

**SEGMENTACION MANUAL Y AUTOMÁTICA DE IMÁGENES RADIOLÓGICAS  
SECCIONALES PARA RESECCIONES PULMONARES ANATÓMICAS CON  
CIRUGÍA ROBÓTICA**

**AUTORA:**

**Manuela Martín Izquierdo**

**DIRECTORES:**

**Juan Antonio Juanes Méndez**

**Marcelo F. Jiménez López**

**PLAN DE INVESTIGACIÓN**

**PROGRAMA DE DOCTORADO:**

**FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO**

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

**FECHA: 07/02/2022**

## INTRODUCCIÓN

La observación e interpretación de imágenes anatomo-radiológicas es la base para la realización de correctos diagnósticos clínicos. Recientemente, el postprocesado de imágenes radiológicas y su reconstrucción tridimensional de las estructuras anatómicas han contribuido a mejorar no solo la visualización de la morfología corporal, sino que ha facilitado el diagnóstico de diversas patologías.

La utilización de recursos tecnológicos de representación tridimensional de las imágenes médicas mejora la percepción espacial y el entendimiento anatómico permitiendo elaborar material docente correlacionado con imágenes radiológicas como la resonancia magnética, técnica morfológica de diagnóstico por imagen por excelencia (Allen et al., 2015; Azer y Azer, 2016; Hackett y Proctor, 2016; Erolin 2019).

El desarrollo de estos recursos digitales de visión tridimensional va a permitir a diferentes usuarios (estudiantes de ciencias de la salud, médicos residentes y especialistas), manipular y trabajar con modelos anatómicos reales para su estudio, lo que supera enormemente a los clásicos atlas anatomo-radiológicos clásicos, donde las imágenes son estáticas, sin permitir valorarlas en toda su integridad. Todo ello mejora sin duda el aprendizaje y la interpretación diagnóstica (Juanes y Ruisoto, 2014).

Todas estas consideraciones previas, hacen que se justifique la generación de desarrollos tecnológicos para la reconstrucción 3D de estructuras anatómicas. Por tanto, nuestro trabajo de Tesis Doctoral pretende utilizar las técnicas informáticas más innovadoras que nos permitan reconstruir estructuras anatómicas que constituyen el aparato respiratorio, desde secciones de resonancia magnética, que nos sean útiles para posibles intervenciones quirúrgicas robotizadas (Birbara et al.,2020)

Actualmente, los avances tecnológicos ofrecen nuevas posibilidades metodológicas, nuevas formas de estudiar y aprender anatomía. La introducción de modelos digitales que permiten la representación de imágenes anatómicas tridimensionales a partir de las obtenidas de técnicas diagnósticas como la resonancia magnética y la tomografía computarizada, ha supuesto una forma novedosa de entender la anatomía humana (O'Rourke, 2020).

En este sentido, el grupo de trabajo VisualMed System, de la Universidad de Salamanca, ha venido elaborando reconstrucciones 3D de imágenes anatómicas desde secciones de Tomografía Computarizada (González-Izard, 2020, González-Izard et al., 2020). Estos desarrollos tecnológicos están facilitando tanto la formación médica como el diagnóstico clínico.

La incorporación de las tecnologías en la formación académica de los alumnos está fomentando una actitud activa en el alumno, convirtiendo a este en el protagonista de su propio aprendizaje. Estos recursos tecnológicos refuerzan la memoria visual, lo que facilita tanto la comprensión de los contenidos docentes, sobretodo en disciplinas como la Anatomía Humana, