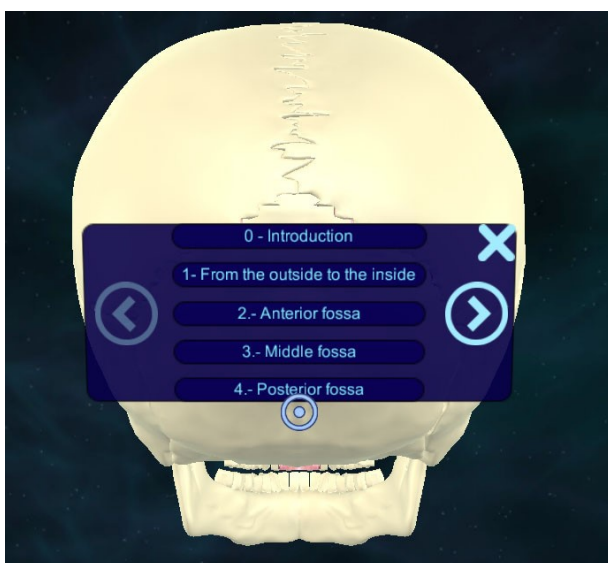


Figure 17 Selection menu for different explanations

4. FINAL CONSIDERATIONS AND CONCLUSION

Our technological system shows that these Virtual Reality techniques provide excellent benefits compared to other traditional training tools, such as educational videos or different software programmes for teaching presentations (PowerPoint, Prezi, Keynote, etc.). These technologies represent a huge step forward in terms of training tools, since being immersed in a virtual scenario gives us a much greater sense of realism which, in addition to the 3-D effect provided by the stereoscopic goggles, allows us to better appreciate aspects such as depth. This is fundamental in order to understand the bone structures which make up the human cranium, where there is a large number of niches and zones which are not immediately appreciable in a simple video or in a static, bidimensional image.

One of the most interesting aspects of the Virtual Reality technique is that it can be manipulated and the generated virtual environment can be interacted with [1, 9, 12-15]. In consequence, we can not only visualise a virtual world –in our case a cranium and its constituent parts– but can also manipulate it and handle it in order to simulate a specific surgical intervention. The virtual cranium will behave like an actual cranium throughout the operation, whilst the user will manipulate it in a highly realistic manner through the movement of his or her hands. The aim is to simulate an operation in the most realistic way possible.

To achieve this we use remote control devices which transmit information on the movements made by the user to the goggles, which in turn interpret these data and display them so the user can see his or her own hands moving and carrying out the operation in the virtual environment.

Although several technical aspects are still outstanding in order to ensure complete presence for our brain (such as eliminating certain physical discomforts related to the use of these VR goggles), we firmly believe that this type of technological spatial vision resource will undoubtedly contribute to improving medical training processes. More recently, new hardware elements such as gloves have started to appear, which can be used to interpret the movements not only of the hand but also of each of the individual fingers. This aspect will undoubtedly improve the user experience and make the simulation even more authentic and realistic.

We believe that a carefully designed visual experience such as the one we have developed can help users (students) to have a sense of control over the environment –however fictitious– and facilitate learning and training processes in the medical sphere.

This undoubtedly represents the future for training in medicine. However, this system will not be limited to just training, since it will be used by surgeons to carry out pre-surgery studies and even go through a complete simulation of the intervention, making it possible to accurately and safely predict possible problems which may appear during surgery. We therefore conclude this work by indicating that the use of these stereoscopic vision technologies in medical training facilities and helps improve training in clinical and surgical skills.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to specifically thank the members of the company specialising in virtual and augmented reality systems ARSOFT, located in Parque Científico de la Universidad de Salamanca (Calle Duero, N°12, Villamayor, Salamanca), for their technical work and collaboration.

6. REFERENCES

- [1] 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.
- [2] 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, Vol. 18 (1), pp 35 – 50.
- [3] Kuntze, M. F.; Stoermer, R.; and Mager, R. 2001. Immersive virtual environments in cues exposure. *Cyberpsychology and Behavior*. Vol. 4., 497-501.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Sauter, P.M. 2003. VR2Go A New Method for Virtual Reality Development. En: ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Vol. 37(1), pp 19 – 24.
- [7] Nichols S and Patel H 2002. Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence. *Applied Ergonomics*, 33, 251-271.
- [8] Burdea, G., and Coiffet, P. 2003. Virtual reality technology. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 12(6), 663-664.
- [9] 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.
- [10] 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 *Virtual Reality, 2005. Proceedings. VR 2005. IEEE* (pp. 179-186). IEEE.
- [11] Psotka, J. 1995. Immersive training systems: Virtual reality and education and training. *Instructional science*, 23(5-6), 405-431.
- [12] 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.
- [13] Chan, S., Conti, F., Salisbury, K., and Blevins, N. H. 2013. Virtual reality simulation in neurosurgery: technologies and evolution. *Neurosurgery*, 72, A154-A164.
- [14] 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.
- [15] Coleman, J., Nduka, C. C., and Darzi, A. 1994. Virtual reality and laparoscopic surgery. *British journal of surgery*, 81(12), 1709-1711.

XI. Anexo II: Virtual Simulation for Scoliosis Surgery

La Realidad Virtual es actualmente una de las tecnologías innovadores más emergentes que existen, y en el último año hemos podido ver cómo diferentes sectores han conseguido aplicarla con éxito, desde el sector industrial hasta el sector de la educación o el sector médico.

El sistema presentado en este artículo consiste en una simulación virtual e interactiva de una cirugía de fijación transpedicular lumbar, para conseguir la fijación de tres vértebras funcionales. El usuario se encuentra dentro de un quirófano real, frente al paciente, que en este caso consiste en un modelo 3D completo que incluye musculatura, esqueleto, ligamentos, venas, arterias, nervios... Las acciones que el usuario debe llevar a cabo incluyen la selección de la herramienta correcta y a continuación su uso, interactuando con el movimiento de sus manos, haciendo uso de un controlador.

El objetivo de este estudio es que el usuario pueda conocer cuáles son las herramientas que deben ser utilizadas en cada fase del protocolo y cuál es la secuencia exacta de pasos que deben darse. Además, la simulación virtual se fusiona con videos reales que han sido grabados en una cirugía llevada a cabo en el Hospital Santísima Trinidad de Salamanca. Esto hace que el sistema sea una gran herramienta formativa para esta técnica en concreto, demostrando el potencial de la Realidad Virtual en la educación médica.

Este sistema incluye una parte teórica que muestra al usuario todos los pasos y proporciona información de interés de cada uno de ellos, y por otro lado dispone de una parte práctica en la cual el usuario debe interactuar con el sistema para llevar a cabo por sí mismo cada uno de los pasos explicados.

La simulación virtual interactiva ha sido desarrollada con la ayuda de la empresa ARSOFT, especializada en sistemas de Realidad Aumentada y Realidad Virtual, y en colaboración con diferentes profesionales médicos del grupo de investigación Visual Med Systems de la Universidad de Salamanca.

Virtual Simulation for Scoliosis Surgery

Santiago González Izard
ARSOFT, C/ del Duero 12
37185, Villamayor, Spain
santiago.gonzalez.izard@gmail.com

Jesús M^a Gonçalves Estella
VisualMed System Group, University
of Salamanca
37008 Salamanca, Spain
jgoncalves@usal.es

Francisco J. García-Peñalvo
GRIAL Research Group,
Research Institute for Educational
Sciences, University of Salamanca
37008 Salamanca, Spain
fgarcia@usal.es

Juan Antonio Juanes Méndez
VisualMed System Group, University
of Salamanca
37008 Salamanca, Spain
jajm@usal.es

M^a José Sánchez Ledesma
VisualMed System Group, University
of Salamanca
37008 Salamanca, Spain
mledesma@usal.es

Pablo Ruisoto
VisualMed System Group, University
of Salamanca
37008 Salamanca, Spain
ruisoto@usal.es

ABSTRACT

*Virtual Reality is currently one of the most emerging innovative technologies, and over the last year we have seen how different sectors have successfully applied it ranging from the most industrial sectors to the education or medical sectors. The system presented in this article consists on a virtual simulation of a lumbar transpedicular fixation surgical operation, in order to achieve a fixation of three vertebral functional units. The user will be inside an operating room, in front of the patient, which in this case is a complete 3D model that includes musculature, complete skeleton, ligaments, veins, arteries ... The actions to be performed include selecting the right tool and subsequently its use, so that the user interacts with the system by moving his hands. The objective of this study is for the user to know the tools that should be used in this procedure and the steps that must be followed. In addition, virtual simulation merges with videos of real surgery, making this system a great tool for training in this type of surgery, demonstrating the

potential of Virtual Reality as a useful technology for training. This system includes a theoretical part that shows all the steps and all the information to the user, and a practical part, in which you must interact with the system to perform each step of the procedure itself. This interactive virtual simulation has been developed by the company specialized in advanced systems of Augmented Reality and Virtual Reality ARSOFT, in collaboration with members of the Research Groups of the University of Salamanca VisualMed Systems.

CCS CONCEPTS

• Computing Methodologies - Symbolic and algebraic manipulation - Artificial Intelligence - 3D Imaging

Social and professional topics - Professional topics - Computing education programs

Software and its engineering - Software organization and properties - Contextual software domains - Virtual worlds software

KEYWORDS

Virtual Reality; Virtual 3D World Immersion; Stereoscopic Vision; Immersive System; Medical Training; Surgery; Training Virtual Tool.

1 INTRODUCTION

Although it is true that the technology of Virtual Reality has begun to popularize in the last decades, the truth is that it is not a new concept [1-4]. In 1957, pioneer Morton Heiling

* Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.

TEEM 2017, October 2017, Cádiz, Spain

created his now well-known Sensorama machine. This machine (Fig. 1) was able to show stereoscopic images in three dimensions with a high quality stereo sound, even reproducing the wind sensation and certain aromas, with the aim of creating a dive as realistic as possible in the virtual world that showed. This revolutionary machine was used to reproduce films in three dimensions. Today we have taken the concept of Virtual Reality much further, including real applications, that a few years ago would have been considered futuristic and distant.



Figure 1: Advertisement for Heilig's Sensorama, courtesy of Scott Fisher's Telepresence

The truth is that since 1957 technology has advanced by giant steps, and what a couple of decades ago occupied an entire room and was prohibitively expensive. Nowadays, we carry it all in our pockets. We talk about computers, which is what we really have in today's smartphones [5-9].

This miniaturization and improvement of the processing capacity of computers is precisely what has caused Virtual Reality to become a feasible technology in our society [10-13]. And it is that the Virtual Reality needs a great capacity of calculation by the devices, in addition to high quality screens that allow us to visualize the images correctly even though the devices are only a few centimeters from our eyes.

Currently, we understand by Virtual Reality system that, in an immersive way, introduces us into a completely virtual world, where users have the sensation of being inside, since when looking at one side or another we will see what we have around us. This is achieved thanks to sensors such as the accelerometer and the gyroscope, included in most current smartphones. In the most basic systems, these smartphones are the ones that execute the software of Virtual Reality, and are introduced inside glasses that include stereoscopic lenses that contribute the three-

S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, J.M. Gonçalvez Estella, M.J. Sánchez Ledesma, F.J. García Peñalvo, P. Ruisoto

dimensional effect. [14-18] The smartphone screen displays two pictures, one on each side of the screen. Although at first glance these images can be identical, the truth is that they have a slightly different perspective, and thanks to the glasses we will see an image with one eye and another with the other eye. It is therefore the same principle as that which applies the human vision to see in three dimensions, since each eye perceives the environment from a slightly different perspective [18].

Possibilities offered by this new technology are practically unlimited, and address a large number of areas. In this article, we will focus on its application in the educational field, and more specifically in the medical training. To this end, we have developed a system capable of showing the user a three-dimensional environment corresponding to an operating room, and explain the different steps that must be performed in a lumbar or scoliosis. This surgery involves the fixation of different vertebrae in order to correct a deviation of the spine. In this specific case, we will fix six screws in total, three on each side, in order to carry out the fixation of three vertebrae.

To date, technological limitations still do not allow the development of simulations that make the virtual environment of the real environment indistinguishable [2]. However, this system shows the potential of this technology in the medical field. An example is the ability to see through the skin, organs and muscles, making the same semitransparent to be able to visualize the complexity of the area to be operated. [3] Another example is the ability to repeat the process as many times as desired. These characteristics would be impossible to obtain in a real environment, so we see that virtual simulations also have their advantages over training and training with real patients.

According to some studies involving 16 surgical residents, those who have been trained using Virtual Reality techniques perform operations 29% faster than those who used traditional techniques, which shows us another example of the potential of Virtual Reality in this field [4].

The simulation does not capture the different complications that may arise during surgery and the solutions for each of them, however this may be one of the future lines of work for the system. This is not, however, the goal of this tool, since it focuses on showing the basic steps of surgery and allow the user to reproduce these steps interacting with the virtual world around him, so that he himself select and manipulate the Tools with the movement of their own hands, becoming familiar with each one of them.

2 MATERIALS AND METHOD

2.1 Hardware and tools

We used a regular computer, with a great computing power, and different models of smartphones and glasses of Virtual Reality (Fig. 2).

However, more important than the hardware used are the tools that allowed us to design and implement this system. In this regard, it is worth noting the use of the Unity3D video game engine. Although this software was initially designed for video game design, the truth is that its great versatility has been used for many other purposes, one of them is the development of Virtual Reality systems.



Figure 2: Virtual reality glasses used in the study

If we pay attention to a Virtual Reality system and a video game, we will see that there really are not so many differences between the two. The truth is that when designing one or the other tasks to carry out are practically the same: design and programming of the virtual environment and its behavior and programming of interaction with the user. It is true that the Virtual Reality has certain peculiarities that must be taken into account, since the user interacts in a completely different way with the environment, since it is completely immersed in it.

Unity also offers integration with tools for developers of Virtual Reality that facilitate the implementation of the system. The Software Development Kits (SDKs) we have used for Virtual Reality development are provided by Google and Oculus: Cardboard SDK and Oculus Mobile SDK respectively. Notice that a SDK consist on a set of scripts and other resources (principally source code) that facilitate the task of programming certain behaviors, in this case those related with Virtual Reality development.

So, we have actually developed two different systems, one for Cardboard platforms, and another for Oculus or Samsung Gear VR devices.

Cardboard is a Google standard that allows you to use virtually any smartphone, be it Android or iOS, with a large number of glasses from different manufacturers that can be purchased from just 3 euros.

Oculus for its part has a model of glasses, Oculus Rift, which include screen and that must be connected to a computer with high graphics capacity, and costs around 700 € at the date of writing this article, in addition to the investments necessary to perform in a compatible computer. They are therefore less affordable glasses for society in general, although it is true that they obtain a high-quality user experience.

Halfway between the Oculus Rift and the Cardboard goggles, we find Samsung Gear VR glasses, compatible with certain mobile models of this brand.

Our system, as we mentioned before, works across platforms. However, we must take into account the interaction of the user with the virtual environment. In the case of Cardboard, we have designed an application that turns any Android smartphone with gyroscope, accelerometer and bluetooth into a remote controller. Thanks to this application we are able to recognize the movements of the user's hands, so that he will see a virtual hand that he can control with the movement of his own hands.

The Samsung Gear VR glasses, like Oculus Rift, include its own controller, so in this case the user will move this controller instead of the smartphone become command. It should be noted that Google is already marketing a new standard of Virtual Reality, which includes its own model of stereoscopic glasses: Google Daydream. In this case, this technology does include its own driver, although today it is only compatible with certain models of smartphones, so it has chosen to use the SDK Cardboard, with the goal of reaching a wider audience (Fig. 3).

In relation to the resources used, we have used 3D models of the tools provided by their manufacturers, modifying the organization of the meshes of each model to be able to manipulate them correctly according to our interests. For example, the screw fastener includes a special internal structure to be able to correctly insert the screw and to grind it once it has been fixed to the vertebra.

TEEM 2017, October 2017, Cádiz, Spain

S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, J.M. González Estella, M.J. Sánchez Ledesma, F.J. García Peñalvo, P. Ruisoto



Figure 3: Daydream and Gear VR controllers

We have used the 3D model of a complete human body (Fig. 4), including musculature, skeleton, ligaments, arteries, veins, etc. This supposes a more complete view of the patient and its interior, although also requires a greater amount of memory in the Device on which the software is to be run.

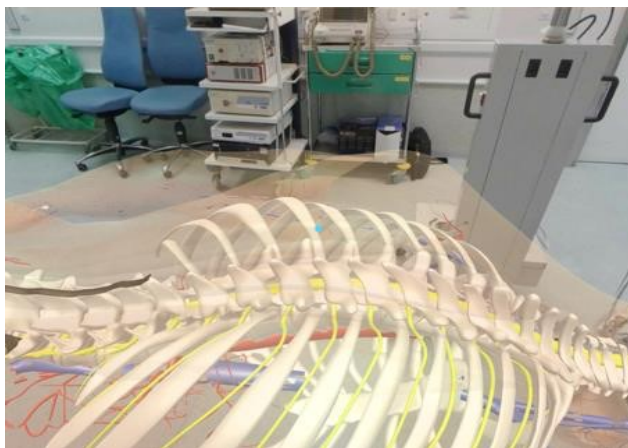


Figure 4: 3D model of human body used for simulation, based on P1 3D Anatomy V6/2015 anatomical models

We have also included a spherical image of an operating room at the University Clinic Hospital of Salamanca (Fig. 4). The aim is to provide users with the most realistic experience possible, giving the sensation of being in a real operating room.

The programming language used for the implementation of the system has been C#. The code has been organized following the design pattern MVC (Model View Controller) [19], by which we have organized the different scripts in which the source code is divided into three large groups (see Fig. 5). The first one, the Model, contains all the scripts that store information and give access to it. In this case, it has not been necessary to use database, since all data are static and not too heavy. Text, audio, images and videos have been

used, so these scripts also provide access to this multimedia content, necessary to contribute or complement the medical explanations offered by the system.

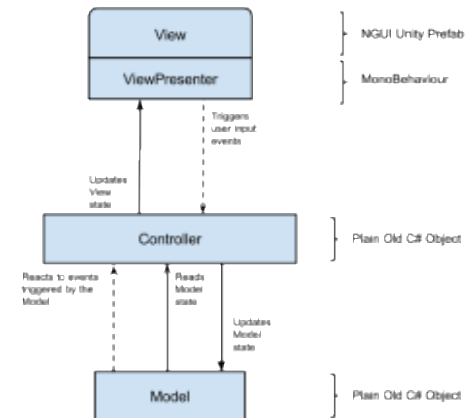


Figure 5: MVC diagram that shows how the different modules of this pattern interact in Unity3D

On the other hand, we have the Vista, which contains the scripts in charge of displaying the graphical elements on screen to the user.

2.2 Medical Procedure

All the steps of a fluoroscopic guided lumbar transpedicular fixation are described below [20]:

- 1) Under general anesthesia, with the patient in prone position on radiolucent sled, a cutaneous incision was made with a scalpel in the posterior midline lumbar centered on the area to be intervened.
- 2) Hemostasia with bipolar coagulation in case a vessel bleeds.
- 3) Placement and opening of autostatic separator.
- 4) Incision with electro-systolic in the midline by inserting the posterior paraespinal musculature on one side first, and then, the other side after step 5), exposing spinal processes, laminae and articular processes to its junction area with the beginning of the Transverse processes, assisted by a periostotom for muscle separation. With the left hand is held in muscle disinserted with the periostotom and continues to gradually deepen the muscle with the electro-systolic. It may be necessary to repeat step 2 at some point in time. It is interesting to leave the exposed bone without any muscle and without removing the supraspinatus and interspinous ligaments.
- 5) Separating the muscle laterally with the periostotome subject with the left hand, with the aid of a dissecting clamp, gauze or a compress is introduced, and with another periostotom the gauze or compress is progressed in the new cavity

generated between muscle and bone. They make hemostasia and help muscle to detachment.

- 6) Steps 4 and 5 on the other side.
- 7) Remove with a clamp the gauze or compresses checking that they are outside all that have been introduced previously.
- 8) Insert of McCulloch or similar type automatic separator and opening of the same.
- 9) At a hypothetical point between the joint and the transverse, a punch is introduced.
- 10) In pure Rx AP projection, with a single line without unfolding in the upper plate of the vertebra to be instrumented, and with the line of spines centered in the middle line, we must verify that the tip of the punch is, if it is on the side Left, in a position adjacent to the pedicular contour in a hypothetical time zone between 9 and 11 and if it is on the right side between 1 and 3. If it is not in the right place corrects until it is achieved.
- 11) After removing the punch, at the point of withdrawal of the punch, with a curved countersink, the pedicle is channeled by making the appropriate wrist twists to advance through the spongy pedicle until, without exceeding the pedicle contour with the tip of the countersink, in the pure AP projection we believe to have reached the vertebral body. It may be necessary at some point to draw blood from the surgical bed with a vacuum cleaner, for example when removing the punch, before inserting the countersink.
- 12) The bow Rx is turned under the table and a pure lateral projection is obtained, if we have arrived with the countersink to the vertebral body the trajectory is safe and we have not violated the cortical of the pedicle. If we are not in vertebral body, we must return to the previous step until we get it.
- 13) The hob is removed and the hollow generated in the sponge is palpated in its entire length and in all its walls, with the tactful sensation that our instrument is all surrounded by bone and that the trajectory of the probe is the same as that of the countersink in the lateral projection. If that is the case, we carry on, if not, we should start over again.
- 14) The user mounts the screwdriver (or screw fastener) the requested screw (depending on the size of the pedicle and the vertebra, which can be measured previously by image studies, the most used are 6.5 mm Diameter by 40 or 45mm in length).
- 15) With the left hand, we remove the probe while at the same time with the right we introduce the screw. Inhale previously to have the pedicle access hole bleed, especially if there have been several attempts to channel. If the pedicle is worked properly, try only turning the screw without pushing it to follow the carved path and self-guiding without resistance.

Periodic monitoring of radioscopy is necessary to verify that the trajectory is maintained and does not change during its advance.

- 16) When all the necessary screws are inserted, the tulips are oriented with the tulip guide and a bar is placed with the clip, taking into account that their ends must exceed at least 5mm the ends of the tulips. If the bar is pre-curved (generally lumbar bars are used), they have a longitudinal centerline in the concavity and must be kept in the sagittal plane without letting it rotate.
- 17) With the bar placed and held the left hand, the user gives us the closing cap mounted on its holder that screwed on the tulip until it closes and holds the bar.
- 18) Repeat step with each tulip.
- 19) Steps 16 to 18 are performed on the other side.
- 20) With the anti-torque device "in L" shape and the torque screwdriver in "T" shape, the final tightening is carried out in each stopper Then the separator is removed and closed by planes.

Although there are other steps that must follow depending on the evolution of surgery, the previous steps summarize the actions that must be performed in this procedure. However, in the virtual simulation developed we have selected only the main steps, with the aim of creating a more general-oriented experience, which does not have to have any kind of medical knowledge. The steps selected were as follows:

- 1) Use the punch or estefi's ball to work the way for the screw through the pedicle.
- 2) Attach the screw to the screw locker (Fig. 6).
- 3) Fastening the screw through the path previously worked.
- 4) Release the screw, leaving the screw in the polyaxial position.
- 5) Repeat steps 1 to 4 for the different screws to be placed.
- 6) Capturing of the bar with the clip holder.
- 7) Fastening the bar onto the screws.
- 8) Attach the closure cap to the holder.
- 9) Fixing the plug on the screw to fix the rod.
- 10) Release the cap.
- 11) Use of the antitorque device to close the cap, making a pressure of 90 pounds to avoid the movement of the bar on the screw.

TEEM 2017, October 2017, Cádiz, Spain

S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, J.M. Gonçalvez Estella, M.J. Sánchez Ledesma, F.J. García Peñalvo, P. Ruisoto

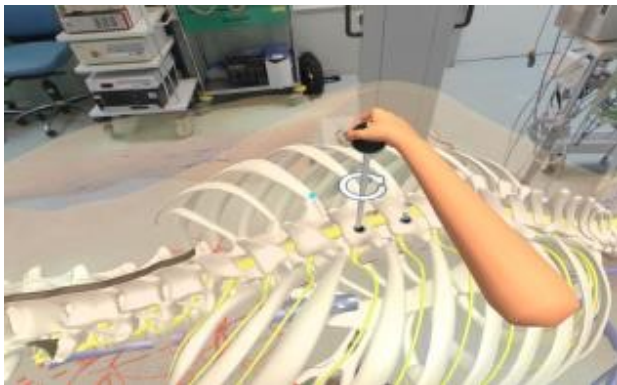


Figure 6: User using self-holding screw

After completing these steps, we will have the screws correctly inserted in the vertebrae, the bar on these three screws and the caps sealing the screws and fixing the bar to prevent their displacement (Fig. 7).

3 RESULTS

The obtained results with the development of this virtual interactive simulation system have been very satisfactory. On the one hand, it has been achieved that anyone is able to understand the operation of the system and use it perfectly after only a few minutes of execution. This is what in software engineering is known as usability (UNE-EN ISO 9241-9:2001), and basically measures how easy is to use the system. In this case, it was of great importance, since the system was not only oriented to doctors, who can devote a greater time to familiarize themselves with the environment, being a tool of work for them; the system is addressed for both medical professionals and for those who have no medical knowledge and, of course, no previous experience of using Virtual Reality systems.

On the other hand, the tool is capable of transmitting to the user what are the steps that must be taken in a lumbar transpedicular fixation procedure, which of course is the main objective. This has been achieved in three different ways:

- 1) Visualization by 3D animations of the tasks that must be carried out.
- 2) Videos of a real surgery for each step of the procedure.
- 3) Interactive simulation in which the user must test what he has learned by performing each step himself.

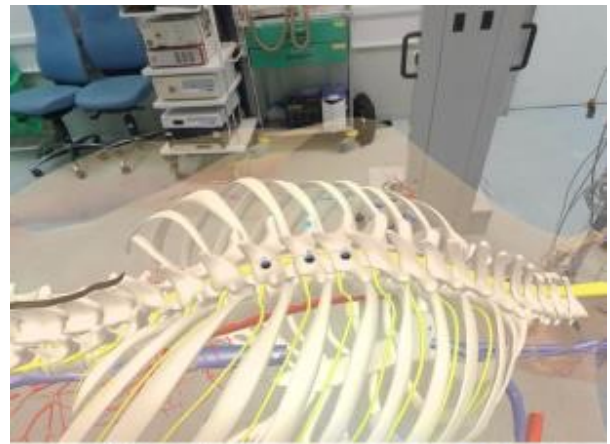


Figure 7: Virtual and real image of screws and bar in its final position



Figure 8: Visualizing video of real surgery in the monitor

In the first case, the system teaches the user what to remove the retrosomatic musculature, which includes the emigrated musculature and own musculature, each formed by its own muscles. Then these muscles are hidden and a video of a real surgery is shown for the user to see how the first step should be carried out: the use of the punch. The videos are projected on a television set inside the operating

room, making the experience more realistic and attractive for the user (Fig. 8).

Once the video is visualized (there is an option to omit its reproduction), the user must carry out the action he has just seen, in this case perforating a vertebra using the punch. This drilling will be the one that will later be used to introduce the screw.

To perform each of the actions, you must move the knob by turning the wrist from side to side. This interaction of the user with the system through the movements of his own hands makes the experience more realistic, and therefore is more immersed in the simulation experience.

Once the slit is made, the user has a panel with the set of tools at his disposal, and should select the screw holder. At that time, you will be shown a video of how the screw should be mounted on the screw holder and how it should be used to attach the screw to the vertebra. Next, we will see a 3D animation of the assembly of the screw in the screw holder, and the user must then place it using the control again.

Once the screw is fixed, the system will emit a sound, which will be played each time a step is performed correctly. At that time, a video of how to remove the screw holder correctly, as well as a 3D animation of this same action will be shown.

When the user correctly positions the three screws, user must take the bar using the holder and place it on top of the screws. As always, before performing the action you will be able to see a video of that same step in a real operation. Once the bar is placed, you must place each of the plugs to fix the bar correctly.

To conclude, a video of the device antitorque is shown. Interestingly, it exerts the appropriate pressure of the plugs on the bar to avoid its displacement.

4 DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

This system is a first step towards developing more complex and detailed simulations of surgeries. Nevertheless, it is a great example of how interactive simulations with Virtual Reality may help medical professionals to better understand the surgical processes, and serve as a tool to practice in a virtual environment and become familiar with the different tools used [4,14,15].

In addition, the system can be used for teaching purposes in academic settings, being a great learning tool for medical students.

One of the possible future lines of work for this system would be the improvement of each of the steps previously described, where for example the angle of entry of the punch or the screw holder is taken into account, so that if it is not inserted with the appropriate angle, the surgery can not be successfully performed. For this, the user could be helped from the radiological images, which would show the angle of incidence of the punch/pedicle/screw.

It is concluded that the system is of great help to know the tools used in a surgery, as well as the most important steps of the procedure. It is also worth noting that medical professionals or students can perform the simulation as many times as they wish, unlike practices with real patients, which, for obvious reasons, can only be done a few times. Thanks to this unlimited repetition, it is much easier to automate all the steps that must be performed in a surgical procedure, as well as to remember the points of importance to take into account in each of them.

5 ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to specifically thank the members of the company specializing in virtual and augmented reality systems ARSOFT, located in Parque Científico de la Universidad de Salamanca, for their technical work and collaboration in the implementation of this system.

This research work has been carried out within the University of Salamanca PhD Programme on Education in the Knowledge Society scope (<http://knowledgesociety.usal.es>) [21,22].

Finally, we would like to thank Acuña Fombona, a company with 50 years of history with a clear commitment to innovation, which has financed this system and helped in its implementation.

6 REFERENCES

- [1] Stanney, K. M. 2008. Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications, ISBN 0-203-93620-5
- [2] Chan, S., Conti, F., Salisbury, K., and Blevins, N. H. 2013. Virtual reality simulation in neurosurgery: technologies and evolution. *Neurosurgery*, 72, A154-A164. DOI: <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3182750d26>
- [3] Marescaux, J., Clément, J. M., Tassetti, V., Koehl, C., Cotin, S., Russier, Y., Mutter, D., Delingette, H., and Ayache, N. 1998. Virtual reality applied to hepatic surgery simulation: the next revolution, 228, 5 (1998 Nov), 627-634.
- [4] Seymour, Neal E, Gallagher, Anthony G, Roman, Sanziana A., O'Brien, Michael K., Bansal, Vipin K., Andersen, Dana K., Satava, Richard M. 2002. Virtual Reality Training Improves Operating Room Performance: Results of a Randomized, Double-Blinded Study, 236, 4 (2002 Oct), 458-464.
- [5] Chen, P., Liu, X., Cheng, W. and Huang, R. A review of using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016. Springer, City, 2017. DOI: 10.1007/978-981-10-2419-1_2.
- [6] Ramírez-Montoya, M. S. and García-Peñalvo, F. J. La integración efectiva del dispositivo móvil en la educación y en el aprendizaje. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20, 2 (2017), 29-47.
- [7] Briz-Ponce, L., Pereira, A., Carvalho, L., Juanes-Méndez, J. A. and García-Peñalvo, F. J. Learning with mobile technologies – Students' behavior. *Computers in Human Behavior*, 72(2017), 612-620. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.027>
- [8] Briz Ponce, L. and García-Peñalvo, F. J. An empirical assessment of a technology acceptance model for apps in medical education. *Journal of Medical Systems*, 39, 11 (2015), Paper 176.
- [9] Sánchez-Prieto, J. C., Olmos-Migueláñez, S. and García-Peñalvo, F. J. *Understanding mobile learning: devices, pedagogical implications and research lines*. Education in the Knowledge Society, 15, 1 (2014), 20-42.
- [10] Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P. and Stal, M. Pattern-Oriented Software Architecture. *A System of Patterns* (Vol. 1). John Wiley & Sons Ltd., New York, USA, 1996.
- [11] Morales-Avalos, R., Elizondo-Omaña, R.E., Vilchez-Cavazos, F., Martínez-Ponce de León, A.R., Elizondo-Riojas, G., Delgado-Brito, M., Cortés-

TEEM 2017, October 2017, Cádiz, Spain

S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, J.M. Gonçalvez Estella, M.J. Sánchez Ledesma, F.J. García Peñalvo, P. Ruisoto

- González, P., Guzmán-Avilán, R.I., Pinales-Razo, R., de la Garza-Castro, O., and Guzmán-López, S. 2012. Fijación vertebral por vía transpedicular. Importancia de los estudios anatómicos y de imagen, *Acta ortopédica mexicana*, 26, 6, (2012 Nov-Dic), 402-411.
- [12] Joo-Nagata, J., Martínez Abad, F., García-Bermejo Giner, J. and García-Peñalvo, F. J. Augmented reality and pedestrian navigation through its implementation in m-learning and e-learning: Evaluation of an educational program in Chile. *Computers & Education*, 111 (2017), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.04.003>
- [13] Basdogan, C., Ho, C. H. and Srinivasan, M. A. Virtual environments for medical training: graphical and haptic simulation of laparoscopic common bile duct exploration. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 6, 3 (2001), 269-285. DOI: [10.1109/3516.951365](https://doi.org/10.1109/3516.951365)
- [14] Joo-Nagata, J., García-Bermejo Giner, J. and Martínez Abad, F. 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 (2017), 768-780.
- [15] Becker, A.A., Jones, I.A., Glover, A.T., Benford, S.D., Greenhalgh, C.M. Vloeberghs, M. 2006. A virtual reality surgery simulation of cutting and retraction in neurosurgery with force-feedback, 84, 1 (2006 Oct), 11-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2006.07.006>
- [16] Gallagher, A.G., Ritter, E.M., Champion, H., Higgins, G., Fried, M.P., Moses, G., Smith, C.D., and Satava, R.M. 2005. Virtual Reality Simulation for the Operating Room: Proficiency-Based Training as a Paradigm Shift in Surgical Skills Training, 241, 2, (2005 Feb), 364-372. DOI: [10.1097/01.sla.0000151982.85062.80](https://doi.org/10.1097/01.sla.0000151982.85062.80)
- [17] Sauter, P.M. 2003. VR2 Go A New Method for Virtual Reality Development. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 37,1, 19-24.
- [18] Moafimadani, M., Gomes, A., Zabjek, K., Zeller, R., Wang, D. 2016. Haptic Training Simulator for Pedicle Screw Insertion in Scoliosis Surgery. International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction. *Interaction Techniques and Environments*, (2016 June) 301-311. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-40244-4_29
- [19] Izard, S.G., and Méndez, J.A.J. 2016. Virtual reality medical training system. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. (2016, November), 479-485. DOI: <https://doi.org/10.1145/3012430.3012560>
- [20] Briz-Ponce, L., Juanes-Méndez, J. A., García-Peñalvo, F. J. and Pereira, A. Effects of Mobile Learning in Medical Education: A Counterfactual Evaluation. *Journal of Medical Systems*, 40, 6 (2016), Paper 136. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0487-4>
- [21] García-Peñalvo, F. J. Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar. *Education in the Knowledge Society*, 15, 1 (2014), 4-9.
- [22] García-Peñalvo, F. J. Engineering contributions to a Knowledge Society multicultural perspective. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, 10, 1 (2015), 17-18.

XII. Anexo III: 360° vision applications for medical training

En los últimos años, los videos esféricos o videos 360, combinados con técnicas de Realidad Virtual, han dado lugar a sistemas software que permiten a los usuarios experimentar la inmersión en entornos virtuales realistas e interactuar con ellos, más allá de limitarse a su visualización.

Estos recursos tecnológicos ofrecen una visión inmersiva donde el usuario puede mirar libremente a un lugar o a otro de forma natural. Esto supone un cambio respecto a las técnicas tradicionales tanto de grabación como de consumo de contenido multimedia, ya que cada vez se graban y se reproducen más videos con tecnología 360, ya que permiten un conocimiento y estudio mucho mayor del contenido grabado, gracias a una visión estereoscópica, que ofrece vistas mucho más que panorámicas, ya que la grabación se lleva a cabo en todas las direcciones posibles (de ahí el nombre de 360 grados). Esto permite obtener una perspectiva completa de un entorno, consiguiendo además una gran calidad de imagen gracias al avance de esta tecnología en los últimos años, disponiendo en estos momentos de cámaras de bajo coste para usuarios no profesionales que permiten grabar con esta tecnología.

En este trabajo se ha implementado un sistema de visualización inmersiva de contenido 360 para estudiar un quirófano y los diferentes elementos que lo componen, así como una sala de disección. El objetivo es la creación de un entorno de aprendizaje para estudiantes de medicina que les permite conocer estos entornos y el equipo que en ellos se encuentra.

360° vision applications for medical training

Santiago González Izard ARSOFT, Calle
del Duero 12, Parque Científico,
University of Salamanca, ARSOFT,
37185, Villamayor, Spain
santiago@arsoft-company.com

Francisco J. García-Peñalvo
GRIAL Research Group,
Research Institute for Educational
Sciences, University of Salamanca
37008, Salamanca, Spain
fgarcia@usal.es

Francisco Pastor Vázquez Dpto.
Anatomía Humana University of
Valladolid, 47003, Valladolid, Spain
juanpas@med.uva.es

Juan A. Juanes Méndez VisualMed
System Group, University of
Salamanca
37008 Salamanca, Spain
jajm@usal.es

Marcelo Jiménez López VisualMed
System Group, University of
Salamanca
37008 Salamanca, Spain mjl@usal.es

Pablo Ruisoto VisualMed System
Group, University of Salamanca
37008 Salamanca, Spain
ruisoto@usal.es

ABSTRACT

*In recent years, 360° videos combined with virtual reality (VR) techniques have been developed so that users can experience the content and interact with the environment, rather than just watch them. These technological resources offer an immersive vision in which each person can choose where to look at. Therefore, we began to move away from the classic forms of traditional recording and reproduction to focus on the most innovative production and video viewing in 360 degrees as a more real-world technology experience that allows the visualization of panoramic images in 360°, which facilitates a complete perspective of an object or environment with a surprising luxury of details, through images captured from different angles. We present a teaching experience of

*Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.

TEEM 2017, October 18–20, 2017, Cádiz, Spain
© 2017 Association for Computing Machinery.
ACM ISBN 978-1-4503-5386-1/17/10...\$15.00
<https://doi.org/10.1145/3144826.3145405>

360 degree immersive visualization of an operating room and an anatomical dissection room, with the aim of generating a virtual environment for learning, training and valuing the equipment that exists in these medical rooms.

CCS CONCEPTS

• **Computing Methodologies** - Symbolic and algebraic manipulation - Artificial Intelligence - 3D Imaging

Social and professional topics - Professional topics - Computing education programs

Software and its engineering - Software organization and properties - Contextual software domains - Virtual worlds software

KEYWORDS

Virtual Reality; Virtual 3D World Immersion; Stereoscopic Vision; Immersive System; Medical Training; Training Virtual Tool.

1 INTRODUCTION

Virtual Reality is a technology clearly on the rise and with great potential in a wide range of sectors [1-8]. It is currently drawing increasing attention in the field of medical education.

There are two large groups of Virtual Reality systems: first, those based on spherical recordings and images, and second, those that introduce the user to a completely virtual world. In the first case the user will be immersed in a real world, since it has been recorded with real images, spherical, but taken from reality at the end of the day. In the second case, the immersion takes place in a completely computer-created world, which normally brings a greater 3D feel but a logically inferior level of realism [9-11].

We can say that there is a third kind of classification, that mixes the two previous ones: we introduce virtual elements, created by computer, in within a real environment, in turn created from images or recorded videos. This is very interesting, as *we cannot yet expect a digital patient to be indistinguishable from reality* [12]. The fact is that it is necessary to sacrifice the 3D models quality to be able to render it in real time [13], and to allow the user to interact with the virtual world. That is the reason why it is interesting to mix a virtual environment with 360 degree images and videos, where the user will find realistic visualizations. This will be the type of systems that we will analyze in this article with the aim of studying its potential as a didactic tool in the field of medicine.

The spherical virtual environments and 360 degree recordings constitute a new audiovisual dimension that allows the immersion in the recording and the possibility of observing the recorded as if it were physically in that place [14]. If until now the video was a linear material, whose movement and possibility of observation depended exclusively on the angle of capture of the recording, the management of the 360° cameras has been taken one step further, where the viewer can interact directly with the recording and choose at whim to see as if you were physically present at the recording location [15].

This article will analyze how recording actual surgeries with 360 degrees technology can improve students' ability to understand surgical procedures.

At the moment the medical students come as spectators to the surgeries with the objective to familiarize themselves with the environment, to know the mechanics of work, the medical procedure of action. The problem is that the number of students that can enter the operating room is limited, so that students can have this experience a few times [16-18].

Thanks to the 360° recordings, we have been able to relive the experience of being spectators in a surgery as many times as they wish.



Figure 1 Part of one of the spherical images taken in the dissection room

In addition, on these spherical or 360° recordings, interactive systems can be implemented in which the user can interact with the environment, thus opening up to new possibilities, ranging from being able to perform a simulation of surgery to obtaining information about the elements that surround to user.

A spherical recording of an operating room and anatomical dissection room has been performed, in addition to different surgeries and the implementation of a system in which the user can perform a small interaction with the environment (Fig. 1). These systems are intended to demonstrate the potential that spherical recordings offer to medical training.

The image illustrated in Fig. 1 is no more than a part obtained from a spherical image, which allows the student not only to see this portion visualized here, but the whole environment that surrounds it. In addition, a small 360° video has been made so that the student can check how other students perform anatomical dissection of a human being (Fig. 2).

With 360° video streaming technology, surgeons will also be able to operate remotely using virtual reality technologies [15]. In combination with haptic devices, that allow the surgeons to manipulate medical equipment remotely, this will be the future, not only for possibility of remote surgeries, but also for the precision that devices can get in comparison with human hands. This technology will be soon available, and will also allow other surgeons to be present during the surgery as support.



Figure 2 Part of one of the spherical images taken in the dissection room

2 MATERIALS AND METHOD

We recorded a dissection room in 360 degrees with the aim of allow the user (student), to observe in a virtual way the most relevant elements available in an anatomical dissection room. We also recorded different operating rooms to create virtual environments, with immersive characteristics, to analyze the most representative elements of an operating room.

For the development of our technological procedure we used multiple hardware devices, which allowed us to generate different immersive Virtual Reality environments. A 360 degrees camera was used to record different clinical environments both in an operating room and an anatomical dissection room. To this end, we use the camera Samsung Gear 360 (Fig. 3), which has a spherical design, 6 cm in diameter, and 152 grams in weight. It has two sensors on opposite sides, each comprising 180° of visual field and 180° apertures f/2.0; With a maximum processed video resolution of 4K 30fps. Among other technical features of this device, the following should be highlighted:

- Dual 15 Megapixels sensor
- Dual fisheye lens with f / 2.0 aperture
- Video resolution of 3840 x 1920 pixels at 30 fps
- Image resolution of 7776 x 3888 pixels (equivalent to 30 MP)
- Modes: Video, photo, time-lapse, video looping
- Size: 66.7 x 56.3 x 60.1 mm
- microSD slot

We can find many different 360-degree cameras in the market, however we used Samsung Gear 360 because it offers good quality images and videos if we have in mind that performance is a very important requirement in the development of the system described in this article. Although it is true that there are many other cameras that offer better quality, the problem is that if we use high resolution images and videos our application will have two problems. First of all, its size will be too high, and on the other hand the performance will be lower, and the users will need better devices to run the system and get a quality experience.

However, these devices will greatly improve over the next five years, getting better spherical images and videos that will be perfectly visualized in smartphones, as mobile devices are also improving really fast every year.



Figure 3 Samsung Gear 360 Camera



Figure 4 Gear 360 Action Director program

Once the images were recorded, they were assembled using Gear 360 Action Director software (Fig. 4). It is an editing program to create videos in 360 degrees that can be viewed with both traditional devices, such as a computer, and with Reality glasses (stereoscopic glasses). Even videos can be viewed by taking advantage of the 360° recording on smartphones and tablets, where the user can look at any direction of the video by moving the mobile around.

One of the tasks carried out by this program is the stitching of the images, which consists of joining the image captured by a lens with that of the opposite lens, avoiding imperfections of the resulting image.

For optimizing the visualization of results, the ideal is to have a stereoscopic glasses, since this device offers us a complete immersion in the 360 degrees images and generated videos. The sense of realism is much greater than with other techniques previously mentioned [19].

So far we have recorded a video with 360° technology, assembled and edited, stitching the images to create a spherical video. This video could already be visualized in glasses using distribution platforms such as YouTube.

However, we wanted to take a step further by adding Virtual Reality and user interaction to our system. In this sense, we created a spherical image of the operating room and we added virtual 3D elements that provide information about different devices that the user can find in the operating room.

TEEM 2017, October 2017, Cádiz, Spain

S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, F.J. García Peñalvo, M. Jiménez López, F. Pastor Vázquez, P. Ruisoto

To this end, we used the Unity3D video game engine. This program allows creating three-dimensional environments and programming interfaces and different behaviors for each of the 3D elements.

First, we created a three-dimensional sphere, and we inserted our spherical image of the operating room into the sphere, stretching it to occupy the entire inner surface. Next, we placed the camera, in other words, the key element that will allow the user to see the virtual world, right in the center of our sphere. This camera carries scripts (portions of source code) that makes the camera move in the specific direction the user moves his head, allowing the user to discover the surrounding environment.

Secondly, we correctly illuminated the scene and added the 3D elements that provide information about each device. These elements are placed carefully to match the position of the devices that appear in the image. They also associated scripts to appear only when the user was looking at the machine with which they are related.

Of course, in addition to all of the above it is necessary to configure other elements for the system to function correctly. For example, empty elements or Game Objects were defined following the terminology of Unity3D, and were totally invisible to the user. These Game Objects were placed in the path from the center of the sphere where the spherical image (or video) was projected to the position where the machine or medical device from which we want to offer information was located. These Game Objects were associated with a script that received a notification when the user directs the view (the pointer) towards them, which allowed us to

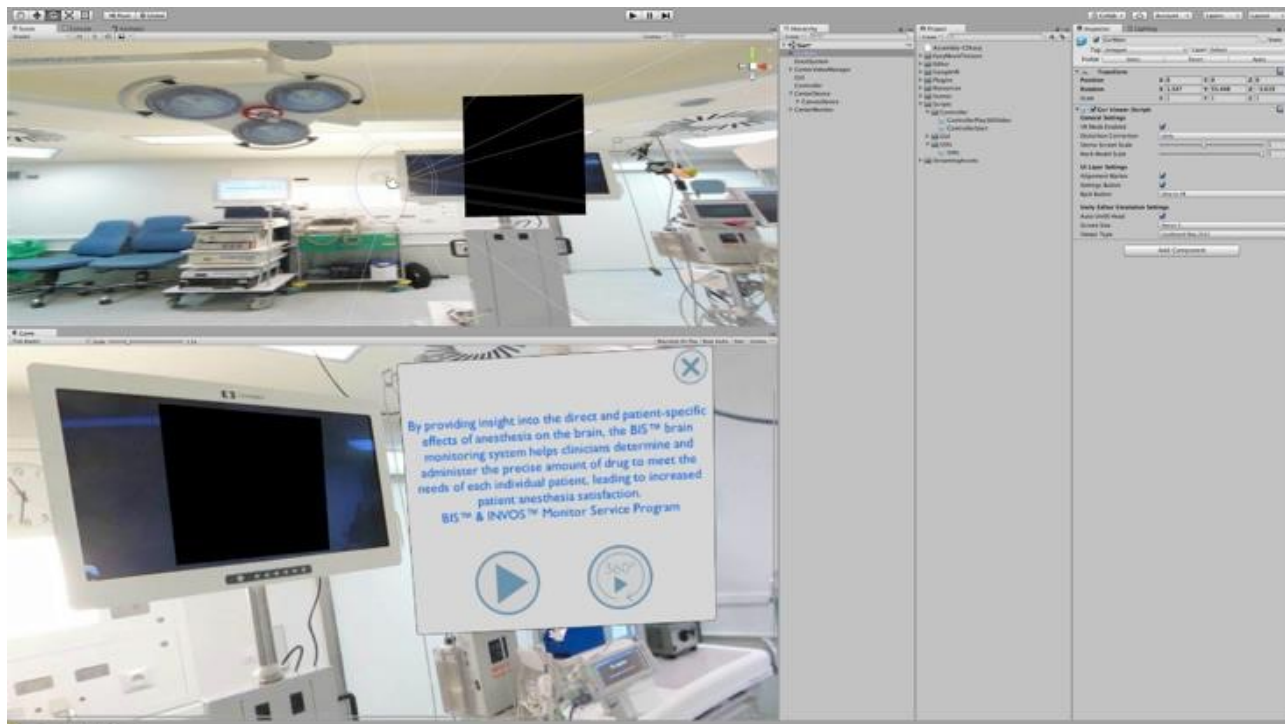
program a certain action when this happened. In this case, the action to be performed showed the virtual elements that were associated with that Game Object, or in other words, displayed the virtual panel associated with that medical device. In the following image (Fig. 5), we can see a snapshot of the programming environment used.

3 RESULTS

In this system, we highlight the most typical elements that can be found in every operating room. So when the user looks at a specific device, the system will show him/her information about that device. It will also be able to show a video that allows him/her to see how the device must be used or even a spherical video to immerse the user in a real surgery. It is very important to create a virtual experience as realistic as possible, so we took this into consideration while programming the different functionalities. For example, videos will be visualized in the monitors.

In addition, an anatomical dissection room was recorded. The study of anatomy is one of the most basic and important within medical education and in all degrees of health sciences. Its importance can not be overestimated since its knowledge lays the foundation for both medical research and for the

Figure 5 Image of the development environment used for the implementation of the system



improvement of treatments that may depend on a more solid training of doctors for every specialties. In most of those cases,

learning is fundamentally based on the meticulous study of the human corpse.

Therefore, we have generated virtual visualization spaces in 360 degrees, so that the user (student) can evaluate each of the components that make up the operating rooms (Fig. 6), as well as the anatomical dissection rooms, within a virtual immersed environment, but still with real appearance.

In Fig. 6 a stereoscopic image is shown, which was projected on the screen of the device that executes the system. Thanks to the glasses of Virtual Reality, we got each eye to see an image and thus form in our brain a three-dimensional image. In this particular image, we see how the user is looking at a specific device, and just at that moment the system shows a virtual panel with information about that device. Similarly, in Fig. 5, we saw how, when the user looks at a device, in that case a monitor, besides seeing a panel with information we got two buttons. The first one allows to project a video on this monitor, while the second takes the user to a different scene or level, where you can see a video recorded with 360 degrees technology of a real surgical operation carried out in that same operating room. In this way, the student will have the sensation of being inside the operating room while carrying out a real operation, discovering how the different devices are used by observing how the surgeon and the other medical professionals who are in the living room.



Figure 6 Stereoscopic vision of the operating room including virtual information of electrosurgical platform



Figure 7 View of part of the 360° image

As it is difficult to describe these systems only with images, we created a video for our readers about a virtual immersive system developed by us as an example. Please follow this link to see the video: <https://youtu.be/IQCSzc7oACA>

Currently, students attend real operations to learn through the experience of visualizing a dissection in real life. Thanks to this system, they will be able to experience this same experience as many times as necessary. This is different from what is happening today, where it is not possible for students to go to as many surgeries as they want.

Our technological system supports the idea that Virtual Reality techniques provide excellent advantages over other traditional training tools, such as educational videos, or different computer programs that allow teaching presentations. They allow user to get immersed in the virtual scene, obtaining a much greater sense of realism, added to the 3D effect provided by the stereoscopic glasses, allowing a better understanding of aspects such as depth, fundamental to understand the bone structures that constitute human skull, where there are a lot of nooks and crannies which would not be appreciable through a simple video, or a two-dimensional and static images.

The use of mobile devices in teaching, together with the combination of virtual reality glasses, is already a positive element in the construction of knowledge, since with the use of these technologies increases the possibilities of interact with complex content.

Finally, Fig. 7 is part of the image we can see in Fig. 4. This is what the user can see when looking at this part of the 360° image using estereoscopic glasses, or just using a PC, smartphone or tablet with a web browser.

4 DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

Visual and interactive learning aids provide an incentive for the student in health sciences education, in addition to improve long-term retention. The visualization of real images in virtual environments of learning, constitute a very efficient

TEEM 2017, October 2017, Cádiz, Spain

S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, F.J. García Peñalvo, M. Jimenez López, F. Pastor Vázquez, P. Ruisoto

form of representation of the corporal anatomy, which facilitates a better understanding of its content for its study and analysis. This study provide a tool for developing a more natural interaction with anatomical structures as well as with objects that participate in a surgical intervention room or in other clinical environments. Nowadays, emerging technologies facilitate the generation of computerized medical training procedures of great interest in various fields of Medicine and Surgery. In addition, these technologies allow us to create artificial scenes close to the real ones, which increases the motivation and engagement of the users who use them.

The management of technological devices such as the ones we have used will allow students to manage their knowledge and practical skills, developing new forms of teacher innovation and raising the quality of the academic process. We believe that these technological applications will encourage student learning, promoting a more active approach in the learning process.

We must take into account that, in many cases, the first contact that medical students have with some practices that are carried out in this discipline, are too shocking for some, creating feelings of dizziness or anxiety in some of them. Virtual Reality allows them to have a first contact in a secure setting, in order to reduce the impression they will get when they first face the real task, for example, the anatomical dissection of a human body.

It is clear that the generation and development of these technological resources, such as the one we have developed for this project, will enrich and facilitate the transmission of didactic contents, favoring the training in health related sciences for both undergraduate and graduate students. However, to demonstrate this fact we will perform a study comparing the results of students who have used this resources to others who have used only traditional resources, such as 2D videos or similar.

In the future, we will not only be able to visualize images, videos and virtual environments to form ourselves in different medical environments, but we will also be able to see a live operation directly, and use this technology for remote operations, so that a surgeon can be found on one continent and remotely operate on a patient found in another. The surgeon can guide the devices through haptic devices with the sensation of being in the same operating room thanks to Virtual Reality and high quality spherical recordings.

5 ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to specifically thank the members of the company specialised in virtual and augmented reality systems ARSOFT, located in Parque Científico de la Universidad de Salamanca, for their technical work and collaboration in the implementation of this system.

This research work has been carried out within the University of Salamanca PhD Programme on Education in the

Knowledge Society scope (<http://knowledgesociety.usal.es>) [20,21].

6 REFERENCES

- [1] Ramírez-Montoya, M. S. and García-Peñalvo, F. J. La integración efectiva del dispositivo móvil en la educación y en el aprendizaje. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20, 2 (2017), 29-47.
- [2] Fombona, J., Pascual-Sevillana, Á. and González-Videgaray, M. C. M-learning and Augmented Reality: A Review of the Scientific Literature on the WoS Repository. *Comunicar*, 25, 52 (2017), 63-71.
- [3] Häfner, P., Häfner, V. and Ovtcharova, J. Teaching Methodology for Virtual Reality Practical Course in Engineering Education. *Procedia Computer Science*, 25 (2013), 251-260.
- [4] Joo Nagata, J., García-Bermejo Giner, J. R. and Martínez Abad, F. Virtual Heritage of the Territory: Design and Implementation of Educational Resources in Augmented Reality and Mobile Pedestrian Navigation. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, 11, 1 (2016).
- [5] Joo-Nagata, J., Martínez Abad, F., García-Bermejo Giner, J. and García-Peñalvo, F. J. Augmented reality and pedestrian navigation through its implementation in m-learning and e-learning: Evaluation of an educational program in Chile. *Computers & Education*, 111 (2017), 1-17.
- [6] Stadie, A. T., Kockro, R. A., Reisch, R., Tropine, A., Boor, S., Stoeter, P. and Perneczky, A. Virtual reality system for planning minimally invasive neurosurgery. *Technical note. Journal of Neurosurgery*, 108, 2 (2008), 382-394.
- [7] Zyda, M. From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, 38, 9 (2005), 25-32.
- [8] Fonseca Escudero, D., Redondo Domínguez, E. and Valls, F. Motivation and academic improvement using augmented reality for 3D architectural visualization. *Education in the Knowledge Society*, 17, 1 (2016).
- [9] Mollica, M.T., Maunez, J. 2011. Realidad virtual y su aplicación en las aulas universitarias en los EEUU: Éxitos y fracasos. In: *Actas Icono14, Nº 8, II Congreso Internacional Sociedad Digital. Espacios para la Interactividad y la Inmersión. Madrid: Revista ICONO14*; 2011. p. 59-70.
- [10] Bekelis, K., Calnan, D., Simmons, N., MacKenzie, T.A., Kakoulides G. 2017. Effect of an Immersive Preoperative Virtual Reality Experience on Patient Reported Outcomes: A Randomized Controlled Trial. *Ann Surg*. 265, 6, 1068-73. DOI= [10.1097/SLA.0000000000002094](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002094)
- [11] Izard, S.G., Juanes Méndez, J.A., Palomera, P.R. 2017. Virtual Reality Educational Tool for Human Anatomy. *Journal of Medical Systems*, 41, 5, 76. DOI= [10.1007/s10916-017-0723-6](https://doi.org/10.1007/s10916-017-0723-6)
- [12] Chan, S., Conti, F., Salisbury, K., Blevins, N.H. 2013. Virtual reality simulation in neurosurgery: technologies and evolution. *Neurosurgery*. 72, 1, 154-64. DOI= [10.1227/NEU.0b013e3182750d26](https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3182750d26)
- [13] Robison, R.A., Liu, C.Y., Apuzzo, M.L. 2011. Man, mind, and machine: the past and future of virtual reality simulation in neurologic surgery. *World Neurosurg*. 76, 5, 419-30. DOI= [10.1016/j.wneu.2011.07.008](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2011.07.008)
- [14] Wilkerson, W., Avstreich, D., Gruppen, L., Beier, K.P., Woolliscroft, J. 2008. Using immersive simulation for training first responders for mass casualty incidents. *Acad Emerg Med*. 15, 11, 1152-9. DOI= [10.1111/j.1553-2712.2008.00223.x](https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2008.00223.x)
- [15] Yang, Y., Guo, X., Yu, Z., Steiner, K.V., Barner, K.E., Bauer, T.L., Yu, J. 2014. An immersive surgery training system with live streaming capability. *Stud Health Technol Inform*, 196, 479-85. DOI= [10.3233/978-1-61499-375-9-47](https://doi.org/10.3233/978-1-61499-375-9-47)
- [16] Mosadeghi, S., Reid, M.W., Martinez, B., Rosen, B.T., Spiegel, B.M. 2016. Feasibility of an Immersive Virtual Reality Intervention for Hospitalized Patients: An Observational Cohort Study. *JMIR Ment Health*, 3, 2, pp. e28. doi: 10.2196/mental.5801. DOI= [10.2196/mental.5801](https://doi.org/10.2196/mental.5801)
- [17] Kilmon, C.A., Brown, L., Ghosh, S., Mikitiuk, A. 2010. Immersive virtual reality simulations in nursing education. *In Nursing Education Perspectives*, 31, 5, 314-7.
- [18] Silverstein, J.C., Walsh C., Dech, F., Olson, E., Parsad, N; Stevens R. 2008. Multi-parallel open technology to enable collaborative volume visualization: how to create global immersive virtual anatomy classrooms. *Stud Health Technol Inform*. 132, 463-8.

- [19] Ordoñez, J.L., Quintero, C.D., Sarmiento, W.J., Cerón, A. 2011. Visión estereoscópica en sistemas de visualización inmersiva – Ejemplos prácticos. *ITECKNE*. 8, 1, 96-106. DOI= [10.15332/iteckne.v8i1.268](https://doi.org/10.15332/iteckne.v8i1.268)
- [20] García-Peñalvo, F. J. Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar. *Education in the Knowledge Society*, 15, 1 (2014), 4-9.
- [21] García-Peñalvo, F. J. Engineering contributions to a Knowledge Society multicultural perspective. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, 10, 1 (2015), 17-18.

XIII. Anexo IV: Virtual Reality as an Educational and Training Tool for Medicine

Hasta hace muy poco, la Realidad Virtual estaba considerada como una tecnología que estaba muy cerca, pero que todavía era ciencia ficción. Sin embargo, a día de hoy está completamente integrada en muchas áreas de nuestras vidas, desde los videojuegos a diversos casos de uso industriales y, por supuesto, también se está empezando a utilizar en la medicina.

Podemos clasificar los sistemas de Realidad Virtual en dos grandes grupos. Por un lado, nos encontramos con sistemas en los que la visualización del entorno está completamente generada por ordenador, siendo por tanto tridimensional y en los que se puede apreciar que los objetos no son reales, al menos por el momento ya que gracias al continuo avance en cuanto a potencia de renderizado de los ordenadores podremos alcanzar el punto en el que no seamos capaces de distinguir un objeto real de uno creado por ordenador. En segundo lugar, tenemos a sistemas de Realidad Virtual que son capaces de reflejar nuestra realidad con un alto nivel de realismo. Estos sistemas utilizan imágenes o videos esféricos o 360, perdiendo por tanto la capacidad de visualización tridimensional, aunque es cierto que ya empiezan a existir cámaras 360 capaces de grabar imágenes con profundidad, creando por tanto un modelo 3D hiperrealista. Sin embargo, a pesar de perder la sensación de profundidad, se gana en nivel de realismo de las imágenes. Podríamos incluso crear una tercera clasificación, donde fusionamos las dos primeras, empleando tanto modelos 3D virtuales como contenido 360.

En este artículo investigamos estas tres posibilidades mediante el diseño y descripción de dos sistemas, uno de ellos para la visualización interactiva de contenido 360 y otra que permite visualizar contenido 3D fusionado con imágenes 360 y videos reales. Se describen las tecnologías utilizadas para la implementación y las ventajas de cada una. Se analiza cómo estos sistemas pueden mejorar las metodologías utilizadas para la formación médica. Finalmente se discuten las implicaciones de estos desarrollos como herramientas de enseñanza-aprendizaje.



Virtual Reality as an Educational and Training Tool for Medicine

Santiago González Izard^{1,2} · Juan A. Juanes³ · Francisco J. García Peñalvo³ · Jesús M^a Gonçalves Estella³ · M^a José Sánchez Ledesma³ · Pablo Ruisoto^{3,4}

Received: 30 November 2017 / Accepted: 15 January 2018
© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2018

Abstract

Until very recently, we considered Virtual Reality as something that was very close, but it was still science fiction. However, today Virtual Reality is being integrated into many different areas of our lives, from videogames to different industrial use cases and, of course, it is starting to be used in medicine. There are two great general classifications for Virtual Reality. Firstly, we find a Virtual Reality in which we visualize a world completely created by computer, three-dimensional and where we can appreciate that the world we are visualizing is not real, at least for the moment as rendered images are improving very fast. Secondly, there is a Virtual Reality that basically consists of a reflection of our reality. This type of Virtual Reality is created using spherical or 360 images and videos, so we lose three-dimensional visualization capacity (until the 3D cameras are more developed), but on the other hand we gain in terms of realism in the images. We could also mention a third classification that merges the previous two, where virtual elements created by computer coexist with 360 images and videos. In this article we will show two systems that we have developed where each of them can be framed within one of the previous classifications, identifying the technologies used for their implementation as well as the advantages of each one. We will also analyze how these systems can improve the current methodologies used for medical training. The implications of these developments as tools for teaching, learning and training are discussed.

Keywords Virtual reality medical simulator · Stereoscopic vision · Immersive system · Medical training · Virtual training tool · 360 images

Introduction

In this article we will study two very specific Virtual Reality use cases in medicine. On the one hand, we will see an interactive virtual reality simulator for a scoliosis surgical procedure, where the user can carry out the main steps of the operation in a completely virtual way. We will analyze the advantages of this system and the technologies and methodologies used for its implementation.

On the other hand, we will see how spherical recordings (or 360 recordings) can be used to create educational systems where practical vision is a key factor for learning.

The miniaturization and improvement of the processing capacity of computers has caused Virtual Reality to become a feasible technology in our society [1–4]. And it is that the Virtual Reality needs a great capacity of calculation by the devices, in addition to high quality screens that allow us to visualize the images correctly even though the devices are only a few centimeters from our eyes.

To date, technological limitations still do not allow the development of simulations that make the virtual environment of the real environment indistinguishable [5]. However, this system shows the potential of this technology in the medical field. An example is the ability to see through the skin, organs and muscles, making them semitransparent to be able to visualize the complexity of the area to be operated. [6] Another example is the ability to repeat the process as many times as desired. These characteristics would be impossible to obtain in a real environment, so we see that

This article is part of the Topical Collection on *Education & Training*

✉ Santiago González Izard
santiago.gonzalez.izard@gmail.com

¹ ARSOFT, Augmented Reality Software S.L., C/ del Duero 12, Parque Científico, ARSOFT, 37185, Villamayor, Salamanca, Spain

² University of Salamanca, Salamanca, Spain

³ Visual Med Research Group, University of Salamanca, Salamanca, Spain

⁴ European University of Madrid, Madrid, Spain

Fig. 1 Some of VR Google used for the development of our systems



virtual simulations also have their advantages over training and training with real patients.

According to some studies involving 16 surgical residents, those who have been trained using Virtual Reality techniques perform operations 29% faster than those who used traditional techniques, which shows us another example of the potential of Virtual Reality in this field [7]. Medical students and surgical residents will be frequently using VR training simulators.

The spherical virtual environments and 360 degree recordings constitute a new audiovisual dimension that allows the immersion in the recording and the possibility of observing the recorded as if it were physically in that place [8]. If until now the video was a linear material, whose movement and possibility of observation depended exclusively on the angle of capture of the recording, the management of the 360° cameras has been taken one step further, where the viewer can interact directly with the recording and choose at whim to see as if you were physically present at the recording location [9].

At the moment the medical students come as spectators to the surgeries with the objective to familiarize themselves with the environment, to know the mechanics of work, the medical procedure of action. The problem is that the number of students that can enter the operating room is limited, so that students can have this experience a few times [10–15].

Material and method

In both cases, our interactive virtual reality simulator and our system with 360 content, we have used both Cardboard SDK and Gear VR SDK. These are two different technologies that are used to develop Virtual Reality systems. The first one allow developers to create systems for a wide range of different glasses and devices (Fig. 1), while Gear VR SDK, also known as Oculus Mobile SDK, is used to create virtual experiences for Gear VR and Oculus glasses.

Interactive 360 content system

For the 360 content, we recorded a dissection room in 360 degrees to allow the user (medical student in this case), to

observe in a virtual way the most relevant elements available in an anatomical dissection room. We also recorded different operating rooms to create virtual environments, with immersive characteristics, to analyze the most representative elements of an operating room.

We have used special cameras, such as Samsung Gear 360 (Fig. 2) that can record all the environment around the camera, as they have two fisheye lens. Once we have recorded the dissection and operating room, we can not still use these images and videos. First, we have to carry out a stitching process.

In the stitching process we join the two images that we get when we take a picture with a 360 camera to get a 360 image.

We have also recorded a video of a real lung surgery, so the user can visualize the intervention as if he was there.

This program is divided by two different scenes or modules. In the first scene we have a 360 image of an operating room, and we have placed virtual elements near the different machines we can find in an operating room. These virtual elements reacts when the user looks at them, so when the user



Fig. 2 Samsung Gear 360 camera 2017 edition used for capturing 360 images and videos

looks at one of these machines an interactive panel will appear with some information of that machine or tool.

In the second scene the user will be placed in the middle of an operating room during a scoliosis surgery.

For the implementation of this system (and also the simulator) we have used the Unity3D video game engine. This program allows you to create three-dimensional environments and programming interfaces and different behaviors for each of the 3D elements in the scene.

Interactive virtual reality medical simulator

For the virtual simulator of the scoliosis surgery we first got the different 3D models used in the system, such as the 3D models of the different tools or the 3D model of the human body, including musculature, skeleton, ligaments, arteries, veins ... This supposes a more complete view of the patient and its interior, although also requires a greater amount of memory in the Device on which the software is to be run.

The programming language used for the implementation of the system has been C#. The code has been organized following the design pattern MVC (Model View Controller) [13], by which we have organized the different scripts in which the source code is divided into three large groups. The first one, the Model, contains all the scripts that store information and give access to it. In this case it has not been necessary to use database, since they are all static and not store a lot of information. Text, audio, images and videos have been used, so these scripts also provide access to this multimedia content, necessary to contribute or complement the medical explanations offered by the system. On the other hand, we have the Vista, which contains the scripts in charge of displaying the graphical elements on screen to the user.

Results

Interactive 360 content system

In this system, we highlight the most typical elements that can be found in every operating room. So when the user looks at a specific device, the system will show him/her information about that device. It will also be able to show a video that

allows him/her to see how the device must be used or even a spherical video to immerse the user in a real surgery. It is very important to create a virtual experience as realistic as possible, so we took this into consideration while programming the different functionalities. For example, videos will be visualized in the monitors.

As it is difficult to describe these systems only with images, we created a video for our readers about a virtual immersive system developed by us as an example. Follow this link to see the video: <https://youtu.be/IQCSzc7oACA>

Interactive virtual reality medical simulator

On the one hand it has been achieved that anyone is able to understand the operation of the system and use it perfectly after only a few minutes of execution. This is what in software engineering is known as usability (UNE-EN ISO 9241–9:2001), and basically measures how easy is to use the system.

On the other hand, the tool is capable of transmitting to the user what are the steps that must be taken in a lumbar transpedicular fixation procedure, which of course is the main objective. This has been achieved in three different ways:

- 1) Visualization by 3D animations of the tasks that must be carried out.
- 2) Videos of a real surgery for each step of the procedure.
- 3) Interactive simulation in which the user must test what he has learned by performing each step himself.

In the first case, the system teaches the retrosomatic musculature, which includes the emigrated musculature and own musculature, each formed by its own muscles (Fig. 3).

Once the video is visualized (you can avoid playing it), the user must carry out the action he has just seen, in this case perforating a vertebra using the punch (Fig. 4). This drilling will be the one that will later be used to introduce the screw.

Although there are other steps that must follow depending on the evolution of surgery, the previous steps summarize the actions that must be performed in this procedure. However, in the virtual simulation developed we have selected only the main steps (most of them can be seen in Fig. 5), with the aim of creating a more general-oriented experience, which does not have to have any kind of medical knowledge. The

Fig. 3 Retrosomatic musculature is first shown to the user before the surgery

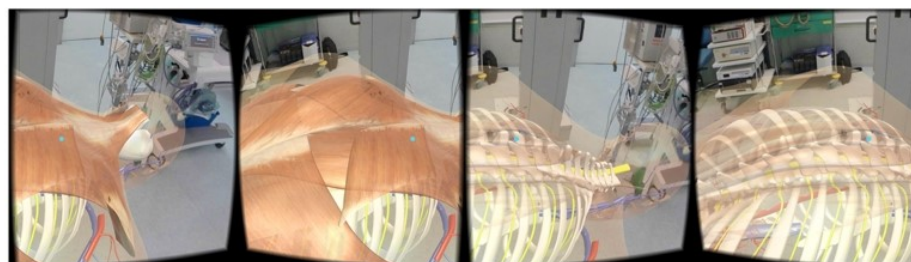
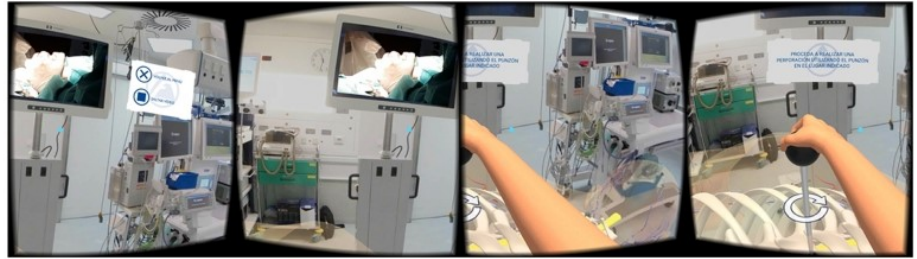


Fig. 4 First step of the interactive simulation visualizing a real video of this step



steps selected were as follows: i) use the punch or estefi's ball to work the way for the screw through the pedicle, ii) attach the screw to the screw locker, iii) fastening the screw through the path previously worked, iv) release the screw, leaving the screw in the polyaxial position, v) repeat steps 1 to 4 for the different screws to be placed, vi) capturing of the bar with the clip holder, vii) fastening the bar onto the screws, viii) attach the closure cap to the holder, ix) fixing the plug on the screw to fix the rod and x) release the cap.

Discussion

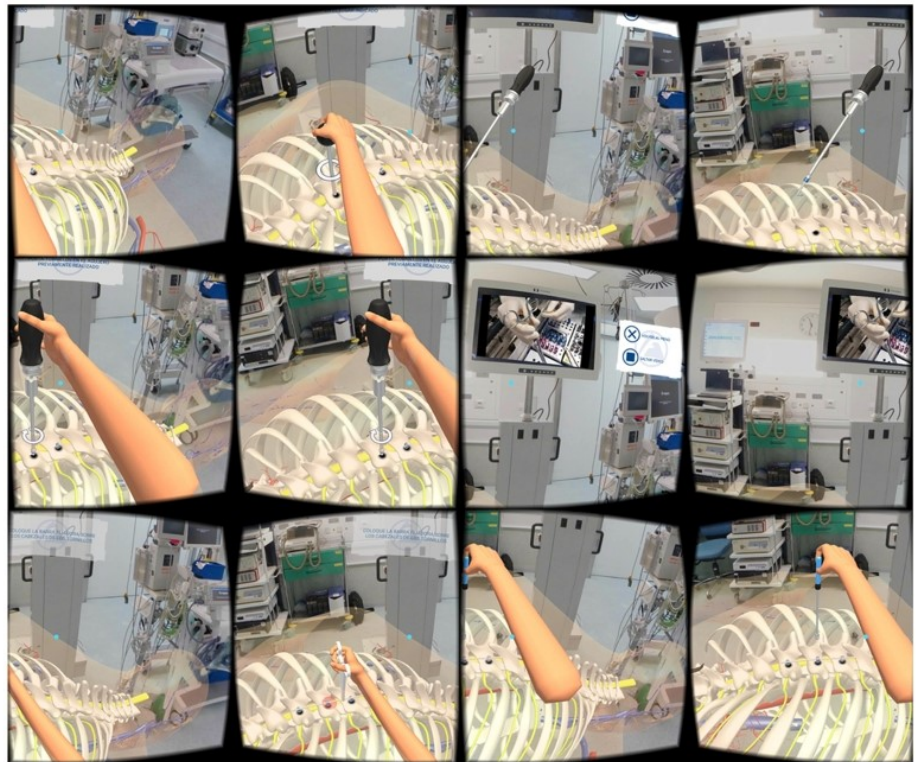
The management of technological devices such as the ones we have used will allow students to manage their knowledge and practical skills, developing new forms of teacher innovation and raising the quality of the academic process.

In the future, we will not only be able to visualize images, videos and virtual environments to form ourselves in different medical environments, but we will also be able to see a live operation directly, and use this technology for remote operations.

This virtual simulator is a first step towards developing more complex and detailed simulations of surgeries. Nevertheless, it is a great example of how interactive simulations with Virtual Reality may help medical professionals to better understand the surgical processes, and serve as a tool to practice in a virtual environment and become familiar with the different tools used.

It is concluded that the system is of great help to know the tools used in a surgery, as well as the most important steps of the procedure. It is also worth noting that medical professionals or students can perform the simulation as many times as they wish, unlike practices with real patients, which, for

Fig. 5 Screenshots of the steps of the procedure



obvious reasons, can only be done a few times. Thanks to this unlimited repetition, it is much easier to automate all the steps that must be performed in a surgical procedure, as well as to remember the points of importance to take into account in each of them.

Compliance with ethical standards

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interests.

Ethical approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

References

- Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., and Stal, M., *Pattern-oriented software architecture. A system of patterns*. Vol. 1. Wiley; New York, USA, 1996.
- Morales-Ávalos, R., Elizondo-Omaña, R.E., Vilchez-Cavazos, F., Martínez-Ponce de León, A.R., Elizondo-Riojas, G., Delgado-Brito, M., Cortés-González, P., Guzmán-Avilán, R.I., Pinales-Razo, R., de la Garza-Castro, O., and Guzmán-López, S., Fijación vertebral por vía transpedicular. Importancia de los estudios anatómicos y de imagen. *Acta Ortop. Mex.* 26(6):402–411, 2012.
- Joo-Nagata, J., Martínez Abad, F., García-Bermejo Giner, J., and García-Peñalvo, F.J., Augmented reality and pedestrian navigation through its implementation in m-learning and e-learning: Evaluation of an educational program in Chile. *Comput. Educ.* 111:1–17, 2017.
- Basdogan, C., Ho, C.H., and Srinivasan, M.A., Virtual environments for medical training: Graphical and haptic simulation of laparoscopic common bile duct exploration. *IEEE/ASME Trans. Mechatron.* 6(3):269–285, 2001.
- Chan, S., Conti, F., Salisbury, K., and Blevins, N.H., Virtual reality simulation in neurosurgery: Technologies and evolution. *Neurosurgery*. 72:A154–A164, 2013.
- Marescaux, J., Clément, J.M., Tassetti, V., Koehl, C., Cotin, S., Russier, Y., Mutter, D., Delingette, H., and Ayache, N., Virtual reality applied to hepatic surgery simulation: the next revolution. *Ann. Surg.* 228(5):627–634, 1998.
- Seymour, N.E., Gallagher, A.G., Roman, S.A., O'Brien, M.K., Bansal, V.K., Andersen, D.K., and Satava, R.M., Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Ann. Surg.* 236(4):458–464, 2002.
- Wilkerson, W., Avstreich, D., Gruppen, L., Beier, K.P., and Woolliscroft, J., Using immersive simulation for training first responders for mass casualty incidents. *Acad. Emerg. Med.* 15(11): 1152–1159, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2008.00223.x>.
- Yang, Y., Guo, X., Yu, Z., Steiner, K.V., Barner, K.E., Bauer, T.L., and Yu, J., An immersive surgery training system with live streaming capability. *Stud. Health Technol. Inform.* 196:479–485, 2014. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-375-9-47>.
- Mosadeghi, S., Reid, M.W., Martinez, B., Rosen, B.T., and Spiegel, B.M., Feasibility of an immersive virtual reality intervention for hospitalized patients: An observational cohort study. *JMIR Ment. Health.* 3(2):e28, 2016. <https://doi.org/10.2196/mental.5801>.
- Kilmon, C.A., Brown, L., Ghosh, S., and Mikitiuk, A., Immersive virtual reality simulations in nursing education. *Nurs. Educ. Perspect.* 31(5):314–317, 2010.
- Silverstein, J.C., Walsh, C., Dech, F., Olson, E., Parsad, N., and Stevens, R., Multi-parallel open technology to enable collaborative volume visualization: How to create global immersive virtual anatomy classrooms. *Stud. Health Technol. Inform.* 132:463–468, 2008.
- Izard, S. G., and Méndez, J. A. J., Virtual reality medical training system. In *Proceedings of the fourth international conference on technological ecosystems for enhancing multiculturality*. 479–485, 2016. <https://doi.org/10.1145/3012430.3012560>
- Ruiz-Parra, A., Ángel-Muller, E., and Guevara, O., La simulación clínica y el aprendizaje virtual. Tecnologías complementarias para la educación médica. *Rev. Fac. Med.* 57:67–79, 2009.
- Becker, A.A., Jones, I.A., Glover, A.T., Benford, S.D., Greenhalgh, C.M., and Vloeberghs, M., A virtual reality surgery simulation of cutting and retraction in neurosurgery with force-feedback. *Comput. Methods Programs Biomed.* 84(1):11–18, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2006.07.006>.

XIV. Anexo V: Virtual Reality Educational Tool for Human Anatomy

La Realidad Virtual se está convirtiendo en una tecnología de amplio uso en muchas áreas diferentes de nuestra sociedad, desde el entretenimiento hasta la industria o la medicina.

Del mismo modo, esta tecnología aporta muchas ventajas a la educación, ya que permite visualizar cualquier objeto o lugar en cualquier momento y de una forma única. Este artículo se centrará en su aplicación para la educación en el campo de la medicina, y más concretamente de la anatomía, donde su uso es especialmente interesante, ya que permite estudiar cualquier estructura anatómica del cuerpo humano situando al usuario en su interior. Por ejemplo, al ofrecer una inmersión virtual en el interior del cráneo humano, las gafas estereoscópicas y el software de visualización inmersiva se convierten en una herramienta muy potente para la educación en las diferentes áreas de las ciencias de la salud.

El objetivo de este estudio es comprobar el potencial de la aplicación de la Realidad Virtual en el campo de la formación, concretamente sobre la anatomía humana. Para ello, se ha implementado una herramienta software inmersiva que se ejecuta en gafas estereoscópicas de bajo coste para ofrecer al usuario una inmersión virtual completa en el interior del cráneo humano, mostrando y explicando las diferentes estructuras anatómicas que lo componen.

En los resultados, se describen las diferentes fosas craneales, que marcan a su vez los diferentes temarios en los que se han dividido las explicaciones del software. Finalmente, se realiza una discusión sobre el uso de la Realidad Virtual como herramienta formativa en anatomía.



Virtual Reality Educational Tool for Human Anatomy

Santiago González Izard¹ · Juan A. Juanes Méndez² · Pablo Ruisoto Palomera^{3,4}

Received: 17 January 2017 / Accepted: 9 March 2017
© Springer Science+Business Media New York 2017

Abstract Virtual Reality is becoming widespread in our society within very different areas, from industry to entertainment. It has many advantages in education as well, since it allows visualizing almost any object or going anywhere in a unique way. We will be focusing on medical education, and more specifically anatomy, where its use is especially interesting because it allows studying any structure of the human body by placing the user inside each one. By allowing virtual immersion in a body structure such as the interior of the cranium, stereoscopic vision goggles make these innovative teaching technologies a powerful tool for training in all areas of health sciences. The aim of this study is to illustrate the teaching potential of applying Virtual Reality in the field of human anatomy, where it can be used as a tool for education in medicine. A Virtual Reality Software was developed as an educational tool. This technological procedure is based

entirely on software which will run in stereoscopic goggles to give users the sensation of being in a virtual environment, clearly showing the different bones and foramina which make up the cranium, and accompanied by audio explanations. Throughout the results the structure of the cranium is described in detailed from both inside and out. Importance of an exhaustive morphological knowledge of cranial fossae is further discussed. Application for the design of microsurgery is also commented.

Keywords Virtual reality · Stereoscopic vision · Immersive system · Medical training · Training virtual tool · Human anatomy

Introduction

Whenever we speak of Virtual Reality, we automatically think of stereoscopic goggles; however, goggles are merely the tip of the iceberg of this technology, since specific software is required in order to enjoy immersive experiences [1–6].

There is a wide range of development tools and programming languages focused on the development of mobile applications. This is also true of Virtual Reality, where there are different development environments orientated towards the implementation of Virtual Reality systems, such as Unreal and Unity. These environments were not created with Virtual Reality in mind, but rather were focused on the development of video games. However, since creating a video game and creating a Virtual Reality experience are very similar tasks, these tools –which are not the only ones– are used for both purposes [7–14].

This article is part of the Topical Collection on *Education & Training*.

✉ Pablo Ruisoto Palomera
ruisoto@usal.es; pablo.ruisoto@universidadeuropea.es

Santiago González Izard
santiago@arsoft-company.com

Juan A. Juanes Méndez
jajm@usal.es

¹ ARSOFT, Salamanca, Spain

² VisualMed System Group, University of Salamanca, Salamanca, Spain

³ VisualMed System Group, Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain

⁴ European University of Madrid, Madrid, Spain

In our work groups we currently have a large number of 3-D anatomical models of the human body, all with excellent quality and an exceptional degree of realism. We have generated a range of 3-D anatomical models of different parts of the human body based on radiological section images obtained through imaging techniques such as computed tomography and MRI. These images use the standard Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) format which, using commercially available medical image processing software, were processed for subsequent handling in computerised technological environments.

Different Virtual Reality technological applications are currently available on the market which moves inside of different parts of the human body using stereoscopic vision systems with 3-D goggles. Many of these developments use video recorded in 360° which is then displayed with Virtual Reality goggles. These videos cannot be viewed in a normal way, since the images are distorted. A Virtual Reality display places video images inside a sphere, with the camera located in the centre, moving in line with the movements users make with their head [8, 11, 12, 14]. The problem with 360° videos is that the user does not really get a three-dimensional vision of the bones with a sense of depth, so they can not appreciate them as if they were real.

The aim of this study is to illustrate the teaching potential of applying Virtual Reality in the field of human anatomy, where it can be used as a tool for education in medicine.

The difference between our development and other procedures are the following: we provide the possibility of interaction in order to take decisions on which explanations we wish to display within the virtual environment, all the experience is in 3-D and we provide interactive educational tools, where the user has to assemble a skull with the different bones, by moving his/her own hands and applying his/her knowledge. In the future, this ability to interact will make it possible to simulate

surgical interventions, allowing the student or doctor to train in a virtual environment and carry out a simulated procedure without using a real body.

Material and methods

Our application is developed for most of the different goggles we can find in the market: Samsung Gear VR, Oculus Rift or Cardboard. Cardboard is a Virtual Reality platform developed by Google that allow users to use most of the current smartphones to experience Virtual Reality, without having to spend too much money, as they are available in the market for less than five euros.

For the first time in history, we find ourselves in the perfect scenario for the proliferation of Virtual Reality systems in our society since headsets can be acquired at a very low cost [16], being widely accessible.

Our 3-D model of the cranium was developed using an Asteion computed tomography, by Toshiba Medical Systems, of Complejo Hospitalario Universitario de Salamanca, following the protocol for study of the cranium: one in anteroposterior projection and one in lateral position.

The DICOM raw data files provided by the equipment were used to reconstruct a volume which was saved in format ANALYZE 7.5.

An algorithm known as marching cubes was then applied, obtaining a triangular mesh model of the surface of each of these cranial structures. Given the high resolution of the images, the mesh was simplified and smoothed, obtaining polygonal models which could then be edited more easily.

The whole 3-D model of the cranium was generated by the composition of the images of each of the cuts made by way of computed tomography.

Fig. 1 Main menu interface



When the 3D model was generated, we began programming the virtual experience. For this purpose, the Unity3D video game engine was used, providing a programming environment that provided a series of tools and functions that helped programmers design virtual experiences in both 2D and 3D.

In addition to programming all the animations, camera movements, modifications in the materials of each bone structure, among others, it was necessary to also implement the interfaces that allow users or students to navigate through the different options offered by the system. The main menu (Fig. 1) offers users the following options:

- Guided Tour: Guided tour through the exterior and interior of the human skull.
- Evaluation test: The evaluation test places the user inside the skull and asks a series of questions, responding to each one by identifying the correct bone.
- Vault assembly: Assembling the bones of the upper part of the skull using an interactive simulation.
- Base assembly: Assembling the bones of the lower part of the skull.

Furthermore, the project we developed includes two different simulation sections. In these two sections, the user or student must assemble the skull with their own hands. In the first section, they have to assemble the upper part of the skull, choosing its different bone structures and putting them in the right place. In the second section, they must assemble the skull base that makes up the different cranial fossae.

The user can also choose between the two different difficulty levels. In the easiest one, the user will see green

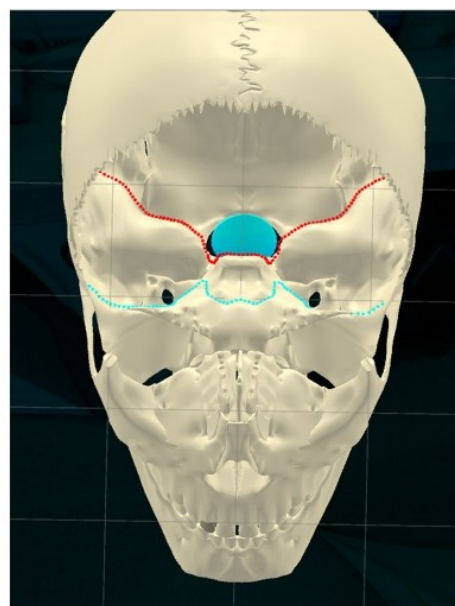


Fig. 3 Foramen magnum with cranial fossae delimitations marked with virtual animations we can see during the virtual experience

anchor points that show how each bone should fit into the skull. In the more complex one, the user will not have any indication or help.

In order to design this interactive simulation experience, it is crucial to recognize the movement of the user's hand, so we programmed an application that allows to turn any Android device into a Virtual Reality command. This way, the user holds the cell phone with the hand and the Virtual Reality system recognizes the movements and emulates them at the same time in the virtual environment.



Fig. 2 Using the remote control for interaction

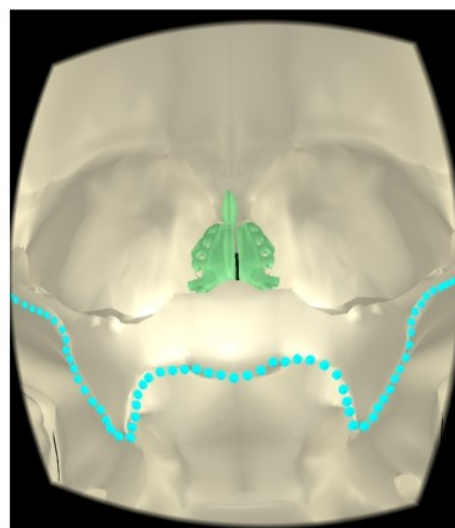


Fig. 4 Vision of the anterior cerebral fossae focused on the stmoide bone in its medial part

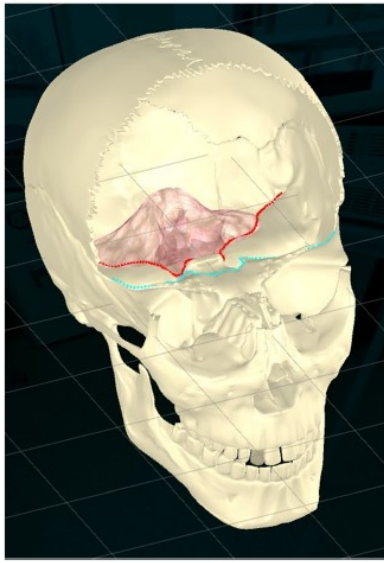
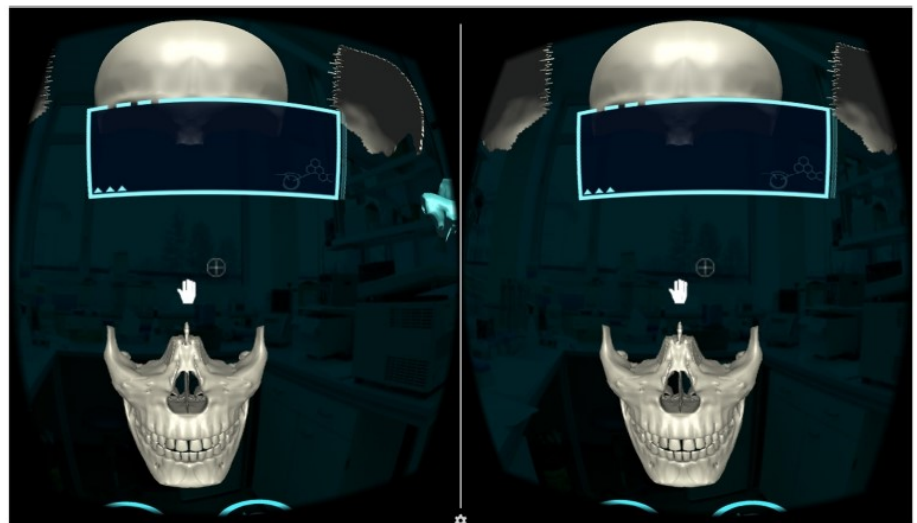


Fig. 5 Posterior cranial fossae with cerebellum

Recognizing the user's movements can be done with different devices, such as Leap Motion, which uses infrared technology to detect the user's hands and movements. However, the objective of this project is that anybody can use it, without spending a lot. That is why we have turned any smartphone into a remote (Fig. 2), since everyone has one, or even several. Therefore, with a simple stereoscopic headset, a smartphone, and another smartphone, which can be older, we will have all the necessary elements to enjoy the Virtual Reality experience of the skull's anatomical structures and the interactive simulation.

Every time the user places a bone, an explanation is given for it. All the explanations have both audio and text so people with hearing disabilities can also enjoy this simulation experience.

Fig. 6 Interactive simulation experience



The C# programming language, which is an object oriented language developed by Microsoft, was used for programming all the scripts implemented to create the virtual and interactive experience of the simulation. This language is available for programming in Unity3D, the source code is well-organized and easy to understand.

Results

When entering the cranium through the large hole of the occipital bone (foramen magnum), it can be seen that its base is staggered over three levels called cranial fossae: the posterior cranial fossa, the middle cranial fossa, and the anterior cranial fossa (Fig. 3).

Are delimited by two boundary lines (Fig. 3), an anterior one and a posterior one. The first, the anterior, is the prolongation of the anterior clinoid apophysis of the lesser wings of the sphenoid through to the side of the cranium, starting in the prechiasmatic sulcus. The second line, the posterior limiter, extends from the upper edge of the petrous part of the temporal bone to the back of the sphenoid sella.

The **Anterior Cranial Fossa**: made up of the Frontal, Ethmoid (Fig. 4) and Sphenoid bones, specifically the lesser wings and body part of this unpaired medial bone of the base of the cranium. It contains the frontal lobes and is the smallest fossa.

The **Middle Cranial Fossa**: goes from the lesser wings of the sphenoid to the upper edge of the petrous part of the temporal bone, contains the sella turcica (where the hypophysis is found). The following orifices are particularly visible in this fossa: optic foramen, optic nerve, superior orbital fissure, greater foramen rotundum, foramen ovale, foramen spinosum, anterior foramen lacerum. All of these orifices are correctly marked with different animations.

The **Posterior Cranial Fossa**: starts posterior to the superior edge of the petrous part of the temporal bone, the posterior clinoid apophysis and the quadrilateral plate of the sphenoid. It is formed in a large proportion by the basilar, lateral and flaky parts of the occipital bone.

It is the largest and deepest of the three cranial fossa and houses the cerebellum, at the trunk of the brain (Fig. 5).

In the interactive simulation we designed for this virtual experience, the user will be able to see the different bone structures of the skull separated and located around it.

Since the 3D model was created by separating the meshes of the different bone structures, they were placed facing the camera. To achieve the most realistic experience possible, it is necessary to apply a material to each bone, which includes a color that reminds the user of the appearance of a real skull. It is also important to study the lighting environment that must be created so that different shapes and cavities can be properly seen.

The user has to go to the cranial vault where they will see the bones of that part separated and the base of the skull in the middle. They will then grab a bone and place it where it belongs. For this, a smartphone with our application installed will be used to detect the movements to place the bone properly.

To pick up a bone, simply put the virtual hand on top of the bone (Fig. 6) and press the screen of the smartphone you are using as a remote. When you want to let go of the bone in the right place, stop pressing the screen of the smartphone used as a remote control. The user experience is pleasant and very simple, intuitively they learn to manage the system in just a few seconds. This was very important during the design, considered a high priority element.

Conclusions

One of the most interesting aspects of the Virtual Reality technique is that it can be manipulated and users can interact with the generated virtual environment [1, 9, 12–15]. In consequence, we can not only visualise a virtual world—in our case a cranium and its constituent parts—but can also manipulate it in order to simulate a specific surgical intervention. The virtual cranium will behave like an actual cranium throughout the operation, whilst the user will manipulate it in a highly realistic manner through the movement of his or her hands. The aim is to simulate an operation in the most realistic way possible.

To achieve this, we use remote control devices which transmit information on the movements made by the user to the goggles, which in turn interpret these data and display them so the user can see his or her own hands moving and carrying out the operation in the virtual environment.

Although several technical aspects are still outstanding in order to ensure complete presence for our brain (such as eliminating certain physical discomforts related to the use of these VR goggles), we firmly believe that this type of technological

spatial vision resource will undoubtedly contribute to improving medical training processes. More recently, new hardware elements such as gloves have started to appear, which can be used to interpret the movements not only of the hand but also of each of the individual fingers. This aspect will undoubtedly improve the user experience and make the simulation even more authentic and realistic.

We believe that a carefully designed visual experience such as the one we have developed can help users (students) to have a sense of control over the environment—however fictitious—and facilitate learning and training processes in the medical sphere.

This undoubtedly represents the future for training in medicine. However, this system will not be limited to just training, since it will be used by surgeons to carry out pre-surgery studies and even go through a complete simulation of the intervention, making it possible to accurately and safely predict possible problems which may appear during surgery. We therefore conclude this work by indicating that the use of these stereoscopic vision technologies in medical training facilities and helps improve training in clinical and surgical skills.

Acknowledgements This project was possible thanks to the help of the ARSOFT company members, specialized in the implementation of advanced Virtual Reality systems. We also want to highlight the contribution of the research group VisualMed System, from the University of Salamanca for its active participation in the creation of the contents of the project as well as in the generation of the 3D skull model from the radiological images.

Compliance with Ethical Standards All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Conflict of Interest The author declare that they have no conflicts of interest.

References

1. Henn JS, Lemole GM, Jr, Ferreira MA, Gonzalez LF, Schomak M, Preul MC and Spetzler R (2002) Interactive stereoscopic virtual reality: A new tool for neurosurgical education: Technical note. *J. Neurosurg.* 96:144–149.
2. Quintero, C., Samiento, W.J., and Sierra-Ballén, E.L., Diseño de un prototipo de Sistema de Realidad Virtual Inmersivo Simplificado. *En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina.* 18:35–50, 2008.
3. Kuntze MF, Stoermer R and Mager R (200) Immersive virtual environments in cues exposure. *Cyberpsychology and Behavior* 4: 497–501.
4. Van Dam, A., Laidlaw, D.H., and Simpson, R.M., Experiments in immersive virtual reality for scientific visualization. *Comput. Graph.* 26:535–555, 2002.

5. Häfner, P., Häfner, V., and Ovtcharova, J., Teaching methodology for virtual reality practical course in engineering education. *Procedia - Procedia Comput. Sci.* 25:251–260, 2013.
6. Sauter, P.M., VR2Go a new method for virtual reality development. *En: ACM SIGGRAPH Comput. Graph.* 37(1):19–24, 2003.
7. Nichols, S., and Patel, H., Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence. *Appl. Ergon.* 33:251–271, 2002.
8. Burdea, G., and Coiffet, P., Virtual reality technology. *Presence Teleop. Virt.* 12:663–664, 2003.
9. Kizony, R., and Katz, N., Adapting an immersive virtual reality system for rehabilitation. *J. Vis. Comput. Animat.* 14:261–268, 2003.
10. Johnsen, K., Dickerson, R., Raij, A., Lok, B., Jackson, J., Shin, M., and Lind, D. S., Experiences in using immersive virtual characters to educate medical communication skills. In *Virtual Reality*, In Proceedings IEEE. 179–186, 2005.
11. Psotka, J., Immersive training systems: Virtual reality and education and training. *Instr. Sci.* 23:405–431, 1995.
12. Kilteni, K., Nomand, J.M., Sanchez-Vives, M.V., and Slater, M., Extending body space in immersive virtual reality: A very long arm illusion. *PLoS One.* 7:40867, 2012.
13. Chan, S., Conti, F., Salisbury, K., and Blevins, N.H., Virtual reality simulation in neurosurgery: Technologies and evolution. *Neurosurgery.* 72:154–164, 2013.
14. Stadie, A.T., Kockro, R.A., Reisch, R., Tropine, A., Boor, S., Stoeter, P., and Perneczky, A., Virtual reality system for planning minimally invasive neurosurgery. *J. Neurosurg.* 108:382–394, 2008.
15. Coleman, J., Nduka, C.C., and Darzi, A., Virtual reality and laparoscopic surgery. *Br. J. Surg.* 81:1709–1711, 1994.
16. Aman, S.M., Low cost virtual reality for medical training. *IEEE Xplore Virtual Reality*, 2015.

XV. Anexo VI: NextMed, How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality

Las Tomografías Computarizadas (TC) y las Resonancias Magnéticas (RM) son utilizadas para entender las enfermedades, por lo que toda nueva tecnología que permita facilitar el estudio de estas imágenes pueden ayudar a los profesionales médicos a alcanzar un diagnóstico.

Actualmente, existen diferentes sistemas que permiten crear y visualizar los resultados de uno de estos escáneres como un modelo 3D, sin embargo, no se utilizan las últimas tecnologías de visualización 3D.

Como resultado de esta investigación, se ha desarrollado un software para visualizar modelos 3D creados partiendo de imágenes DICOM obtenidas de TC y RM. Este sistema de visualización con Realidad Aumentada y Realidad Virtual no sólo permite a los doctores visualizar los modelos 3D, sino también manipularlos para, por ejemplo, crear una sección y estudiar su interior para realizar una planificación prequirúrgica.

El sistema está completamente preparado para su integración en actividad diaria de doctores, radiólogos y otros profesionales médicos, ya que incluye la implementación de una plataforma cloud y un sistema de visualización 3D para manipular fácilmente los modelos 3D generados.

NextMed: How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality

Santiago González Izard
ARSOFT

Calle del Duero 12, 37185, Villamayor,
Science Park. University of Salamanca,
ARSOFT
santiago@arsoft-company.com

Juan A. Juanes Méndez
VisualMed System Group,
University of Salamanca
Salamanca, Spain
jajm@usal.es

Pablo Ruisoto
VisualMed System Group,
University of Salamanca
Salamanca, Spain
ruisoto@usal.es

Francisco José García-Peñalvo
GRIAL Research Group, Research Institute for Educational Research
University of Salamanca
Salamanca, Spain
fgarcia@usal.es

ABSTRACT

CT and MR scans are used to understand diseases, so every new technology that makes it easier to study the results of these scans can help doctors reach a diagnosis. Nowadays, there are several systems that are able to create and visualize the scan results as a 3D model, however the latest technologies for 3D visualization are not being used yet. We have designed a software to visualize the 3D models created using DICOM images from CT and MR scan results. This Augmented and Virtual Reality system not only allows doctors to visualize the 3D models, but also to manipulate them in order to, for example, cut them and study the inside to plan a surgical approach. The system is fully prepared for the integration in the daily activity of doctors and radiologists, including a cloud platform and the visualization system to easily manipulate the 3D models generated.

CCS CONCEPTS

- Software and its engineering → **Software creation and management** → Software development techniques;
- Applied computing → Life and medical sciences → **Health informatics**;
- Human-centered computing → **Human computer interaction (HCI)** → Interaction devices;

KEYWORDS

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.

TEEM'18, October 24-26, 2018, Salamanca, Spain
© 2018 ACM. ISBN 978-1-4503-6518-5...\$15.00
<http://dx.doi.org/10.1145/3284179.3284247>

virtual reality, augmented reality, DICOM images, 3D medical visualization.

ACM Reference format:

S. González Izard, J. A. Juanes Méndez, P. Ruisoto and F. J. García-Peñalvo. 2018. NextMed, a system to allow doctors to easily visualize radiological results in 3D with Augmented and Virtual Reality. In *Proceedings of the 6th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2018) (Salamanca, Spain, October 24-26, 2018)*, F. J. García-Peñalvo Ed. ACM, New York, NY, USA, 8 pages. <https://doi.org/10.1145/3284179.3284247>

1 INTRODUCTION

Radiological studies are undoubtedly one of the most important resources when diagnosing different clinical pathologies, used in different medical specialties. Among the different types of diagnostic imaging procedures, we highlight the Computerized Tomography (CT), which generates images from the inside of the human body. The ability the CT has to visualize, diagnose and study has made it widely used for decades [1]. Only in the year 2007, in the United States, 72 million CT scans were performed [2]. This data gives us an idea of the importance it has in clinical diagnosis in today's society. Another radiological technique of great morphological interest is the Magnetic Resonance (MR). Unlike the CT, it uses magnetic fields to obtain images, avoiding the use of radiation inherent in x-rays.

Although one of the main advantages of these studies is their ability to generate three-dimensional images, it is difficult to work efficiently with them, so 2D images are still generally used for diagnostic studies [3]. An example of the limitation when working with 3D results using current techniques is that they only allow visualizing the surface, while in many cases the interest focuses on the inside. Currently, radiologists use workstations to see the results using three-dimensional visualization. These are some of the features that these devices offer: ability to make precise 3D measurements; isolate anatomical structures such as arteries or

bones and visualize them in any spatial position; analyze with three simultaneous planes (axial, coronal and sagittal), among others. However, all visualization and interaction with the 3D anatomical model is carried out using the workstation. The techniques and technologies used by the workstation for these tasks have become outdated, making it necessary to incorporate more innovative ones like Augmented or Virtual Reality.

The possibility of studying an organ or any other anatomical structure such as bones, tracts, organs, etc., without having to imagine its volume and shape, will undoubtedly provide a valuable advantage not only for a more efficient clinical diagnosis, but also to be able to carry out possible surgical planning in a completely non-invasive way, since it will be done virtually.

The 3D virtual studies modify up to 65% of the cases in surgical planning, increasing the surgeon's confidence in 40% of the cases and is perfectly correlated with the anatomy found during surgery in 95% of the cases. In addition, it improves the understanding of the results and new findings in 66% of the cases [4].

Virtual Reality (VR) represents 12% of the current healthcare projects in Spain, according to the VR Report in Spain developed by the App Data. The training of healthcare professionals, patient rehabilitation and treatment of psychological disorders, are some of the main uses of VR applied to health. According to all experts, health will become, after videogames, the area where the application of VR will grow the most in the coming years. A Goldman Sachs study foresees that in 9 years Virtual Reality in healthcare will generate around 5,100 million dollars in benefits.

In our article, we present a work project called NextMed, the first advanced version of a technological system whose main goal is allowing radiology professionals to work with 3D images, using Virtual and Augmented Reality technologies. A radiologist can therefore be able to visualize any anatomical structure of the patient on the table, as well as manipulate and analyze them in 3D as if they were real. In this study, we describe the features our technological system offers and the different subsystems we have implemented in the technical procedure developed.

The tools currently available in radiodiagnosis services have many deficiencies in their features. Our NextMed project, still in initial stages, aims to replace this gap in the near future and transfer Augmented and Virtual Reality to medical practice beyond the scope of training, where these technologies are being widely studied as an educational resource with satisfactory results [5-7]. Nevertheless, there are projects in which Augmented Reality has been used as support for surgeries [8]. These encompass specific actions, while the NextMed project seeks the incorporation of these technologies in a generalized manner, without the need to adapt the system for every case.

In this initial stage of the project, the 3D models are generated using commercial programs with open code, importing DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) format images, segmenting the morphological areas or structures that are going to be included in the 3D model, and finally exporting the mesh in a 3D model format recognized by the system: File FBX (Filmbox),

the binary format 3ds and the Wavefront 3D Object (OBJ) format. The next milestone of the project includes the generation of an advanced vision algorithm capable of automatically segmenting and exporting the 3D model from the desired anatomical part.

Related articles about how Augmented and Virtual Reality technologies can be used for medicine have been written by the same principal author [5,9,10].

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Hardware

To develop the system, we used the following hardware, although it should be noted that the systems are compatible with a larger set of devices:

- Samsung Gear VR Glasses: the glasses used offer a wide vision angle of 101° and the necessary sensors to program the Virtual Reality experience: accelerometer and gyroscope, as well as a proximity sensor. These glasses use biconvex lenses for the stereoscopic technique to create a sense of depth in the images. The glasses do not have their own screen, unlike other models such as the Oculus GO.
- Samsung Galaxy S6, S7, Galaxy Tab S2, and Nexus: these are some of the mobile devices used for the Augmented Reality system, in addition to including the Virtual Reality glasses in the first two cases. The lack of screen in the Gear VR Glasses is replaced by the latest Smartphone, which in our case has been the Samsung Galaxy S6 and S7 models. They incorporate a screen with a resolution of 1440x2560 pixels and 557 pixels per inch or PPI, allowing an efficient visualization where pixels are not perceived with the naked eye. By working with the Oculus SDK and Unity3D, the adaptation of the system is facilitated for new models of Virtual Reality glasses, adjusting accordingly to the constant evolution of the hardware.
- Gear VR Controller: it is remote distributed together with the VR Gear, with sensors to recognize user movement when rotating in the three axes.
- Leap Motion: there are several technologies with spatial information in three dimensions, required to detect and understand hand movement and distance variation. An example is the Kinect device, with a 3D plot mesh obtained from high resolution in depth images, analyzing the mesh modification to get information regarding distance, being able to detect the gestures made. In the case of Leap Motion, an area with infrared light is illuminated, so that when an object, such as our hands, is in that area, part of the light is reflected and then picked up by the device sensors. The information obtained is transferred to the driver installed on the computer as a pixel matrix, where each position of the matrix does not represent a color, but rather a luminous

NextMed: How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

intensity value. These data are interpreted and a mathematical model capable of interpreting the values is used to recreate the hands. Finally, due to the binocular vision, stereoscopic vision techniques are used to determine the position of the hands in space. Thanks to the separation of the two device cameras, we get two images with a small disparity, having the coordinates displayed in space for every matrix dot [11-13].

2.2 Obtaining radiological images and 3D models

To visualize and study the radiological results using the different systems of the NextMed project, the first thing you need to do is create the 3D model from these results.

The radiological images used have to be implemented and selected from a computer system to be digitally filed using PACS (Picture Archiving and Communication System). These images are transmitted to the radiology workstations (CT, MR, etc.), associated to a system that controls all the radiodiagnosis service, known as RIS (Radiology Information System).

The most recent tomographs can export the information obtained in different formats, among them DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) is the most used, standard when sharing medical images.

This format can only be used to visualize images in workstations with qualified personnel only. However, nowadays we have different tools available capable of importing DICOM images and generating a 3D recreation from them. Some of the programs we have used are OsiriX, 3D Slicer, Amira or MRICron. These programs segment the 3D model with the objective of exclusively isolating the anatomical region of interest [14]. One of the programs used was 3D Slicer: *The breadth of functionality, extensibility, portability across platforms and non-restrictive software license are some of the main features that differentiate Slicer from the commercial and open source software tools and workstations that aim to cover similar aspects of functionality* [15].

Segmentation is a process through which the images or 3D models are divided into different sections. Each one has a series of pixels (in one image) or voxels (in a 3D model) that are homogenous with respect to a characteristic such as intensity or texture. Subsequently, each of these sets makes up an anatomical region of interest.

Once the segmentation of the region of interest is done, we get a 3D mesh that represents a volumetric vision of the data provided by the sets of cuts. Nevertheless, the Marching Cubes algorithm has to be used to obtain a polygon 3D mesh. This algorithm softens the model, with a simpler mesh and a smaller file, easily rendered by the system [16]. This mesh will then be exported into one of the following 3D model formats: FBX, 3DS or OBJ. We need Marching Cubes algorithm as the hardware is not able to render a 3D model properly if it has too many polygons in its mesh. As the

3D mesh created is too heavy, we used this technique to create a simpler mesh.

The web service we will implement in next versions creates a database from the resulting file that the NextMed system efficiently imports during runtime into a Unity3D format: AssetBundle. AssetBundle represents an object which can include any type of object at the same time, and can be imported during runtime by a system developed with Unity3D. There will be an interface for loading 3D models to the NextMed server, responsible for converting the files loaded to AssetBundle during runtime using a script that we implemented. This script includes a set of commands that execute Unity3D through a command line to create the AssetBundle during runtime.

2.3. Program design and implementation

To explain the resources used to develop the NextMed project, it is important to understand, first of all, that the project has three subprojects: An Augmented Reality system developed for Android and iOS devices, a Virtual Reality system for Oculus and Gear VR devices and a Desktop system for Windows, Linux and Mac OS X operating systems. The objective of implementing the three different subsystems has been to take advantage of the benefits of each technology on which they are based.

In the three cases, we used the Unity3D graphics engine (fig. 1) to program the system, which has the advantage of being multiplatform and integrating itself with many SDKs (Software Development Kits), both in Augmented and Virtual Reality, in addition to allowing the integration of hardware like Leap Motion.

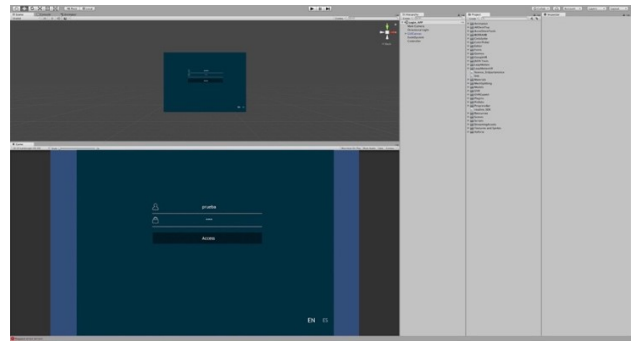


Figure 1. Unity3D Interface

So, we have created three different software projects, where much of the source code is shared, but there are some differences between them. These differences are focused on how the user interacts with the system, so we implemented different scripts for each one, using different technologies: Vuforia as the SDK for Augmented Reality, Google VR as SDK for Virtual Reality and Leap Motion SDK as the interaction system for the PC version of NextMed.

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

S. González Izard et al.

3D model sections

The source code used to cut the 3D model and thus allow studying its inside, performs complex mathematical operations by modifying the voxel matrix of the 3D model to create two sub-models, each with its corresponding matrices. A voxel is the minimum unit that makes up a three-dimensional object, just as a pixel is to a two-dimensional image. It is therefore a concept generally used in the virtual world and in 3D.

To make the cut, the user draws a line marking the area on which to act. The system then creates a 2D plane perpendicular to that line and including the position of the camera at that moment in the 3D space (the camera identifies the point from the perspective of the user), so that a 3D model mesh plane intersection with different dots is created.

Execution of intensive calculations

This task, like all those that involve a high number of calculations, is performed in a coroutine, so that the execution of the system is not paralyzed. In Unity, each script has a method that runs in each frame. If the intensive calculation tasks are executed using this method, the next frame will not be displayed until this calculation finishes. However, if these calculations are executed in a coroutine, new frames can be displayed without being completed, thus preventing the user from having the feeling that the system has been paralyzed.

Architecture

All the scripts (more than 100) have been programmed in C# language, organizing the source code according to the MVC (Model View Controller) pattern, represented in figure 2, key to having control of the code since it is a project of great importance.

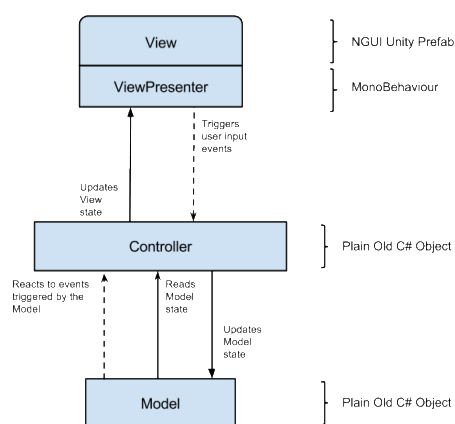


Figure 2. Features of one image selected as marker

The image or images that want to be used as markers in the Target Manager Vuforia Platform are then uploaded. This platform extracts the features from the image based on the color differences. This is the reason why the images used as markers

must include objects or shapes in different colors. We can see these features in figure 3.

During the program execution, Vuforia SDK detects and tracks the features that are found in each frame obtained from the camera and compares them with those stored in our generated target resource database.

Once the system knows where the marker is and the perspective of the camera, the SDK calculates how the 3D model must be visualized. Therefore, if we change the perspective of the camera we see a different image of the 3D model. This is done in every frame, so the hardware requirements are restrictive if we want to get a good Augmented Reality experience.

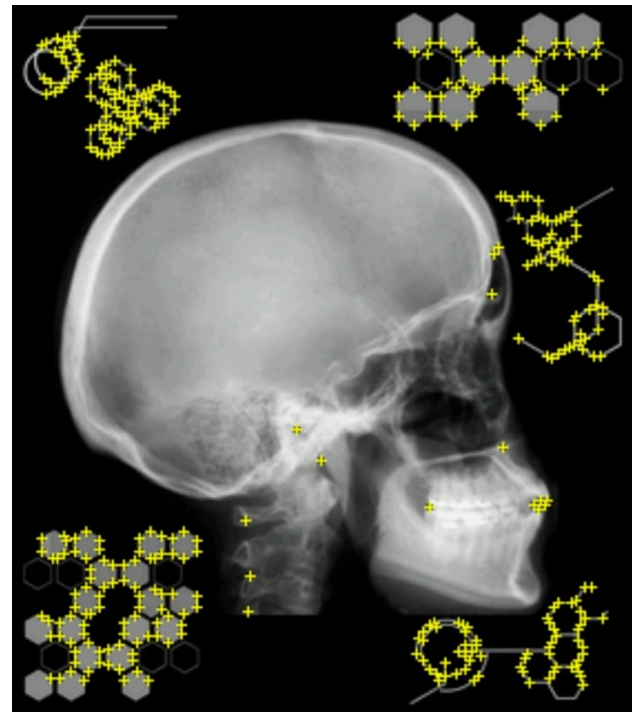


Figure 3. Features of one image selected as marker

Virtual Reality system

The Virtual Reality system is executed using devices and Oculus Virtual Reality glasses, including Samsung Gear VR, Oculus Rift and Oculus GO. The advantage of Virtual Reality is the ability to visualize the inside of anatomical structures, as demonstrated in the "Virtual Reality Medical Training System" study in 2016 [5].

Interaction with the immersive virtual environment

For the user interaction with the system, we used Samsung's Gear VR Controller remote, compatible with the previous glasses. It includes an accelerometer, gyroscope and magnetic sensor to recognize the user's hand movement, understanding sensor data.

NextMed: How to enhance 3D radiological images with
Augmented and Virtual Reality

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

To program user interaction with the virtual environment, we used the sensors included in the glasses themselves on the one hand, and on the other the Gear VR Controller remote. To interact with the system's graphical interface, the data from the user's head movement is gathered. The user just has to look towards the button or option that they want to select. The remote, however, is used to interact with the 3D model, especially to make cuts. In both cases, the Oculus SDK we used provides a source code to program these interactions at a higher level.

Initially, we used a smartphone with an accelerometer and gyroscope as controllers in cases where there was no specific controller. We hence developed an Android native application to get the orientation data from the device sensors and know where the hand was pointing, sending this information regularly to the main application, with a plugin to gather and interpret it.

It was necessary to implement a native Android application to gather the data from the different sensors and provide information on the device's orientation: accelerometer, gyroscope and magnetometer. Through the Android API we accessed a variable that merged the information from every sensor to have a stable measurement of the orientation with a short response time. This measurement was sent to the Virtual Reality glasses (or smartphone included in them) by Bluetooth, where another application we developed collected the data.

This other native application, which we integrated as a plugin within the Virtual Reality system, included a Bluetooth communication module to communicate with the issuing application, responsible for collecting and sending the sensor data from the Smartphone, which we converted into a Virtual Reality command. Once the information was received, it was sent to a Script C# of the VR application responsible for interpreting the data to move the virtual hand according to this interpretation.

Desktop system

The desktop system is used for cases where there is no mobile device or Virtual Reality glasses. The distinctive feature of this system is the way it interacts with the user using Leap Motion (fig. 4). This device uses infrared light to recognize the user's hand movement in the air. The aim is to use new technologies to interact with the 3D model in an innovative way and allow the practitioner to handle it more realistically.

Leap Motion provides an SDK for Unity3D that facilitates gesture recognition, so it is not necessary to interpret the intensity value matrix. On the other hand, the SDK informs of certain gestures made by the user: making a circle in the air with the hand (CircleGesture), linear hand movement in an axis (SwipeGesture), linear finger movement in the YZ axes (KeyTapGesture) and a linear finger movement in the X axis (ScreenTapGesture). With this information, we programmed a script so the user, with gestures, can select the option that is going to be carried out on the 3D model: rotate, scale, cut...

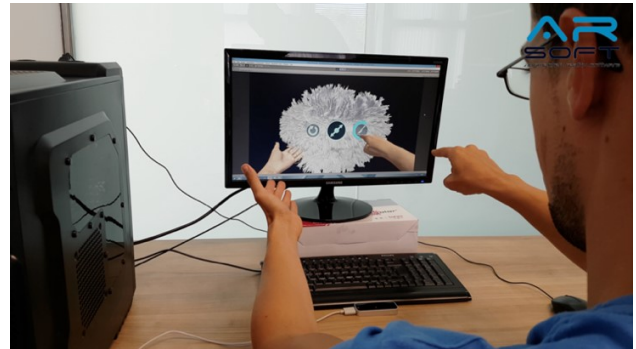


Figure 4. Using Leap Motion to manipulate the 3D model

Cloud services

NextMed needs a server to save all data, allowing the doctors to access their patients' information from everywhere and using any device. We have deployed our own server, and implemented Web Services using both SOAP and REST standards. These Web Services are the connection point between the doctor's devices and the data saved to the cloud.

3 RESULTS

The three systems implemented offer the user the same features with different options to manipulate the 3D model, taking advantage of the Augmented Reality benefits on the one hand, and the Virtual Reality or the PC with gesture recognition on the other.

In this first NextMed version, the main objective is to offer the doctor the possibility of visualizing the model taking advantage of the 3D. In this version, the 3D models are generated using commercial and open source programs to import DICOM images, segment the areas that are going to be included in the 3D model and finally export the mesh in a 3D model format supported by the systems FBX, 3ds and OBJ.

The first thing that the user must do, usually a doctor, is to sign in with their credentials to access the system. The doctor will then be able to consult the entire patient list of which there is at least one generated 3D model. Since all the data is stored in a cloud platform, it can be accessed from devices anywhere in the world.

When a patient is selected, the models are displayed and the doctor can consult all the 3D models generated for that patient, being able to see them with Augmented Reality (not available in the version for glasses) or Virtual Reality. As in the previous case, a search field is available to easily find the desired 3D model. In addition, you can see the images created from that 3D model and the comments made (fig. 5).

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

S. González Izard et al.

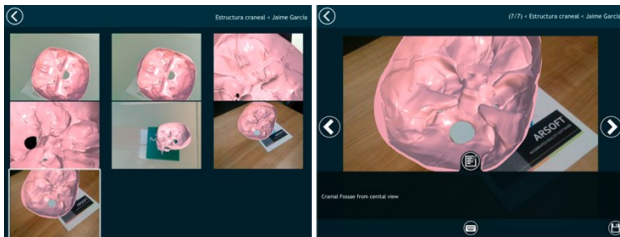


Figure 5. Images taken from a 3D model with doctor's comments

"The doctor will be able to study the 3D recreation using the following technologies:

- Augmented Reality: visualize the 3D model on a real scale table as if it had been printed in 3D (fig. 6).
- Virtual Reality with and without glasses: Virtual Reality provides a complete immersion to study the 3D model without distractions, with the possibility of going inside.
- On a PC with manipulation through gesture recognition: the doctor can see the 3D model on the computer by manipulating it with the Leap Motion gesture recognition device. "This device offers, once the learning curve is overcome, a fast and efficient interaction ability to rotate, scale or cut the 3D model.

Among the different features included, the doctor is allowed to scale and rotate the 3D model to look for the best perspective and be able to properly visualize all the details of the anatomical structure studied. In addition, its color can be modified, which is useful to better observe the morphology of a bone for example, since it has been proven that if you only have the white color in the case of bones for instance, in some perspectives the depth and therefore the shape of certain areas is not clearly appreciated.



Figure 6. Visualization of a 3D representation of a cranium from DICOM images with Augmented Reality

Another very interesting option is the possibility of being able to study the inside of 3D models making cuts in a simple way for the desired area (fig. 7). Once the cut is made, two different 3D

models are obtained, one is assigned the green color and the other the red color. A user level has been achieved that is perfect for those who are not experts in computer system management, since it is very easy to visualize and manipulate 3D models.

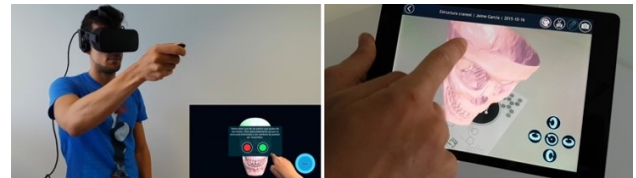


Figure 7. Cutting a 3D cranium to study the inside

4 DISCUSSION

The vertiginous development of technology over the last decade that we will undoubtedly continue to see in the coming ones, has allowed us to count on 3D models that accurately reproduce the human body of a patient, as well as having the devices and computer systems with which we can not only visualize these models, but also interact with them in a completely different way from the one so far.

In this article we have presented a system that can become a window to a future in which 3D models will be very present in our everyday lives, certainly in the medical field. 3D elements will become part of our life, from commercial ads to the very interaction with our acquaintances, recognizing the concept of Augmented and Virtual Reality that we are now only beginning to know, but that will develop at an explosive rate during the next 15 years.

Most tools currently available in medical imaging are focused on the 2D world. Nowadays, for example, there are different techniques for segmenting bone tissue in CT images automatically, based on the Hounsfield Scale (X-ray linear attenuation coefficient scale) [17]. However, in CT images the bones of patients with osteoporosis for example, appear with a very low number of Hounsfield in the spongy bone, also known as trabecular bone. Defining their Hounsfield number range is difficult and depends a lot on the CT modality used. In any case, it is common for muscles, fat or other tissues to have higher Hounsfield number values than these areas of the bone, which makes it impossible to make a segmentation based on the grey level.

In the evolution of the NextMed project, related to the development of the 3D model by studying the 2D images, the creation of an advanced artificial vision algorithm that is able to interpret the sequence of DICOM images obtained from a CT or MR scan was proposed to generate the 3D model automatically. Therefore, the task of segmentation and generation of the 3D model would no longer be necessary since the system would do it automatically, notifying the doctor who commissioned the study in a matter of minutes when the 3D model was available for viewing in the NextMed system of Augmented or Virtual Reality.

NextMed: How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

There are also tools to segment brain tissue with MR images. The Matlab SPM (Statistical Parametric Mapping) toolbox, widely used by the scientific community, segments grey and white matter, as well as cerebrospinal fluid automatically. It also makes population statistical studies (to primarily analyze Functional Magnetic Resonance images) and includes a rendering tool to visualize the image analysis results in a 3D brain. However, some areas can suffer problems when segmenting the tissue properly due to pathologies and to the movement of patients when acquiring the image. Moreover, the visualization tool is very basic, with few options for the radiologist to interact with the model (position, color, contrast, etc.).

The programs to generate 3D models from DICOM images are very useful in medical practice, as shown by the Maxillofacial and Reconstructive Surgery Service from the Lomas Verdes Trauma and Orthopedic Hospital. In 2007 a study was made there with 124 patients, obtaining more than 95% coincidence with images generated by the program through a reconstruction from intraoperative images [18]. They still lack the necessary features so the radiologist can take advantage of these programs, exclusively limited to the rendering of 3D models. Furthermore, since the image processing is sometimes complex, the participation of a technician for these tasks is required. The aim of NextMed is to have the full process done by the doctor so the 3D radiological results can be seen easily and fast.

Some tools from the acquisition devices of hardware manufacturers (General Electric, Siemens or Phillips mainly) introduce a computer program inside the radiology graphics workstations, with some image processing and sometimes allowing a three-dimensional recreation of the study object through volume rendering systems. The user interaction with the 3D model is still limited, allowing to simply calculate the volume of a specific area, change the contrast, make measurements and other similar operations. Although all these features are very useful, they do not focus on offering a visualization that takes advantage of having an anatomical 3D model.

None of the current tools consulted integrate AR/VR technology, and the most sophisticated and advanced ones are limited to research. Their use is still far from the daily work at a clinic or hospital.

5 CONCLUSIONS

The NextMed system we presented efficiently uses Augmented and Virtual Reality in radiology, with real advantages that will improve the clinical diagnosis and with better medical performance thanks to this technology. It will improve the ability to visualize and study the radiological results from Computerized Tomography and Magnetic Resonance. Moreover, it can be used as a very interesting educational tool for medical students and residents in radiodiagnosis, in order to virtually assess the corresponding anatomical structures of real patients, with all the

advantages 3D vision offers both through Augmented and Virtual Reality.

The system has been tested with specialists in radiodiagnosis. These professionals point out the interest of this tool in clinical practice, predicting that these technologies will be widely present in the coming years due to the advantages it brings when understanding radiological results and their potential to plan non-invasive surgeries.

The systems explained in this article have been developed only for investigation purposes, so it is not yet a software that can be used commercially.

Other articles related with Augmented and Virtual Reality systems for Medicine can be found in previous TEEM editions [19, 20].

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to specifically thank the members of the company specialized in virtual and augmented reality systems ARSOFT, located in the Science Park of the Salamanca University, for their technical work and collaboration in the implementation of these systems.

This research work has been carried out within Education in Knowledge Society PhD Programme of the University of Salamanca [21-24].

REFERENCES

- [1] Calzado, J. Geleijns (December 2010). "Computed Tomography. Evolution, technical principles and applications". *Revista de física médica*. ISSN 1576-6632.
- [2] Berrington de González A, Mahesh M, Kim KP, Bhargavan M, Lewis R, Mettler F, Land C (December 2009). "Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007". *Arch. Intern. Med.* 169 (22): 2071-7. doi:10.1001/archinternmed.2009.440. PMID 20008689.
- [3] N. Solange P. Sabalisk. Reconstrucción y clasificación de estructuras anatómicas a partir de secuencias de imágenes ecográficas. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- [4] B. M. Hemminger, P. L. Molina, T. H. Egan, F.C. Dettlerbeck, K. E. Muller, C. S. Coffey, J. K. T. Lee. Assessment of Real-Time 3D Visualization for Cardiothoracic Diagnostic Evaluation and Surgery Planning. April, 2005. DOI: 10.1007/s10278-004-1909-2.
- [5] S. González Izard, J.A. Juanes Méndez (Nov. 2016). Virtual reality medical training system. Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality. <https://doi.org/10.1145/3012430.3012560>
- [6] H. Petterson, D. Sinkvist, C. Wang, Ö. Smedby (April 2009). Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. *Anatomical Sciences Education*, Vol. 2, Issue 2, pages 61-68. <https://doi.org/10.1002/ase.76>
- [7] M. J. Alegría Martín (2015). Aplicaciones de la realidad aumentada en el ámbito de la Enseñanza Superior. Diseño de un proyecto piloto. Cuadernos de Gestión de Información, 5, p18-35. ISSN 2253-8429
- [8] J. Hong (Nov. 2016). Hanyang Med Rev., 36(4):242-247. Department of Robotics Engineering, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST), Daegu, South Korea. <https://doi.org/10.7599/hmr.2016.36.4.242>
- [9] S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, P. R. Palomera. J Med Syst (2017) 41: 76. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0723-6>
- [10] S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, J. M. González Estella, M.J. Sánchez Ledesma, F. J. García-Peñalvo, P. Ruisoto, Virtual Simulation for Scoliosis Surgery, Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, p.1-8, October 18-20, 2017, Cádiz, Spain. <https://doi.org/10.1145/3144826.3145404>
- [11] J. Belda (May 2015). Leap Motion (II): principio de funcionamiento. Showleap Technologies. Recuperado de <http://blog.showleap.com/2015/05/leap-motion-ii-principio-de-funcionamiento/>

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

S. González Izard et al.

- [12] G. Marin, F. Dominio, P. Zanuttigh (October 2014). Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices. Image Processing (ICIP), 2014 IEEE International Conference on. DOI: 10.1109/ICIP.2014.7025313
- [13] A. Manolova, System for touchless interaction with medical images in surgery using Leap Motion. Radiocommunications and Videotechnologies Department Faculty of Telecommunications, Technical University of Sofia. Communications, Electromagnetics and Medical Applications (CEMA'14).
- [14] Dr. Mike (July 2015). 3D Printing in Medicine. "How to Create 3D Printable Models from Medical Scans in 30 Minutes Using Free Software: Osirix, Blender, and Meshmixer". Recuperado de <https://www.embodi3d.com/blogs/entry/193-how-to-create-3d-printable-models-from-medical-scans-in-30-minutes-using-free-software-osirix-blender-and-meshmixer/>
- [15] F. Andriy et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. Magnetic Resonance Imaging, Volume 30 , Issue 9 , 1323 - 1341
- [16] C. De Alfonso, I. Blanquer, D. Segrelles, V. Hernández. VRSUR: Simulación quirúrgica sobre escenarios realistas. IX Congreso Nacional de Informática Médica.
- [17] C. M. Müller-Karger, M. Cerrolaza (Nov 2001). Un nuevo método para la simulación de la estructura ósea mediante la versión P de elementos finitos. Scielo. IMME, Caracas, v. 39, n. 3, p. 23-54.
- [18] E. Sierra Martínez, R. Cienfuegos Monroy, G. Fernández Sobrino. OsiriX, visor DICOM útil para procesar imágenes tomográficas de fracturas faciales. Medigraphic Artemisa.
- [19] F. J. García-Peñalvo, M. S. Ramírez-Montoya, and A. García-Holgado. 2017. TEEM 2017 Doctoral Consortium Track. In Fifth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'17) (Cádiz, Spain, October 18-20, 2017) J.M. Dodero, M.S. Ibarra Sáiz and I. Ruiz Rube Eds. ACM, New York, NY, USA, Article 93. DOI:10.1145/3144826.3145440.
- [20] S. González Izard, J. A. Juanes, F. J. García-Peñalvo, J. M. Gonçalves Estella, M. J. Sánchez Ledesma, and P. Ruisoto. 2018. Virtual Reality as an Educational and Training Tool for Medicine. *Journal of Medical Systems* 42(February 01). DOI:10.1007/s10916-018-0900-2.
- [21] F. J. García-Peñalvo. 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] F. J. García-Peñalvo. 2017. Education in the Knowledge Society PhD Programme. 2017 Kick-off Meeting. In *Proceedings of the Seminarios del Programa de Doctorado en Formación en la Sociedad del Conocimiento* (16 de noviembre de 2017) (Salamanca, España2017). Instituto Universitario de Ciencias de la Educación
- [22] F. J. García-Peñalvo. 2013. Education in knowledge society: A new PhD programme approach. In *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)*, F.J. García-Peñalvo Ed. ACM, New York, NY, USA, 575-577. DOI:10.1145/2536536.2536624

XVI. Anexo VII: Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging

La Realidad Aumentada y Virtual ha experimentado un crecimiento constante en medicina en los últimos años. Al mismo tiempo, las imágenes médicas juegan un papel fundamental en el diagnóstico y la planificación de procedimientos quirúrgicos.

El objetivo de este estudio es presentar la primera versión de un sistema para la visualización de imágenes médicas empleando Realidad Aumentada y Virtual para facilitar y mejorar la planificación de cirugías. Esto permite ir más allá de las imágenes bidimensionales tradicionales y dirigirse hacia la visualización de modelos 3D con estas técnicas.

Proponemos diferentes técnicas para la automatización y segmentación de imágenes médicas, empleando técnicas de visión artificial e inteligencia artificial. Este módulo de segmentación automática propuesto es uno de los grandes avances, junto con la implementación de nuevas funcionalidades, que este proyecto tiene respecto al mostrado en publicaciones anteriores.



Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging

Santiago González Izard¹ · Juan A. Juanes Méndez² · Pablo Ruisoto Palomera² · Francisco J. García-Peñalvo³

Received: 8 January 2019 / Accepted: 6 March 2019

© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019

Abstract

Virtual and Augmented Reality has experienced a steady growth in medicine in recent years. At the same time, the radiological images play a central role in the diagnosis and planification of surgical approaches. The aim of this study is to present the first attempt to enhanced radiological image visualization using virtual and augmented reality for better planification and monitorization of surgeries. This application allows to move beyond traditional two-dimensional images towards three-dimensional models that can be visualized and manipulated with both Augmented Reality and Virtual Reality. We propose possible approaches to automate the segmentation of radiological images, using computer vision techniques and Artificial Intelligence.

Keywords Virtual reality · Augmented reality · DICOM · 3D visualization · Radiological images · Image segmentation

Introduction

On the one side, Computarized Tomographies (CT) and Magnetic Resonance (RM) have been extensively used as a non-invasive tool for the visualization of complex and inaccessible brain structures in vivo [1–3]. However, they involve inter-slice distance, defined as the couch increment minus nominal slice thickness. The collimation is a very important physical part of CT scanners, and affects the total scan time,

contrast resolution and thinnest available image [4]. In 2010, scientists from the University of California Davis Medical Center conducted a study to explore how the thickness of each slice affects when it comes to achieving a more precise volume. They determined that thickness effectively affects positively when obtaining more precise volumes [5].

Current workstations allow importing classical radiological images in different formats beyond the standard DICOM, merge them and build a three-dimensional reconstruction to facilitate the interpretation of the images. This 3D visualization is carried out in the workstation itself. Interestingly, the generation of 3D relies on a correct process of segmentation of specific region of interest. Currently available segmentation techniques can be divided into two main groups: region based segmentation techniques such as clustering, split and merge, normalized cuts, region growing and threshold; and edge or boundary based segmentation techniques such as Roberts, Prewitt, and Sobel's methods or soft computer approaches (fuzzy logic based, genetic algorithm and neural network) [6]. Among all of them, the thresholding technique is the simplest one and consists on separating the pixels or voxels into groups based on their level of gray. It is therefore of great importance to improve the accuracy of the segmentation that the level of gray obtained in each pixel of each image be as accurate as possible. One of the current challenges to improve radiological images is to develop algorithms capable of automatically perform the segmentation process accurately, and

This article is part of the Topical Collection on *Mobile & Wireless Health*

✉ Santiago González Izard
santiago@arsoft-company.com

Juan A. Juanes Méndez
jajm@usal.es

Pablo Ruisoto Palomera
ruisoto@usal.es

Francisco J. García-Peñalvo
fgarcia@usal.es

¹ ARSOFT, Calle del Duero 12, Science Park,
37185 Villamayor, Spain

² VisualMed System Group, University of Salamanca, Avda. Alfonso
X El Sabio s/n, Salamanca, Spain

³ GRIAL Research Group, University of Salamanca, Paseo Canalejas
169, Salamanca, Spain

generating a mesh of 3D models susceptible to be imported into Augmented Reality and Virtual Reality (VR) systems for viewing and manipulation in the biomedical field [7, 8]. Another challenge is to reduce the number of polygons involved in the meshes without compromising quality, since Augmented Reality and Virtual Reality devices usually fail to work with meshes containing very high polygon loads.

On the other side, Augmented and Virtual Reality have received increasing attention in the last three decades. They offer different experiences that are very useful for medical training for example [9, 10]. Augmented Reality (AR) overlays virtual objects on the real-world environment, while Virtual Reality (VR) immerses users in a fully artificial digital environment. They offer a great promise and are expected to become mainstream within five years, although their application has been refrained due to their high development costs. However the development cost is decreasing and Return Of Investment is now attractive for the market, what is causing the use of these technologies to be spreading rapidly.

The goal of this study is to integrate the advances in radiological image processing and 3D rendering, and Augmented and Virtual Reality in order to enhance the former with potential for improve the planification and monitorization of different surgeries.

Material and method

Hardware

The following hardware was used: Samsung Gear VR Glasses, with sensors to recognize user movement when rotating in the three axes; Samsung Galaxy S6, S7, Galaxy Tab S2, and Nexus; and Leap Motion to process spatial information in three dimensions and detect and understand hand movement and distance variation. Two device cameras provide two images with a small disparity. Having the coordinates displayed in space for every matrix dot, each dot in the matrix represents something detected as an intensity value [11–13].

Radiological images acquisition, segmentation of regions of interest, and 3D model's generation

OsiriX, 3D Slicer, Amira or MRICron were used to segment regions of interest from the original sets of radiological images and generate a polygon 3D mesh of the region of interest [14]. We have generated from DICOM images cranium volumes, brain tracts and many others using these programs. Then, as the 3D mesh created was too heavy, we used Marching Cubes algorithm to create a simpler mesh with a smaller number of polygons, lighter and easier to render. Finally, the file was exported into FBX, 3DS or OBJ format [15].

Automated segmentation is one of the key steps involved in the 3D visualization of models from radiological images, as doing it manually takes time and makes it impossible in most cases. In order to solve this, our system includes the implementation of an advanced algorithm capable of automatically segmenting radiological images keeping accuracy (no fully implemented yet).

A first layer applies artificial vision to DICOM images in order to detect areas of interest based on the Threshold method. This is the most extended technique for segmentation, but there are many other techniques that can be applied.

A second layer applies a computing paradigm named cellular neural network, similar to neural networks, with the difference that communication is allowed between neighbouring units only. The output will indicate that in the image we have what we are looking for or not, however we do not know yet where that element is inside this image.

The third layer is connected to the last fully connected layer of the previous cellular neural network and gets the location of those pixels that are labeled as the element we are trying of segment from the input image.

Now we have, for each DICOM image, the pixels that make up the element we want to segment, however a 3D model is not composed of pixels, but by voxels, the minimum unit of information in a volume. In order to convert into a mesh that composes our final output, the 3D model of the segmented zone, we convert each pixel (x,y) of DICOM images, is converted into voxels by addition the dimension depth (z') is added to each pixel. Depth (z') result from the formula $z' = i * d$, where d is the inter slice distance and i is the number of the pixel image in the DICOM sequence.

3D visualization tools

Finally, three different software applications were designed using multiplatform Unity3D graphics engine, compatible with many SDKs (Software Development Kits). These three applications are named AR VIEWER (Augmented Reality Viewer), VR Viewer (Virtual Reality Viewer) and PC Viewer (Personal Computer Viewer). Different scripts were implemented for improving interaction and visualization; Vuforia was used as the SDK for Augmented Reality, Oculus SDK for Virtual Reality and Leap Motion [11–13] as SDK for the PC version. This last SDK was used only for user interaction with hands recognition, and 3D visualization module for PC was implemented using Unity3D (no SDK as Vuforia or Oculus is required).

We have implemented Web Services for the cloud platform using Java language on a Microsoft Azure server we have configured for this project, using Apache Tomcat as the servlet container and MySQL for the database implementation, integrating database interaction with the Web Services using JDBC plugin.

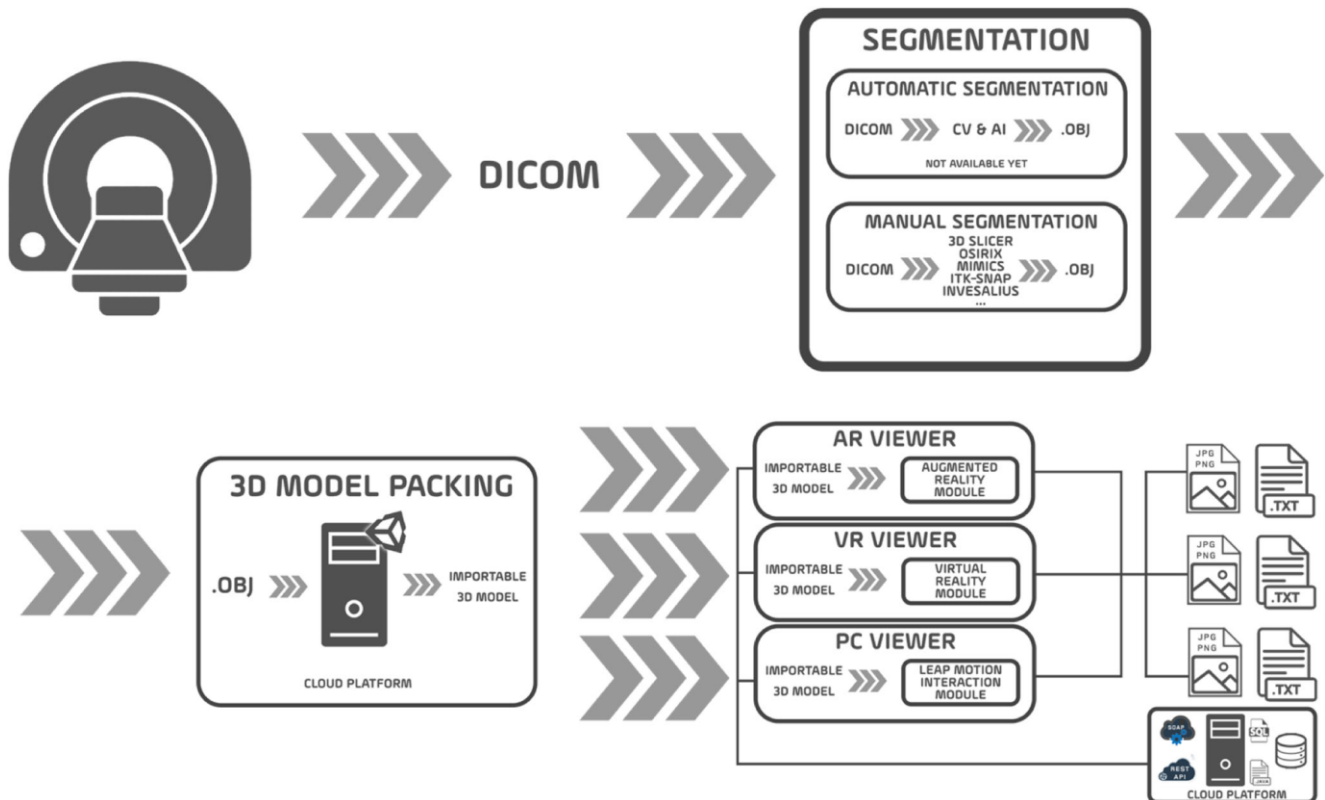


Fig. 1 General architecture of the designed system

Results

This study integrate Virtual and Augmented Reality with both computerized and magnetic resonance imaging to provide a more realistic and comprehensive display of anatomical structures. It includes 3 main features: 1) Augmented Reality system developed for Android and iOS devices; 2) Virtual Reality for Oculus and Gear VR devices and 3) a Desktop system for Windows, Linux and Mac OS X operating systems.

This new system was developed to integrate a) Augmented Reality to visualize and manipulate 3D models of anatomical structures on a real scale as if it had been printed in 3D, b)

Virtual Reality to provide a complete immersion to study the 3D model with or without glasses, allowing even diving into the structure with hand movement recognition software, and c) desktop version to allow system utilization without mobile devices, manipulating the 3d models with hands detection using Leap Motion device. In sum, it offers a fast and efficient interaction including rotate, scale or cut the 3D models of complex internal structures (Figs. 2, 3 and 4). In addition, this system can be used by clinicians to store and explore clinical neuroimages from different locations using Augmented or Virtual Reality. Since all the data is stored in a cloud platform implemented on a Microsoft Azure server.

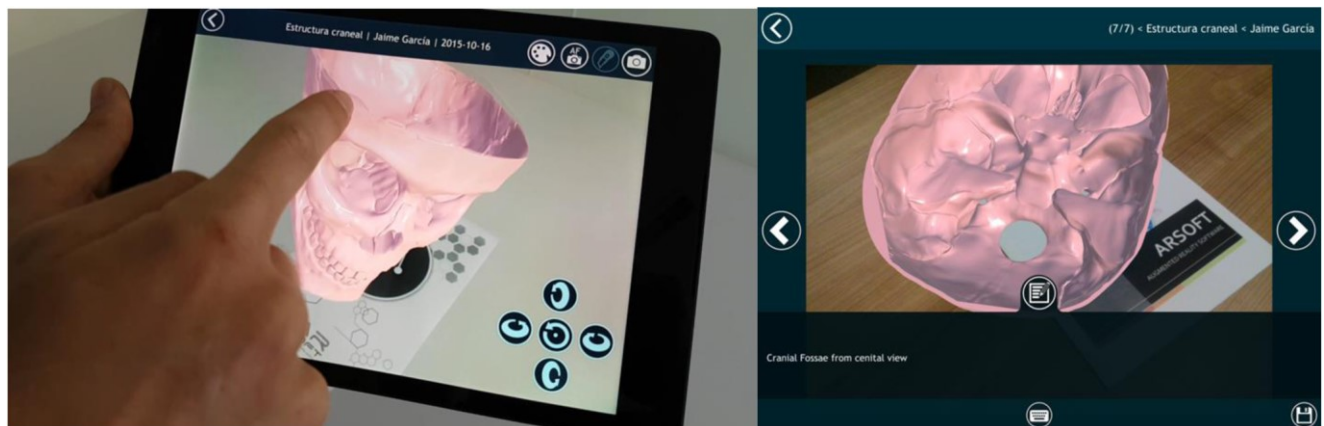


Fig. 2 Augmented reality cranium visualization after cutting it off

Fig. 3 Selecting different options for 3D model manipulation with virtual reality platform



In Fig. 2 user is visualizing with Augmented Reality a cranium that has previously being cut in order to study its interior. It has also been painted, what allows to better recognize the morphology of the bones. In one of the images we can also see a screenshot that has been taken with some annotations, what can be very helpful in order to review these notes during the surgery.

In Fig. 3 the user is interacting with the Virtual Reality system. Interaction modules are very different from one application to another, as we can check in the next figure (Fig. 4), where Leap Motion device is being used to manipulate a 3D representation of the brain tracts of a patient. Both, the cranium and the brain tracts, are 3D models generated from DICOM images following the process described in Fig. 1 with manual segmentation.

Discussion

The vertiginous development of technology over the last decade, that we will undoubtedly continue to see in the coming

ones, has allowed us to count on 3D models that accurately reproduce the human body of a patient. as well as having the devices and computer systems with which we can not only visualize these models, but also interact with them in a completely different way from the one so far. The improvement of graphic processing and rendering capabilities allow us to visualize complex 3D models, with meshes composed of millions of polygons, which was impossible until very recently. In addition, the miniaturization of electronic components allow to transfer all this graphic power to mobile devices and even glasses, and that is the reason of why Augmented Reality and Virtual Reality can be now implemented in medical processes without interfering in the work of professionals. In this article we have presented a new system that may become a window into the future, in which 3D models will be very present in our everyday lives, including of course medical field.

Most tools currently available in radiological imaging are focused on the 2D images. This system offers an alternative to complete segmentation and visualize the results with a real three dimensions view.

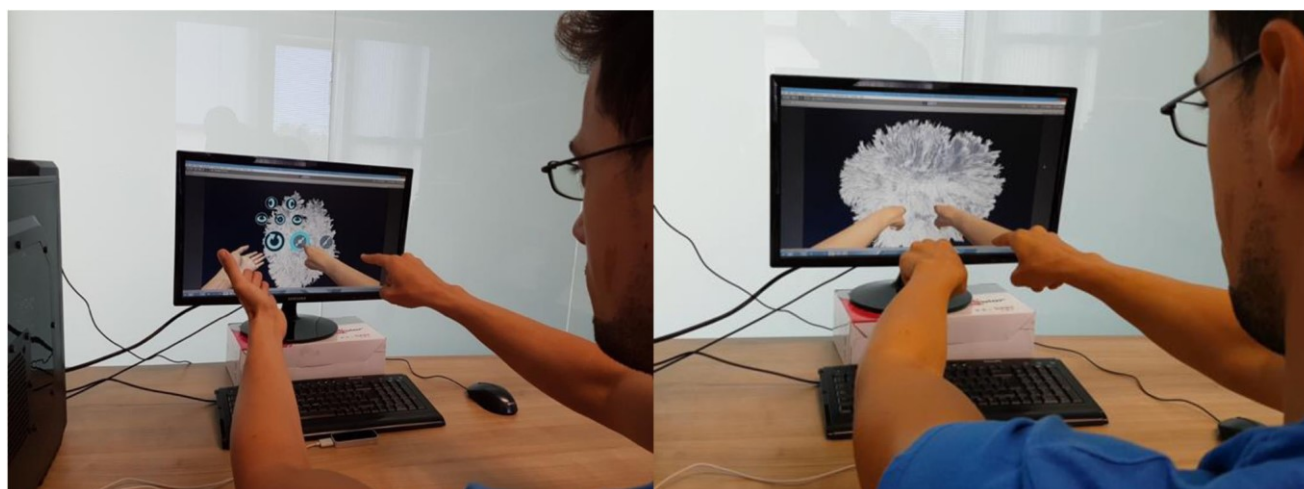


Fig. 4 Manipulating 3D model of brain tracts using hands detection with leap motion

Although there are programs able to generate 3D models from DICOM, as far as we know this is the first tool that fully integrates Augmented and Virtual Reality technology with radiological imaging and is specifically designed to study radiological results and even plan surgeries. These technologies allow to study the 3D models from all the different perspectives and with depth recognition, what is impossible when you are visualizing 3D models in a 2D screen. Also, AR and VR allow to interact with the volume in a realistic way without having to print it, saving time and money, and being able to cut the model to study internal anatomical structures (impossible when you have printed it).

Future research in biomedicine should benefit further from cloud platforms, Artificial Intelligence and machine learning developments and algorithms: IBM Watson, Azure and Microsoft AI Platform, AWS (Amazon Web Services). In the next years many artificial intelligence algorithms will be implemented in order to make automatic segmentations of different anatomical structures, and even to automatically detect deformities, cancer and many diseases, helping doctors with the diagnosis [16].

Conclusions

The main result of this study is the development of an original system for efficiently combine Virtual and Augmented Reality with Computerized Tomography and Magnetic Resonance images. It provides a powerful new tool for visually assessing and manipulating anatomical structures of real patients in 3D, enhancing the classical approach based on 2D images.

As different surgeons conclude after using our system, the visualization of radiological images using Augmented and Virtual Reality provide a better interpretation of the radiological results and can be a breakthrough for surgical planning. In the next decade, all medical professionals from developed countries will visualize the radiological results with these technologies, thanks to the price's drop in Augmented Reality glasses and other related devices and their widespread use in society.

Acknowledgements The authors would like to thank ARSOFT company for their technical work and the Education in Knowledge Society PhD Programme of the University of Salamanca for their support.

Funding This project has been funded by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities, as part of the Spanish National Program of Research, Development and Innovation for Challenges of Society, as part of the National Plan for Scientific and Technical Research and Innovation, with expedient number RTC-2017-6682-1.

Compliance with Ethical Standards

Conflict of Interest The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Altobelli, D. E., Kikinis, R., Mulliken, J. B., Cline, H., Lorensen, W., and Jolesz, F., Computer-assisted three-dimensional planning in craniofacial surgery. *Plastic Reconstruct. Surg.* 92(4):576–585, 1993; discussion 586–7].
- Brammer, M., The role of neuroimaging in diagnosis and personalized medicine—current position and likely future directions. *Dialogues Clin. Neurosc.* 11:389–396, 2009.
- Inoue, D., Kabata, T., Maeda, T., Kajino, Y., Fujita, K., Hasegawa, K., Yamamoto, T., and Tsuchiya, H., Value of computed tomography-based three-dimensional surgical preoperative planning software in total hip arthroplasty with developmental dysplasia of the hip. *J. Orthopaed. Sci.*, 2015.
- Seeram, E., Computed tomography: Physical principles, clinical applications, and quality control, fourth edition [chapter 11]. ISBN: 978–0–323–31288–2, 2016.
- Prionas, N. D., Ray, S., and Boone, J. M., Volume assessment accuracy in computed tomography: A phantom study. *Journal of applied clinical medical physics*, volume 11, number 2, Spring 2010.
- Zaiton, N. M., and Musbah, J., Aqueel. survey on image segmentation techniques. *Int. Conf. Commun. Manag. Inform. Technol. (ICCMIT 2015)*, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.02>.
- Zaitoun, N. M., and Aqel, M. J., Survey on image segmentation techniques. *Int. Conf. Commun. Manag. Inform. Technol. (ICCMIT)*, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.027>.
- Sharma, N., and Aggarwal, L. M., Automated medical image segmentation techniques. *J. Med. Phys.*, 2010. <https://doi.org/10.4103/0971-6203.58777>.
- González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., and Palomera, P. R., Virtual reality educational tool for human anatomy. *J. Med. Syst.* 41:76, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0723-6>.
- S. González Izard, J.A. Juanes Méndez, J. M. Gonzalez Estella, M.J. Sánchez Ledesma, F. J. García-Peñalvo, P. R. Palomera, Virtual simulation for scoliosis surgery, proceedings of the 5th international conference on technological ecosystems for enhancing Multiculturality, 1–8, 2017. Cádiz, Spain. doi:<https://doi.org/10.1145/3144826.3145404>.
- Belda, J., Leap Motion (II): principio de funcionamiento. Showleap Technologies, 2015. From <http://blog.showleap.com/2015/05/leap-motion-ii-principio-de-funcionamiento/>
- Marin, G., Dominio, F., and Zanuttigh, P., Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices. *Image Process. (ICIP), 2014 IEEE Int. Conf.*, 2014. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2014.7025313>.
- Manolova, A., System for touchless interaction with medical images in surgery using leap motion. Radiocommunications and Videotechnologies Department Faculty of Telecommunications, Technical University of Sofia. Communications, Electromagnetics and Medical Applications (CEMA'14).
- Andriy, F. et al., 3D slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network. *Magnet. Reson. Imag.* 30(9):1323–1134, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>.
- A. Silveti, C. Delrieux, S. Castro (2001). Una implementación eficiente del algoritmo Marching Cubes. <http://hdl.handle.net/10915/23546>
- Al-Shayea, Q. K., Artificial neural networks in medical diagnosis. *IJCSI Int. J. Comput. Sci.* 8(2):2011, 2011.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

XVII. Anexo VIII: NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization

La visualización de resultados radiológicos con técnicas más avanzadas que las actuales, como son las tecnologías Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV), representan un gran avance para los profesionales médicos, ya que se elimina la necesidad de disponer de una capacidad importante de imaginación como requisito indispensable para el entendimiento de las imágenes médicas, ya que es necesario crear una representación 3D a partir de imágenes bidimensionales.

El problema es que para la aplicación de estas tecnologías es necesario segmentar la zona anatómica de interés, lo cual implica la intervención de un profesional.

El proyecto Nextmed se presenta como una solución integral que incluye:

1. Importación de imágenes médicas en formato DICOM
2. Segmentación automática de diferentes estructuras anatómicas con algoritmos propios implementados con Visión Artificial
3. Generación de una malla 3D del área segmentada
4. Motor de visualización con Realidad Aumentada y Realidad Virtual del modelo 3D generado del área segmentada
5. Herramientas de estudio y manipulación del modelo 3D para crear recursos para la planificación quirúrgica

En este artículo se explica cómo se han implementado las funcionalidades anteriores, y se incluyen los resultados obtenidos con pacientes reales.

Se pone el foco en la plataforma de visualización con las tecnologías de RA y RV para permitir a los profesionales médicos trabajar con modelos 3D de imágenes médicas de una forma diferente, aprovechando las ventajas que ofrecen.

NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization

Explanation of the software platform developed for 3D models visualization related with medical images using Augmented and Virtual Reality technology.

Santiago González Izard[†]
PhD Student
University of Salamanca, ARSOFT
Salamanca, Spain
santiago.gi@usal.es

Óscar Alonso Plaza
University of Salamanca
Salamanca, Spain
u157938@usal.es

Ramiro Sánchez Torres
University of Salamanca
Salamanca, Spain
ujhik@usal.es

Juan Antonio Juanes Méndez
Department of Anatomy
University of Salamanca
Salamanca, Spain
jajm@usal.es

Francisco José García-Peñalvo
University of Salamanca
Salamanca, Spain
fgarcia@usal.es

ABSTRACT

The visualization of the radiological results with more advanced techniques than the current ones, such as Augmented Reality and Virtual Reality technologies, represent a great advance for medical professionals, by eliminating their imagination capacity as an indispensable requirement for the understanding of medical images. The problem is that for its application it is necessary to segment the anatomical areas of interest, and this currently involves the intervention of the human being. The Nextmed project is presented as a complete solution that includes DICOM images import, automatic segmentation of certain anatomical structures, 3D mesh generation of the segmented area, visualization engine with Augmented Reality and Virtual Reality, all thanks to different software platforms that have been implemented and detailed, including results obtained from real patients. We will focus on the visualization platform using both Augmented and Virtual Reality technologies to allow medical professionals to work with 3d model representation of medical images in a different way taking advantage of new technologies.

[†] Santiago González Izard is actually working on this project in ARSOFT, a company specialized in Augmented and Virtual Reality software development.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than the author(s) must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.

TEEM'19, October 16–18, 2019, León, Spain
© 2019 Copyright is held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM.
ACM ISBN 978-1-4503-7191-9/19/10 \$15.00
<https://doi.org/10.1145/3362789.3362936>

CCS CONCEPTS

- Applied computing → Life and medical sciences → Health informatics;
- Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → Interaction devices;

KEYWORDS

Virtual Reality, Augmented Reality, Medical Imaging, Automatic Segmentation

ACM Reference format:

S. González Izard, Ó. Alonso Plaza, J. Juanes Méndez, F. J. García-Peñalvo. 2019. NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization. In *Proceedings of ACM Woodstock conference (WOODSTOCK'19)*. ACM, New York, NY, USA, 2 pages. <https://doi.org/10.1145/1234567890>

1 Introduction

Medical imaging technology has undergone a constant evolution in recent decades. With the evolution of magnetic resonance imaging (MRI) or the introduction of new Computed Tomography (CT) techniques such as Multidetector Computed Tomography (MDCT), radiological diagnosis can be performed less invasively and more reliably [1,2]. There are several tools, like OsiriX or 3DSlicer [3,4], capable of producing high resolution 3D images from these medical images in just few seconds [5,6].

The problem is that manually segmentation, using tools such as those mentioned above, is complicated in many cases and too slow [7]. The automation of the 3D segmentation process of anatomical structures would be extremely convenient for doctors, radiologists or other professionals in the sector, since it would allow them to start working with three-dimensional (3D) models

TEEM'19, June, 2019, Salamanca, Spain

S. González Izard et al.

instead of two-dimensional (2D) images, which is now expensive as it does not exist any system to automatically make the segmentation of anatomical structures [8].

The use of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies as more sophisticated visualization and interaction techniques facilitates manipulation and possible diagnosis from the 3D image [9,10]. These technologies are widely used for training purposes in medicine and other fields, but not for helping medical professionals in their daily work [11-15].

But before being able to visualize medical images taken from a CT, it is first necessary to segment the anatomical structure we would like to convert into a 3D model. We have created Computer Vision (CV) algorithms and Artificial Intelligence (AI) systems capable of automatic segmentation. This is one of the keys of this project, while the other would be the 3D visualization system, that allows not only to visualize the results of segmentation and 3D model creation modules, taking advantage of the three dimensions, but also to manipulate the 3D model and save images and notes for a possible future surgery.

First of all, we need to understand DICOM format and the data this kind of files stores, highlighting those parameters that allow us to estimate Hounsfield Units (HU) [16,17].

In artificial vision there are various techniques that allow medical images segmentation. The problem is the variability between some patients and others and the variability between different scans. Hounsfield Units are used to partially reduce the difference between different CT scanning machines.

We can define the Hounsfield scale as a quantitative scale used in computed tomography studies to describe the different levels of radiodensity of human tissues.

The Hounsfield scale is the result of the transformation of the linear X-Ray attenuation coefficients scale into a new scale in which the attenuation value of distilled water in Normal Pressure and Temperature Conditions (CNPT) is defined as 0 Hounsfield Units, while the radiodensity of the air under Normal Pressure and Temperature Conditions (CNPT) is defined as -1000 HU. The compact bone exceeds 1000 HU values, and metal implants can exceed 2000 HU.

Therefore, the Hounsfield scale can facilitate a first phase in the segmentation, where we select voxels whose value on the Hounsfield scale coincides with the window of values associated with the anatomical structure to be segmented. However, a segmentation cannot be based just on this technique, since poorly defined anatomical structures are obtained and different organs or muscles may have overlapping values on the scale, resulting in segmentation errors. This is why it is necessary to implement specific Computer Vision algorithms or follow Artificial Intelligence techniques to achieve satisfactory automatic segmentation results.

Using VTK and ITK libraries [18-22], we have created computer vision algorithms for automatic segmentation of lungs, hearts, arteries and veins inside lung, tracheas and spines. This is a great advance respecting previous versions of this project [23,24]. New algorithms for automatic segmentation of more anatomical structures are being designed, so in the future we will be able to

automatically separate the main anatomical structures available in a CT scan. We are working with different specialists of the University Hospital of Salamanca to choose the most important anatomical structures. Images obtained with Magnetic Resonance (MR) scans will be also compatible in the future.

Once we get automatic segmentation, hospitals can start using our system to be able to work with medical imaging using new technologies, being able to print the lung of a patient or visualize it with Augmented or Virtual Reality. But with previous steps we still don't have the 3D model, we just have a series of images where only the lung appears, but we need to convert this into a 3D model. We have to continue with the process.

Applying different algorithms, we get a 3D mesh that can be imported into our visualization platform, created using the Unity3D game engine [25-29], that takes advantage of AR and VR to work with the 3D model.

In this article we will focus on the Augmented and Virtual Reality Visualization Platform. However, one of the keys of this system is the automatic segmentation module, so we will begin by describing the DICOM format for medical imaging, the input point for this module. Then software used to create computer vision algorithms will be described, but not the algorithms itself, as this is really extensive and other articles will be published about this subject. We continue explaining how we have implemented the visualization platform, from the Augmented and Virtual Reality system to the cloud platform needed to store and manage all data. After this, the results are described showing some images of the 3D models automatically obtained from DICOM data, visualized using both the Augmented Reality and the Virtual Reality platform. We finish with a discussion and conclusion section about how current and future technology will change the way medical professionals work with medical imaging.

This article is a continuation of the work of this team on this project, described in previous articles [23,24]. The project, entitled Nextmed, has more advanced source code regarding previous versions, with a computer vision module able to automatically generate 3D models of different anatomical areas of the human body, tested with more than 1000 CT scans. Also, the Augmented and Virtual Reality platform is now connected with the computer vision module and an upload module has been designed to be able to upload DICOM to the cloud platform. The VR system has also been adapted to work with new headset models. So Nextmed can now be used in a real medical environment to upload DICOM, automatically segment some anatomical structures, generate the 3D mesh and download those 3D meshes to the AR and VR visualization platform to be able to study and manipulate them. So, this is the first version that can be installed in a hospital to start with the first tests on real environments.

2. Material and Method

2.1 Understanding DICOM

NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization

TEEM'19, June, 2019, Salamanca, Spain

The first input our system receives is DICOM dataset obtained from a CT scan. We have used CT scans obtained by the University Hospital of Salamanca and public online datasets such as LIDC-IDRI [30], with 1018 CT scans of 1010 patients. The information is stored in each DICOM file in a series of data elements, each of which has a label to recognize it (TAG), a data type (Value Representation), a value length (Value Length) and the stored information (Value Field), as can be seen in Figure 1.

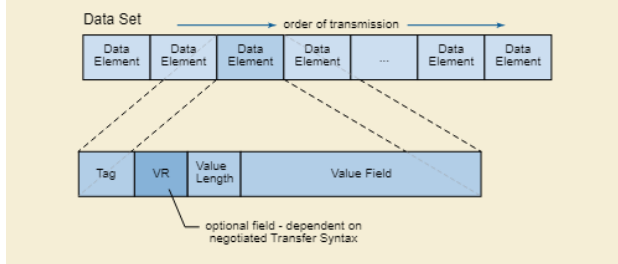


Figure 1: Value Types stored in DICOM file

The generic fields required by the standard used to develop the project have been: Pixel spacing, slice Thickness, Image Position, Image Orientation, Image Pixel, Photometric Interpretation, Rows, Columns, Bits Allocated, Bits Stored, Pixel Aspect Ratio, Pixel Data.

The DICOM format presents several specific fields for CT. We use: Rescale Type, Rescale Intercept and Rescale Slope. With these three fields, we can calculate Hounsfield Units (HU):

$$HU = 1000 \times \frac{\mu_t - \mu_{agua}}{\mu_{agua}}$$

HU is very important as it is used for the first filters applied by our computer vision algorithms.

2.2 Computer Vision Algorithms

The ITK and VTK libraries have been used to implement automatic segmentation algorithms.

ITK is an open source library specializing in the treatment of medical images, with support for DICOM images.

VTK is an open source library specialized in medical image visualization. It has been developed by Kitware, just like ITK. It presents visualization algorithms with special techniques for the treatment of voxels such as the use of color maps depending on the intensities, transparency or automatic adjustment of the image quality to maintain constant FPS (Frames Per Second).

Both ITK and VTK have been used to create custom algorithms for each anatomical structure we are now able to segment automatically. For the implementation of these algorithms we have used not only HU, but also complex morphological studies based on Computer Vision, taking into account that each patient can present the same parts of the body in different ways. We got more than 90% of success in the segmentation of lungs, spines and other anatomical structures, and we continue working on these algorithms to improve the percent

and to be able to automatically segment new anatomical areas based on the interest of the medical community.

2.3 AR and VR Platform

Unity3D (commonly called Unity) is a powerful multiplatform video game engine used in a large number of video games created around the world. It also offers a powerful platform for creating applications oriented to industry, education and, of course, medicine.

Unity3D has been chosen for the design of our application due to its powerful 3D rendering engine, its support for AR and VR technologies and its integrated cross-platform system.

On the other hand, Vuforia is currently one of the most used Augmented Reality SDKs, due to its artificial vision technology, marker tracking and its support for various platforms [31,32].

Due to all these features, Vuforia is presented as the most complete solution at the moment when implementing our augmented reality display functions. However, the use of Vuforia corresponds only to the first phase of development, since the entire Augmented Reality module will be adapted to use Arcore, Google native Augmented Reality SDK. The option of using the Magic Leap SDK is also being considered, in order to take advantage of the potential offered by the hardware recently launched by this company, and that promises a breakthrough in terms of the concept of Mixed Reality, facilitating placement in the operating room of previously generated virtual elements: from the radiological images to the 3D models generated or the results obtained from the preoperative study.

For the development of the application in Virtual Reality we have chosen the development kits provided by Oculus VR and HTC Vive. In both cases, these are powerful solutions in the VR industry with highly tested systems in the market.

Oculus GO has been chosen for its lightness, versatility and immediacy when accessing the contents, which allows the doctor to visualize the models using this technology without requiring a pre-established or restrictive space [33].

However, HTC Vive offers a deeper interaction and greater image resolution, which enables its use in the scientific field allowing greater fidelity when making a diagnosis [34]. In addition, the fact that HTC Vive glasses are connected to a computer increases the processing and rendering power, so you can work with 3D models with a higher number of polygons and with volumes with a greater number of voxels, increasing the quality of 3D medical images.

Having checked the advantages and disadvantages of these two technologies it has been decided to take both solutions into account, since on the one hand HTC Vive has the advantage of being able to render very heavy models, while Oculus Go has the advantage of being an economic standalone device and easily transportable. On the other hand, Oculus recently launched a new standalone device, named Oculus Quest. In this version of the system we have included compatibility for both HTC Vive and Oculus Quest, as it is necessary to adapt the software to the new hardware.

Among the different features offered by the two viewing platforms (AR and VR) we find a shader-based cutting system that provides the possibility of making several sections on the model while it is not necessary to modify it, what allows the user to undo the last cuts, using for this a reduced processing time compared to previous versions of the system. This is achieved by generating cutting planes that the shader takes into account when choosing which points of the model to render and which not. For each point of the model the shader checks if it is located in the space defined by the cutting planes. The program code of a shader is executed once per pixel of our image, which is why optimization is critical to achieve proper operation. In previous versions the implementation of the model cut was carried out by generating two new models, crossing the vertex matrices that make up the model and generating two different matrices. This meant a very high processing time and incorrect results for certain 3D models.

To improve efficiency, the only part that runs continuously during execution are the pixel rendering functions (thus ignoring the reloading of properties and variables). Shaders are algorithms that define the final appearance of each pixel based on their material and the lighting they receive. They are therefore an important part of the Unity rendering process, along with the materials and textures.

2.4 Software Architecture

Nextmed is composed of three subsystems that share much of the source code: An Augmented Reality system, another Virtual Reality system and finally another for PC. The use of Model View Controller (MVC) pattern (figure 2) allows to perfectly differentiate the code associated with the data, the one related to all the main logic and finally another module for the view. In figure 2 we can see how the different scripts are organized in the project and how they interact. In the case of the data module, it practically does not change between the three subsystems. The view generates the same interfaces in all three cases, however, the interaction is different in each of them, so both the view and the controller are affected by this variability of interaction and presentation of the data. To facilitate the understanding of the diagram, not all the variants of the scripts have been shown in figure 2.

As a result of the model management, the Factory Method design pattern has been used to define two types of data access. SQLDaoFactory creates the data access interfaces (DAO) with access to the relational database. PersistentDAOFactory does the same for local storage. Saving data locally and on the cloud allows the users to access data from any device: if data is present locally then it will not be necessary to download them, if not then the system will try to download all data from the cloud platform.

Both the architecture and the functionality are very similar for all implementations in different technologies, since all versions share the same modules except the one oriented to the rendering of the 3D model, which of course is different depending on whether it is the PC version, Augmented Reality or Virtual Reality.

All scripts have been implemented using C# language. This is the most used language in Unity3D for programming. On the other hand, Java language has been used for programming the Cloud Platform, configuring a Linux server to install all the programs.

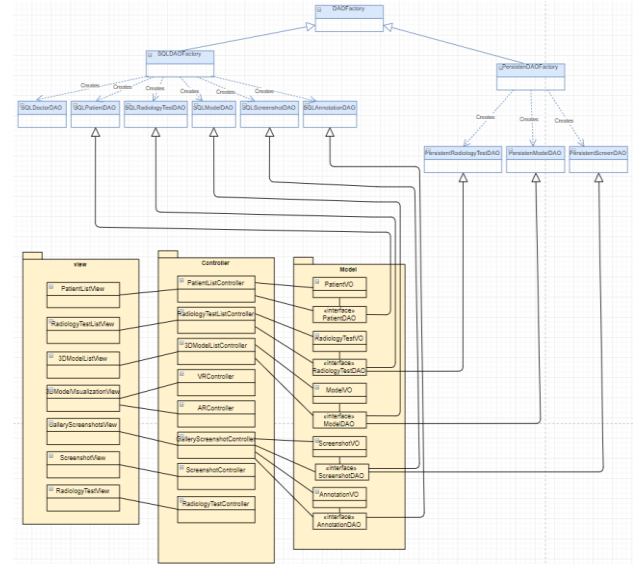


Figure 2: Scripts Architecture organized using MVC pattern

2.5 Cloud Platform

All data accessible by our application are currently stored on a Cloud server through a file structure that sorts the generated models, the DICOMs received by the system and the captures made and notes taken. The routes related to these files, with the data of patients and doctors are referenced by a relational database.

Java has been used for REST Web Services implementation, which allow the application to interact with the database. These are included in the Tomcat servlet container and perform the functions of managing queries, insertions and modifications in the MySQL database.

The diagram represented in the Figure 3 shows the data distribution in the database and the file hierarchy used for files storage.

NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization

TEEM'19, June, 2019, Salamanca, Spain

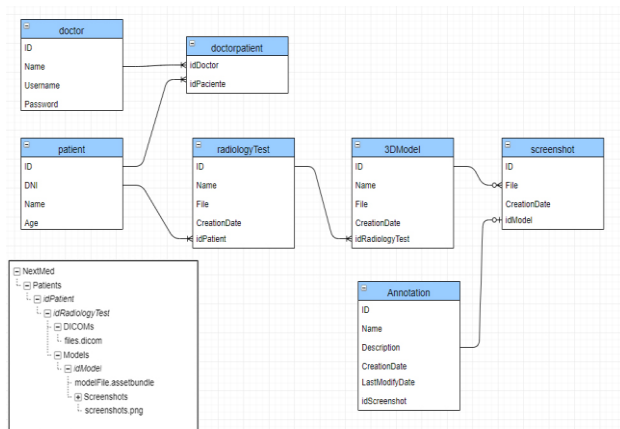


Figure 3: Database tables and files hierarchy in cloud server

3. Results

Taking as reference the results obtained when applying the artificial vision algorithms for automatic segmentation, 98% of success stories for lung segmentation, 95% for vertebral columns, 98% for arteries and veins in lung and 65% have been achieved for the segmentation of hearts (improved in future phases).

In the images presented in Figures 4-7, we can see the result of the 3D visualization of the different segmented anatomical structures.



Figure 4: 3D model representation for automatically segmented lung



Figure 5: Automatically segmented spine



Figure 6: Automatically segmented veins and arteries in lung

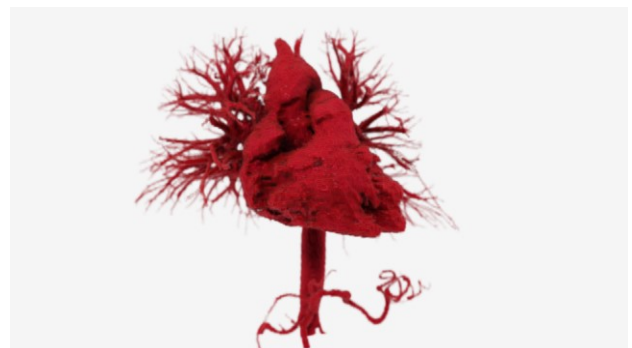


Figure 7: Automatically segmented heart

TEEM'19, June, 2019, Salamanca, Spain

S. González Izard et al.

3.1 AR Platform

For the visualization and manipulation with Augmented Reality of the 3D model produced from medical images, the multiplatform application NextMed AR has been designed. Built on Unity and using Vuforia technology, it provides an easily usable environment for the medical world in which the consultation and diagnosis on the 3D model generated from the radiological results can be carried out easily.

The NextMed AR application has been implemented for Android and iOS devices in this iteration of the project, improving many functionalities respecting previous versions, such as the cutting module. The next step is to implement our system for Augmented Reality glasses like the Magic Leap One or Microsoft Holo Lens. With this technology we can place the virtual elements of the system in the real world and achieve a lighter interaction using our own hands. This implies that the surgeon may be working in the operating room with glasses and place, simply with manual gestures, different contents around the patient: the 3D model of the anatomical area undergoing surgery, medical images, results of the pre-surgical study carried out... This interaction capacity is very important to avoid any kind of contamination, as it is not necessary to manipulate any computer or tablet. In addition, to visualize the different virtual elements you simply have to move your head and look to the area where you have previously placed them.

In Nextmed, the models are classified in the system by patient and by radiological test to provide an orderly and intuitive consultation. The authorized doctor will be able to access the models of his patients through a personal account. This will make the registration through a web application that is responsible for all user management and data loading.

In Figure 8 we can see that the medical professional, who has previously logged in, has accessed the results of the patient "Juan de la Hoz" (we do not use real names), who has a single radiological test (Test 1) and which in turn contains a single generated 3D model. For those medical images. This 3D model (Lung) can be visualized both with Augmented Reality, and with Virtual Reality, as well as being able to access the gallery of images that have been taken for that model. Each of these images may be accompanied by an explanation that the medical professional can take as a result of a pre-surgical study. As explained above, the objective is that all this information can later be easily accessible during surgery. Finally, we appreciate in the image a visualization with Augmented Reality of the 3D model.

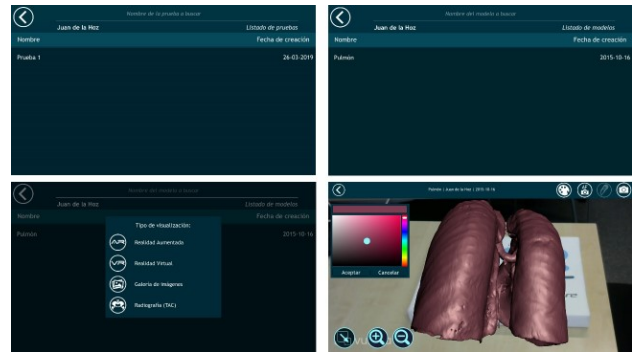


Figure 8: Different interfaces of AR visualization system

In order to carry out an extensive analysis of the model obtained automatically from the medical images; it is necessary to implement the cutting tool (Figure 9). In this way we can study its interior and isolate areas of interest.

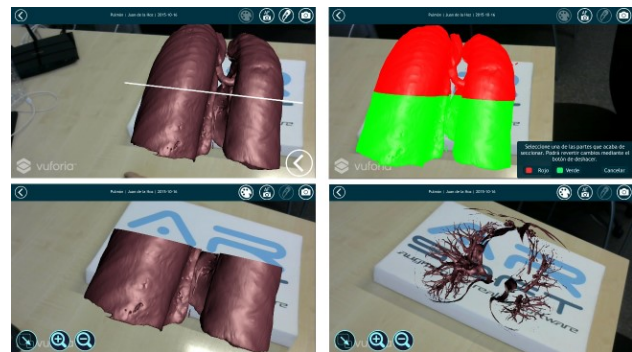


Figure 9: Screenshots showing cutting functionality for lung and veins and arteries

The cutting process is based on a versatile cutting system that allows multiple cutting of 3D models in different planes, making it possible to undo the changes of the different cuts made efficiently thanks to a new implementation of this module.

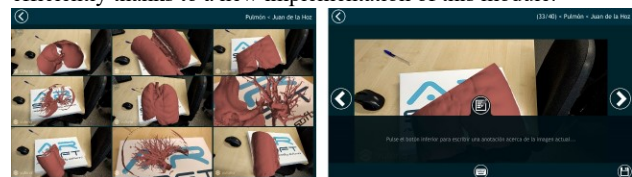


Figure 10: Surgery planification module for taking screenshots and notes

3.2 VR Platform

The NextMed VR version harnesses the power of user interaction and immersion provided by Virtual Reality technology (figure 11). In this way the manipulation of the model becomes easier and intuitive. This can be very important to facilitate a diagnosis, as the professional can move around the model and visualize it with more detail. In addition, in future versions the medical

NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical imaging visualization

TEEM'19, June, 2019, Salamanca, Spain

professional may even be introduced into the 3D model to study it as if "walking inside".

In the first iterations of the project we have been using Oculus Go headsets, with the aim of being able to perform tests in hospitals with a minor investment from them. In this version, it has been implemented for more powerful VR technologies, getting better image quality and interaction, and facilitating a correct and more accurate diagnosis. Specifically, we are now able to use Oculus Quest glasses, which as explained before providing greater processing and rendering potential.

The cutting process (Figure 11) uses the same algorithm as the AR version, although by taking advantage of VR technology we can make more thorough analyzes of the cut areas. With this we can approach everything we want to the model and carefully study areas that are considered of greatest interest for diagnosis. Keep in mind that the following images show what we can see with stereoscopic glasses, taking into account that thanks to the motion sensors present in glasses such as the Oculus Quest, we can walk around it. All these options provide a capacity to study medical images that so far is not achieved with any other system, thanks to AR and VR.

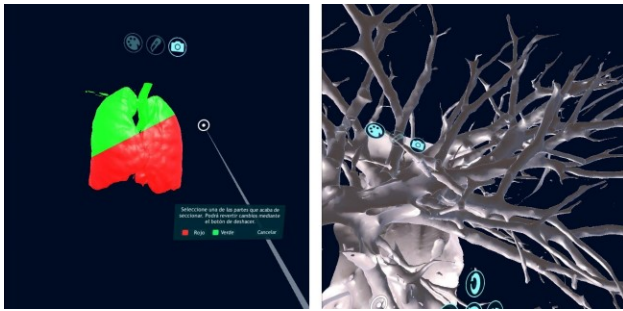


Figure 11: Medical Image 3D visualization with VR system

4. Discussion

The power of the 3D viewer of tools such as OsiriX or 3D Slicer, as well as similar ones, is unquestionable, and they are two important tools in the medical industry. On the other hand, the tool presented in this article aims to take advantage of this quality of visualization offered by the VTK and ITK libraries, the same ones that OsiriX and 3DSlicer use internally, and also complete it with the advantages that Virtual and Augmented Reality technologies provide, such as interaction in a 3D space and realistic visualization of the results.

Augmented Reality is a technology that is currently being widely implemented in some sectors, highlighting the industrial sector. In the next 5 years its expansion will be directed to other sectors, and one of them will undoubtedly be the medical one. In addition, the advance in the hardware used by the AR will cause more and more people to start using Augmented Reality glasses, or even contact lenses (the latter presumably by the end of the next decade). The democratization of technology will mean the complete expansion of Augmented Reality in all sectors of our

society, and the health sector will be one of the most benefited from it, due to the large number of advantages it brings to medical professionals.

Visualizing medical results as 3D models will not only be attractive, it will be necessary from the point of view of professionals, who will have powerful physical tools to visualize and work with them in a three-dimensional space, such as mixed reality glasses. This will greatly eliminate the current need to have an imagination capacity to mentally build the anatomical structures of the 3D patient based on the visualization of two-dimensional medical images. In fact, this is currently a problem for many specialists and even radiologists.

Results obtained in this work demonstrate AR and VR can be very useful for medical professionals when analyzing medical imaging, as they don't need to build a mental reconstruction of the images. Also, being able to access the 3D model reconstruction, notes, images and more during the surgery can be a very interesting tool. In future developments, the 3D model can be created on the fly, which means being able to create a CT during surgery to have at the moment the segmented 3D model of the patient including, for example, visualization of the medical surgical instrumentation. By now, we allow radiologists and specialists to view the radiological results with the latest technologies and get a pre-surgical study that can be easily accessed during surgery. All this can be done at low cost, as human action is not necessary thanks to an automated process based on computer vision algorithms specifically designed to segment certain parts of the human body, including bones, muscles, organs, arteries and veins.

In relation with previous versions of this system [23,24], automatic segmentation module can now generate the 3D mesh as an OBJ format file. Also, computer vision algorithms are now more accurate and new anatomical structures can be automatically segmented. The continuation of the work on this project will allow to segment new areas, new functionalities will be included in the visualization platforms and compatibility with new innovative devices such as Magic Leap mixed reality glasses will be possible. This device will be very useful while visualizing and analyzing the 3D model, as their tracking system and the rendering powerful will allow the development of very interesting new functionalities.

On the other hand, Artificial Intelligence will change the diagnostic methodology in the next few years, making it easier for medical professionals to analyze the radiological results and improving the visualization techniques so far. In the next phase of this project, Artificial Intelligence will be used to support artificial vision algorithms during automatic segmentation, and later, in more advanced phases, the potential of AI could be exploited to begin working with techniques of automatic diagnosis of diseases, the results of which must be monitored, at least with the first systems of this type. AI community is currently working on this, so we have news about this very soon with successfully results.

5. Conclusions

The work done so far in the Nextmed project, represents a qualitative leap in terms of the study of medical imaging, mainly due to two important points. First, we introduce the possibility of the use of automatic segmentation in the daily work of medical professionals. This is being done by some workstations, but they do not allow to export the 3D model as a mesh to be able to print it or visualize it out of the workstation, and manual work must usually be done. Secondly, we allow the visualization and manipulation of 3D models in an industrialized way by means of Augmented Reality and Virtual Reality technologies. So far, there have been numerous cases in which systems are designed to visualize a specific 3D model with these techniques, however the future of these technologies in the medical sector is not just for specific cases, but in being usable for all radiological results performed on patients, so when the specialist get the medical images it also receives a segmented 3D model. That is precisely the objective of Nextmed: to bring the potential of Augmented and Virtual Reality to all hospitals, and at this time we already have all the tools to do so, increasing the amount of anatomical structures generated automatically with each new advance in the project, and also with new functionalities.

In the future, doctors and radiologists will no longer have to study medical images using light beams: Augmented Reality and Virtual Reality will be used instead. The truth is that in the last decades there has not been much progress in the visualization of medical imaging. There have been many advances in the power of radiodiagnostic machines, image analysis software and available workstations, but there has been no disruptive change that takes advantage of the latest technologies that emerged during the 21st century. The Nextmed project aims to be that disruptive change, which allows professionals to work with medical images taking advantage of the technologies of Artificial Vision, Artificial Intelligence, Augmented Reality and Virtual Reality without the need for heavy periods of training and transition or large economic investments.

Next steps for this project will include the installation of this version in a real hospital to be used with current patients. In the following publications we will be able to publish the results of these tests. Although we have been testing the automatic segmentation algorithms with real CT scans, feedback obtained from medical professionals using Nextmed system will be very useful for next versions.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to specifically thank the members of ARSOFT, company specialized in Virtual and Augmented Reality systems and located in the Science Park of the University of Salamanca. This research work has been carried out within Education in Knowledge Society PhD Programme of the University of Salamanca [35,36]. This project and researches have been funded by the Challenges-Collaboration program of the European Union, with file number RTC-2017-6682-1.

REFERENCES

- [1] Kido T, Kurata A, Higashino H, Sugawara Y, Okayama H, Higaki J, Anno H, Katada K, Mori S, Tanada S, Endo M, Mochizuki T (2007) Cardiac imaging using 256-detector row four-dimensional CT: preliminary clinical report. *Radiat Med* 25: 38–44
- [2] Meaney J, Goyen M (2007) Recent advances in contrast-enhanced magnetic resonance angiography. *Eur Radiol* 17(Suppl 2): B2–B6.
- [3] Osman Ratib, Antoine Rosset (2006). Open-source software in medical imaging: development of OsiriX. DOI 10.1007/s11548-006-0056-2
- [4] Adriaan, Germain (2011-08-16). 3dslicer. Brev Publishing. ISBN 9786136666464.
- [5] Doi K (2006) Diagnostic imaging over the last 50 years: research and development in medical imaging science and technology. *Phys Med Biol* 51: R5–R27
- [6] Kirchgeorg M, Prokop M (1998) Increasing spiral CT benefits with postprocessing applications. *Eur J Radiol* 28: 39–54
- [7] A. Hill, A. Thornham and C. J. Taylor (1997). Model-Based Interpretation of 3D Medical Images
- [8] Neeraj Sharma and Lalit M. Aggarwal (2010) Automated medical image segmentation techniques
- [9] Jeffrey H. Schuhaiber (2004) Augmented Reality in Surgery
- [10] *BMJ* 2001;323:912
- [11] Santiago González Izard., Juan Antonio Juanes Méndez, Pablo Ruisoto Palomera. Virtual Reality Educational Tool for Human Anatomy. *J Med Syst* (2017) 41: 76. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0723-6>
- [12] Santiago González Izard, Juan Antonio Juanes Méndez, Francisco José García Peñalvo, Jesús Mª Gonçalves Estella, Mª José Sánchez Ledesma, Pablo Ruisoto Palomera. Virtual Reality as an Educational and Training Tool for Medicine. *J Med Syst* (2018) 42: 50. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0900-2>
- [13] Santiago González Izard and Juan Antonio Juanes Méndez. 2016. Virtual reality medical training system. In Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM '16), Francisco José García-Peñalvo (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 479-485. DOI: <https://doi.org/10.1145/3012430.3012560>
- [14] Santiago González Izard, Juan A. Juanes Méndez, Francisco J. García-Peñalvo, Marcelo Jiménez López, Francisco Pastor Vázquez, and Pablo Ruisoto. 2017. 360° vision applications for medical training. In Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2017), Juan Manuel Dodero, María Soledad Ibarra Saiz, and Iván Ruiz Rube (Eds.). ACM, New York, NY, USA, Article 55, 7 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3144826.3145405>
- [15] Santiago González Izard, Juan Antonio Juanes Méndez, Jesús Mª Gonçalves Estella, Mª José Sánchez Ledesma, Francisco J. García-Peñalvo, and Pablo Ruisoto. 2017. Virtual Simulation for Scoliosis Surgery. In Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2017), Juan Manuel Dodero, María Soledad Ibarra Saiz, and Iván Ruiz Rube (Eds.). ACM, New York, NY, USA, Article 54, 8 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3144826.3145404>
- [16] Larobina, M., & Murino, L. (2014). Medical image file formats. *Journal of digital imaging*, 27(2), 200-206.
- [17] <http://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/html/part05.html>
- [18] Wheeler, G., Deng, S., Toussaint, N., Pushparajah, K., Schnabel, J., Simpson, J., Gomez, A. 2018. Virtual Interaction and Visualisation of 3D Medical Imaging Data with VTK and Unity, *Healthcare Technology Letters*, DOI: 10.1049/htl.2018.5064
- [19] Schroeder, W. J., Avila, L. S., & Hoffman, W. (2000). Visualizing with VTK: a tutorial. *IEEE Computer graphics and applications*, 20(5), 20-27.
- [20] Geveci, B., Schroeder, W., Brown, A., & Wilson, G. (2012). VTK. The Architecture of Open Source Applications, 1, 387-402.
- [21] Schroeder, W., Ng, L., & Cates, J. (2003). The ITK software guide.
- [22] Yoo, T. S., Ackerman, M. J., Lorensen, W. E., Schroeder, W., Chalana, V., Aylward, S., ... & Whitaker, R. (2002). Engineering and algorithm design for an image processing API: a technical report on ITK-the insight toolkit. *Studies in health technology and informatics*, 586-592.
- [23] Santiago González Izard, Juan Antonio Juanes Méndez, Pablo Ruisoto Palomera, Francisco J. García-Peñalvo. Applications of Virtual and Augmented Reality in Biomedical Imaging. *J Med Syst* (2019) 43: 102. <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1239-z>
- [24] Santiago González Izard, Juan A. Juanes Méndez, Pablo Ruisoto, and Francisco José García-Peñalvo. 2018. NextMed: How to enhance 3D radiological images

NextMed, Augmented and Virtual Reality platform for 3D medical
imaging visualization

TEEM'19, June, 2019, Salamanca, Spain

- with Augmented and Virtual Reality. In Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'18), Francisco José García-Peñalvo (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 397-404. DOI: <https://doi.org/10.1145/3284179.3284247>
- [25] RH Creighton (2010). Unity 3D game development by example: A Seat-of-your-pants manual for building fun, groovy Little games quickly
- [26] S. L. Kim, H. J. Suk, J. H. Kang, J. M. Jung, T. H. Laine and J. Westlin, "Using Unity 3D to facilitate mobile augmented reality game development," 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Seoul, 2014, pp. 21-26. DOI: 10.1109/WF-IoT.2014.6803110
- [27] J. Xie, "Research on key technologies base Unity3D game engine," 2012 7th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), Melbourne, VIC, 2012, pp. 695-699. DOI: 10.1109/ICCSE.2012.6295169
- [28] S. Wang, Z. Mao, C. Zeng, H. Gong, S. Li and B. Chen, "A new method of virtual reality based on Unity3D," 2010 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, 2010, pp. 1-5. DOI: 10.1109/GEONFORMATICS.2010.5567608
- [29] F. Messaoudi, G. Simon and A. Ksentini, "Dissecting games engines: The case of Unity3D," 2015 International Workshop on Network and Systems Support for Games (NetGames), Zagreb, 2015, pp. 1-6. DOI: 10.1109/NetGames.2015.7382990
- [30] Armato III, Samuel G., McLennan, Geoffrey, Bidaut, Luc, McNitt-Gray, Michael F., Meyer, Charles R., Reeves, Anthony P., ... Clarke, Laurence P. (2015). Data From LIDC-IDRI. The Cancer Imaging Archive. <http://doi.org/10.7937/K9/TCIA.2015.LO9QL9SX>
- [31] Vuforia. 2019. PTC augmented-reality. [ONLINE] Available at: <https://www.ptc.com/en/products/augmented-reality>. [Accessed 9 May 2019].
- [32] Alexandro Simonetti Ibañez, Josep Paredes Figueras (2013). Vuforia v1.5 SDK: Analysis and evaluation of capabilities
- [33] Parth Rajesh Desai, Pooja Nikhil Desai, Komal Deepak Ajmera, Khushbu Mehta (2014). A review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset
- [34] Diederick C. Niehorster, Li Li, Markus Lappe (2017) The Accuracy and Precision of Position and Orientation Tracking in the HTC Vive Virtual Reality System for Scientific Research.
- [35] F. J. García-Peñalvo. 2014. Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar. Education in the Knowledge Society 15, 1, 4-9
- [36] F. J. García-Peñalvo. 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


XVIII. Anexo IX: Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D Model Visualization Platform Using Augmented and Virtual Reality

La visualización de imágenes médicas con técnicas avanzadas, como son la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV), representan un salto importante para los profesionales médicos. A diferencia de herramientas de visualización más tradicionales, estas tecnologías hacen un uso real de las tres dimensiones. Sin embargo, para visualizar las imágenes médicas en tres dimensiones, primero es necesario realizar una segmentación de las áreas anatómicas de interés. Actualmente, la segmentación manual y la segmentación semiautomática, que son las técnicas más utilizadas, pueden llegar a consumir mucho tiempo, haciendo que la segmentación de los resultados para cada paciente sea inviable. Empleando nuevas tecnologías, como la visión artificial y la inteligencia artificial, para el diseño de algoritmos de segmentación automática, y Realidad Aumentada y Realidad Virtual para la implementación de técnicas de visualización, hemos diseñado una plataforma completa para solucionar este problema y permitir a los profesionales médicos trabajar de forma mucho más frecuente con modelos 3D anatómicos obtenidos directamente de las imágenes médicas. Como resultado, el proyecto Nextmed, gracias a la implementación de diferentes aplicaciones software, permite la importación de imágenes dicom en una plataforma cloud segura y la segmentación de forma completamente automática de determinadas estructuras anatómicas a través de nuevos algoritmos que hemos implementado y que mejoran el estado del arte actual. Una malla 3D de la estructura segmentada es posteriormente generada, la cual puede ser impresa en 3D o visualizada tanto con Realidad Aumentada como con Realidad Virtual, gracias a plataformas de visualización que hemos diseñado para tal efecto. El proyecto Nextmed es único, ya que cubre el proceso completo, desde la subida de archivos dicom, a la segmentación automática, reconstrucción 3D y suavizado, visualización 3D y manipulación empleando técnicas de RA y RV. Aunque existen diversas investigaciones en relación a la aplicación de RA y RV para la visualización 3D de imágenes médicas, lo cierto es que todas ellas son meros estudios y no se han transformado en plataformas automatizadas que puedan hacer uso de los algoritmos de segmentación automática. A pesar de que el proyecto abarca el estudio de diferentes estructuras anatómicas, para la elaboración de este artículo nos hemos centrado en un caso concreto: el estudio de los pulmones. Analizando los resultados obtenidos tras el uso de nuestra plataforma para más de 1000 imágenes dicom, y estudiando los resultados obtenidos con especialistas médicos, hemos concluido que la instalación de este sistema en hospitales proporcionará una mejora considerable como herramienta de visualización avanzada de imágenes médicas.



Article

Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D Model Visualization Platform Using Augmented and Virtual Reality

Santiago González Izard ^{1,*}, Ramiro Sánchez Torres ², Óscar Alonso Plaza ²,
Juan Antonio Juanes Méndez ² and Francisco José García-Peñalvo ² 

¹ ARSOFT: Salamanca, Castilla y León, 37008 Salamanca, Spain

² Department of Human Anatomy, University of Salamanca, 37008 Salamanca, Spain; ujhik@usal.es (R.S.T.); u157938@usal.es (Ó.A.P.); jajm@usal.es (J.A.J.M.); fgarcia@usal.es (F.J.G.-P.)

* Correspondence: santiago@arsoft-company.com; Tel.: +34-644-236-306

Received: 19 April 2020; Accepted: 21 May 2020; Published: 23 May 2020



Abstract: The visualization of medical images with advanced techniques, such as augmented reality and virtual reality, represent a breakthrough for medical professionals. In contrast to more traditional visualization tools lacking 3D capabilities, these systems use the three available dimensions. To visualize medical images in 3D, the anatomical areas of interest must be segmented. Currently, manual segmentation, which is the most commonly used technique, and semi-automatic approaches can be time consuming because a doctor is required, making segmentation for each individual case unfeasible. Using new technologies, such as computer vision and artificial intelligence for segmentation algorithms and augmented and virtual reality for visualization techniques implementation, we designed a complete platform to solve this problem and allow medical professionals to work more frequently with anatomical 3D models obtained from medical imaging. As a result, the Nextmed project, due to the different implemented software applications, permits the importation of digital imaging and communication on medicine (dicom) images on a secure cloud platform and the automatic segmentation of certain anatomical structures with new algorithms that improve upon the current research results. A 3D mesh of the segmented structure is then automatically generated that can be printed in 3D or visualized using both augmented and virtual reality, with the designed software systems. The Nextmed project is unique, as it covers the whole process from uploading dicom images to automatic segmentation, 3D reconstruction, 3D visualization, and manipulation using augmented and virtual reality. There are many researches about application of augmented and virtual reality for medical image 3D visualization; however, they are not automated platforms. Although some other anatomical structures can be studied, we focused on one case: a lung study. Analyzing the application of the platform to more than 1000 dicom images and studying the results with medical specialists, we concluded that the installation of this system in hospitals would provide a considerable improvement as a tool for medical image visualization.

Keywords: augmented reality; virtual reality; medical imaging; automatic segmentation

1. Introduction

Although medical imaging technology has continued to evolve over the last decades, the technology used for visualization and analytical purposes has remained constant since the appearance of workstations. However, several tools (OsiriX, 3DSlicer) are capable of semi-automatically producing high resolution 3D pictures from these medical images in a few seconds [1,2]. This manual or semiautomatic segmentation is, in many cases, complicated and requires the intervention of a specialist [3,4]. Thus,

the automatic segmentation of anatomical structures is of considerable interest to medical practitioners, as it allows them to immediately start working, using 3D models that can facilitate clinical diagnoses. Although much research has been conducted on automatic segmentation [5–12], the use of a complete system capable of automatic segmentation on a large scale in hospitals, using traditional computers and unspecialized workstations and allowing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) visualization, has not yet been achieved. Addressing this situation and providing an innovative visualization tool were the main objectives of this work and the result led to the Nextmed project [13,14].

In comparison with the standard technology used for 3D visualization of medical images, AR and VR provide us with a 3D visualization system that is more realistic, allowing doctors to effectively interact with the generated 3D model and facilitating pre-surgical study [15,16].

The aim of artificial intelligence research is to train algorithms that allow segmenting without incurring possible errors that contain manually programmed artificial vision algorithms [17–19]. One of the most widely used techniques for attempting automatic segmentation using artificial intelligence involves convolutional neural networks (CNNs) [11]. The significant advances in recent years have resulted in neural networks [20] that can be trained to not only recognize parts of an image, but also to generate a tagged binary mask, such as (regions with convolutional neural network) [17,21], U-Net [22,23], V-Net [18,24], SegAN [25], and others for specific regions, such as for pancreas segmentation [26]. All these neural networks can be included in the Nextmed platform to increase the number of anatomical regions that can be automatically segmented.

The problem is obtaining enough tagged data that allow the artificial intelligence (AI) algorithms to be trained. For this reason, we implemented artificial vision algorithms.

Regarding visualization technologies, augmented and virtual reality have quickly improved during the recent years, allowing the implementation of powerful visualization tools at a low cost. They are starting to be widely used in medicine [27–32]. Here, we describe the process for implementing these tools and evaluated the results with medical specialists considering the advantages and disadvantages of augmented and virtual reality technologies.

Our main objectives for the designed software system are: easy upload of digital imaging and communication on medicine (dicom) images to the cloud platform, artificial vision module to automatically segment certain anatomical structures, 3D model construction module based on the results of automatic segmentation, and an augmented and virtual reality platform for the visualization and manipulation of 3D models, allowing non-invasive pre-surgical studies. This paper demonstrates the complete system that we developed (named Nextmed) and details one of the algorithms that we designed for the artificial vision module that allows automatic segmentation, in this case, of lungs, showing the results obtained by our lung segmentation algorithm.

The main novelty of this project is the implementation of a complete and modular platform to allow the visualization of medical images with AR and VR, with no customization of the product for each patient, as the whole process is automated. The project has been tested with medical professionals to validate the first version of the platform and to get feedback to improve it.

We first explain how we obtained enough data to start the research, and then we describe the process for developing artificial vision algorithms for automatic segmentation. The different tools used for the implementation of the cloud platform and the visualization tools with AR and VR are analyzed. Then, we describe all the results starting from the dicom processing, showing the results of each stage of the computer vision algorithm for automatic lung segmentation and, finally, we analyze the visualization tools that we designed to allow medical specialists to manipulate the 3D models that were created in the previous steps. We provide an analysis of our results, comparing them with other studies and looking to the future to see how computer vision, artificial intelligence, augmented reality, and virtual reality will be used to improve medical practice. Our conclusions are provided in the final section.

2. Materials and Methods

Environment configuration was necessary to start programming (Section 2.1). Then, a web platform to upload dicom files was designed (Section 2.2) and computer vision algorithms were implemented for automatic segmentation (Section 2.3). Once we get a 3D model for segmented area and different files have been saved (Section 2.4), a professional can visualize the result with an AR platform and VR platform (Section 2.5).

2.1. Development Environment for Segmentation Module

Python 3.7 was used for applying the algorithm using mainly the Insight Segmentation and Registration Toolkit (ITK) library [33,34]. Jupyter Lab [35] was employed for the graphical interface, with the Itk-widget, which allows the visualization of 3D models using Visualization Toolkit (VTK) in a browser, in Jupyter's own environment. The distributions available in both the Python Pip and Conda dependency managers do not present some of the wrappers necessary for the realization of our algorithms. Therefore, to use specific modules, such as ITKVtkGlue, we compiled the ITK source code using CMake and we implemented some wrappers to facilitate algorithm implementation.

For the ITK algorithms, encapsulations of the functions used were designed similar to those of SimpleItk (library that encapsulates the ITK functions to facilitate their use). As some functions were not available in SimpleItk, we compiled ITK instead of using this wrapper. Therefore, an environment was configured, using the ITK and VTK libraries, for generating a set of artificial vision algorithms to perform automatic segmentation of different anatomical structures, as represented in Figure 1.

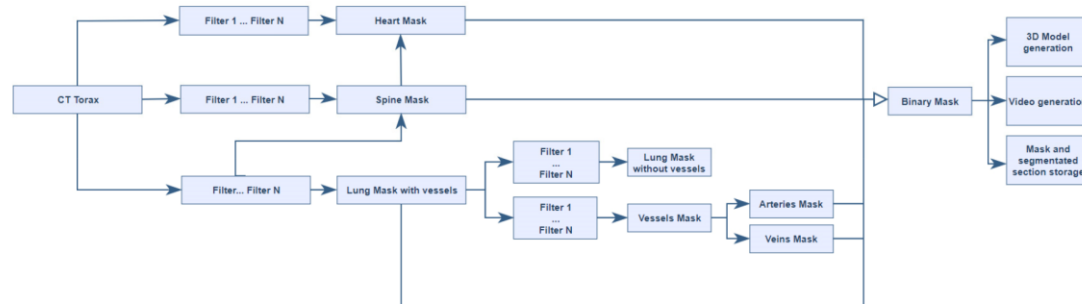


Figure 1. Tree of the different segmentation techniques.

2.2. Acquisition of Medical Images

To prove that the artificial vision algorithms designed are reliable regardless of the radiological result employed as input, we used a large number of computed tomography (CT) studies during the implementation of our algorithms. Specifically, we used the Lung Image Database Consortium and Image Database Resource Initiative (LIDC-IDRI) dataset so that the algorithms automatically segmented and created a 3D model of each of the results. Seven medical imaging centers and eight companies collaborated to create the LIDC-IDRI dataset, which contains 1018 cases (helical thoracic CT scans) from 1010 patients [36,37].

Figure 2 depicts the images generated from one particular study, which, in this case, are merged with a 3D representation in the form of the voxels of these images.

Using the Jupyter widgets and matplotlib tools, a layered visualization system was developed with a slider so that the layers of the different segmentation steps could be interactively navigated in the notebook. This allows the documentation of the segmentation steps and the detailed visualization of the results of each layer to allow for rapid analysis. This interface is useful for checking the steps of the segmentation and is partially shown in Figures 3 and 4. This development can help researchers in the source code implementation process.

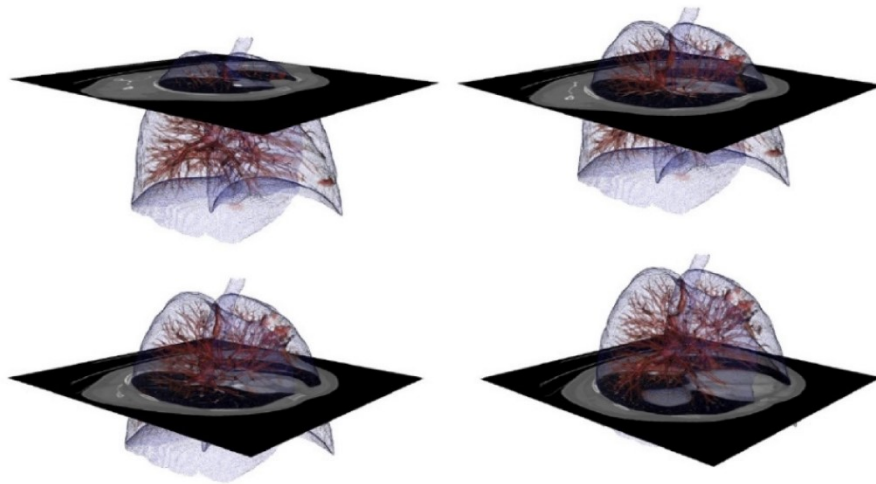


Figure 2. Digital imaging and communication on medicine (dicom) images of the Lung Image Database Consortium and Image Database Resource Initiative (LIDC-IDRI) dataset with the volume superimposed. Visualization used to check segmentation results during implementation. (A) Image 20; (B) Image 90; (C) Image slice 170; (D) Image slice 235;

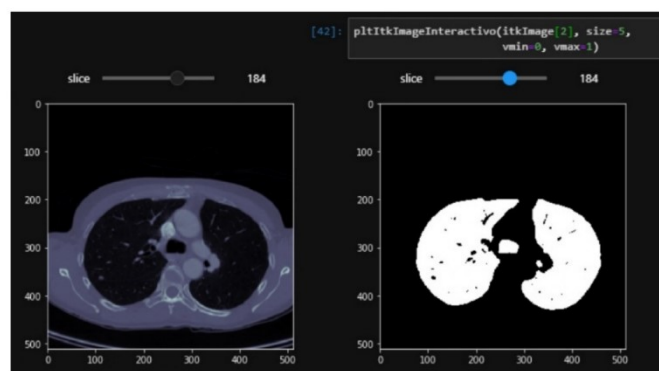


Figure 3. Real-time interactive viewer for the complete tomography using the original image (left) and a binary mask (right) with our Jupyter Lab's visualization module.

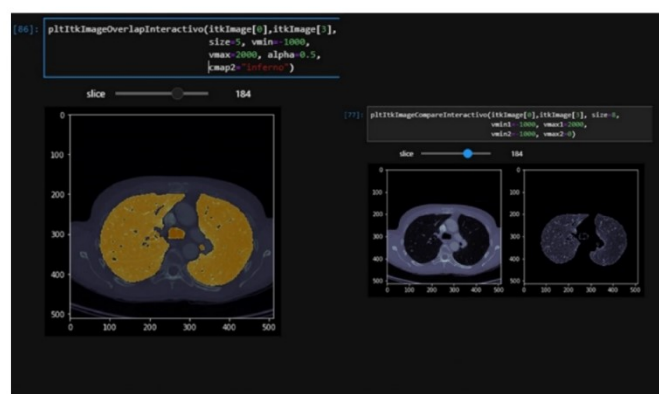


Figure 4. Real-time interactive viewer for the complete tomography with overlapping segmentation and the original image (left). The original tomography and segmentation of lung without vascularization is on the right. Visualization with our Jupyter Lab's visualization module.

2.3. Computer Vision Algorithms

Both ITK and VTK libraries were used to treat the medical images and for their visualization. Our algorithms were designed using the different methods that these libraries provide. Note, these methods do not segment by themselves; they are just computer vision algorithms that must be correctly used to obtain a complete segmentation algorithm.

Some of the methods that have been used for filtering are: BinaryThresholdImage Filter, ThresholdImage Filter, BinaryDilateImage Filter, BinaryErodeImage Filter, BinaryMorphologicalClosingImage Filter, BinaryMorphologicalOpeningImage Filter, and VotingBinaryIterativeHoleFillingImage Filter. Some methods used for noise reduction in medical images are: GradientAnisotropicDiffusionImageFilter and MeanImageFilter. To perform operations with binary images, some of the functions that we use are: AndImageFilter, OrImageFilter, XorImageFilter, and SubtractImageFilter; these methods provide a code to perform the common operations: and, or, xor and subtract. For working with regions, we use: RegionOfInterestImageFilter, ExtractImageFilter, PasteImageFilter, and GetLargestPossibleRegion. We also work with labelmaps to determine the details of groups inside a volume. For example, a group or labelmap could be a lung, stretcher, or a group of voxels that represent some noise in the volume. We use the following methods to work with labelmaps: BinaryImageToShapeLabelMapFilter, ShapeOpeningLabelMapFilter, LabelMapToLabelImageFilter, LabelMapToBinaryImageFilter, GetNthLabelObject, GetNumberOfPixels, GetNumberOfLabelObjects, GetBoundingBox, and RemoveLabelObject (the last five are methods inside the LabelMap class). To apply a mask to a volume to segment a certain area, we use MaskImageFilter and MaskNegatedImageFilter.

Researchers use ITK as an artificial vision library specialized in medical images to build our segmentation algorithms, while VTK allows us to visualize images and volumes [38–41]. Both libraries have been developed by Kitware (Clifton Park, NY, USA) and are used by many medical imaging programs, such as 3DSlicer or Osirix.

As shown in the diagram in Figure 5, the designed process begins by reading a set of dicom files from a computed tomography performed on a patient. The process ends with the segmentation results being stored in .nrrd (Nearly Raw Raster Data), .obj, and .webm video formats. A set of alternative data is generated, such as a histogram with the intensities in terms of Hounsfield unit (HU) values that appear in the images.

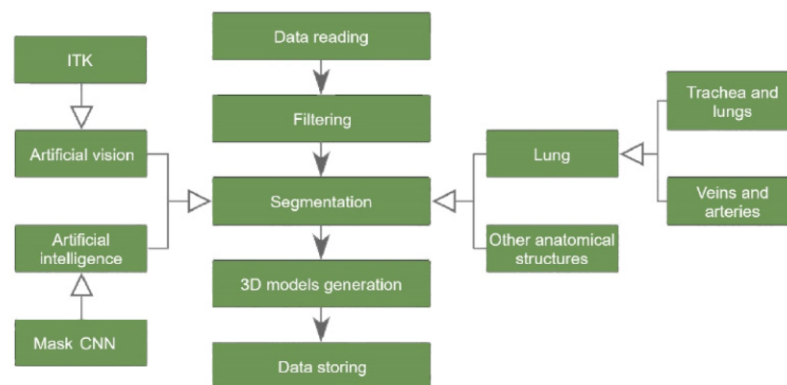


Figure 5. Diagram of the process for automatically generating 3D models.

At this moment, the Nextmed platform segmentation module includes a CNN called Niftynet [17] for the segmentation of spleen, kidney, gallbladder, esophagus, liver, stomach, pancreas, and duodenum. The aim of this project is to include current research for automatic segmentation in the Nextmed segmentation module so that we can use our own algorithms or existing ones.

For the development of vision algorithms, we used different techniques, which can be summarized in the following categories:

- Processed by thresholding: based on keeping the voxels whose intensities are within a fixed range, and setting the rest to a fixed value that is interpreted as the background of the image. This process is useful for separating structures when no different regions with similar intensities exist.
- Morphological processing: based on form, such as erosion and dilation.
- Geometric/positional processing: based on the relative or absolute position of elements.

2.4. 3D Reconstruction and Storage

Once the segmentation of an anatomical region is obtained, its binary mask is used to generate a 3D mesh using VTK. To obtain this, we first created an isosurface from the volume using `vtkFlyingEdges3D` as the main method. After that, we attempted to reduce the polygon size of the mesh using `vtkDecimatePro`. Then, the number of polygons was reduced and a Laplace smoothing was applied using `vtkSmoothPolyDataFilter` [42]. This smoothing moves each vertex to the middle position of the adjacent vertices following Equation (1). Thus, a lighter mesh is generated that can be rendered in devices of lesser power and occupies less space on the hard disk.

$$U(P) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (Q_i - P) \quad (1)$$

where n is the number of adjacent vertices to node P , and Q_i is each of those vertices. More explanations of this algorithm are provided in a previous report [42].

In the next step of the process, this mesh is converted into an .obj file that can be printed using a 3D printer, which can be useful, for example, in cases where the creation of prosthesis for a patient is being studied. Next, we generated a video with the segmentation overlapping each layer of the image and going through the layers to quickly check for correct segmentation and for reproducing errors. The video shows the result of the automatic segmentation, which is useful for detecting any possible errors during the developmental phases of the algorithms.

Subsequently, a HU histogram is stored to be used as a guide in the case of any possible problems or for future improvements to the algorithm. This histogram shows the Hounsfield values that were detected in the image.

The next step is saving the segmentation produced in an .nrrd format, which allows storing all layers in the same file, occupying less space than dicom, and being easier to handle due to its reduced number of fields. We maintained the spatial position to show several anatomical regions (from the execution of different segmentation algorithms) in their corresponding spatial positions simultaneously.

2.5. 3D Visualization Platforms

Unity3D was used as the graphical engine to develop the different versions of the Nextmed visualization applications. This was achieved using C# language to program all the program logic, as well as development patterns, such as the Model View Controller (MVC), which allow scripts that do not change regardless of the version of the application in question (AR, VR, or personal computer) to be kept together. For the AR version, we used the library provided by Vuforia that allows integration with Unity3D. For the VR version, we used Oculus SDK. In addition, shaders were used, such as multi-slice, for some of the functionalities implemented. Shaders consist of a source code associated with a surface that specifies how the surface should be rendered; in this case, we used it to indicate that one or more parts of a 3D model are not rendered. Web services running on Apache Tomcat and a MySQL database for storing the necessary information were designed to create a cloud platform. However, the cloud platform is being re-developed from scratch to create a highly scalable cloud, using Angular [43] for web development, and Django [44] as the web framework, with OAuth 2.0

authentication [45]. Some of these technologies are used by important organizations such as National Aeronautics and Space Administration (NASA), as they allow the implementation of secure cloud environments. We need this kind of security as we are storing medical data and we want to install this project in hospitals next year.

3. Results

3.1. From dicom to 3D Models with Automatic Segmentation

The main result of this work is the ability to automatically segment different anatomical regions and to provide tools for visualizing these results in three dimensions, using augmented and virtual reality technologies.

We now focus on the automatic lung segmentation algorithm and examine the results obtained by each of the phases of that algorithm. Whereas other algorithms [46,47] were developed to segment lung nodules, we wanted to obtain the complete mesh of the lungs, thus we focused on obtaining the complete structure without identifying other structures, such as the nodules.

We use the medical images resulting from LIDC-IDRI-0121 to explain the process. Slice number 100 will be shown, unless otherwise indicated, because the contour of the lung is perfectly appreciated in this slice.

First, we have the original dicom image without any type of processing, as shown in Figure 6.

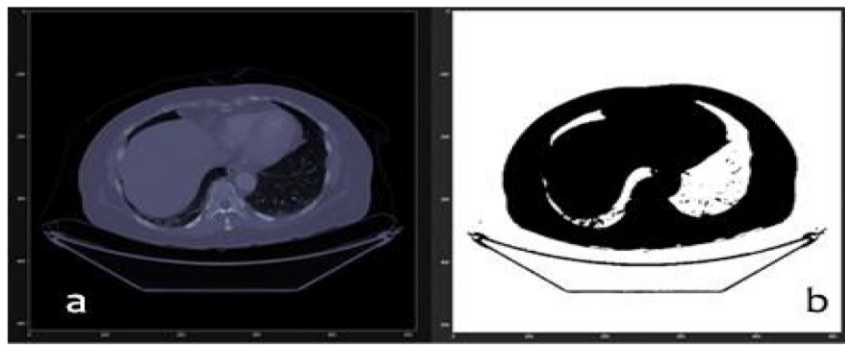


Figure 6. (a) Original slice number 100 and (b) thresholded slice number 100 of LIDC-IDRI-0121.

In the next step, we applied a series of filters to remove the edges. We used the Hounsfield units to select only those voxels from the regions in which we were interested, which was between the values of -4000 and -400 . The result of this threshold filtering is the mask that is shown in Figure 6b. We then applied morphological filtering algorithms, such as erosion, whose formula is shown in Equations (2) and (3). This consisted of eliminating voxels, by applying an erasure strategy based on the matching of each voxel and its neighbors with a comparison matrix that we call kernel. Those voxels that, together with their neighbors, form a matrix like the kernel, are eliminated. The developed algorithm uses a matrix for the kernel with a spherical shape of radio equal to 10. The result is a three-dimensional mask that we call MASK_01.

$$A \ominus B = \{z \in E | B_z \subseteq A\} \quad (2)$$

$$B_z = \{b + z | b \in B\}, \forall z \in E \quad (3)$$

where we define the erosion of the binary image A by the structuring element B , where E is the Euclidean space or an integer grid, A is a binary image in E , and B_z is the translation of B by vector z .

We removed the stretcher (group 3 in Figure 7a) only in the first slice by removing fine contours as those that define the stretcher. To do so, we applied a hole filling algorithm using VotingBinaryIterativeHoleFillingImageFilter (ITK). We had to obtain the best values for the parameters of this filter to only remove the stretcher: 700 iterations and a radius of 2 pixels. Although it seems that

three groups appear in the mask (Figure 7a), there are only two, as groups 1 and 3 are connected by the first slice (where the stretcher was removed).

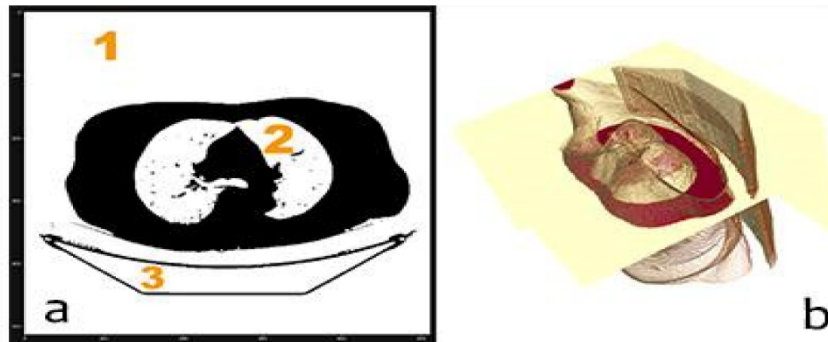


Figure 7. (a) 2D non-definitive mask with stretcher and groups of voxels and (b) 3D mask volume representation for mask.

Once the small groups that could appear due to the presence of noise, for instance, are eliminated, the next step is eliminating groups whose dimension in the x- or y-axis coincides with the maximum dimension of the image in the x- and y-axes, respectively. That is, group (1 + 3) is eliminated with only the lungs remaining, obtaining a new 3D mask that we call MASK_02, as shown in Figure 8.

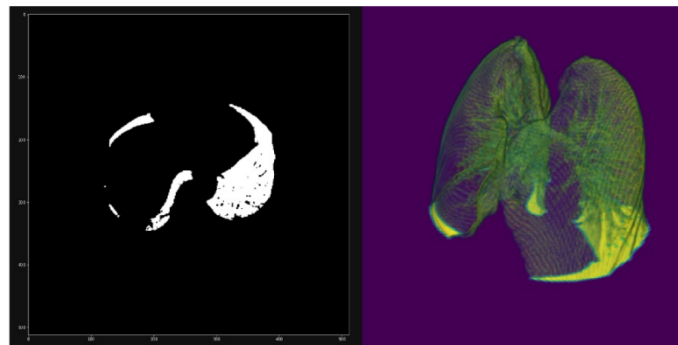


Figure 8. Non-definitive mask without stretcher: 2D slice (left) and 3D volume (right).

Then, MASK_02 was applied to the original image, obtaining the volumetric image RES_01 (Figure 8). However, due to the morphological filtering algorithms applied in the previous steps, such as erosion and dilation, the mask covers an area slightly larger than that of the lung. Thus, we again needed to apply a threshold filter to improve the detail of the edges of the mask, producing the new mask MASK_03. Figure 9 shows how, in the purple pixels, the mask covers a slightly larger area than what is obtained after applying the threshold filtering.

Once we obtained the definitive mask MASK_03, we used this mask to generate the 3D mesh, which can be exported to .obj or .stl format for printing and visualization in the augmented and virtual reality platform. Finally, by applying MASK_03 to the original volume, we obtained a volume with the lung completely segmented.

The images in Figures 10–12 show the segmentations obtained for the pulmonary lungs with and without veins and arteries, as well as for the veins and arteries in isolation.

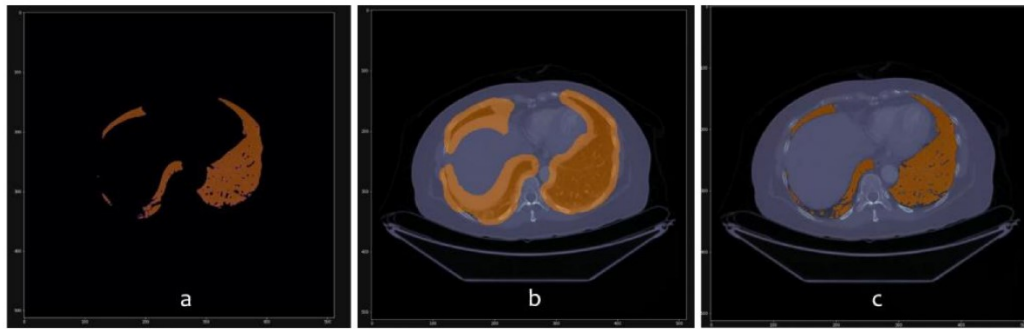


Figure 9. (a) Overlap to compare mask before (purple) and after (orange) threshold filtering (left), (b) dilation filter (middle), and (c) the result of erosion: final mask (right).

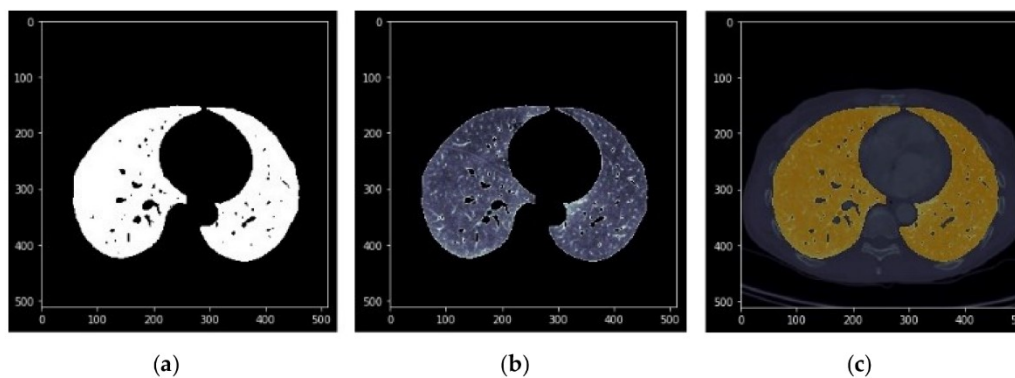


Figure 10. Lung segmentation with veins and arteries. (a) Binary mask; (b) DICOM with binary mask applied; (c) DICOM with binary mask overlapped and highlighted.

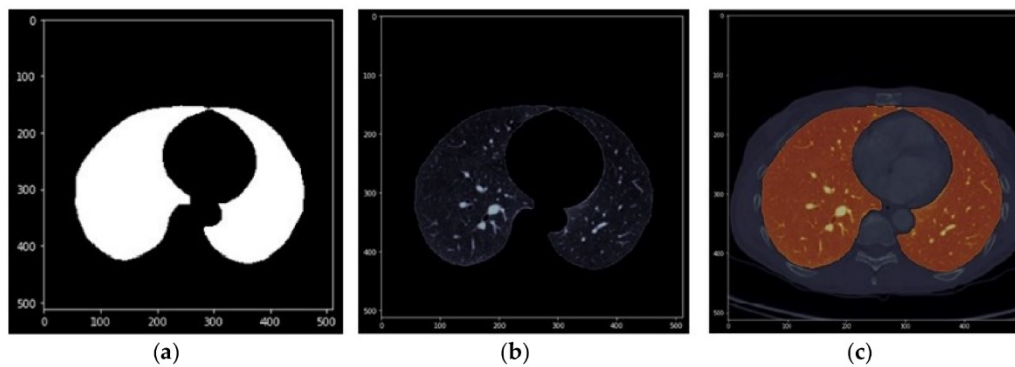


Figure 11. Complete lung segmentation. (a): Binary mask; (b): DICOM with binary mask applied; (c): DICOM with binary mask overlapped and highlighted.

For the evaluation of the results, we followed different phases. First, the development team reviewed each result to improve the algorithm. Once the algorithms were adjusted and the segmentation had more than 95% success, then all the results were studied by medical professionals of University Hospital of Salamanca (Salamanca, Spain), who evaluated the segmentation process by examining 3D models and the videos generated by the algorithms, studying the Hounsfield histogram to see if the values coincide with those expected for a certain anatomical region. As a result, for the lung algorithm, 98% of the segmentation was correct, which is an excellent result in comparison to other successful algorithms that produce 96% correct segmentations [46]. The only failures were due to scans with

a very high level of noise, which caused the resulting 3D model to have some holes on the surface. One lung segmentation algorithm result can be seen in Video S1. We have to highlight that the results derived from other researches were obtained on more consistent numbers of images. For the next phases, we will evaluate results with more images.

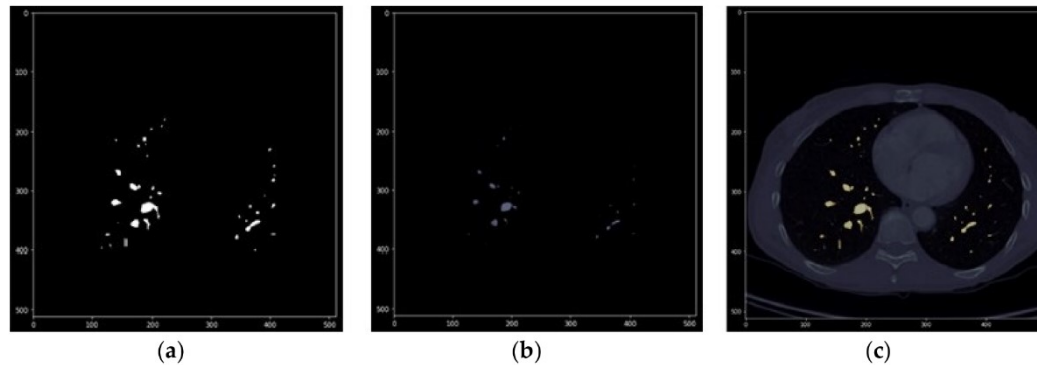


Figure 12. Segmentation of pulmonary veins and arteries. (a): Binary mask; (b): DICOM with binary mask applied; (c): DICOM with binary mask overlapped and highlighted.

Figure 13 shows images obtained using the Exposure Render program [48], with several filterings of the segmented region of the lung with veins and arteries. The images correspond to a .mha file obtained as a result of an automatic lung segmentation. The color map that transforms the intensities of the Hounsfield scale into color was manually adjusted, so that veins and arteries can be observed from a larger to a smaller scale.

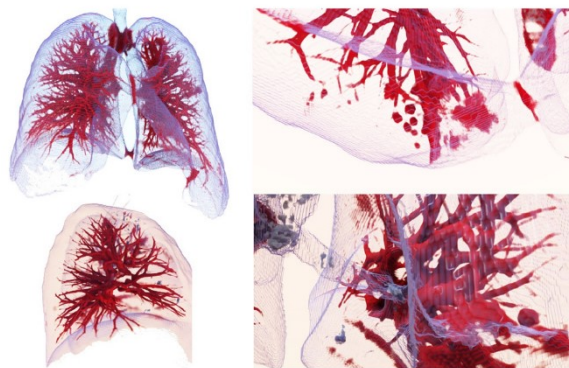


Figure 13. Volume representation of the result of automatic segmentation for lung with blood vessels. **Upper left:** complete lung with veins and arteries. **Upper right:** an enlargement of an area with a detected tumor. **Lower left:** the right lung. **Lower right:** enlarged view of the hilum area.

This filtering can be performed in real time in devices with less processing and rendering capacity than a personal computer (PC), such as virtual reality glasses or smartphones, using augmented reality techniques. This is important, as no specialized workstation is needed and anyone can perform filtering using only a smartphone.

We created a Github repository for this project, where researchers can find the files indicated above, at: <https://github.com/arsoft-company/nextmed>.

The processing time of the algorithm (lung) per result was an average of two minutes (Table 1 provides some examples). The processor used was an Intel i5 9600K (Inter Corporation, Santa Clara, CA, USA) containing six nuclei that works at a maximum frequency of 4.6 GHz and with an L3 cache

memory of 9 MB, accompanied by a RAM memory of 16 GB to 2400 MHz. All the values shown in Table 1 represent the time required to execute the full process: load dicom, segmentation, 3D reconstruction, and saving all the results, including a video with all the images segmented, Hounsfield histogram, .mha file, .nrrd file, and .obj file.

Table 1. Execution times for different anatomical structures, including segmentation, reconstruction, and results storage.

CT Scan	Region Segmented	Execution Time	Image Resolution	Number of Slices
LIDC-IDRI-0001	lungs	6.94 s	512 × 512	133
	lung vessels	1 min 23 s		
	trachea	11.4 s		
	spine	1 min 42 s		
	heart	2 min 18 s		
LIDC-IDRI-0002	lungs	13.3 s	512 × 512	261
	lung vessels	1 min 56 s		
	trachea	31 s		
	spine	3 min 25 s		
	heart	4 min 40 s		
LIDC-IDRI-1004	lungs	25.3 s	512 × 512	529
	lung vessels	3 min 16 s		
	trachea	1 min 28 s		
	spine	6 min 54 s		
	heart	10 min 2 s		

The heart segmentation algorithm has to locate the spine first, which takes about seven minutes. We had to locate the spine to improve the first versions of our algorithm, as the spine also appeared near the heart. So, we segmented the spine and the heart, and then we subtracted to the second from the first result, obtaining only the spine. This is the reason why our heart segmentation algorithm is slow. We have to take into account that approximately 25% of the time is used for 3D reconstruction and 5% is used for data storage. These times also depend on the hardware used.

Since artificial vision algorithms were implemented in this phase for lung segmentation and not artificial intelligence and compute unified device architecture (CUDA) programming was used, it is possible to improve the processing time [49]. CUDA programming is an architecture oriented toward parallel computing, so that large amounts of code can run simultaneously to generate results in parallel.

3.2. Results Visualization

Once automatically segmenting an anatomical region was possible and the result of that segmentation was converted into a smooth 3D mesh, the next step was to offer doctors the most appropriate tools for visualizing the 3D model. For this purpose, Nextmed offers three different tools: an augmented reality platform (Figure 14), one based on virtual reality (Figure 15), and a PC version (Figure 16). The first two provide an innovative method for studying radiological results and allow the full potential of the three dimensions to be exploited.

To view a 3D model, the doctor has to upload the dicom images to our cloud platform (Figures 17 and 18). A web application has been developed for this, allowing the doctor to select a patient, a radiological study, and a set of segmentations. Once the dicom images are uploaded, a program will segment them as soon as the CPU is available; as many segmentations can be performed simultaneously, this program must decide what algorithms to run to avoid system errors due to CPU overhead. As soon as the algorithms finish their execution, the generated 3D models will be available for the medical professional to be visualized with augmented and virtual reality.



Figure 14. Visualization image of a segmented lung in the augmented reality platform with a transversal cut.

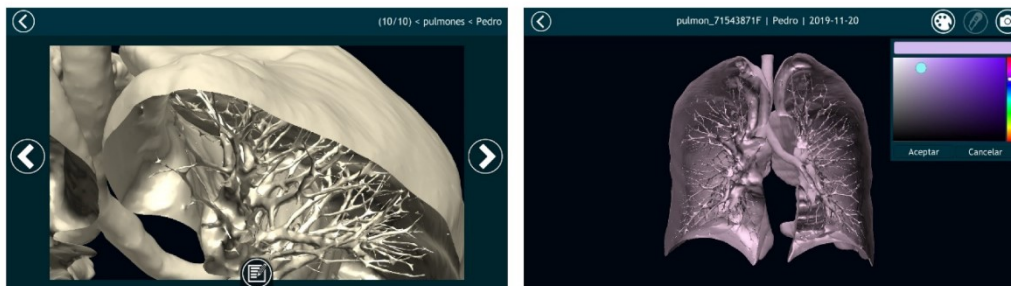


Figure 15. Left image shows a screenshot where the professional can add comments that can be accessed later during a surgery. Right image shows a cut lung with veins and arteries painted.

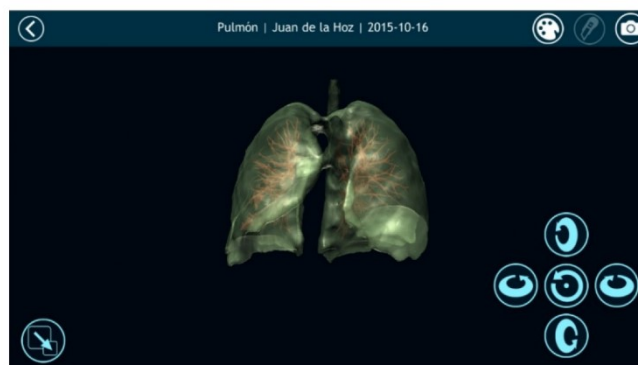


Figure 16. Visualization of a segmented lung with its veins and arteries in the personal computer (PC) version of the visualization platform, with transparency applied to the lung mesh.

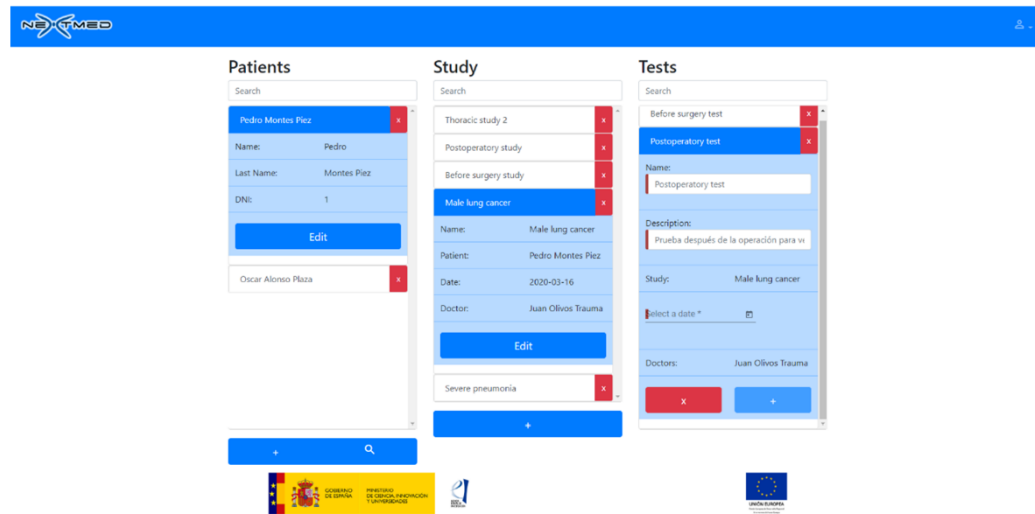


Figure 17. Web application to manage dicom images for different patients (patient data are not real).

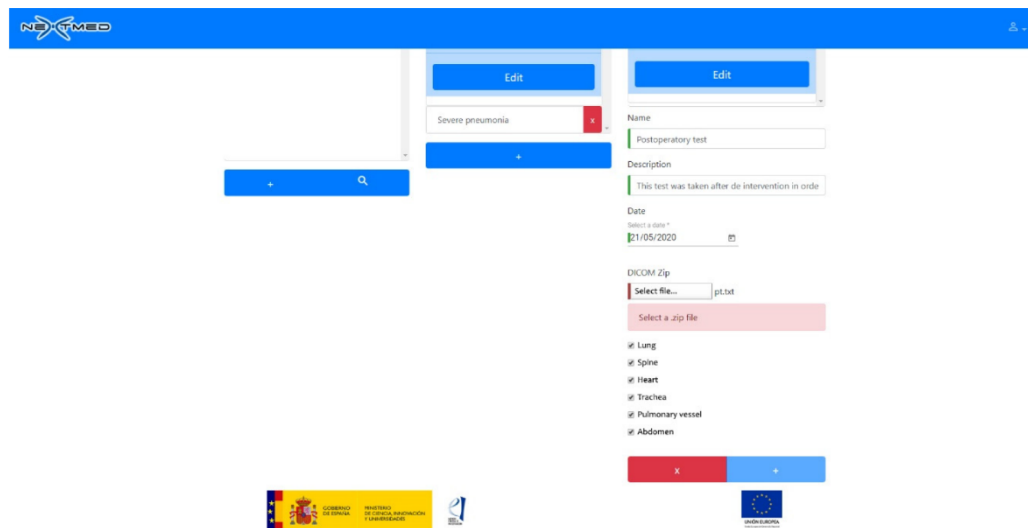


Figure 18. Loading new dicom images to web platform selecting what anatomical regions should be segmented and modeled.

In addition, the system offers the medical professional different functionalities to facilitate diagnosis and to complete a pre-surgical study that can later be visualized during the surgery. An example of these features is the multiple cut tool, which allows sections to be created only in certain regions, while keeping the others intact. This is depicted in Figure 19, where different anatomical regions automatically segmented from the same medical image are visualized simultaneously. As it is also possible to capture screenshots and write notes for each screenshot, the medical professional can create resources that can be visualized later during surgery. Even an augmented reality glass can be used during surgery to see the 3D model of the patient and the notes, which is useful, as screen touching is not required to interact with the visualization system due to hands recognition.



Figure 19. Visualization platform with a cutting sequence for the different anatomical regions of a patient.

4. Discussion

The work on the Nextmed project represents a qualitative leap in terms of the study of radiological results, mainly due to two important points. Firstly, we provide the possibility of using automatic segmentation in the daily work of medical professionals, and secondly, we allow the industrialized visualization and manipulation of 3D models (not a specialized method for specific cases) using any computer or mobile device, through the use of augmented and virtual reality.

Until now, systems have been designed to visualize a specific 3D model using these techniques, and many of them are used only for training purposes [50–57]. However, the future of these technologies in the medical sector will be to use them for all radiological results obtained from patients and not only for specific cases. This is precisely the objective of Nextmed: to bring the advantages of augmented and virtual reality to all hospitals, since the tools for doing so are now in place—any computer or phone, as well as augmented and virtual reality glasses.

Therefore, the chief difference of this project from other similar works is that Nextmed has been developed with the idea of using these technologies in a hospital setting and on a daily basis. Whereas other studies [5–12] focused more exclusively on segmentation algorithms, this work includes these algorithms as part of a complete platform that addresses other issues. In relation with previous publications regarding the Nextmed project [32], main novelties are that the system has now been tested in greater detail by professionals from Salamanca Hospital, including radiologists, surgeons, and other specialists, as we wanted to obtain feedback from different points of view. In addition, a cloud platform has been designed and visualization platforms now have new functionalities.

Although many workstations and segmentation programs, such as 3D Slicer or Osirix, include semi-automatic segmentation techniques, up to three hours may be required to obtain proper lung segmentation. Automatic segmentation therefore provides a considerable improvement, being able to complete the process in just a few minutes or even a few seconds, if using the right hardware. Table 1 lists the times required for our algorithms to produce different radiological results, improving the results of other algorithms [46,47].

The central aspects of this work can be summarized in the following points:

- (1) Different anatomical structures can be automatically segmented and a 3D model can be generated in any computer (a workstation is not necessary).
- (2) A tool is offered to physicians to visualize medical images in 3D with three different versions: augmented, virtual reality, and computer.
- (3) All algorithms were tested using more than 1000 dicom images from computed tomography.
- (4) This technology was prepared for its implementation in the daily work of radiologists and specialists, as the entire process is automated.

- (5) This work has given rise to the Nextmed project, which is currently still in progress.

Future Work

In the future, compatibility with nrrd and dicom files in the augmented and virtual display platforms could be considered, which would allow them to interact with volumes of voxels, as well as with meshes. This would involve the introduction of the VTK library in the graphic engine provided by Unity3D, which would allow the voxels of a dicom or nrrd image to be rendered in real time and enhance the doctor's ability to study a particular region. For example, areas could be manually isolated based on the Hounsfield units using a similar method to traditional programs for processing medical images. To achieve this, OpenGL can be used to render images using VTK inside the Unity3D environment.

Over the coming years, AI will change diagnostic methodology via radiological results. This will allow medical professionals to analyze radiological results and to improve the existing visualization techniques. The use of artificial intelligence to support artificial vision algorithms during automatic segmentation would allow the segmentation processes to learn over time, obtaining increasingly better results. AI also offers the possibility to employ automatic diagnostic techniques. In some cases, the use of AI has already been successful [58], such as detecting metastasis [59], diabetic retinopathy [60], or predicting cardiovascular risk factors [61].

Therefore, the inclusion of these AI techniques will allow the physician to study medical images more efficiently and to take advantage of a first analysis to recognize alterations that could be otherwise overlooked. For example, including a nodule identification module software with AI could be interesting.

5. Conclusions

Medical professionals state that non-intrusive access to 3D models through the use of augmented reality glasses during surgery could provide a significant additional advantage over traditional workstations. Notes and images taken during the pre-surgical study are easily accessible, which is of interest to surgeons, who cannot touch anything during surgery.

The noise that appears in many medical images poses a challenge for the artificial vision algorithms at the time of segmenting certain regions. Nevertheless, the devices used to create these images are becoming increasingly precise, which is why the number of cases with a sufficient amount of noise to produce unsatisfactory segmentation results is much lower. In some cases, this is less than 1%, which is why we can say that this does not pose a problem for automatic segmentation.

The application of binary masks has been useful for the development of segmentation algorithms; however, creating masks that perfectly demarcate the regions is difficult. This could be enhanced by applying AI techniques that improve this delimitation based on learning. One of the objectives for which different files are generated during the segmentation process (see Section 2.4) is that, in the future, these files can be used to train a neural network.

Studies have detected variations in the dicom with respect to the 3D mesh, due to the conversion process [57]. Although the generated 3D models faithfully reflect the results visible in the medical images, the minimization of this error must be considered a priority, since precision is a fundamental factor.

In the future, doctors and radiologists will use augmented and virtual reality to study medical images on a routine and daily basis. However, to achieve this, a 3D model of the anatomical area of interest must be affordably generated. As such, we must continue to progress the implementation of automatic segmentation techniques that may be applicable for all types of cases. In this study, we also focused on medical images obtained from computed tomography, but it is necessary to continue with research that includes compatibility with magnetic resonance.

Supplementary Materials: The following are available online at <https://github.com/arsoft-company/nextmed>. Video S1: Arsoft_AutomaticLungSegmentation.mp4, and other related resources.

Author Contributions: Conceptualization, S.G.I.; Data Curation, S.G.I.; Formal Analysis, S.G.I.; Funding Acquisition, S.G.I.; Investigation, S.G.I., R.S.T. and Ó.A.P.; Methodology, S.G.I.; Project Administration, S.G.I.; Software, S.G.I., R.S.T. and Ó.A.P.; Supervision, S.G.I., J.A.J.M., and F.J.G.-P.; Validation, J.A.J.M. and F.J.G.-P.; Visualization, S.G.I.; Writing—Original Draft, S.G.I.; Writing—Review & Editing, S.G.I. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This project and research was funded by the Challenges-Collaboration program of the European Union (FEDER), with collaboration of spanish national investigation agency, file number RTC-2017-6682-1.

Acknowledgments: The authors would like to specifically thank the members of the company specialized in virtual and augmented reality systems, ARSOFT, located in Salamanca, Spain. We also appreciate the participation of Salamanca Hospital and the medical professionals from the VisualMed Systems research group from the University of Salamanca. This research work was conducted within Education in Knowledge Society Ph.D. Programme of the University of Salamanca [62,63].

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

References

- Doi, K. Diagnostic imaging over the last 50 years: Research and development in medical imaging science and technology. *Phys. Med. Biol.* **2006**, *51*, R5. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Kirchgeorg, A.M.; Prokop, M. Increasing spiral ct benefits with postprocessing applications. *Eur. J. Radiol.* **1998**, *28*, 39–54. [\[CrossRef\]](#)
- Hill, M.; Thornham, A.; Taylor, C.J. Model-Based Interpretation of 3d Medical Images. In Proceedings of the 4th British Machine Vision Conference, Guildford, UK, 21–23 September 1993; pp. 1–10. [\[CrossRef\]](#)
- Sharma, M.N.; Aggarwal, L. Automated medical image segmentation techniques. *J. Med. Phys. Assoc. Med. Phys. India* **2010**, *35*, 3. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Cid, Y.D.; del Toro, O.A.J.; Depeursinge, A.; Müller, H. Efficient and fully automatic segmentation of the lungs in CT volumes. In *Proceedings of the VISCERAL Anatomy Grand Challenge at the 2015 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), New York, NY, USA, 16 April 2015*; Goksel, O., del Toro, O.A.J., Foncubierta-Rodríguez, A., Müller, H., Eds.; CEUR Workshop Proceedings Series, no. 1390; CEUR-WS.org: Aachen, Germany; pp. 31–35.
- Ecabert, O.; Peters, J.; Schramm, H.; Lorenz, C.; von Berg, J.J.; Walker, M.; Vembar, M.; Olszewski, M.E.; Subramanyan, K.; Lavi, G.; et al. Automatic model-based segmentation of the heart in ct images. *IEEE Trans. Med. Imaging* **2008**, *27*, 1189–1201. [\[CrossRef\]](#)
- Petitjean, C.; Zuluaga, M.A.; Bai, W.; Dacher, J.; Grosgeorge, D.; Caudron, J.; Ruan, S.; Ben Ayed, I.; Cardoso, J.; Chen, H.; et al. Right ventricle segmentation from cardiac MRI: A collation study. *Med Image Anal.* **2015**, *19*, 187–202. [\[CrossRef\]](#)
- Ruskó, L.; Bekes, G.; Fidrich, M. Automatic segmentation of the liver from multi-and single- phase contrast-enhanced CT images. *Med Image Anal.* **2009**, *13*, 871–882. [\[CrossRef\]](#)
- Santarelli, M.F.; Positano, V.; Michelassi, C.; Lombardi, M.; Landini, L. Automated cardiac mr image segmentation: Theory and measurement evaluation. *Med Eng. Phys.* **2003**, *25*, 149–159. [\[CrossRef\]](#)
- Sargent, D.; Park, S.Y. Automatic segmentation of mammogram and tomosynthesis images. *Proc. SPIE* **2016**, *9784*, 978437. [\[CrossRef\]](#)
- Shrivastava, D.; Kandar, D.; Maji, A.K. Automated segmentation of bone computed tomography image using deep convolution neural network. *J. Comput. Theor. Nanosci.* **2018**, *15*, 2036–2039. [\[CrossRef\]](#)
- Stein, T.; Metzger, J.; Scherer, J.; Isensee, F.; Norajitra, T.; Kleesiek, J.; Maier, K.-H.; Nolden, M. Efficient web-based review for automatic segmentation of volumetric dicom images. *Bildverarbeitung. Medizin.* **2019**, 158–163. [\[CrossRef\]](#)
- González Izard, S.; Juanes Méndez, J.A.; García-Peñalvo, F.J. Nextmed: How to enhance 3d radiological images with augmented and virtual reality. In Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, Salamanca, Spain, 24–26 October 2018; pp. 397–404. [\[CrossRef\]](#)

14. González Izard, S.; Alonso Plaza, O.; Sánchez Torres, R.; Juanes Méndez, J.A.; García-Peñalvo, F.J. Nextmed, augmented and virtual reality platform for 3d medical imaging visualization: Explanation of the software platform developed for 3d models visualization related with medical images using augmented and virtual reality technology. In Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, Leon, Spain, 16–18 October 2019; pp. 459–467. [\[CrossRef\]](#)
15. Shuhaiber, J.H. Augmented reality in surgery. *Arch. Surg.* **2004**, *139*, 170–174. [\[CrossRef\]](#)
16. McCloy, R.; Stone, R. Virtual reality in surgery. *BMJ* **2001**, *323*, 912–915. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
17. Gibson, E.; Li, W.; Sudre, C.; Fidon, L.; Shakir, D.I.; Wang, G.; Eaton-Rosen, Z.; Gray, R.; Doel, T.; Hu, Y.; et al. Niftynet: A deep-learning platform for medical imaging. *Comput. Methods Programs Biomed.* **2018**, *158*, 113–122. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
18. Milletari, F.; Navab, N.; Ahmadi, S.A. V-net: Fully convolutional neural networks for volumetric medical image segmentation. In Proceedings of the Fourth International Conference on 3D Vision (3DV), Stanford, CA, USA, 25–28 October 2016; pp. 565–571. [\[CrossRef\]](#)
19. Sun, L.; Peng, Z.; Wang, Z.; Pu, H.; Guo, L.; Yuan, G.; Yin, F.; Pu, T. Automatic lung segmentation in chest CT image using morphology. In Proceedings of the 9th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Optoelectronic Materials and Devices for Sensing and Imaging, Chengdu, China, 26–29 June 2018; p. 108431D.
20. Image Segmentation Using Deep Learning: A Survey. Available online: <https://arxiv.org/abs/2001.05566> (accessed on 22 May 2020).
21. He, K.; Gkioxari, G.; Dollár, P.; Girshick, R. Mask r-CNN. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Venice, Italy, 22–29 October 2017; pp. 2961–2969.
22. Zhou, Z.; Siddiquee, M.M.R.; Tajbakhsh, N.; Liang, J. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation. In *Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support*; Lecture Notes in Computer Science; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; Volume 11045. [\[CrossRef\]](#)
23. Ronneberger, O.; Fischer, P.; Brox, T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*; Lecture Notes in Computer Science; Navab, N., Hornegger, J., Frangi, A.W., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; Volume 9351. [\[CrossRef\]](#)
24. Catà, M.; Casamitjana, A.; Sanchez, I.; Combalia, M.; Vilaplana, V. Masked V-Net: An approach to brain tumor segmentation. In Proceedings of the International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention. MICCAI BraTS Challenge, Quebec, QC, Canada, 11–13 September 2017; pp. 42–49.
25. Xue, Y.; Xu, T.; Zhang, H.; Long, L.R.; Huang, X. SegAN: Adversarial Network with Multi-scale L1 Loss for Medical Image Segmentation. *Neuroinform* **2018**, *16*, 383–392. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Zhou, Y.; Xie, L.; Shen, W.; Wang, Y.; Fishman, E.K.; Yuille, A.L. A Fixed-Point Model for Pancreas Segmentation in Abdominal CT Scans. In Proceedings of the International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, MICCAI BraTS Challenge, Quebec, QC, Canada, 11–13 September 2017; pp. 693–701. [\[CrossRef\]](#)
27. Izard, S.G.; Méndez, J.A.J. Virtual reality medical training system. In Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, Salamanca, Spain, 2–4 November 2016; pp. 479–485. [\[CrossRef\]](#)
28. Izard, S.G.; Méndez, J.A.J.; García-Peñalvo, F.J.; López, M.J.; Vázquez, F.P.; Ruisoto, P. 360 vision applications for medical training. In Proceedings of the Fifth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, Cádiz, Spain, 18–20 October 2017; ACM: New York, NY, USA, 2017; pp. 1–7. [\[CrossRef\]](#)
29. Izard, S.G.; Méndez, J.A.J.; Estella, J.M.G.; Ledesma, M.J.S.; García-Peñalvo, F.J.; Ruisoto, P. Virtual simulation for scoliosis surgery. In Proceedings of the Fifth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, Cádiz, Spain, 18–20 October 2017; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2017; pp. 1–8.
30. Izard, S.G.; Juanes, J.A.; Peñalvo, F.J.G.; Estella, J.M.G.; Ledesma, M.J.S.; Ruisoto, P. Virtual reality as an educational and training tool for medicine. *J. Med. Syst.* **2018**, *42*, 50. [\[CrossRef\]](#)

31. Izard, S.G.; Méndez, J.A.J.; Palomera, P.R. Virtual reality educational tool for human anatomy. *J. Med. Syst.* **2017**, *41*, 76. [\[CrossRef\]](#)
32. Izard, S.G.; Méndez, J.A.J.; Palomera, P.R.; García-Peñalvo, F.J. Applications of virtual and augmented reality in biomedical imaging. *J. Med. Syst.* **2019**, *43*, 102. [\[CrossRef\]](#)
33. Ibáñez, L.; Schroeder, W.; Ng, L.; Cates, J.; The Insight Software Consortium. *The ITK Software Guide Second Edition Updated for ITK Version 2.4*; Kitware, Inc.: New York, NY, USA, 2005.
34. Yoo, T.S.; Ackerman, M.J.; Lorensen, W.E.; Schroeder, W.; Chalana, V.; Aylward, S.; Metaxas, D.; Whitaker, R. Engineering and algorithm design for an image processing API: A technical report on ITK the insight toolkit. In *Studies in Health Technology and Informatics*; IOS Press: Amsterdam, The Netherlands, 2002; pp. 586–592.
35. Perkel, J. Why JUPYTER is Data Scientists' Computational Notebook of Choice. *Nature* **2018**, *563*, 145–146. [\[CrossRef\]](#)
36. Armato, S.G., III; McLennan, G.; Bidaut, L.; McNitt-Gray, M.F.; Meyer, C.R.; Reeves, A.P.; Clarke, L.P. Data from lidc-idri. *Cancer Imaging Arch* **2015**, *9*. [\[CrossRef\]](#)
37. Armato, S.G., III; McLennan, G.; Bidaut, L.; McNitt-Gray, M.F.; Meyer, C.R.; Reeves, A.P.; Zhao, B.; Aberle, D.R.; Henschke, C.I.; Hoffman, E.A.; et al. The lung image database consortium (LIDC) and image database resource initiative (IDRI): A completed reference database of lung nodules on CT scans. *Med Phys.* **2011**, *38*, 915–931. [\[CrossRef\]](#)
38. Bhagat, A.P.; Atique, M. Medical images: Formats, compression techniques and dicom image retrieval a survey. In Proceedings of the 2012 International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS), Coimbatore, India, 15–16 March 2012; pp. 172–176. [\[CrossRef\]](#)
39. Mildenerberger, P.; Eichelberg, M.; Martin, E. Introduction to the dicom standard. *Eur. Radiol.* **2002**, *12*, 920–927. [\[CrossRef\]](#)
40. Geveci, B.; Schroeder, W.; Brown, A.; Wilson, G. *The Architecture of Open Source Applications*; Kitware, Inc.: New York, NY, USA, 2012.
41. Schroeder, W.J.; Avila, L.S.; Hoffman, W. Visualizing with vtk: A tutorial. *IEEE Comput. Graph. Appl.* **2000**, *20*, 20–27. [\[CrossRef\]](#)
42. Yagou, H.; Ohtake, Y.; Belyaev, A. Mesh smoothing via mean and median filtering applied to face normals. In Proceedings of the Geometric Modeling and Processing. Theory and Applications (GMPC 2002), Saitama, Japan, 10–12 July 2002; pp. 124–131. [\[CrossRef\]](#)
43. Fain, Y.; Moiseev, A. *Angular 2 Development with TypeScript*; Manning Publications Co.: Shelter Island, NY, USA, 2016.
44. Rubio, D. *Beginning Django*; Apress: Berkeley, CA, USA, 2017.
45. Schmitz, G.; Fett, D.; Küsters, R. A comprehensive formal security analysis of OAuth 2.0. In Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, Vienna, Austria, 24–28 October 2016; pp. 1204–1215.
46. Tommasi, E.; Agrusti, A.; Cataldo, R.; De Mitri, I.; Favetta, M.; Maglio, S.; Massafra, A.; Quarta, M.; Torsello, M.; Zecca, I.; et al. Automatic lung segmentation in CT images with accurate handling of the hilar region. *J. Digit. Imaging* **2011**, *24*, 11–27.
47. Singadkar, G.; Mahajan, A.; Thakur, M.; Talbar, S. Automatic lung segmentation for the inclusion of juxta-pleural nodules and pulmonary vessels using curvature based border correction. *J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci.* **2018**. [\[CrossRef\]](#)
48. Kroes, T.; Post, F.H.; Botha, C. Exposure render: An interactive photo-realistic volume rendering framework. *PLoS ONE* **2012**, *7*, e38586. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
49. Sanders, J.; Kandrot, E. *CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming*; Addison-Wesley Professional: Boston, MA, USA, 2010.
50. Birkfellner, W.; Figl, M.; Huber, K.; Watzinger, F.; Wanschitz, F.; Hummel, J.; Hanel, R.; Greimel, W.; Homolkam, P.; Ewers, R.; et al. A head-mounted operating binocular for augmented reality visualization in medicine—Design and initial evaluation. *IEEE Trans. Med. Imaging* **2002**, *21*, 991–997. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
51. Nikolaou, V.S.; Chytas, D.; Malahias, M.A. Augmented reality in orthopedics: Current state and future directions. *Front. Surg.* **2019**, *6*, 38.
52. Gerard, I.J.; Kersten-Oertel, M.; Drouin, S.; Hall, J.A.; Petrecca, K.; De Nigris, D.; Collins, D.L.; Ian, J.; Kersten-Oertel, M. Combining intraoperative ultrasound brain shift correction and augmented reality visualizations: A pilot study of eight cases. *J. Med. Imaging* **2018**, *5*, 021210. [\[CrossRef\]](#)

53. Jiang, H.; Xu, S.; State, A.; Feng, F.; Fuchs, H.; Hong, M.; Rozenblit, J. Enhancing a laparoscopy training system with augmented reality visualization. In Proceedings of the Spring Simulation Conference (SpringSim), Tucson, AZ, USA, 29 April–2 May 2019; pp. 1–12.
54. Navab, N.; Blum, T.; Wang, L.; Okur, A.; Wendler, T. First deployments of augmented reality in operating rooms. *Computer* **2012**, *45*, 48–55. [\[CrossRef\]](#)
55. Navab, N.; Traub, J.; Sielhorst, T.; Feuerstein, M.; Bichlmeier, C. Action- and workflow-driven augmented reality for computer-aided medical procedures. *IEEE Comput. Graph. Appl.* **2007**, *27*, 10–14. [\[CrossRef\]](#)
56. Michael Müller Carsten, N.; Gutt Hans-Peter Meinzer Jens, J.; Rassweiler Selcuk, G.; Simpfendörfer, T.; Baumhauer, M.; Teber, D. Augmented reality visualization during laparoscopic radical prostatectomy. *J. Endourol.* **2011**, *25*, 1841–1845.
57. Chugh, H.; Mehta, V.; Banerjee, D.; Banerjee, P. Applications of augmented reality in emerging health diagnostics: A survey. In Proceedings of the International Conference on Automation and Computational Engineering (ICACE), Greater Noida, India, 3–4 October 2018; pp. 45–51. [\[CrossRef\]](#)
58. InterestingEngineering. Google's Medical AI Detects Lung Cancer with 94 Percent Accuracy. Available online: <https://interestingengineering.com/googles-medical-ai-detects-lung-cancer-with-94-accuracy> (accessed on 21 December 2019).
59. Liu, Y.; Gadepalli, K.; Norouzi, M.; Dahl, G.E.; Kohlberger, T.; Boyko, A.; Hipp, J.D.; Timofeev, A.; Nelson, P.; Corrado, G.; et al. Detecting cancer metastases on gigapixel pathology images. *arXiv* **2017**, arXiv:1703.02442.
60. Gulshan, V.; Peng, L.; Coram, M.; Stumpe, M.C.; Wu, D.; Narayanaswamy, A.; Venugopalan, S.; Widner, K.; Madams, T.; Cuadros, J.; et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA* **2016**. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
61. Poplin, R.; Varadarajan, A.V.; Blumer, K.; Liu, Y.; McConnell, M.; Corrado, G.; Peng, L.; Webster, D. Predicting cardiovascular risk factors in retinal fundus photographs using deep learning. *Nat. Biomed. Eng.* **2018**, *2*, 158–164. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
62. García-Peñalvo, F.J. Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar. *Educ. Knowl. Soc.* **2014**, *15*, 4–9. [\[CrossRef\]](#)
63. García-Peñalvo, F.J. Engineering contributions to a multicultural perspective of the knowledge society. *IEEE Rev. Iberoam. Tecnol. Aprendiz.* **2015**, *10*, 17–18. [\[CrossRef\]](#)



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

XIX. Anexo X: Virtual Reality In Higher Education An Experience With Medical Students

La COVID-19 ha cambiado la forma en que los estudiantes acceden a la información. El contenido virtual disponible en la educación superior tiene que crecer, y la Realidad Virtual es la forma perfecta de conseguirlo, ya que permite acceder virtualmente a las aulas, interactuar con el contenido didáctico y una visualización inmersiva, incluso la opción de evaluar automáticamente a los estudiantes.

Esta investigación se basa en el estudio de las posibilidades que las Realidad Virtual ofrece en la educación superior. Por tanto, el objetivo principal es la validación del uso de una plataforma de Realidad Virtual denominada “Medical Studium” como herramienta de enseñanza-aprendizaje. Se ha implementado una metodología de caso de estudio con un diseño descriptivo contando con 19 estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca (España), empleando tanto datos cuantitativos como cualitativos. Se han utilizado pruebas objetivas y un cuestionario como instrumentos de recopilación de datos.

Los resultados muestran que esta tecnología, y esta herramienta en particular, ayuda a los estudiantes en el estudio de determinados conceptos que pueden resultar complicados de entender, al tiempo que soluciona los problemas que tienen en relación a la formación en protocolos quirúrgicos. Además, los estudiantes se encuentran más motivados para el estudio gracias a la interacción con contenido virtual e inmersivo, y gracias a que pueden reproducir una lección tantas veces como deseen. Estos hallazgos pueden significar un cambio tanto en las técnicas de enseñanza como en las técnicas de aprendizaje, ya que supone una mejora para los estudiantes, especialmente en cuanto a la formación práctica.


Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students

Research into how Virtual Reality can be used as a powerful training tool for medicine students

Santiago González

Izard

Universidad de
Salamanca
Salamanca, España

santiago.gi@usal.es 

Cristina Vivo

Vicent

Universitat Rovira i
Virgili
Tarragona, España

cristina.vivo@alumni.urv.cat

Juan Antonio Juanes

Méndez

Departamento de
Anatomía
Universidad de
Salamanca

Salamanca, España
ja jm@usal.es

Ramon Palau

Pedagogia, Universitat

Rovira i Virgili
Tarragona, España

ramon.palau@urv.cat

ABSTRACT

COVID-19 has changed how students access to information. In the next years, higher education should increase the number of virtual contents and Virtual Reality is a the best way to achieve it, as it offers a way to access classrooms, get interactive and immersive content and even evaluate the students.

This project is born from the exploration of the educational possibilities of Virtual Reality in higher education. Therefore, the objective of this study is to validate the use of the VR platform "Medical Studium" for the teaching-learning process of medical students. For the evaluation a sample of 19 students have been selected from the Faculty of Medicine of the University of Salamanca (Spain), using both quantitative and qualitative data. Objective evidence and a questionnaire have been used as a data collection instrument. The results show that it helps them to better study some concepts that may seem difficult for students, as well as how to solve the limitation problems they have regarding the training of surgical operations. In addition, students are more motivated thanks to interaction with virtual and immersive content and they can reproduce a lesson as many times as they need. These findings can mean a change in both teaching and learning, as it is an improvement for students in their practical training.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

WOODSTOCK'18, June, 2018, El Paso, Texas USA

© 2018 Copyright held by the owner/author(s). 978-1-4503-0000-0/18/06...\$15.00

KEYWORDS

Virtual Reality, Medicine, Higher education, Virtual Simulation, Teaching-Learning Process.

CCS CONCEPTS

• Applied computing → Education → Interactive learning environments; Applied computing → Education → E-learning; Human-centered computing → Visualization → Visualization systems and tools → Visualization toolkits; Applied computing → Life and medical sciences → Health informatics.

1 Introduction

ICTs are part of our daily lives and have changed our lifestyle and therefore our way of teaching and learning. For this reason, education through Virtual Reality (VR) offers us a new mode of teaching-learning. To do this, we must go deeper into the digital skills that are increasingly embedded in higher education.

ICTs are causing a constant transformation in people's lives, both in the way they search for information, interact with other people, generate content and solve everyday problems [1].

The starting point of the project is a study and analysis of the use of a Virtual Reality platform for the training of students in the university environment, and specifically, for medical students. The project will be based on a case study to validate a training tool that makes use of Virtual Reality and that the company Arsoft has developed for the Faculty of Medicine of the University of Salamanca.

This platform will offer students the fusion of real and virtual content, so that students can be guided through images and videos recorded from a real intervention, and thus help them improve in their practical training. Virtual Reality could also solve any problem of limitation they may have, as far as surgical operation training is concerned.

1.1 Legal framework

The legal framework for ICT in higher education, the Organic Law 6/2001, of 21 December, on Universities, states that the integration of Information and Communication Technologies in the university is an essential condition for improving the quality

TEEM 2020, October 2020, Salamanca, Spain

of university education. As in today's market, universities require new ICTs to reduce costs and improve educational efficiency. The competitiveness of today's society, knowledge as the main product, makes it essential that higher education institutions accept the challenge and bring research closer to the development of technologies adapted to the needs of university training [2]. As indicated by Sousa, Pessoa and Gallego [3], in the field of education, it is necessary to wait for the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions in 2013 to have a clear order in higher education to assume "to be digital", in terms of resources and methods. Therefore, "help schools, teachers and students acquire digital skills and learning methods, link the development and availability of open educational resources, connect classes and implement digital devices and content, mobilize all stakeholders (teachers, students, families and economic and social partners) to change the role of digital technologies in schools" [4]. Technologies also present challenges and opportunities that can improve production, organization, dissemination and control of access to knowledge. In this way, higher education must address this.

1.2 Technologies for Teaching-Learning in Medicine

Today, technologies are emerging that are increasingly approaching the University context. In this way, according to Cabero and Fernández [5] it is necessary to know the technological trends that are approaching the university system in order to create knowledge on the potential for training and on the decision making for its integration in the educational field. The introduction of ICT in the classroom has created new teaching-learning processes in medical education. Teachers do a primary job by transmitting and reinforcing knowledge to students [6]. The impact of ICTs on medical careers has developed a new way of teaching and learning, encouraging significant communication, interaction and collaboration between students and teachers [7]. We are also in front of so-called "emerging technologies". Therefore, Veletsianos proposes a definition of "emerging technologies", specific for education: Emerging technologies are tools, concepts, innovations and advances used in various educational contexts in the service of various educational purposes. In addition, I propose that emerging technologies ("new" and "old") are evolving organisms that experience cycles of overexpectation and, while potentially

disruptive, have not yet been fully understood or sufficiently researched [8].

On the one hand, Orozco, et al. [9] describe Augmented Reality (AR) as a technology capable of complementing perception and interaction with the real world, giving the user a real scenario, augmented with additional computer-generated information.

On the other hand, Pérez [10] describes VR as a the human-machine interface, which allows the user to immerse themselves in a virtual 3D graphical simulation, and navigate and interact in real time, from a user centric perspective.

We could describe Mixed Reality as a subset of Augmented Reality, where virtual content is placed on the real world.

This project is focused on VR. The platform "Medical Studium" used in this work, is incorporated into the Oculus Go VR glasses that are being used in the Faculty of Medicine of the University of Salamanca.

1.3 Virtual Reality as a tool in university educational contexts

One of the characteristics that can define VR is immersion, since it has the ability to transport the user to a completely virtual world, being able to move away from physical reality. Therefore, this immersion is done through sight and hearing. However, technology will allow the incorporation of other senses such as touch and smell, so that this immersion is increasingly complete.

On the other hand, as Gutiérrez and Hernández point out [11] simulation is a process that allows us to study a physical system by replacing it with another more easily observable or measurable one. Simulation can cover many different interests: in this case through the platform, a medical student will be able to see in a simulator how operations are done, study the layers of the human anatomy or visualize the cranium from inside while listening to teacher explanations.

In a study of a virtual learning environment for training in student psychiatry, the advantage of e-learning within the field of medicine is emphasized, since it has various applications. In this study, they set out a platform for the psychiatry department, which will allow students to acquire knowledge [13].

Another study on the usefulness of VR, in particular in chest surgery, gives importance to teaching through the use of simulation. In this way, students acquire greater knowledge, and skill. Hence the great advantage that students have in learning with the VR tool, by the practice that is acquired thanks to their simulations [14].

Also, in a study by Losada, et al. [15] Virtual Reality systems have been proven to be useful for specific learning in technical skills, aptitudes and knowledge. The virtual hospital they have employed combines classroom study with hospital work. This combination is key to learning clinical skills.

There are many other experiences with Virtual Reality for training and teaching purposes for medicine, such as this neuro-navigation system performed with the help of VR systems such as VR glasses, Leap Motion [12]. However, Medical Studium is one of the first VR platforms involving different kind of immersive

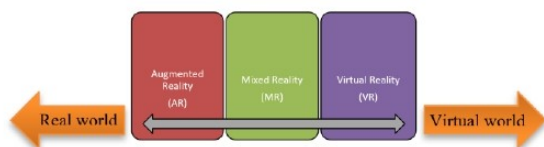


Figure 1 Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) and Mixed Reality (MR) Source: Own Design

The Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students

TEEM 2020, October 2020, Salamanca, Spain

content in the same system that is being used by a University. Researches of this paper have not found any other platform designed for Universities that can mix in the same application many different contents including simulators, 360 videos, 360 interactive scenarios, immersive lessons and evaluation systems.

1.4 Role that motivation plays in the teaching-learning process

New mobile devices, such as AR/VR glasses, have playful and attractive interfaces that make this type of tools interesting for the educational field, at all levels. Student motivation is a very important role in the teaching-learning process. In this way, "ICTs generate motivation because they allow to work in environments based on iconographic-visual languages and because they favor the autonomous work of the students themselves" [16].

According to Cataldi, et al. [17] they learn with motivation because "the use of application programs allows to increase the interest of students in "learning by doing". Students are sought to regain satisfaction from their learnings using these virtual additions, which open up new options for them."

Motivation according to [18] affects learning and performance in four ways:

- Increases the energy level and activity level of the individual.
- Directs the individual towards certain goals.
- Encourages certain activities to be initiated. Motivation increases the likelihood that a student will start something on their own initiative.
- Affects the learning strategies and cognitive processes a student deploys on a task.

Through the interactive platform, students acquire knowledge and techniques that help them in the development of their future profession.

ICTs have expanded in the field of education, showing changes in teaching-learning processes. Technology allows us to enrich learning, if we make good use of it, since we can make texts, create or view images, audios and videos, or generate content, as is the case of this platform for medical students.

This platform presents an innovative, creative, intuitive, and easy to use interface. It also presents an interesting format to promote the learning of these students, since they can observe images and videos in 360 degrees what allow them to experience a real surgery as many times as they want.

1.5 Objectives

The main objectives in this study are, on the one hand, the implementation of a Virtual Reality software system oriented to the training of medical students and, on the other hand, the evaluation of this platform as a training tool.

First, we will explain the tools used for the implementation of the software platform and then detail the process followed for the

evaluation method of the software platform. In the next section we will discuss the results obtained from both the software implementation process and the evaluation process.

Finally, we will hold a discussion on the use of Virtual Reality tools as a training tool, both in the medical field and in the academic field in general, following the conclusions obtained as a result of the elaboration of this study.

2 METHODOLOGY

2.1 Software and hardware used

The Virtual Reality software platform used for this research study has been designed by ARSOFT using the Unity3D development environment, which is widely used for video games design, but also for the development of VR systems. This environment Oculus Software Development Kit (SDK) can be imported, abstracting the programmer from certain low-level programming tasks, such as capturing the sensor information present on the VR device.

Regarding the virtual immersion course for the anatomy of the skull, the construction of the three-dimensional model of the skull was developed using an Asteion computerized tomography, by Toshiba Medical Systems, of the University Hospital of Salamanca, following the protocol for the study of the skull: one in an anteroposterior projection and another in a lateral position [19]. 360 images were taken from the same hospital, as well as 360 videos.

19 Oculus Go devices have been used as Virtual Reality hardware devices. These devices are standalone VR glasses, which means that a computer is not necessary, as they have processing and rendering capacity.

This device also has a reduced cost, it is easy to use and it has a good visualization quality, thus facilitating its use in the classrooms.

2.2 Evaluation of results

The general objective of the study is to validate an innovative VR educational material developed by the company ARSOFT for students of 1st medical course of the University of Salamanca. The specific objectives are:

- Study the material as a teaching-learning tool.
- Analyze student motivation, practicality, and usefulness of the material after educational intervention.

2.3 Participants

The research project is intended for students of the 1st year of the degree of Medicine of the University of Salamanca.

The context where it is investigated is at the University of Salamanca. According to Cabero and Fernández [5], universities have generally been very committed to the penetration of Information and Communication Technologies (ICTs) into the management, research and teaching activities they carry out. In

These authors comment that in order for the university institution to assume its essential role in the generation of innovation it has to transform itself, it has to be an innovative University.

The instruments used in the project are mainly objective tests a satisfaction questionnaire and direct observation. In addition, an estimate scale has been used as a measuring instrument to assess specific objectives. In this case, a table with items that are related to the objectives, where the scales appear: much, quite, little and nothing. Therefore, these scales will be replaced by numbers 1 to 4, with 1 being the lowest value and 4 being the most value. All this in order to analyze three variables:

VARIABLES	INDICATORS
Motivation	Virtual reality teaching material
Utility	Useful or beneficial to the teaching-learning process
Practicality	Use given to it

2.5 Procedure

The sample has been divided into two groups of students, with a similar average in terms of abilities, advised by their teacher. The first group is a control group, while the second group is the experimental group, which will use the VR tool to learn the anatomy of the human skull. The control group will instead use traditional teaching materials to learn the same agenda.

3 Analysis and results

3.1 Software platform

The implemented platform offers an initial interface (Figure 2) to access the different contents or “training pills”, including the following: theoretical course on skull anatomy through an immersive class, interactive immersion in operating 360 room, immersion in radiology 360 room, immersion in a real lumbar transpedicular fixation surgery, immersion in actual lung removal surgery, visualization of the different anatomical layers that make up a human body and interactive simulation of surgical protocol (lumbar transpedicular fixation).

S. González Izard, C. Vivo Vicent, J.A. Juanes and R. Palau



Figure 1: Main menu of the implemented platform

In figure 3 we can see a montage that represents the vision that the student would have when executing the formative pill, where the student himself can study the cranium from the interior.



Figure 2: Representative mounting of visualization of the formative pill on the anatomy of the human skull. Source: Own Design

In addition, this pill includes the option to carry out an assessment of the acquired knowledge (Figure 4). At this evaluation stage, the student must correctly answer a series of questions. For example, if the system asks where the Turkish Saddle is located, the student

The Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students

TEEM 2020, October 2020, Salamanca, Spain

should point his controller at that anatomic structure. The system will give the student a score at the end of this evaluation phase.



Figure 3: Visualization from inside the skull in the evaluation phase

In Figures 5 we can see what the user would be seeing when running the 360 degree interactive immersion pill in an operating room, where in addition to having the feeling of being inside it you will be able to interact with the panels located inside to be able to learn more about the different medical equipment that surrounds you and thus become more familiar with an operating room.



Figure 4: Immersive 360 interactive in an operating room



Figure 5: Visual experience in an interactive 360 immersion in a radiology room

In the case of Figure 6, the user is immersed in a radiology room, and in this case can even move from one area to another of the room through navigation that transport the user to another area,

that is, inside another 360 image where you will find other different interactive panels.

3.2 Evaluation process

To find out if the specific objectives that were to be achieved by conducting the session with VR have been met, in that session, we will observe the answers obtained in the objective tests made to the 38 students.



Figure 6. Students with the teacher in the Virtual Reality session

Scores of the control group answers for the evaluation done after studying the cranium anatomy, shown in the graph in Figure 8 (questions will be indicated later).

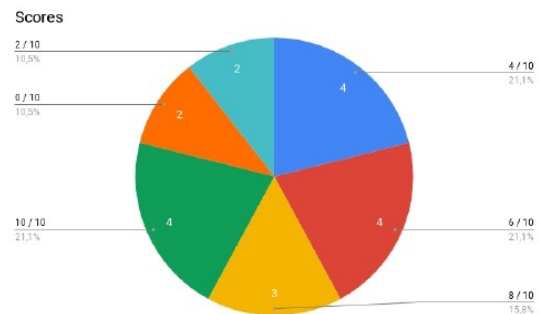


Figure 7: Control group scores

Thus, once the test is scored, the students' scores have been collected and we can see how they have obtained an average score of 5.68.

The graph shown in Figure 9 shows the scores of the experimental group using VR platform to study the same content.

TEEM 2020, October 2020, Salamanca, Spain

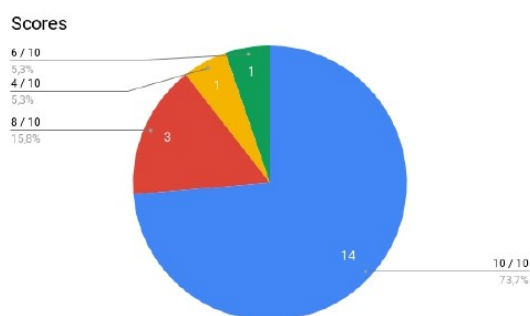
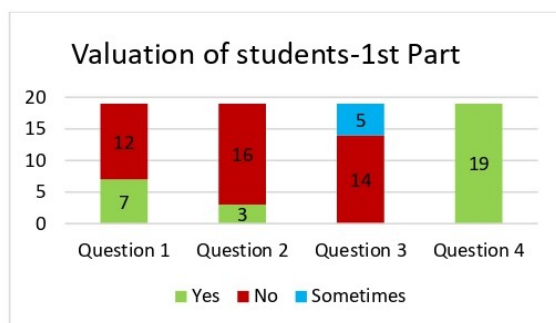


Figure 8: Experimental group scores

In this way, we can see how the average score is 9.15 points. With regard to the assessment questionnaire for the implementation of the immersive system for learning, all the issues that had been asked about it had been included. The following graphs see in more detail the grouped results of each of the issues.

Figure 9: Valuation of students-1st part

In *question 1* that refers to whether they have ever had a virtual learning experience, with technological environments with Virtual Reality glasses.

We observed in Figure 10, how 7 students had already used Virtual Reality as a learning teaching tool, compared to 12 students who had never had an experience with them. Therefore, the first reaction that was observed in the classroom when putting on the VR glasses was astonishing.

In *question 2*, which refers to whether you have had any virtual learning experience intended for your field of study (not counting on this). As mentioned in the previous question, 12 students had had a virtual learning experience. But, we see that only 3 of them have been with some topic related to their field of study.

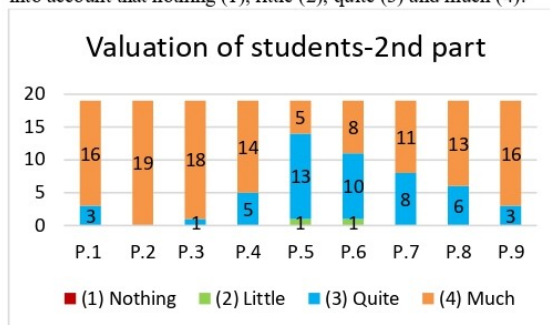
As for *question 3*, 14 students have not been dizzy, but there are 5 who have. This can be due to several aspects: that people who regularly use contact lenses do not feel comfortable, or simply

S. González Izard, C. Vivo Vicent, J.A. Juanes and R. Palau

because they are more sensitive to sudden movements with their heads.

In *question 4*, it is noted that unanimously all students would recommend to other peers the immersive virtual experience they have tried. This may be because they've seen engaging, interactive, motivating, and liked content.

The following graph shows the items with student ratings, taking into account that nothing (1), little (2), quite (3) and much (4).

Figure 10: Valuation of students-2nd part

In *question 1*, *do you consider that the immersive experience has been helpful?* It can be seen that they have considered the immersive experience useful.

In *question 2*, *did you like this immersive experience?* You can see how 100% of the students who have done the immersive experience have liked them a lot, and this is evidence that it has been a satisfactory experience for them.

In *question 3*, *does the teaching material motivate you to keep learning?* We can say that the teaching material provided motivates them very much for their learning the virtual teaching material that has been provided to them.

In *question 4*, *do you see practical use of glasses when learning?* All students see practical use of virtual reality glasses to encourage their learning.

In *question 5*, *are the VR glasses you've used comfortable?* Almost most students feel comfortable with glasses, except for a person who finds it little comfortable. This can be due to several reasons: when wearing contact lenses or glasses is sometimes complicated using VR glasses, or wearing the VR glasses without glasses can cause dizziness.

In *question 6*, *do the materials provided have an attractive design?* They consider that the content of the platform has a rather attractive design, except for one person who has considered it unattractive.

In *question 7*, *is the platform you used to study subject matter content easy to use?* Students say that the platform used to learn content related to their scope is easy to use. This may be because the platform has being designed taking into account software usability.

In *question 8*, *is the platform you used for content learning interactive?* The "Medical Studium" platform is arguably very

The Virtual Reality In Higher Education: An Experience With Medical Students

TEEM 2020, October 2020, Salamanca, Spain

interactive, where the user can change content or even been automatically evaluated.

In question 9, *do you consider the platform used to be innovative?* Virtually all students consider the immersive VR platform to be very innovative. This may be because they usually use textbooks, which makes using this technology very attractive.

As for direct observation, it has been very satisfying to see the positive reception of the students, also seeing the expressions of their faces, and that feeling to see that virtual world with material that they can almost touch. Therefore, Oculus Go glasses could be a tool with great potential.

It should be noted that in the observations section of the questionnaire, a single person wrote: *"It is a good way to motivate learning"*. Thus, it is evident that this experience has been very positive and feasible as it is a good teaching-learning tool, since it motivates them to continue learning with it.

4 Discussion

Once all the data is collected, the most noteworthy aspects of the immersive experience of the different items of motivation, practicality and usefulness are completed in the following table (Table 2).

Once the VR session has been conducted with students, we have seen that it is a feasible and innovative educational material because the specific objectives have been achieved, that is, motivate them with an immersive interactive tool, and that is useful and practical for them to learn. In short, it can be said that students have had a positive acceptance. As we have seen in the results, it is evident that innovative, attractive and interactive materials increase the motivation of students when learning, since the good sensations generated in the classroom have also been observed. These findings are set out in Table 2.

Table 2. Highlights of the variables.

Motivation	Practicality	Utility
<ul style="list-style-type: none"> - 100% of the students liked it and would recommend it. - It has motivated them a lot. - Consider it has a rather attractive design. - They see an interactive and very innovative platform. 	<ul style="list-style-type: none"> - 26.3% get dizzy with Virtual Reality goggles versus 73.7% that do not get dizzy. - 5 people see it quite practical, the rest very practical (14). - Usually consider the tool to be comfortable except for a person who says it is not comfortable. 	<ul style="list-style-type: none"> - 16 people find it very useful and 3 quite useful. - All students consider it is easy to use.

Note: These conclusions can be seen very clearly in the graph in Figure 10.

As Gisbert and Esteve explain [20] not all students arrive at university with a good level of digital proficiency. Since, at first, when they put on their glasses for the first time, they had a little trouble getting inside the platform, but they immediately took the management of the system and had no problem navigating the contents offered to them.

However, as the European Commission points out [4]: "Helping schools, teachers and students acquire digital skills and learning methods, link the development and availability of open educational resources, connect classes and deploy digital devices and content, mobilize all stakeholders to change the role of digital technologies in schools," is important to break digital barriers.

With this research we verify how VR technology contributes to improve our society, since it reveals how traditional education can go a step further, that is, evolve and integrate Virtual Reality as a teaching-learning tool to enhance knowledge and better train future medical professionals, and professional in general.

5 Conclusions

The conclusions of the study are evidenced with the purpose fulfilled of the validation of the VR training tool and that the company ARSOFT has developed for the Faculty of Medicine of the University of Salamanca. It has been satisfactory since this VR platform, offers students the fusion of real and virtual content, so that students can be guided through images and videos recorded in 360 degrees of a real intervention. In the same way, they can train protocols that are impossible to follow in any other way, such as the training in surgical operations to improve practical training.

To carry out this purpose, the motivation of students, practicality, and usefulness of the material after educational intervention have been analyzed to see the educational impact of this material and teaching-learning tool, analyzing the effectiveness of the VR experience with medical students.

This project can be considered as a very innovative one, as students have stated in the satisfaction questionnaire. In the same way, it can be concluded that Oculus Go glasses are devices with great potential, as they are not expensive and a computer is not necessary what makes the system very interesting for educational purposes. It has been very satisfying to see the positive reception of the students, also seeing the expressions of their faces and reactions after using it. With this tool it has been discovered that a lot of activities can be performed and it can be widely used in the future.

It would also be interesting to improve how users with glasses wear VR glasses. Virtual and augmented reality show us its wide possibilities for training in various fields, but in particular, in that of medicine, since it has multiple applications that are beneficial for both learning and practical use.

In conclusion, we must considerate as a high priority to start including VR as a new educational tool taking into account how COVID-19 has changed the world, and specifically the education. New ways of remote teaching is needed and VR offers a new way

TEEM 2020, October 2020, Salamanca, Spain

S. González Izard, C. Vivo Vicent, J.A. Juanes and R. Palau

of consuming different kind of training resources from anywhere and anytime, and students consider this technology and these new tools as a new way of accessing contents, with advantages in comparison with traditional resources: motivation, study anatomy with 3D content, gamification, easily experience real surgeries, self-evaluation... In this way, we must enhance the use of educational technological tools such as VR.

References

- [1] Arzola, D., Loya, C., and González, A. (2017). Management work in primary education: leadership, participatory processes and school democracy. *RECIE. Scientific Electronic Journal of Educational Research*, 7(12), 35-41.
- [2] Organic Law 6/2001, of December 21, on Universities. *Official State Gazette*, 307, 49400-46425.
- [3] Sousa Reis, C. F., Pessoa, T. and Gallego Arrufat, M. J. (2019). Literacy and digital competence in Higher Education: a systematic review. *REDU: University Teaching Magazine*, 17(1), 11. DOI: <https://doi.org/10.4995/redu.2019.11.274>
- [4] European Commission (2013). Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Opening up education: Innovative teaching and learning for all through new technologies and open educational resources. 25.9.2013.
- [5] Cabero Almenara, J., and Fernández Robles, B. (2018). Emerging digital technologies enter the University: AR and VR. *RIED. Ibero-American Journal of Distance Education*, 21 (2), 119-138. DOI: 10.5944/ried.21.2.20094
- [6] Romero, S., and Araujo, Dory. (2011). Use of ICT in the teaching-learning process. *Electronic Journal of Telematics Studies*, 11(1).
- [7] Hidalgo Cajo, B. G., Hidalgo Cajo, D. P. and Hidalgo Cajo, I. M. (2017). The impact of social networks as tools of communication, interaction and collaboration in the learning teaching process in higher education. *SATHRI*, 12(104-113). DOI: <https://doi.org/10.32645/13906925.56>
- [8] Veletsianos, G. (2010). A definition of emerging technologies for education. En Veletsianos, G. (ed.) *Emerging technologies in distance education* (pp. 3-22). Athabasca, CA: Athabasca University Press.
- [9] Orozco, C., Esteban, P., and Trefftz, H. (2006). Collaborative and distributed augmented reality in teaching multi-variate calculus. Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Web-Based Education.
- [10] Pérez Martínez, F. J. (2011). Present and Future of Virtual Reality Technology. *Creativity and society*, (16).
- [11] Gutiérrez, D., and Hernández, L. A. (2003). Potential of virtual reality in the field of heritage. *Magazine PH*, 46, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.33349/2003.46.1629>
- [12] Becerra, J., Raúl, J., Peñaloza, M. E., Rodríguez, J. E., Chacón, G., Martínez Molina, J. A. and Mateo, X. (2019). Virtual reality as a tool in the brain learning process. *Venezolan Archives of Pharmacology and Therapeutics*, 33(2), 98-107.
- [13] Ramírez Martínez, P. A. (2019) Virtual learning environment for training in psychiatry of undergraduate students of the National University of Colombia (Doctoral dissertation, National University of Colombia-Sede Bogotá).
- [14] Vázquez-Minero, J. C., Guzmán-de Alba, E., Iñiguez-García, M. A., Santillán-Doherty, P., Chávez-Tinoco, A., Zamudio-Sánchez, T. V., and Rubio-Martínez, R. (2018). Utility of virtual reality simulation at the residence of chest surgery in Mexico. *Pneumology and chest surgery*, 77(1), 10-13.
- [15] Losada J, et al. Virtual Hospital «José M. Rivera»: 10 years simulating. *Educ Med*. 2019 <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2019.08.002>
- [16] Garrido, J., Contreras, D. and Miranda, C. (2013). Analysis of the pedagogical arrangement of future teachers to use ICT. *Pedagogical Studies*, 34, 59-74. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052013000300005>
- [17] Cataldi, Z., Donnataria, M. C., and Lage, F. J. (2009). Didactics of chemistry and ICT: Virtual laboratories, models and simulations as agents of motivation and conceptual change. *IV Technology Congress in Technology Education and Education*, 80-89.
- [18] Omrod, J. (2005). *Human Learning*. 4 ed. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- [19] Izard, S. G., Méndez, J. A. J., and Palomera, P. R. (2017). Virtual reality educational tool for human anatomy. *Journal of medical systems*, 41(5), 76. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0723-6>
- [20] Gisbert, M., and Esteve, F. M. (2011). Digital learners: the digital competence of university students. *The University Question*, 7, 48-59.

CAPÍTULOS DE LIBRO

XX. Anexo XI: App Design and Implementation For Learning Human Anatomy Through Virtual and Augmented Reality

En este capítulo de libro se analiza el impacto tanto de la Realidad Aumentada (RA) como de la Realidad Virtual (RV) en la educación, sin centrarse en un grado concreto.

En este capítulo se analiza la influencia en la educación de la Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) en el proceso de enseñanza-aprendizaje, concretamente centrándonos en el estudio de la anatomía humana para estudiantes de ciencias de la salud. Con este propósito, se han diseñado dos aplicaciones, una de ellas para dispositivos móviles que permite explorar la anatomía humana con Realidad Aumentada, y otra para dispositivos de Realidad Virtual con el mismo objetivo que la anterior.

De esta forma, se consigue transmitir de forma más eficiente el conocimiento a los estudiantes, ya que los contenidos formativos resultan más visuales, interactivos y cercanos que los contenidos de formación tradicionales, como pueden ser PDFs, imágenes y videos. Además, al tratarse de contenidos relacionados con la anatomía humana, el estudio en tres dimensiones para mejorar el análisis de la morfología supone una gran ventaja a tener en cuenta.

Se considera que estas tecnologías constituyen un complemento excelente a los atlas tradicionales, facilitando el aprendizaje de las diferentes estructuras anatómicas.

Como resultado de los trabajos de implementación de estos dos sistemas software se han generado dos aplicaciones diferentes, ambas con el objetivo de permitir el estudio de la anatomía del cuerpo humano, pero empleando diferentes tecnologías: una utiliza Realidad Aumentada mientras que la otra emplea Realidad Virtual. En ambos casos se ha denominado a la aplicación *Human Layers*. Esta aplicación ha sido posteriormente probada con alumnos reales, tanto de instituto como de educación superior, obteniendo resultados evidentes de satisfacción por parte de los alumnos.

Lecture Notes in Educational Technology

Daniel Burgos *Editor*

Radical Solutions and eLearning

Practical Innovations and Online
Educational Technology

 Springer

Lecture Notes in Educational Technology

Series Editors

Ronghuai Huang, Smart Learning Institute, Beijing Normal University, Beijing, China

Kinshuk, College of Information, University of North Texas, Denton, TX, USA

Mohamed Jemni, University of Tunis, Tunis, Tunisia

Nian-Shing Chen, National Yunlin University of Science and Technology, Douliu, Taiwan

J. Michael Spector, University of North Texas, Denton, TX, USA

The series Lecture Notes in Educational Technology (LNET), has established itself as a medium for the publication of new developments in the research and practice of educational policy, pedagogy, learning science, learning environment, learning resources etc. in information and knowledge age,—quickly, informally, and at a high level.

Abstracted/Indexed in:

Scopus, Web of Science Book Citation Index

More information about this series at <http://www.springer.com/series/11777>

Chapter 13

App Design and Implementation for Learning Human Anatomy Through Virtual and Augmented Reality



Santiago González Izard, J. Antonio Juanes Méndez,
Francisco José García-Peñalvo, and Cristina Moreno Belloso

Abstract The influence on the teaching of Augmented Reality (RA) and Virtual Reality (RV) techniques is analyzed in the process of teaching-learning of the Human Anatomy subject, in health science students. For this purpose, two own applications have been designed, for mobile devices and Virtual Reality glasses, with the purpose of incorporate these techniques in teaching, for the study of human anatomy, that facilitate the students a better learning of anatomical body contents through these technological procedures. In this way it is intended to achieve a better transmission of knowledge to students in an effective, visual, interactive and close the main contents related to human anatomy. We believe that these technological tools constitute an excellent complementary medium to the traditional atlases, facilitating the learning of the anatomical structures.

Keywords App · Human anatomy · Virtual and augmented reality · Stereoscopic vision · Teaching

S. González Izard (✉)

University of Salamanca, Ctra Fregeneda 26, Portal 2, 1D, 37008 Salamanca, Spain

e-mail: santiago@arsoft-company.com; santiago.gi@usal.es

URL: <https://www.arsoft-company.com>; <https://santiagogonzalezizard.wordpress.com/>

J. A. Juanes Méndez (✉)

IUCE Salamanca University Institute of Educational Science, University of Salamanca, Paseo

Canalejas, 169, Salamanca 37008, Spain

e-mail: jajm@usal.es

URL: <http://visualmed.usal.es/>

F. J. García-Peñalvo (✉)

Grupo de Investigación en Interacción y eLearning, Facultad de Ciencias, Plaza de los Caídos s/n, 37008 Salamanca, Spain

e-mail: fgarcia@usal.es

URL: <https://grial.usal.es/fgarcia>

C. Moreno Belloso

Junta Castilla y León, Avenida de Burgos 7-21, Portal 1, Atico B, 37900 Santa Marta de Tormes (Salamanca), Spain

e-mail: cristina.morbel@educa.jcyl.es

URL: <http://cepaginerdelosrios.centros.educa.jcyl.es/>

© Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020

D. Burgos (ed.), *Radical Solutions and eLearning*, Lecture Notes in Educational Technology, https://doi.org/10.1007/978-981-15-4952-6_13

199

13.1 Introduction

The great advance of new information and communication technologies (ICTs) is one of the relevant factors for understanding and being able to explain the changes produced at the level of teaching systems in recent years in our current society (Carneiro, Toscano, & Díaz, 2009). The role of these new technologies is present in the processes of social and cultural change, gaining great importance in the field of medical training (Castells, 2004). Within this field, different reforms of the educational system are beginning to be conceived with respect to the introduction of these new technologies as a means of improving the teaching-learning processes of students and teachers in the area of health sciences (Junta de Extremadura, 2001; Litwin, 1998). This incorporation of ICT leads to a transformation both in the way in which teachers develop their academic sessions with their students, and in the learning processes of students (Carneiro, Toscano, & Díaz, 2009; Juanes, 2013). These technologies give us the possibility to develop cognitively, sensorially, etc. (Marquès Graells, 2005), although it should be noted that these advances sometimes diminish the demands of work and effort of the person who uses them, because they allow us to perform certain actions reducing mental and physical work (Moreira, 2004). ICTs do not alter the structures of society by themselves, but are integrated into them (Carneiro, Toscano, & Díaz, 2009). New technologies modify the tasks of the individuals who use them, but they do not change roles (Castells, 2004), therefore, a teacher who uses new technologies in his classroom does not cease to be a teacher, but it is true that the way in which he carries out his tasks with his students is modified, assuming a change in his teaching methodology (Junta de Extremadura, 2001). On the other hand, educational centres must prepare the new generations for their future incorporation into the world of work in which they will move, where the use of devices and technological means will undoubtedly play a leading role in their future professional task (Litwin, 1998; Carneiro, Toscano, & Díaz, 2009).

It is evident that the progress that the Communication and Information Technologies have suffered in the last years, has impacted on teaching and raised new requirements in the study plans in general and in the teaching processes in particular (Coll, 2008; Moreira, 2004; Briz Ponce, & Juanes Méndez, 2015; Briz Ponce, Juanes Méndez, & García-Peñalvo, 2015).

Taking into account the above-mentioned considerations, and given that the use of technologies in the classroom is a great tool to promote motivation, learning and participation of students, we present two applications, own generation, through two innovative technologies such as Augmented Reality and Virtual Reality.

Augmented Reality allows teaching professionals to introduce into the classroom the visualization of concepts that would be impossible to visualize in this way with any other technique, such as the visualization of the internal functioning of an atom or place on the student's table a brain with all its tracts and even animations representing the result of a brain tractography. On the other hand, Virtual Reality allows the teacher to transport students anywhere, such as the inside of a human skull or even a cell, thanks to its full virtual immersion capability (González Izard et al., 2017, 2018;

Rodríguez Illera 2004; Levis 1997). However, the potential of these technologies for medical application goes far beyond their use in teaching. In fact, the authors of this article are already working on a project that aims to bring these technologies to the work of medical professionals, taking advantage of their capacity for better spatial perception and understanding for the visualization of results in the field of radiology (González Izard et al., 2019).

13.2 Methodology

Two different systems have been implemented that share functionality. On the one hand an Augmented Reality system and on the other a Virtual Reality platform. In both cases, the Unity3D tool has been used (Fig. 13.1), which provides programmers with an ideal programming environment for the creation of 3D systems, allowing the integration of both Augmented Reality and Virtual Reality libraries. These libraries provide a higher level of abstraction for programming specific Augmented Reality or Virtual Reality functionalities. Unity3D is currently one of the most widely used graphic engines for the design of both Augmented Reality and Virtual Reality systems, but also for the design of videogames. This is because it provides an intuitive and powerful interface for programming animated 3D scenarios, using a behavioral programming philosophy that provides an abstraction to programmers while generating systems that run efficiently. In the case of the Augmented Reality system, the Vuforia library was used, which facilitates on the one hand the creation of the markers, which are visual patterns that are recognized in an image that is used as a reference point to show the virtual content, in this case the 3D model of the human body; and on the other hand, Vuforia performs the tracking task, which consists of obtaining in each frame the perspective of the camera with respect to the marker, in

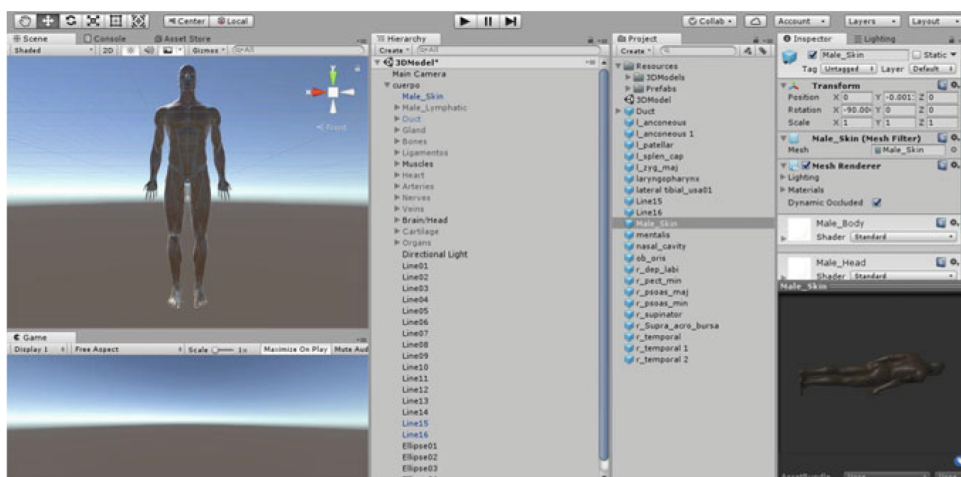


Fig. 13.1 Unity3D interface programming

order to be able to show the virtual content correctly. This is what allows the user to move around the marker and have the feeling that the virtual content is on the image as if it were a real world object.

As for the Virtual Reality system, it has been implemented using Cardboard's SDK (Software Development Kit), currently called "Google VR". In this case, thanks to the use of these libraries, when the user moves his head from one side to the other with his glasses on, we can transfer that movement efficiently to the virtual world. So, when you look to the right, the camera turns to the right imitating movement in the real world. This is done by interpreting the data transmitted by a series of sensors that must be available in the mobile device we incorporate in the glasses: the gyroscope and the accelerometer.

In addition, the Google VR SDK, as well as the other Virtual Reality SDKs, such as Oculus, allows you to create a stereoscopic view of the virtual world on the mobile screen by incorporating two slightly different perspectives of the virtual world on the device screen. Thanks to these two perspectives and the lenses incorporated by the glasses, we achieve the effect of stereoscopy and the sensation of depth in the virtual images.

In terms of content generation, it has been necessary to identify each of the anatomical structures of the 3D model of the human body, separated into a different mesh. Once all the structures have been identified, they have been categorized into large groups so that they can be shown and "hidden" by activating or deactivating a layer of the human body. Therefore, what happens when the user activates a layer is that we show all the meshes of the 3D model that have been identified as anatomical structures that belong to that layer, and on the contrary when the layer is deactivated these meshes and the textures associated with them are hidden.

In order to properly enjoy Augmented Reality and Virtual Reality systems, we will need devices with a GPU (Graphics Processing Unit) and high-powered processing capacity. We must take into account that, in the case of Augmented Reality, the device must recognize in each of the frames that it receives from the camera the image, code or object that must be traced at all times to show the virtual content according to the position of that element. Therefore, for this tracking process to be carried out as efficiently as possible, it is also convenient to have a high-resolution camera (although not necessarily too much).

On the other hand, in order to run a Virtual Reality system and get a good user experience, it is also necessary to have a powerful GPU capable of rendering 3D models that must be displayed in a very short time.

For the application "Human Layers AR" of Augmented Reality of the human body, a marker has been designed (Fig. 13.2) that, with the help of Vuforia, the mobile device must recognize and then trace. The process that the mobile device follows is to detect the image and, depending on its print size and the distance from the camera, it will position the virtual content with the correct position, rotation and scale according to the perspective and calculated distance of the camera with respect to the marker.

The Vuforia SDK detects and tracks the features found in the image, comparing these features with a file that has previously been calculated for that image and

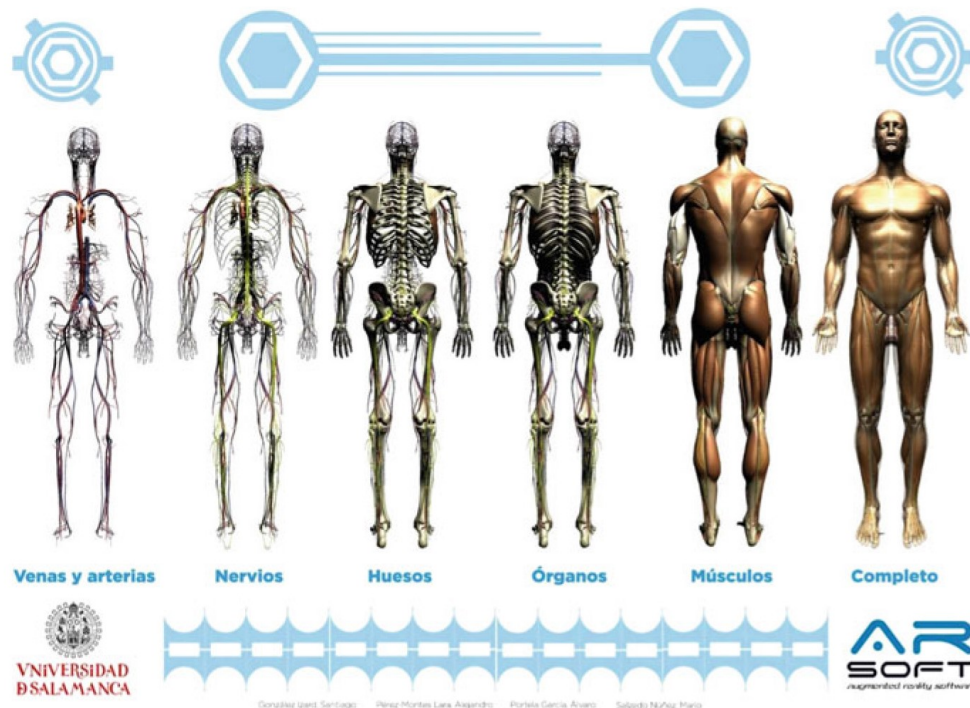


Fig. 13.2 Marker designed for augmented reality application

contains information about those features. Once the characteristics of that image have been recognized, the SDK will track the image whenever it is in the camera's field of view. For satisfactory recognition, the image surface must be evenly illuminated, as poor or excessive illumination may cause some features not to be recognized.

In Fig. 13.2 we can see the marker that has been created for the Human Layers RA application. This is a good marker for the fact that the Vuforia algorithm is able to find a large number of features in the image, since there are many areas in which we find obvious color changes.

For the programming of our technological procedure, dozens of C# scripts have been developed using the MVC (Model View Controller) pattern. This well-known pattern allows the separation of the different scripts into three large groups: Model, View and Controller. In the first one we will place all the scripts in charge of encapsulating the data or the methods of access to them. In this case, we do not work with any database, but nevertheless we have a set of audio files (in the case of the Virtual Reality system) that are considered as data in this case. Even the methods of access to the human body's own 3D model and its different structures can also be considered part of the model. Speaking of this 3D model, it is worth noting that it is a very complete model that reflects a large number of anatomical structures of the human body. However, these structures, although they were separated into different meshes, were not labeled or correctly named, which has forced us to review all of them (hundreds), identifying which structure was each, naming it and assigning a

tag. These tags are a method provided by Unity3D to categorize elements or, using its own terminology, Game Objects. In this way the authors have grouped each of them into six large groups: veins, arteries, nerves, bones, organs and muscles. Thus, when the user activates or deactivates the button associated to one of these groups, we only have to tell Unity (we speak of Unity or Unity3D indistinctly) to activate or deactivate all the Game Objects that it finds with the corresponding label.

Another large group in which scripts are divided at the software engineering level is Vista. In this case they are scripts that are in charge of showing the interface that the user sees: buttons, lists, dialog boxes... In this case they are interfaces with a low level of complexity, so we have basically scripts that respond to the pressing of certain buttons. These scripts in turn will call the Controller to indicate what event has happened, and it will act consequently. Therefore, all scripts found in the Controller encapsulate what is commonly referred to as the application's business logic. In this case, the scripts are in charge of activating and deactivating the animations (and defining how each one of them should be), making the 3D model behave as it has to behave and managing its visualization with the corresponding technologies: Vuforia in the case of Augmented Reality and Google VR in the case of the Virtual Reality application.

13.3 Results

We designed our own system of Augmented Reality ("Human Layers AR"), and another similar system of Virtual Reality ("Human Layers VR"), with the aim of showing students the main parts of the human body: bones, ligaments, muscles, organs, arteries and veins, nerves, glands, ducts and lymphatic system. Both systems make up two different applications to deal with the contents of the Human Anatomy.

The Augmented Reality (RA) application, which has been called "Human Layers AR", allows users to enjoy a 3D experience in which students, thanks to an Augmented Reality marker that has been designed, can instantly visualize, differentiate and locate different body anatomical structures (Fig. 13.3). In addition, within the application we have a drop-down menu located at the top right of the screen, which allows us to add or remove layers freely (Fig. 13.4).

In this way, for example, we can highlight the skeletal system, and in the lower part of the screen a tab is opened with the most important bones of the human body, the selected bone being illuminated in green. In addition, we can increase, reduce and rotate the human body freely in order to visualize the anatomy from different angles, distances and perspectives.

On the other hand, the Virtual Reality application called "Human Layers VR" has the same content as the Augmented Reality application, but in this case it will be developed in a virtual environment that we will be able to access using stereoscopic vision glasses. Unlike the other application, Virtual Reality has a main menu with three different scenes.

In the scene called "the body in layers", (Fig. 13.5) the user can go seeing the



Fig. 13.3 Testing Human Layers AR with students

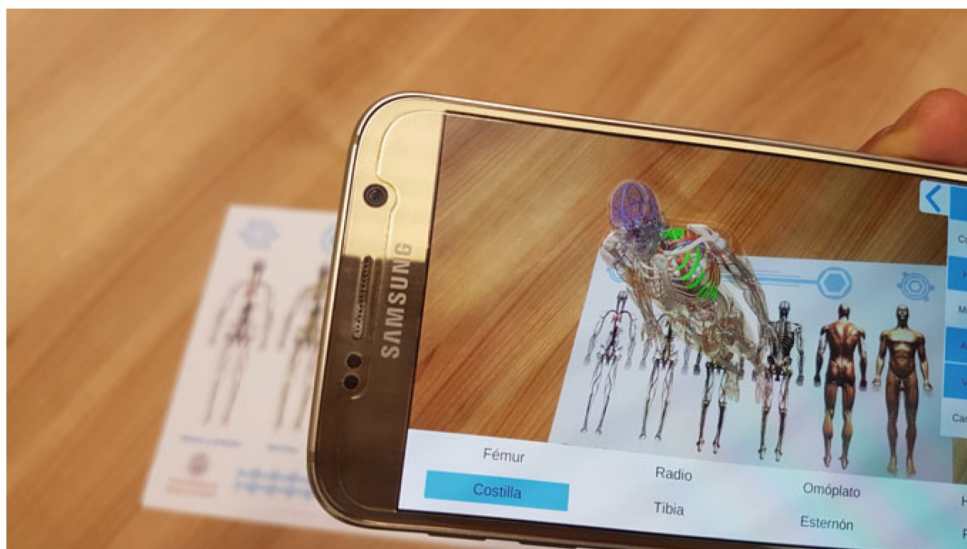


Fig. 13.4 Augmented reality view

different layers that compose the human body with a brief explanation of each one of them.

In the scene called “Show and hide layers”, we can add or remove layers freely (Fig. 13.6). That is to say, we will be able to value and analyze different organs and corporal apparatuses.

Also, we have a scene called “Bones” in which the most important bones are progressively illuminated in green (Fig. 13.7). In addition, we place the user in a classroom so that they feel, in an immersive way, closer to a learning environment. Likewise, as a support to the image and learning of the students, a voice explains what we are seeing during the virtual simulation of the Human Anatomy. At the bottom of the screen, we have a tab called “Back” that will redirect us to the main menu of the application.

Both, Augmented Reality and Virtual Reality apps, offer the same functionalities, allowing us to compare traditional educational resources with other more innovative technological techniques.

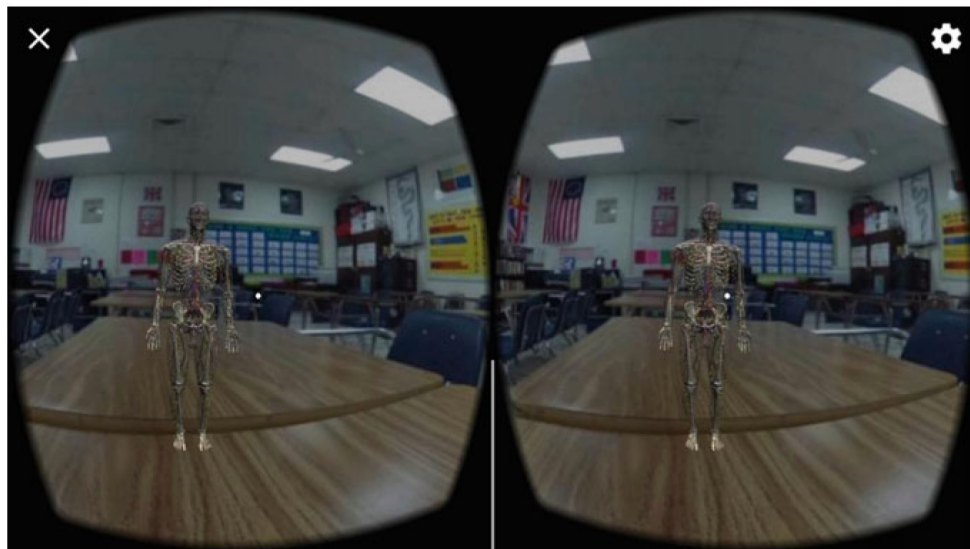


Fig. 13.5 Stereoscopic vision showing human layers with virtual reality

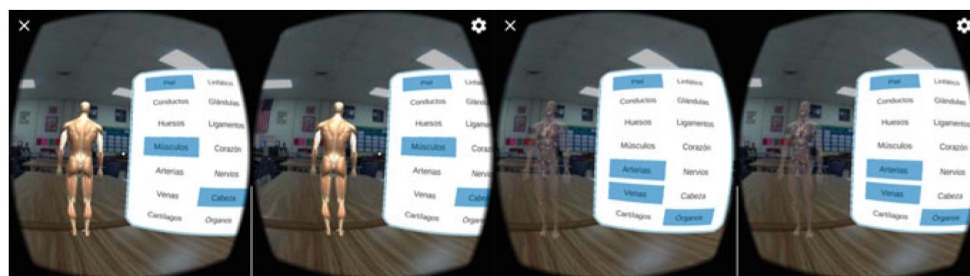


Fig. 13.6 Selecting what anatomical structures must be shown

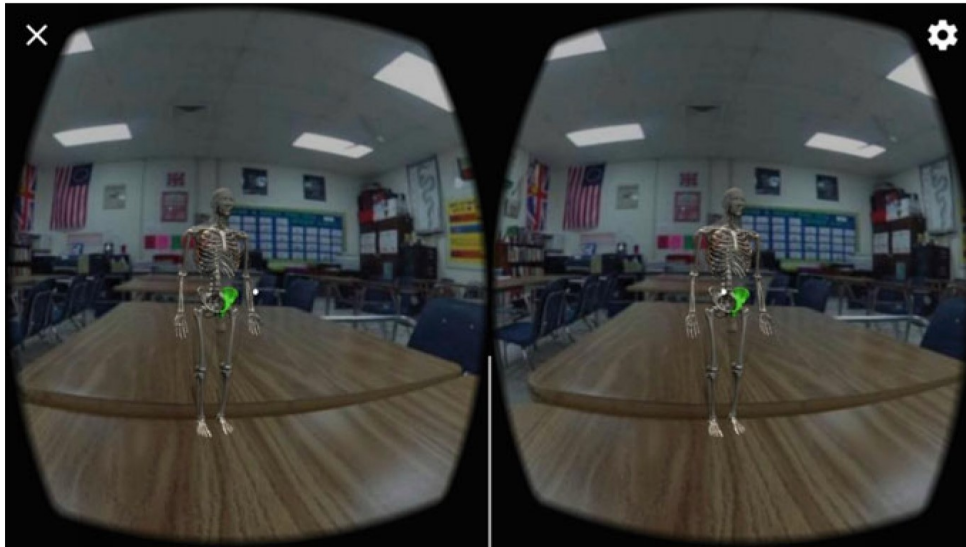


Fig. 13.7 User can select different bones that will be highlighted for better understanding

Thanks to these two systems, it is possible to transmit to the students in an effective, visual, interactive and close way the main contents related to human anatomy.

This technological tools constitutes an excellent complementary medium to the traditional atlases, facilitating the learning of the anatomical structures.

The use of these digital technologies, and more specifically of mobile devices associated with immersive vision systems, constitute a fundamental piece in the development of educational programs and strategies in the field of health sciences in general, and human anatomy in particular, these media being innovative and integrating learning.

These technological methods prove to be very effective in enabling students to manage their learning process in a way that is complementary to traditional resources.

13.4 Discussion and Conclusion

A Virtual Reality (VR) system is an immersive digital space capable of involving all our senses (Escartín, 2000). The resemblance to the real world of a virtual simulation is given by: the resolution of the image, the resemblance of objects and their properties to the real world, the ability of objects to interact naturally when manipulated by the user, and the ability to move (Basogain, Olabe, Espinosa, Rouèche, & Olabe, 2010; Corvetto et al., 2013; de Pedro, 2011; Espinosa, 2015; Torres, 2011; Tovar, Bohórquez, & Puello, 2014). Also, according to Mejía Luna (2012) *“it is an evolving technology, the current definitions of it must be considered transitory [...] it covers areas such as: computer simulation, three-dimensional environment, graphics,*

sounds and touch; with which the user can interact, which makes it a very large and promising area”.

On the other hand, Augmented Reality (AR) is the one that allows us to see reality at all times, while we visualize virtual objects that somehow increase the reality that we are able to perceive naturally (de Pedro Carracedo & Méndez, 2012; Torres, 2011). It has also meant a revolution for education, as it allows us to combine the real world with the virtual so that we can generate a more complete learning space due mainly to the interaction with the information provided by the 3D environment (Orozco, Esteban, & Trefftz, 2006). It should also be borne in mind that it allows us to introduce elements into the classroom that would be impossible to see in any other way (Espinosa, 2015). In addition, it is a motivating component for students, since they are a generation that is closely linked to information and communication technologies (Carrillo, Fernández, Ayensa, & Bernal, 2003).

Augmented Reality and Virtual Reality allow us to introduce virtual objects in real spaces, develop simple interfaces, know and explore new places without the need to move, feel, see and hear experiencing immersive environments, even being able to modify them, and interact freely (Carrillo et al., 2003; Duarte, Sangrà, & Sangrà, 2004). In addition, it is a motivating learning for the students, which moves away from the traditional, is very entertaining and achieves the primary purpose, which is to educate (Tiffin & Rajasingham, 1997). In this context of educational playful pedagogy, the Anglo-Saxon term “Edutainment” appears, that is, learning by playing together. This teaching-learning model tries to introduce innovative resources into the classroom as a resource for teachers with the aim of learning through video games in social networks and emerging technologies and including them in the students’ educational process. As tools intended for entertainment, these must be reviewed from the pedagogy, they must be subject to evaluation according to the purpose and they must bring new perspectives to teachers (Allen & Demchak, 2011; Parra, Muller, & Guevara, 2009).

Therefore, given that these technologies are very effective in fields such as medicine, architecture, industry, robotics, military and aerospace applications, culture, leisure, etc., it seems obvious that we should consider applying them in the educational field. This will promote the achievement of the set learning objectives and make the training process more bearable and motivating. Likewise, VR and RA are two technologies that are currently in constant growth and evolution due to the possibilities they offer and the continuous advancement of both hardware and software, so this is a subject of great relevance (Basogain et al., 2010; Espinosa, 2015; Torres, 2011).

We cannot leave training in any area of health sciences, regardless of the possibilities offered by the new virtual spaces. We must remain at the vanguard of these new technologies now more than ever because of their infinite possibilities. We must place technology at the point where it really needs to be in the educational field, as it is now the most effective means of ensuring proper communication, interaction and learning (Escartín, 2000; Briz-Ponce, Juanes-Méndez, & García-Peñalvo, 2015).

Education cannot be apart from the potential that new spaces of virtual relationship bring. Faced with rapid technological change, now more than ever, education must

manifest itself clearly and place technology where it belongs: that of an effective means of ensuring communication, interaction, information and also learning.

Allen and Demchak (2011) states that these 3D virtual environments can be used for the following purposes: virtual presence of institutions, educational processes, training, activity planning, testing, experience analysis, experimentation, testing and evaluation, and awareness-raising activities.

Through Virtual Reality and Augmented Reality we can modify the traditional routine teaching for a more attractive and dynamic digital teaching, where students learn in a more participative or active way, thus promoting a teaching-learning experience based on motivation, with the aim of promoting the desire to learn in an experiential way in which students can interact freely with the parts of the human body. In addition, with this VR resource we will be promoting learning with great benefits for students, which is a flexible resource and the development of positive attitudes in the users who practice it. Through this VR methodology, students will better understand the contents of the subject matter to be studied, also increasing their desire to learn significantly, capturing their attention to a large extent during the development of the different sessions in the classroom.

There are several Human Anatomy Apps that could be compared to our application. The application called “Anatomyou VR” allows you to learn in an immersive way the human anatomy thanks to Virtual Reality, so we will need some Virtual Reality glasses to be able to use it. Likewise, in Anatomyou VR you can navigate through the interior of the human body as if it were a virtual endoscope. In addition, it has a navigation control and dynamic signaling of the main anatomical structures present inside our body. This application classifies the different parts of the human anatomy in a series of categories and subcategories in order to organize them in a differentiated way. During the virtual tour through the interior of the human body, descriptions of the area we are visiting appear, providing an additional photo for a better understanding of the anatomical content, being able to move forward or backward freely during the tour and showing us in the part of the body in which we are at that moment if we look to our left. This is a quite real application that represents very well the internal anatomical content of the human body, being one of the most complete applications of Anatomy within the field of Virtual Reality and giving us the possibility of changing the language (Spanish/English).

The application “Anatomy VR” is completely free and is intended for teachers and university students, for the study of anatomical contents. By means of this novel learning method based on Virtual Reality, it is possible to learn in a more representative way the human anatomy, thanks to a 360° vision in which the muscles and bones that make up the human body are shown. In addition, within the navigation panel we can rotate the virtual body to visualize and access all areas of the human anatomy. The users of this app will be able to point their Virtual Reality glasses to any part of the body and know their names and where they are located. It is a dynamic and pragmatic way of learning anatomy, which better captures the attention and interest of students in the contents and greatly encourage motivation. It is, therefore, a very intuitive application and easy to use for all audiences. In addition, the application is available for IOS (Apple Store) and Android (Play Store).

Another application for free mobile devices is the so-called “Humanoid 4D+”, which is designed to provide colorful and interactive representations of the various systems and their functioning of the human anatomy. However, this app is more aimed at primary school students. With this visual and representative app, you can not only learn about all the main organs and bones of your body, but it will also help you discover the different actions and movements of your body. In addition, it has a 3D library in which we can interact and observe all the details of these organs. Regarding the Augmented Reality (AR) section, using cards containing AR markers, we can interact with the body system, explore the circulatory, respiratory, digestive, muscular, skeletal, nervous, urinary, endocrine and immune systems, showing us the different parts of these by arrows with their corresponding names. It is very easy to use, because no training is needed for its use, because it is a very intuitive app.

Also, by selecting a specific body system and touching the screen, you can see step-by-step and deeper how the particular body system works. In addition, it has a Virtual Reality section in which we can perform the same actions as in RA, but we will need Virtual Reality glasses for this, where we can select with the viewer the different parts and areas of the human anatomy. The default language is English and in order to have full access to all functions of the application with their corresponding cards, additional payments will be required. Application available for IOS (Apple Store) and Android (Play Store).

Another free Augmented Reality (AR) application is the so-called “4D Anatomy”, intended for teachers, professionals, physicians and students of all levels in an interactive 4D experience of human anatomy. It provides a large amount of content with which to learn about the human body through a series of printable templates, in this case the “The Human Body” template, having a higher level of complexity than the applications previously seen.

Likewise, we can make visible or not different systems of the human anatomy, being able to combine these as we see convenient. In addition, this application is entirely in English, so it does not give the possibility of accessing other languages limiting the learning and use of this application in certain geographical areas. This application is only available for Android (Play Store).

Another application in this same line is “Human AR”, which consists of an educational app of Augmented Reality (RA) on basic aspects of anatomy seen in 3D. This application is mainly aimed at biology students, students interested in knowing the human body and professionals in a set of five topics such as: bones, muscles, internal organs, main body systems and brain structure. It is in Spanish, but not in other languages, and gives us concise explanations about each of the body parts we have selected. In addition, we can separate each of the body systems into layers, rotate it, enlarge it, select both genders (male and female), etc. and all this from the main panel. This application is only available for Android (Play Store).

The use of both mobile devices and Virtual Reality glasses, through stereoscopic vision, and specific anatomy software, facilitates an approach to the internal body anatomy in a way closer to reality, which leads to a better understanding of the morphological structures of the human body.

These technological tools, with their proper use and appropriate precautions, can undoubtedly contribute to an improvement in medical training processes. The use of these technological means of stereoscopic vision in medical training facilitates and helps to improve training in practical skills and the acquisition of anatomical knowledge.

Acknowledgments The authors would like to specifically thank the members of the company specialized in virtual and augmented reality systems ARSOFT, located in the Science Park of the University of Salamanca.

References

- Allen, P. D. Y., & Demchak, C. C. (2011). Applied virtual environments: Applications of virtual environments to government, military and business organizations. *Journal of Virtual Worlds Research*, 4(1).
- Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C., & Olabe, J. C. (2010). *Realidad Aumentada en la Educación: Una tecnología emergente*. España: Bilbao.
- Briz Ponce, L., & Juanes Méndez, J. A. (2015). Mobile devices and apps, characteristics, and current potential on learning. *Journal of Information Technology Research (JITR)*, 8(4), 26–37.
- Briz Ponce, L., Juanes Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2015). Dispositivos móviles y apps: Características y uso actual en educación médica. *Novática. Revista de la Asociación de Técnicos en Informática*, 231, 86–91.
- Briz-Ponce, L., Juanes-Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2015). Synopsis of discussion session on defining a new quality protocol for medical apps. *Proceedings TEEM'15* (pp. 7–12). New York: Publication rights licensed to Association for Computing Machinery (ACM), ACM, 978-1-4503-3442-6.
- Carneiro, R., Toscano, J. C., & Díaz, T. (2009). Los desafíos de las TIC para el cambio educativo.
- Carrillo, L. B., Fernández, F. F., Ayensa, F. G., & Bernal, F. V. (2003). Docencia virtual de anatomía patológica. *Patología. Actualizaciones en Telepatología*, 36(2), 139–148.
- Castells, M. (2004). *La era de la información: Economía, sociedad y cultura* (Vol. 3). Siglo XXI.
- Coll, C. (Ed.). (2008). *Psicología de la educación virtual: Aprender y enseñar con las tecnologías de la información y la comunicación*, Ediciones Morata.
- Corvetto, M., Bravo, M. P., Montaña, R., Utili, F., Escudero, E., Boza, C., ... & Dagnino, J. (2013). Simulación en educación médica: Una sinopsis. *Revista Médica de Chile*, 141(1), 70–79.
- De Pedro Carracedo, J., & Méndez, C. L. M. (2012). Realidad Aumentada: Una alternativa Metodológica en la Educación Primaria Nicaragüense. *IEEE-RITA*, 7(2), 102–108.
- De Pedro, J. (2011). Realidad Aumentada: Un nuevo paradigma en la educación superior. In *Actas del Congreso Iberoamericano Educación y Sociedad* (pp. 300–307), Universidad La Serena (Chile).
- Duart, J. M., Sangrà, A., & Sangrà, A. (2004). Aprender en la virtualidad. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 28, 263–266.
- Escartín, E. R. (2000). La realidad virtual, una tecnología educativa a nuestro alcance. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 15, 5–21.
- Espinosa, C. P. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 46, 187–203.
- González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., Ruisoto Palomera, P., et al. (2019). Applications of virtual and augmented reality in biomedical imaging. *Journal of Medical Systems*, 43, 102. <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1239-z>.

- González Izard, S., Juanes Méndez, J. A., & Palomera, P. R. (2017). Virtual reality educational tool for human anatomy. *Journal of Medical System*, 41, 76. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0723-6>.
- González Izard, S., Juanes, J. A., García Peñalvo, F. J., et al. (2018). Virtual reality as an educational and training tool for medicine. *Journal of Medical System*, 42, 50. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0900-2>.
- Juanes, J. A. (2013). Using Smartphones as tools for teaching innovation and training support. 2^a Ed. JID. Universidad de Salamanca (pp. 111–116). ISBN: 10-84-695-8722-6.
- Junta de Extremadura, J. (2001). Sociedad de la Información y Educación.
- Levis, D. (1997). Realidad virtual y educación. http://www.diegolevis.com.ar/secciones/Articulos/master_eduvirtual.pdf.
- Litwin, E. (1998). Tecnología educativa. Paide”s.
- Marquès Graells, P. (2005). La integración de las TIC en la escuela: las claves del éxito. *Primeras Noticias: Comunicación y Pedagogía*, 204, 37–45.
- Mejía Luna, J. N. (2012). Realidad Virtual, Estado del arte y análisis crítico (Master’s thesis, Universidad de Granada/2012).
- Moreira, M. A. (2004). Los medios y las tecnologías en la educación. Pirámide Ediciones S.A.
- Orozco, C, Esteban, P., & Trefftz, H. (2006) Collaborative and distributed augmented reality in teaching multi-variate calculus. In *WBE’06 Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Webbased Education*. USA: ACTA Press Anaheim, CA.
- Parra, A. I. R., Muller, E. Á., & Guevara, Ó. (2009). La simulación clínica y el aprendizaje virtual. Tecnologías complementarias para la educación médica. *Revista de la Facultad de Medicina*, 57(1).
- Rodríguez Illera, J. L. (2004). El aprendizaje virtual. Enseñar y aprender en la era digital. ISBN: 9789508084040.
- Tiffin, J., & Rajasingham, L. (1997). En busca de la clase virtual: la educación en la sociedad de la información (Vol. 43). Grupo Planeta (GBS).
- Torres, D. R. (2011). Realidad Aumentada, educación y museos. *Revista ICONO14 Revista científica de Comunicación y Tecnologías Emergentes*, 9(2), 212–226.
- Tovar, L. C., Bohórquez, J. A., & Puello, P. (2014). Propuesta metodológica para la construcción de objetos virtuales de aprendizaje basados en realidad aumentada. *Formación universitaria*, 7(2), 11–20.

Santiago González Izard studied Computer Engineering diploma, Computer Engineering degree, Master in E-Commerce and is currently a doctoral student at the University of Salamanca, where he has attended all of his studies. In 2013 he founded the company ARSOFT, specialized in the design of advanced software for Virtual Reality and Augmented Reality, with offices in Salamanca and Madrid and national and international awards for the level of innovation and quality of the products designed with these two technologies.

Santiago has led development teams for different projects where the principal core has always been one of these technologies, including projects where artificial vision (Computer Vision) and Artificial Intelligence (AI) have great relevance.

Currently Santiago combines his doctoral program with his position in ARSOFT as CEO y CTO, collaborating with the University of Salamanca in different projects. He is one of the biggest experts in Augmented Reality and Virtual Reality, with a special focus in its applications in projects related with medicine and industry 4.0.

J. Antonio Juanes Méndez is a permanent lecturer at the University of Salamanca, where he obtained his Ph.D. in Medicine and Surgery, and a Software Technician by the Pontificia University of Salamanca. He is professor of Human Anatomy and teaches at the Medicine, Psychology and Pharmacy Faculties. He coordinates the official research group Advanced Medical Visualization Systems, at the University of Salamanca; and collaborated with the research group: Grup

d'Anatomia Virtual i de Simulació, del Centre de Recursos per a l'Aprenentatge i la Investigació, at the University of Barcelona.

He has participated as director and collaborator in more than 50 funded research and innovation projects. He has been awarded with 14 research and teaching awards from Royal Medicine Academies and other national institutions. He is a co-author of 19 books of teaching kind. He has collaborated in different projects involving diverse medical and university centers of Spain and published more than 200 articles in international and national academic journals.

Francisco José García-Peñalvo received his bachelor's degree in computing from the University of Valladolid (Spain), and his Ph.D. degree from the University of Salamanca, where he is currently the Head of the Research Group in Interaction and e-Learning (GRIAL). His main research interests focus on eLearning, computers and education and digital ecosystems. He is the Editor in Chief of the Education in the Knowledge Society journal and the Journal of Information Technology Research. He coordinates the Doctoral Program in Education in the Knowledge Society.

Cristina Moreno Belloso got a bachelor's degree in Education (Early Childhood Education and Primary Education) and bachelor's degree in Educational Psychology, with more than eight years of experience as a school teacher and more than five years preparing other teachers to pass their public examination. Cristina is now investigating new technological tools to be applied as teaching tools in schools.

XXI. ANEXO XII: PREMIOS OBTENIDOS

En el congreso TEEM'18 celebrado en Salamanca en el año 2018 obtuve el premio a la mejor comunicación.



The 6th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'18) awards the contribution

NextMed: How to enhance 3D radiological images with Augmented and Virtual Reality. Santiago González Izard, Juan A. Juanes Méndez, Pablo Ruisto Palomera and Francisco J. García Peñalvo.

as the conference best paper in the category of

Technological innovations in biomedical training and practice

The conference has been held in Salamanca Spain on October 24-26, 2018 and organized by the Research GRoup in InterAction and eLearning (GRIAL) and Research Institute for Educational Science (IUCE) at the University of Salamanca.

Signed by:




Francisco J. García Peñalvo
TEEM 2018 Conference Chair



XXII. ANEXO XIII: PRESENCIA EN MEDIOS

En este anexo se incluyen algunas de las publicaciones que los medios han realizado en relación al trabajo que se ha realizado para la elaboración de esta tesis doctoral y la implementación de los diferentes proyectos que ha sido necesario diseñar e implementar para poder llevar a cabo la investigación y finalizarla con éxito.

Además de las publicaciones siguientes se han realizado intervenciones en la televisión local de Salamanca así como en la televisión autonómica de Castilla y León.

También he acudido a diferentes entrevistas en la radio para explicar los proyectos llevados a cabo como resultado de la investigación y todo el trabajo dedicado para la consecución de esta tesis.



Santiago González, fundador de la empresa salmantina Arsoft, en las instalaciones del Parque Científico de la Usal. ENRIQUE CARRASCAL

Aprenden en los muertos las técnicas para operar con menos riesgo. Cuerpos en formol que sirven de libros para los estudiantes de Medicina. Manuales para salvar vidas y limitar los errores en las cirugías. Es difícil evaluar este entrenamiento, pero el progreso en los futuros profesionales sanitarios es evidente. Sin embargo, la falta de donaciones a la ciencia hace que muchas personas se licencien sin nunca haber tocado un cadáver.

Por este motivo, las lecciones en miles de huesos y órganos inertes podrían tener los días contados. La empresa salmantina Arsoft ha desarrollado simuladores interactivos para la formación médica que permiten un entrenamiento mucho más experimentado a través de la práctica. De esta forma, consiguen que un estudiante, residente o médico experimentado pueda practicar los pasos de un determinado procedimiento de forma autónoma y tantas veces como quiera. «Esto hasta el momento resultaba imposible, ya que para practicar era necesario un cadáver, por lo que el número de prácticas experimentales que se podían realizar era limitado», expone Santiago González, fundador de la compañía.

Un paso adelante que ha contado con la ayuda de los miembros del grupo de investigación Visual Med de la Universidad de Salamanca (Usal), quienes han garantizado que las simulaciones tienen «gran nivel de realismo». En la actualidad llevan tres años trabajando de forma exitosa con este equipo, que, por su parte, tiene más de un cuarto de siglo de experiencia en técnicas de visualización médica avanzada.

> SALAMANCA

Realidad virtual para formar a los médicos

La empresa salmantina Arsoft desarrolla simuladores interactivos para que los profesionales sanitarios consigan un entrenamiento mucho más experimentado. Por **E. Lera**

¿Cómo funciona? Los profesionales médicos se ponen unas gafas de realidad virtual y sujetan con una de sus manos un mando que reconoce sus movimientos. A partir de ahí, se crea un mundo digital, en esta ocasión, un quirófano, en el que el usuario tiene que coger las herramientas con las que trabajar y utilizarlas como si fuera una cirugía real.

Imaginaros que, por ejemplo, Pepe tiene un cáncer de pulmón y visita a su médico, que le indica que debe hacerse un estudio radiológico. Hasta el momento los médicos estudian los resultados bien en 2D o bien en pantallas de ordenador donde pueden ver reconstrucciones en 3D. Sin embargo, el potencial de las tres dimensiones se pierde al visualizarlo en una pantalla de ordenador. «Con NextMed – así se llama la tecnología – podrán visualizar estos resultados aprovechando las ventajas del 3D real, pudiendo colocar la reconstrucción del pulmón de Pepe sobre la mesa y permitiendo al médico incluso planificar la cirugía manipulando el pulmón, para estudiar

cómo realizar la intervención, las complicaciones con las que se puede encontrar...», expresa el fundador de Arsoft.

Respecto a las ventajas, sostiene que la principal es que no hace falta un cadáver para practicar una cirugía. Y no sólo eso, añade, es que aunque existiera ese cuerpo no se podría practicar tanto como sería conveniente. Gracias a estos simuladores con sello salmantino, con una inversión mínima, los médicos podrían practicar tantas veces como consideren oportuno y, aunque por el momento seguirá siendo necesario practicar con cadáveres, es un herramienta complementaria que les permitirá realizar más entrenamientos, apunta.

Su idea, manifiesta, es convertirse en los próximos tres años en uno de los mayores productores de formación médica con realidad virtual a nivel internacional. Además, quieren llegar a todo el mundo para poder cambiar la forma en que los médicos estudian los resultados radiológicos y planifican las intervenciones. En este sentido, destaca que con estos instrumen-

tos se salvarán vidas, ya que los doctores tendrán una ayuda más que les permitirá planificar de una forma «mucho más eficiente» las cirugías.

Su labor no se queda ahí. En la industria cuentan con tres proyectos. El primero llamado ARGP que consiste en un sistema de realidad aumentada para dar soporte a los empleados de las empresas. Su objetivo consiste, tal y como explica, en sustituir a los manuales de toda la vida, para ofrecer a los operarios un sistema mucho más sencillo, con el que simplemente tienen que mirar a la máquina con la que están trabajando y automáticamente aparecen instrucciones sobre lo que tienen que hacer en cada momento.

Virtrain es un simulador virtual interactivo con el que los empleados pueden formarse en diferentes procesos de forma completamente autónoma, mejorando la curva de aprendizaje de los empleados y el coste del mismo para la empresa. La meta es, indica González, que los trabajadores se incorporen antes y mejor formados a las diferen-

tes líneas de producción de la empresa.

El cierre a los productos desarrollados por Arsoft lo pone un sistema para la teleasistencia. Asegura que un técnico podrá resolver un problema contactando con un experto que puede encontrarse en cualquier parte del mundo, y recibir instrucciones de forma que el experto podrá ver todo lo que ve el técnico, que seguirá las indicaciones en realidad aumentada. Por ejemplo, podrá indicarle que accione un botón concreto y el técnico verá como se ilumina dicho botón, haciendo muy sencillo seguir sus indicaciones. Su principal ventaja, agrega, es que evita desplazamientos ahorrando tiempo y dinero tanto al cliente como a la empresa proveedora del material del cual se está ofreciendo asistencia.

Esta empresa salmantina se instaló en el Parque Científico de la Usal hace más de tres años, y gracias a esta decisión han podido conocer a otros emprendedores y aprender de sus éxitos y fracasos, además de poder colaborar con ellos en diferentes proyectos. «Se ha creado un ecosistema multidisciplinar de empresas de software que nos permite contar con proveedores de diferentes tecnologías con los que se pueden crear sinergias para diferentes proyectos y áreas», expresa.

Santiago González recomienda a las personas que quieren hacer su sueño realidad realizar un plan de negocio trabajado y realista, pensar en lo que necesitan para llevarlo a cabo y cómo conseguirlo. «Es muy bonito empezar un proyecto propio y si finalmente acaba saliendo mal, habrá aprendido muchísimo», concluye.

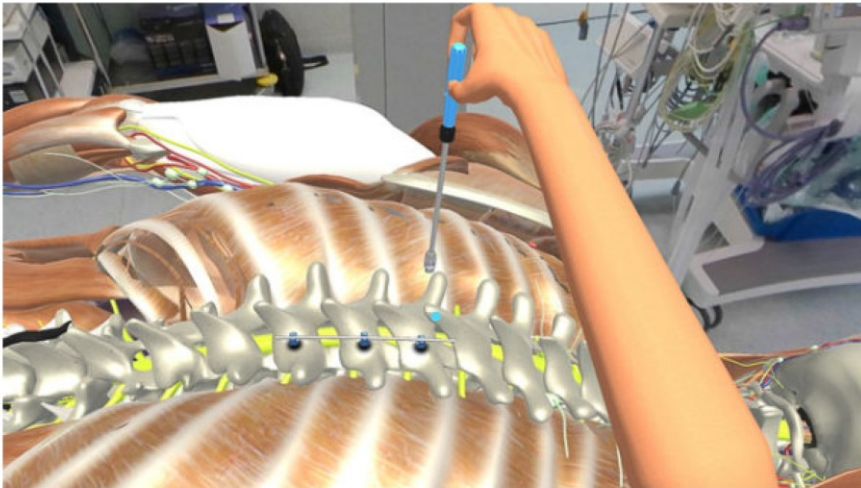
20 de Marzo de 2018 <https://www.digitalavmagazine.com/pt/2018/03/20/la-universidad-salamanca-desarrolla-simulador-virtual-cirugia-escoliosis/>

13/6/2020

La Universidad de Salamanca desarrolla un simulador para la cirugía de escoliosis

La Universidad de Salamanca desarrolla un simulador virtual para cirugía de escoliosis

El grupo investigación multidisciplinar de la USAL, VisualMed System, y Arsoft han sido los artífices de este proyecto que ofrece todo el protocolo de actuación de la intervención para la adquisición de habilidades en su práctica médica.



VisualMed System, grupo de investigación multidisciplinar de la Universidad de Salamanca y la empresa especializada en la implantación de sistemas de realidad aumentada y virtual, Arsoft, han desarrollado un simulador virtual de abordaje quirúrgico en columna vertebral para la escoliosis.



Este simulador, sistema pionero de abordaje y

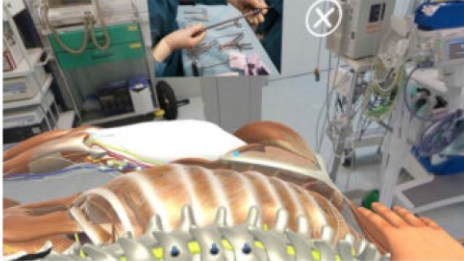
entrenamiento quirúrgico virtual en un entorno real, ofrece todo el protocolo de actuación de la intervención para la adquisición de habilidades en su práctica médica.

La herramienta tecnológica constituye un "sistema pionero e innovador a nivel mundial que ofrece al estudiante de medicina y al propio facultativo todo el protocolo de actuación de la intervención quirúrgica de esta enfermedad de la espalda para la adquisición de habilidades y entrenamiento de su práctica médica", explica Juan A. Juanes, profesor de Anatomía humana y responsable del grupo VisualMed System.

13/6/2020

La Universidad de Salamanca desarrolla un simulador para la cirugía de escoliosis

Una de las grandes ventajas que ofrece el sistema es que "fusiona contenido virtual con real, de forma que el usuario puede siempre guiarse de las imágenes y vídeos grabados de una intervención real, que incluso podrá visualizar de forma inmersiva", comenta Santiago González, director de Arsoft.



La realidad virtual facilita una inmersión completa para el

aprendizaje y la adquisición de destrezas en cualquier área de las ciencias de la salud. En el campo de la medicina permite "simular cualquier tipo de cirugía, ubicar al alumno en un quirófano para que se familiarice con el entorno, con el manejo del instrumental quirúrgico o incluso introducirlo en el interior del cuerpo humano para ofrecerle una perspectiva integral de su estudio", subraya el profesor Juan A. Juanes.

La inmersión virtual en una estructura corporal se logra a partir de unas gafas de visión estereoscópica que, junto con la integración de la Realidad Aumentada, las convierte en una "tecnología de innovación docente de gran potencial para la formación" ya que permite a los alumnos de medicina contemplar cualquier parte del cuerpo humano en tres dimensiones "como si lo tuvieran realmente encima de su mesa de estudio", agrega el director de Arsoft.

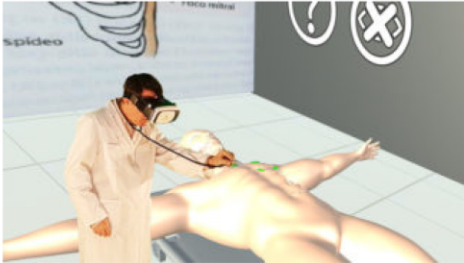


Otros proyectos

Además del diseño del simulador para el abordaje quirúrgico en un paciente con escoliosis, durante los últimos años VisualMed System y Arsoft han ejecutado diferentes sistemas tecnológicos de visualización médica avanzada, con fines docentes y orientados hacia la práctica clínica, que destacan entre los más innovadores de su campo.

13/6/2020

La Universidad de Salamanca desarrolla un simulador para la cirugía de escoliosis

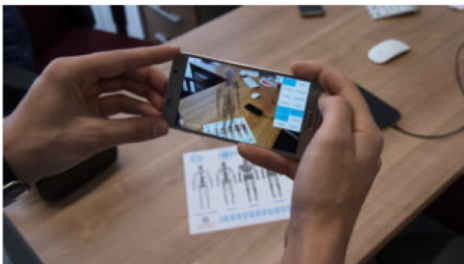


Entre las soluciones que han desarrollado se encuentra un

sistema interactivo de auscultación virtual y un proyecto para el aprendizaje virtual inmersivo de las estructuras anatómicas del cráneo humano.

El primero consiste en un sistema de realidad virtual que permite al usuario manipular un estetoscopio para localizar los puntos de auscultación en un paciente virtual.

Posicionando el estetoscopio en los puntos correctos se escucha el sonido del corazón que se oiría cuando es utilizado en un caso real. En la aplicación cada sonido es diferente en función del punto de auscultación y, además, atiende a la presencia o no de cardiopatías del individuo sometido a examen. El objetivo es que el alumno, no sólo aprenda a auscultar, sino que "lo haga aprendiendo también a diferenciar ruidos cardíacos en función de las zonas y de las diferentes cardiopatías que se pueden presentar en un paciente", explica el profesor Juanes.



Por su parte, el entorno creado para el estudio de las

estructuras anatómicas del cráneo humano muestra todo el potencial didáctico que ofrece la aplicación de la realidad virtual para el estudio de la anatomía humana.

Con este objetivo han desarrollado un software específico, ejecutado en unas gafas estereoscópicas, donde el usuario puede ver de forma los distintos huesos y forámenes que configuran el esqueleto del cráneo, acompañado, a su vez, de las explicaciones docentes en formato de audio guía. Además, la aplicación incluye un sistema de autoevaluación que permite llevar a cabo una valoración de los conocimientos adquiridos tras su manejo.

La combinación de vídeos esféricos también ha sido utilizada por Arsoft y VisualMed System para ofrecer inmersiones virtuales en entornos clínicos como quirófanos o salas de radiología e, incluso, permitir presenciar procedimientos quirúrgicos reales como si se estuviera participando en ellos.

13/6/2020

Ver por el ojo del cirujano para aprender

[Ir al sitio completo](#)

DIARIO DE VALLADOLID

SALAMANCA

Ver por el ojo del cirujano para aprender



-ENRIQUE CARRASCAL

E. LERA

02 DE MAYO DE 2018 (11:35 H.)

La Usal y la empresa tecnológica Arsoft crean el primer simulador virtual de intervención quirúrgica en columna vertebral.

El reloj del quirófano se acerca a las nueve de la mañana. El instrumental está colocado en su sitio y el personal médico toma posiciones. En la mesa de operaciones un bulto cubierto de paños azules y una cascada de tubos. Bajo todos ellos, una mujer de 55 años, anestesiada, con una hernia discal. Cuando llega la hora se apaga la luz del techo y un baile de médicos, enfermeras y auxiliares desempeñan la tarea marcada. Cada uno sabe qué tiene que hacer para que nada falle. Arriba, encima de sus hombros, como si de un anfiteatro se tratara, un grupo de estudiantes observa, cuaderno y bolígrafo en mano, cómo transcurre la intervención. Cada movimiento es una lección, un paso encaminado a recuperar la calidad de vida. Sus ojos no pierden detalle. Ya han pasado 60 minutos y todo parece

<https://diariodevalladolid.elmundo.es/articulo/innovadores/ver-ojo-cirujano-aprender/20180502113554251295.amp.html>

1/6

13/6/2020

Ver por el ojo del cirujano para aprender

haber salido según lo previsto. El paciente se traslada a la sala de reanimación mientras que el cirujano informa a la familia de cómo ha ido la operación. Los médicos noveles regresan a su rutina, la del aprendizaje.

Durante esa hora han recibido una clase magistral. Han visto cómo se opera a un paciente con una dolencia lumbar, si bien sólo lo han observado a través de un cristal. Pero gracias a la tecnología es posible operar con las gafas del futuro sin entrar en quirófano. Ver por el ojo del cirujano para aprender desde un aula sin necesidad de embutirse en ropa desechable. La empresa tecnológica Arsoft y el grupo de investigación VisualMed System de la Universidad de Salamanca (Usal) han desarrollado un simulador de realidad virtual interactivo que permite al usuario conocer de una forma completamente virtual y asistida los diferentes pasos de un procedimiento quirúrgico, en este caso, de un abordaje de la columna vertebral. El objetivo es que los facultativos ☐ sean capaces de realizar un entrenamiento realista sin necesidad de clavar el bisturí.

Aunque empiezan a surgir poco a poco desarrollos de simulación clínica con fines docentes, aún son escasos los centros universitarios y hospitalarios que manejan estas herramientas para su formación y adquisición de habilidades prácticas en la clínica. «Nuestro procedimiento tecnológico permite al facultativo o al estudiante de medicina experimentar las sensaciones reales para desarrollar destrezas frente a técnicas complicadas como es una intervención quirúrgica de columna vertebral», expresa Juan Antonio Juanes, director del grupo multidisciplinar de la Usal, antes de añadir que el usuario puede reproducir los pasos interactuando con el mundo virtual que le rodea, de manera que sea él mismo quien seleccione y manipule el instrumental con el movimiento de sus propias manos.

Esta plataforma está creada para que se pueda usar en diferentes modelos de gafas de realidad virtual. Para la implementación, explica Santiago González, director gerente de Arsoft, utilizan un software orientado al diseño de los entornos virtuales 3D. «Trabajamos con el último modelo hardware disponible, como son los guantes sensorizados capaces de trasladar el movimiento de las manos y cada uno de los dedos al mundo virtual, además de con gafas que permiten al usuario caminar y reflejar dicho movimiento de forma virtual».

13/6/2020

Ver por el ojo del cirujano para aprender

Los modelos 3D con los que operan se elaboran reconstruyendo en tres dimensiones las estructuras anatómicas que interesan en la intervención quirúrgica, partiendo de secciones seriadas de resonancia magnética e imágenes de tomografía computarizada; reconstruyéndose mediante software de tratamiento digital de imágenes la musculatura, huesos, ligamentos, nervios, arterias, venas, para darle el mayor realismo posible al entorno virtual, y poder manipularlo en cualquier posición espacial, apunta. También fusionan contenido virtual 3D con información real obtenida con cámaras 360º, lo cual aporta mayor realismo a las experiencias inmersivas.

Juanes afirma que estas experiencias virtuales, cuidadosamente diseñadas, pueden aproximar y proporcionar al usuario un sentido de control sobre el entorno, aunque sea ficticio y facilitar, en gran medida, los procesos de entrenamiento en el ámbito médico. «Con total seguridad, en un futuro no muy lejano, se llevarán a cabo diferentes modificaciones y se añadirán funcionalidades que mejoren esta tecnología», sostiene.

En este sentido, González subraya que el sistema ofrece una posibilidad que hasta ahora no existía: simular de forma lo más realista posible una cirugía. «El futuro cirujano será capaz de practicar tantas veces como desee un procedimiento quirúrgico, sin que para ello requiera un carísimo muñeco □ hiperrealista o uno de los limitados cadáveres de los que disponen las facultades de Medicina». No es el único valor añadido de esta plataforma que nada tiene que ver con los libros, sino más bien con la experimentación en tercera persona.

Esto, por supuesto, ya se hace hoy en día para adquirir un conocimiento práctico. El problema, tal y como expone, surge en la limitación que un quirófano tiene en cuanto a espacio: sólo unos pocos estudiantes pueden tener esa experiencia. La ventaja del uso de los vídeos esféricos de estos simuladores es que todos los médicos novatos podrían estar presentes en la cirugía y verla tantas veces como deseen, pudiendo incluso desplegar contenido formativo durante el vídeo para complementar lo que están viendo con la teoría que han aprendido.

Reconocen que en hospitales como el Gregorio Marañón de Madrid o el Clínico de Barcelona ya están empezando a utilizar técnicas de

13/6/2020

Ver por el ojo del cirujano para aprender

realidad virtual, sin embargo, los sistemas ideados por la empresa Arsoft y la Universidad de Salamanca no se limitan a una visión tridimensional, sin apenas interactividad entre los dispositivos tecnológicos y el usuario que los maneja, sino que buscan con la utilización de los guantes de realidad virtual con sensores, cascos, gafas de visión estereoscópicas, dispositivos de control manual... dar mayor realismo a la acción interactiva.

El simulador está centrado en patologías de columna vertebral, ya que el dolor lumbar es la causa más frecuente de incapacidad transitoria en los mayores de 45 años. En España casi el 80% de la población lo padece en algún momento de su vida. Puede ser consecuencia de alteraciones en la morfología vertebral por deformidades –como la escoliosis, cifosis o lordosis–, es decir, problemas de las curvaturas de la columna vertebral; o por hernias discales; siendo todas ellas muy incapacitantes, que algunos casos precisan de cirugía.

No es el único dispositivo que han firmado, también han desarrollado auscultares virtuales que permiten a los estudiantes de Medicina, y más en concreto de la rama de cardiología, realizar unas prácticas en el proceso de auscultación cardíaca que les posibilita identificar más fácilmente cardiopatías en sus pacientes. «La filosofía es siempre la misma: aprovechar la ventaja que nos ofrece la realidad virtual de poder practicar tantas veces como deseemos», subraya Santiago González.

Asimismo, han diseñado un sistema para adentrarse en el cráneo mediante inmersión virtual, analizando cada una de las estructuras óseas que lo conforman. En la actualidad llevan años trabajando en un proyecto «ambicioso y muy interesante» que ofrecerá una herramienta disruptiva que facilitará a los médicos la emisión de muchos diagnósticos, y será un «gran instrumento» de ayuda en radiología y cirugía. De momento, prefieren no desvelar más detalles.

«La innovación es la que puede hacer a España un motor económico para Europa»

Santiago González, director gerente de la empresa tecnológica Arsoft, asegura que en España hay grandes ingenieros y profesionales en general con una gran capacidad de innovación. Según su parecer, falta

13/6/2020

Ver por el ojo del cirujano para aprender

un impulso financiero por parte del Estado y de las propias empresas para que la innovación se convierta en uno de los motores del país.

«La innovación es la que puede hacer que España sea un verdadero motor para Europa. Tenemos potencial para ser la primera economía de la Unión Europea, ahora hace falta creérselo y apostar firmemente por conseguirlo».

En este sentido, el profesor Juan Antonio Juanes indica que, aunque existen muchas herramientas de apoyo a los emprendedores, el problema es muchas veces el desconocimiento por parte de las empresas sobre estas herramientas, y por otro lado también la imposibilidad de acceder a recursos de ayuda, especialmente para las empresas más pequeñas. «Creo que se debería apoyar más a las pymes, además de a las grandes compañías que presentan miles de beneficios, y digo esto comprendiendo perfectamente que estas firmas son un motor económico importantísimo para el país, pero si no me equivoco la economía de España la mueven las pequeñas y medianas empresas», añade González.

Para el director gerente de Arsoft, la sociedad no siempre valora el talento. Echa la vista atrás y recuerda su etapa de investigador y estudiante de doctorado, donde no tuvo muchos incentivos. Por ello, reclama que se empuje a las personas con talento a investigar e innovar. «Todos queremos tener acceso a un nivel de vida lo más alto posible, y como investigador, en general, es muy complicado conseguirlo en España. Muchas personas que podrían alcanzar grandes logros en investigación prefieren optar por otros trabajos donde saben que podrán alcanzar un nivel económico superior», lamenta antes de subrayar que la sociedad tiene que evolucionar. Al respecto, Juanes matiza que algunas fundaciones fomentan la innovación y el desarrollo tecnológico convocando premios en esta línea.

3
Lunes 24/9/18

Expansión
PYMES & EMPRENDEDORES

Simuladores para alumnos de medicina

Nada más acabar la carrera de ingeniería informática, Santiago González obtuvo una beca con la que pudo poner en marcha su proyecto empresarial. "Tenía claro que la realidad aumentada era un sector que no existía, pero que iba a crecer", comenta. Cinco años más tarde ha conseguido empalmar esta beca con diversas ayudas y premios, lo que le ha permitido financiar al 100% la actividad de su empresa, **Arsoft**, sin necesidad de recurrir a inversores privados.

La especialidad de la compañía salmantina es la creación de dispositivos de realidad aumentada y realidad virtual tanto para la industria 4.0 como en el ámbito médico. En este sentido, la 'start up' ha desarrollado un simulador quirúrgico para alumnos de medicina en colaboración con VisualMed System, un grupo de investigación de la Universidad de Salamanca.

Actualmente, Arsoft cuenta con siete empleados aunque prevé duplicar la plan-



tilla a final de año con la realización de "un proyecto que llevará la realidad aumentada y la virtual al día a día del ámbito médico", anticipa González.

A partir de ese momento, la empresa, que cuenta con clientes en el exterior, sobre todo en Sudamérica, no descarta realizar su primera ronda de financiación.

El material quirúrgico del futuro

Tras el buen funcionamiento de la realidad virtual en la Facultad de Medicina, Salamanca puede incorporar el próximo año la realidad aumentada: 'Tú operas en quirófano y yo te oriento desde casa'

JAVIER HERNÁNDEZ | SALAMANCA

Los alumnos de la Facultad de Medicina de Salamanca son de los primeros de España que pueden experimentar la sensación de verse en un quirófano, delante de un paciente sedado y empezar a intervenir su cráneo o sus pulmones, pero sin ningún riesgo. Se trata de la 'educación inmersiva' o, dicho de otro modo, la aplicación de la realidad virtual en las aulas.

"La Universidad de Salamanca cuenta con una plataforma virtual en la que se van introduciendo píldoras formativas, o lecciones", explica el CEO de la empresa que desarrolla este software. "De momento solo la usan en Medicina y pueden entrenar todo tipo de cirugías, entrar en un cráneo o conocer la secuencia de los pasos a seguir en cada intervención", añade.

A las gafas de realidad virtual se le suman unos guantes con sensores en los dedos o en las palmas para hacer la experiencia más realista: transfieren al sistema el movimiento que se haga con las manos y, al revés, hacen que las manos sientan como si estuvieran tocando un objeto.

"Los quirófanos que se ven dentro de esta realidad virtual son también de Salamanca. Se han grabado en el Clínico, en la Universidad y en la Santísima Trinidad", apuntan desde AR-Soft.

El gran reto de cara al próximo año es dar el salto de la realidad virtual a la realidad aumentada. Una notable diferencia.

"La realidad aumentada se usa mucho en la industria. Por ejemplo, un técnico tiene que trasladarse para revisar una avería y lo que él está viendo con las gafas le llega también a un experto —como una cámara—, pero lo más importante es que el



Santiago González realiza una demostración de realidad virtual al cirujano torácico del Hospital José Luis Aranda. | ALMEDA

La tecnología 'anticipa' el comienzo de las prácticas

Para que un estudiante de Medicina pueda acceder a un quirófano o tenga la oportunidad de auscultar a un paciente pueden pasar varios años. La realidad virtual hace posible empezar a practicar desde el minuto 1. "Existe un simulador de auscultación con el que puedes mover el 'fonendo' y en función de donde lo pongas los oídos de una forma u otra. El alumno tiene que detectar las cardiopatías que tiene el paciente. Eso no sería fácil de hacer auscultando pacientes por la calle", destacan los desarrolladores de esta tecnología, que cuenta con el aplauso y el visto bueno de los especialistas sanitarios que ya la han probado.

especialista puede enviar información al técnico a través de las gafas. Puede enviarle un mapa de cuál es el cable que debe manipular o hacer que se ilumine el botón que debe pulsar, etc", detallan. Esta misma tecnología es aplicable a la medicina: "En una operación un especialista en otra parte del mundo te puede indicar qué parte del cuerpo debes intervenir; o te puede enviar una radiografía que te indica la zona afectada y que tú verías a través

de las lentes de las gafas", explica Santiago González, que avanza la intención de "lanzarlo al mundo de la cirugía a partir de 2019" y que "tanto la Universidad de Salamanca como el Hospital de Salamanca van a ser los primeros en probar estos sistemas".

Desde el Complejo se puntualiza que aún no hay propuesta oficial a través de los cauces establecidos, pero que están "abiertos a las novedades que mejoren la atención al paciente".

Cerca de 16.000 personas han participado en la undécima edición de Las Llaves de la Ciudad

L.G. | SALAMANCA

Un total de 15.895 personas han participado en la undécima edición de Las Llaves de la Ciudad; los datos reflejan un incremento del 40% en el número de participantes, lo que refuerza la consolidación de este programa como la propuesta turística más atractiva en esta época del año. Del 26 de octubre al 17 de diciembre, una quinena de espectáculos patrimoniales ha formado parte de la undécima edición, marcada por el XXX Aniversario de la designación de Salamanca como Ciu-

dad Patrimonio de la Humanidad.

La iglesia de San Sebastián, uno de los espacios novedosos en esta edición, ha sido además uno de los más visitados por el público. Un total de 1.580 personas han realizado la visita guiada a una iglesia que surgió de la mano de Alberto de Churriguera.

La visita teatralizada al Colegio Mayor de Anaya ha sido otro de los espacios más exitosos, registrando un total de 1.369 visitantes. También gran éxito de público ha tenido la visita a la

Iglesia de la Vera Cruz (2.040 personas) y el recorrido teatralizado a Calatrava (1.141 visitas).

La iglesia de San Esteban o el museo conventual de Santa Clara han registrado también destacadas cifras de visitantes, con 978 y 847 personas respectivamente.

Con el fin de acercar el patrimonio y la oferta cultural a todas las personas de la ciudad, el programa ha incluido un año más visitas y pases especiales a varios de los espacios atendiendo a las diferentes capacidades. Un total

La iglesia de San Sebastián, uno de los espacios novedosos en esta edición, ha sido, además, uno de los más visitados

de 400 personas con diversidad funcional han sido espectadores de las diferentes propuestas, con mayores facilidades y comodidades. La interpretación en lengua de signos del contenido de las representaciones y visitas de todos los espacios y la reserva de entradas para personas con movilidad reducida en algunos espacios se han visto reflejadas en el número de participantes.

Los tres conciertos incluidos en esta undécima edición han registrado un total de 460 espectadores. Y 127 estudiantes de español han disfrutado también de las propuestas.

Desde su puesta en marcha en el año 2008, el programa Las Llaves de la ciudad ha recibido un total de 87.947 participantes.

21/3/2019

Spanish offer new approach to 3D brain visualization



Spanish offer new approach to 3D brain visualization

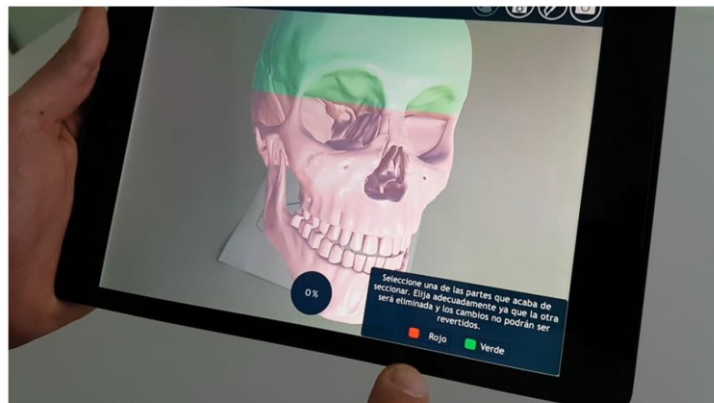
By Abraham Kim, AuntMinnieEurope.com staff writer

March 21, 2019 -- Researchers from Spain have developed a technique that allows users to visualize and interact with head MRI and CT scans as 3D models using virtual reality (VR) and augmented reality (AR). The technique relies on proprietary software applications specifically designed for examining radiology images.

The group's visualization approach features three different software applications that can convert standard 3D anatomical models typically viewed on a 2D screen into files compatible with VR and AR technologies (*Journal of Medical Systems*, 14 March 2019).

The study shows how clinicians can integrate VR and AR into the radiology workflow and have access to a more realistic, comprehensive display of brain and skull anatomy, first author Santiago Izard, a doctoral student at the University of Salamanca and CEO of VR/AR start-up ARSoft, told *AuntMinnieEurope.com*.

"In this moment, it is not usual to create 3D models [for VR and AR] due to the long processing time and additional costs it demands," he said. "The key clinical implication of the system we are implementing is to allow doctors to work with 3D models created from radiological results cheaply and very easily."



A user interacts with a 3D model of the cranium using AR technology.
All images courtesy of Santiago Izard.

Beyond traditional imaging

Technological advancements in recent years have led to major improvements in graphics processing and rendering capabilities, paving the way for the visualization of medical images as complex 3D models, according to the authors. Although many computer programs can generate 3D models from 2D medical images, few are exclusively geared toward the examination of radiology images using VR and AR.

One of the major challenges with integrating high-quality 3D anatomical models into VR and AR is that the models generally consist of too many polygons for VR and AR devices to handle, they

<https://www.auntminnieeurope.com/index.aspx?sec=prtf&sub=def&pag=dis&itemId=617195&printpage=true&fsec=sup&fsub=adv>

1/3

21/3/2019

Spanish offer new approach to 3D brain visualization

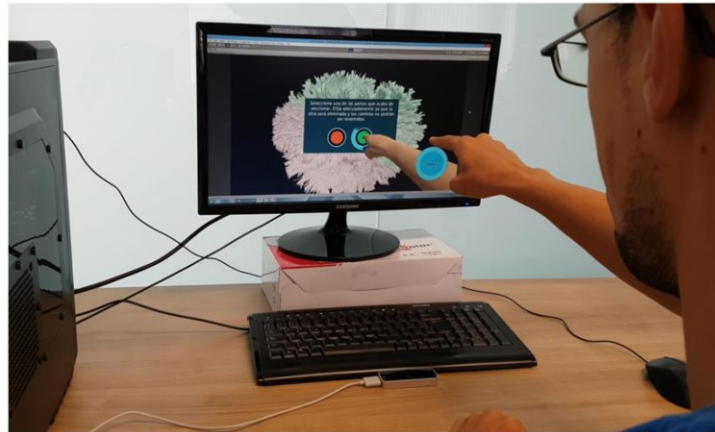
noted. Most computer programs reduce the number of polygons that make up a model to be able to visualize it in VR and AR, but this comes at the cost of image quality.

Seeking to address this barrier, Izard and colleagues obtained head MRI and CT scans and used segmentation software to select regions of interest on the scans and turn them into 3D meshes. Next, they reduced the complexity of the 3D meshes by applying the marching cubes algorithm.

After simplifying the 3D meshes, the researchers input them into one of three distinct software applications they designed using computer software (Unity3D, Unity Technologies):

- **VR Viewer:** Produces 3D models compatible with VR headsets (Oculus and Samsung Gear VR, Oculus)
- **AR Viewer:** Allows for the visualization and manipulation of 3D models with Android and Apple devices
- **PC Viewer:** Works with a USB motion sensor (Leap Motion controller, Leap Motion) to allow users to interact with 3D models on a monitor using hand motions

These software applications help improve the final step in the process of examining radiology images using VR and AR, making complex 3D models compatible with VR and AR devices without compromising image quality, the authors wrote. Ultimately, the technologies offer "fast and efficient interaction, including rotating, scaling, or cutting the 3D models [to view] complex internal structures. In addition, this system can be used by clinicians to store and explore clinical neuroimages from different locations."



A user manipulates a 3D model of the brain with hand gestures.

Automated segmentation

Looking ahead, the researchers proposed a way to overcome yet another barrier to using VR and AR for viewing radiology images: the time-consuming process of image segmentation. Their proposal involved using artificial intelligence (AI) algorithms to automatically segment regions of interest on MRI and CT scans.

"We are currently working on creating and implementing advanced AI algorithms for image segmentation," Izard said.

The algorithm they are developing relies on a cellular neural network -- a computing paradigm similar to neural networks -- to detect key areas for automated segmentation.

"Our tool fully integrates AR and VR technology with radiological imaging and is specifically designed to study radiology-based results and even plan surgeries," he said. "These technologies

<https://www.auntminnieeurope.com/index.aspx?sec=prtf&sub=def&pag=dis&itemId=617195&printpage=true&fsec=sup&fsub=adv>

2/3

EXPLORANDO LAS POSIBILIDADES DE LA REALIDAD AUMENTADA



SANTIAGO GONZÁLEZ IZARD
Ingeniero Informático y fundador de ARSOFT

LA Realidad Aumentada es una tecnología que permite incorporar información virtual a la realidad que nos rodea. Esta información virtual puede ser desde un perfil de Facebook que se puede ver cuando apuntas a la cara de una persona, hasta modelos 3D de Pokémon que caminan por nuestro mundo y a los que podemos ver con un móvil o unas gafas de Realidad Aumentada.

La Realidad Virtual (RV), sin embargo, es una tecnología que persigue una inmersión completa; es decir, cuando el usuario experimenta la RV con unas gafas deja de ver el mundo que le rodea. La empresa salmantina ARSOFT está especializada en estas innovadoras tecnologías que cada vez estarán más presentes en nuestras vidas. Aunque la empresa trabaja tanto para el sector industrial como para desarrollar sistemas para el ámbito médico, es en este último punto donde centraremos nuestra atención.

Esta empresa está participando en la implementación de un proyecto que tiene como objetivo modificar la forma en que especialistas médicos y radiólogos trabajan con las imágenes médicas que se obtienen cuando se realiza una tomografía computarizada (TC) o resonancia magnética (RM). Actualmente estas imágenes se visualizan en estaciones de trabajo especiales comúnmente llamadas *workstations*. Estos dispositivos permiten a los facultativos visualizar una reconstrucción tridimensional de las diferentes regiones anatómicas del paciente en una pantalla. El problema es que las imágenes no contienen únicamente la información de la región anatómica en la que está interesado el profesional, sino que aparecen todos los órganos, músculos, huesos, venas, arterias, nervios...

Es en este punto donde aparece el primer problema: la segmentación. Este término alude a la separación dentro de las imágenes médicas de las estructuras anatómicas de interés. Aunque existen sistemas que son capaces de realizar de forma automática este proceso de segmentación, esto sólo es posible para regiones anatómicas muy concretas, y lo cierto es que el proceso suele ser semiautomático, donde el facultativo debe fijar ciertos puntos de referencia. Y en muchas ocasiones el proceso de segmentación debe llevarse a ca-

Reconstruir tridimensionalmente la realidad a través de la realidad virtual y la realidad aumentada abre un mundo de posibilidades en numerosos campos de investigación, especialmente en la medicina. Desde Salamanca una empresa investiga para expandir las posibilidades de estas tecnologías que cambiarán nuestras vidas.



3D. Visualización con realidad aumentada de la reconstrucción de varias estructuras anatómicas de un paciente real.

El especialista puede ver el pulmón en 3D, analizar el posible tumor y emitir un diagnóstico más certero

bo de forma manual por un especialista. Esto finalmente implica una cantidad de tiempo considerable que desgraciadamente los profesionales médicos no tienen. Pero, ¿qué ventajas tiene llevar a cabo una segmentación?

La segmentación permite aislar la zona que se desea estudiar para poderla analizar mejor sin que otras estructuras anatómicas interfieran en el estudio y la consecución de un diagnóstico. Imaginemos un paciente con un tumor en el pulmón. Si el especialista es capaz de ver el pulmón de su paciente en tres dimensiones y analizar dónde se encuentra el tumor y la morfología y características de su pulmón, podrá emitir un diagnóstico más certero y estudiar cómo se debe llevar a cabo la cirugía.

Por tanto podemos ver que la segmentación es muy beneficiosa. No obstante, como supone la inversión de mucho tiempo, lo cier-

to es que en muchas ocasiones no se considera necesario y no se lleva a cabo. Es aquí donde el sistema que está desarrollando Arsoft, en colaboración con la Universidad de Salamanca y Grupo Alava, denominado Nextmed, ofrece una solución.

Nextmed incorpora algoritmos de visión artificial e inteligencia artificial para llevar a cabo una segmentación automática de diferentes regiones. Actualmente es capaz de llevar a cabo la segmentación de un pulmón con sus venas y arterias, espina dorsal, corazón, hígado, estómago entre otras estructuras anatómicas. Esta segmentación se lleva a cabo sin la intervención humana y en cuestión de segundos, permitiendo a los especialistas realizar estudios exhaustivos para todos sus pacientes reduciendo considerablemente el coste.

VIAJE AL INTERIOR. Sin embargo, la visualización de una estructura 3D en una Workstation supone una limitación. Al fin y al cabo si visualizamos cualquier objeto 3D en una pantalla 2D lo único que obtendremos será una perspectiva bidimensional. Es aquí donde ARSOFT y su proyecto Nextmed aportan la segunda ventaja: visualización con Realidad Aumentada y Realidad Virtual.

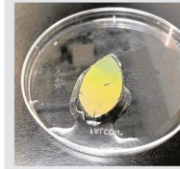
La plataforma de visualización con Realidad Aumentada permite a los profesionales médicos ver el pulmón de ese paciente (o cualquiera de las regiones compatibles hasta el momento) sobre la mesa como si fuera real, pudiendo analizar todos sus detalles e incluso seccionarlo para estudiar su interior y de esta forma llevar a cabo un estudio prequirúrgico, gracias a herramientas específicamente diseñadas para ello.

Por otro lado, con la Realidad Virtual podríamos introducirnos en el interior de ese pulmón para profundizar en determinadas áreas, como si realmente estuviéramos dentro.

Nextmed es una plataforma completa que abarca desde la carga de las imágenes médicas en formato DICOM en una plataforma Cloud, hasta su almacenamiento, análisis, segmentación, generación de los modelos 3D y finalmente su visualización y estudio mediante dos plataformas, una de Realidad Aumentada y otra de Realidad Virtual.

Muy pronto Nextmed se comenzará a utilizar de forma experimental, y esperamos que en poco tiempo toda la comunidad médica pueda beneficiarse de las ventajas que ofrece a la comunidad.

AL MICROSCOPIO



PIEL ARTIFICIAL CAMBIANTE DE COLOR

Una piel artificial y flexible basada en la manera en que el camaleón cambia de color fue presentada a partir de una investigación hecha pública por la Sociedad Química Estadounidense. Descubrieron que el camaleón no logra el cambio de color utilizando tintes sino con grupos de estructuras micrométricas. Son cristales fotónicos que se proyectan en áreas que no tienen color.



METAMATERIAL DE FORMA AJUSTABLE

Un tipo de metamaterial nanoarquitectónico recientemente desarrollado tiene la capacidad de cambiar de forma, adquiriendo así nuevas propiedades. Si bien la mayoría de los materiales reconfigurables pueden alternar entre dos estados distintos, la forma del nuevo material se puede ajustar con precisión, manejando sus propiedades físicas según convenga.



NUEVAS LENTES GRAVITACIONALES MIMEN EL UNIVERSO

Un equipo internacional de investigadores ha desarrollado una estrategia para calcular la expansión del universo a través de las lentes gravitacionales, según un estudio publicado por Science. Esta técnica depende de la definición de la gravedad, de acuerdo con la teoría de la relatividad general de Einstein, como resultado de la distorsión masiva del espacio-tiempo.

LA GACETA

DOMINGO, 29 DE SEPTIEMBRE DE 2016. Año XCIX. Nº 32.359

VENTA CONJUNTA E INSEPARABLE CON MARCA PRECIO: 2,50 €

Todo se vende en Salamanca y provincia. Precio de referencia de La Gaceta Regional de Salamanca: 1,50 €

La provincia honra a San Miguel
FIESTAS Páginas 24 a 34

ALOCADA NOCHE DE ROBOS
Los ladrones asaltan las parroquias de Macotera, Peñaranda y Villar de Gallimazo causando destrozos
Página 19

Indignación por nuevos retrasos en dos trenes de Media Distancia a Madrid
La avería del motor de un Media Distancia procedente de Madrid obligó a que otro tren tuviera que remolcarlo hasta la estación salmantina, y acumuló un retraso...

Proyecto pionero para convertir en 3D las imágenes de los TAC

La herramienta, diseñada por un grupo investigador salmantino junto a dos empresas, está en la fase final de su desarrollo ■ El sistema será muy útil a la hora de fijar posibles tratamientos y también para la formación

Páginas 2 y 3



Juan A. Juanes y Santiago González, con una recreación.

2
TEMA DEL DÍA

Los jóvenes informáticos de Arsoft y el médico Juan A. Juanes, que lidera el grupo de investigación que está llevando a cabo el proyecto, en la Incubadora del Parque Científico. | FOTOS: ALMEIDA

Novedosa herramienta para transformar las imágenes de los TAC en modelos 3D

El sistema, en la fase final de desarrollo, es fruto de la colaboración del grupo de investigación del profesor Juan A. Juanes y las empresas Arsoft, del Parque Científico, y Grupo Álava

R.D.L. | SALAMANCA

La tomografía axial computarizada, más conocida como TAC, es una prueba diagnóstica fundamentada en la imagen que se utiliza cada vez con más frecuencia. Investigadores de la Universidad de Salamanca se han propuesto dar un paso más y cambiar la forma con la que los especialistas trabajan con los resultados radiológicos. Con la colaboración de las empresas Arsoft, ubicada en el Parque Científico de la institución académica, y Grupo Álava, el grupo Visual-Med System, que dirige el profesor de Anatomía Juan A. Juanes, ha diseñado una nueva herramienta informática para que las imágenes del interior del cuerpo humano que proporciona el TAC se transformen automáticamente en modelos 3D que permitan al médico visualizar de forma mucho más clara la información del TAC y, por lo tanto, un mayor acierto en el diagnóstico o tratamiento del paciente.

"Con esta herramienta, de forma inmediata, el médico va a poder ver el modelo 3D, por ejemplo, del pulmón del pacien-

te", explica Santiago González, de Arsoft, y el médico Juan A. Juanes incide en que es más rápido, más exacto que los sistemas actuales y, además, se realiza de forma automática. La herramienta aprovecha los últimos avances en realidad

aumentada, realidad virtual y visión artificial, de forma que permite segmentar la zona anatómica de interés para el médico, proceso que se realiza automáticamente —ahora requiere de horas de trabajo— y generar un modelo 3D de esa zona que fa-

cilita el trabajo a los profesionales médicos con plataformas de visualización y estudio de dichos modelos.

"Poder extraer esos modelos nos va a permitir llevar a cabo simulaciones de abordajes quirúrgicos de forma virtual sobre el propio paciente", añade Juanes incidiendo en la importancia de este avance tecnológico que podrá ser una realidad en 2020. "Queremos que esté implantado ya en un hospital el próximo año, de forma que un médico pueda ya trabajar con los modelos 3D para ver cómo funciona", comenta Santiago González e insiste: "Los médicos podrán ver encima de su mesa el modelo 3D del pulmón del paciente y estudiarlo como si fuera real, facilitando el diagnóstico, estudio prequirúrgico y la propia cirugía".

500.000 euros del Ministerio. El desarrollo de la herramienta forma parte del proyecto "Next-med", que comenzó hace un año y cuenta con 500.000 euros de financiación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universi-

dades, dentro de la convocatoria "Retos Colaboración".

Los expertos están trabajando con pruebas reales y los primeros resultados están siendo un éxito, según aseguran, así que próximamente llevarán a cabo un encuentro de trabajo con profesionales de la medicina para mejorar y completar la herramienta que en un futuro esperan que sea de gran interés para la industria y que alguna gran empresa se encargue del lanzamiento comercial.

"Nextmed tiene como objetivo cambiar la forma con la que radiólogos y especialistas trabajan con resultados radiológicos", incide González y Juanes y hacen hincapié en que "los médicos podrán ver encima de su mesa el modelo 3D de pulmón de su paciente y estudiarlo como si fuera real, facilitando el diagnóstico, el estudio prequirúrgico e incluso la propia cirugía".

Además, el sistema abaratará los costes de este tipo de procedimientos y ofrecerá la posibilidad de imprimir, incluso, la pieza en la que el especialista está interesado.



Juan A. Juanes y Santiago González, con una recreación.

Múltiples aplicaciones

La herramienta será de utilidad en formación, pero también a la hora de fijar tratamientos y se podrá utilizar en todo el cuerpo

R.D.L. | SALAMANCA

VISUALMED System, grupo de investigación multidisciplinar que dirige Juan A. Juanes está formado por anatomistas, radiólogos y cirujanos, entre otros expertos, de forma que su actividad es muy variada, pero uno de los aspectos en los que hacen hincapié es la formación.

FORMACIÓN Simuladores virtuales

VisualMed System está integrado en el Instituto Universitario de Ciencias de la Educación, lo que refleja su apuesta por la formación, aunque no de forma convencional, sino a partir de las nuevas posibilidades que ofrece la realidad virtual y aumentada. En este sentido, Juanes destaca que una de las aplicaciones del innovador sistema de modelado en 3D que están llevando a cabo con Arsoft es, precisamente, la posibilidad de utilizarlo como herramienta para el aprendizaje de los estudiantes. Ya cuentan con simuladores virtuales interactivos mediante el uso de guantes.

DIFFERENTES ESPECIALIDADES Todas las partes del cuerpo

La moderna tecnología que está impulsando el grupo de investigación de la Universidad de Salamanca en colaboración con empresas puede ser utilizada en diferentes especialidades médicas. Las principales son la anatomía, la cirugía, la cardiología y la

odontología, pero puede llegar a más áreas. Además, una de las características del proyecto "NextMed" es que se puede utilizar para hacer un estudio de cualquier parte del cuerpo, lo que amplía las posibilidades de uso de la herramienta. De momento la aplicación está centrada, principalmente, en toda la zona torácica.

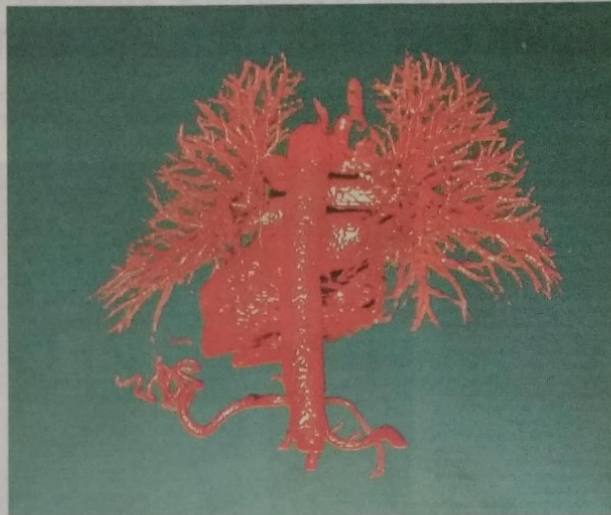
CÁNCER Ver la extensión de un tumor

Juan A. Juanes destaca que el sistema en el que están trabajando permite independizar cada una de las estructuras anatómicas, lo que significa que el médico puede ver, por ejemplo, la extensión de un tumor. Santiago González aclara que no se puede segmentar el tumor, porque su densidad es variable, pero Juanes explica que, en cualquier caso, el modelo en 3D permite saber qué parte tienen que resecar.

IMPRESIÓN DE MODELOS Simulaciones de abordajes quirúrgicos

El médico Juan A. Juanes explica también que extraer los modelos en 3D posibilita para hacer simulaciones de abordajes quirúrgicos de forma virtual sobre el propio paciente, incluso el médico podría imprimir esa pieza para tenerla físicamente y ver cómo puede trabajar con ella en una intervención.

Otra ventaja es que es una herramienta con la que el médico podría trabajar desde su casa ya que, además, es mucho más económica que los modelos actuales.



Modelo 3D de un corazón con sus venas. | FOTOS CEDIDAS POR ARSOFT



Modelos 3D de columna

Del TAC de un paciente, la herramienta que está impulsando VisualMed System con participación empresarial permite sacar una imagen en 3D frontal, otra del lateral, un modelo en sangre y hacer una pieza en yeso u otros materiales.

Impulsores del primer simulador virtual de intervención quirúrgica en columna vertebral

R.D.L. | SALAMANCA

El grupo de investigación VisualMed System, que lidera Juan A. Juanes, y la empresa Arsoft han colaborado en anteriores ocasiones. Hace poco más de un año presentaron el primer simulador virtual de abordaje quirúrgico en columna vertebral para la patología de la escoliosis, desarrollado con la colaboración de los neurocirujanos González y Sánchez-Ledesma.

El proyecto ha supuesto una importante herramienta para estudiantes y facultativos en cuan-

to al protocolo de actuación de la intervención quirúrgica de esta enfermedad de la espalda, de forma que puedan adquirir habilidades y entrenamiento de su práctica médica.

"Fusiona contenido virtual con real, lo que permite que el usuario se guíe de las imágenes y vídeos grabados de una intervención real, que incluso podrá visualizar de forma inmersiva", explicaba entonces Santiago González, director de Arsoft.

Un sistema similar es el que se está desarrollando ahora pero



Simulador de intervención quirúrgica de escoliosis.

para cualquier parte del cuerpo humano en el proyecto "NextMed".

La realidad virtual está revolucionando el aprendizaje y la adquisición de destrezas en cualquier área de las ciencias de la salud, hasta el punto de que permite simular cirugías, de forma que el alumno se familiarice con la práctica quirúrgica, el manejo del instrumental e incluso puede situarse en el interior del cuerpo humano.

Otro de los desarrollos fruto de la colaboración universidad-empresa es un sistema interactivo de auscultación virtual. Posicionando el estetoscopio en un paciente virtual, el alumno escucha el sonido del corazón y cómo varía si existe alguna cardiopatía.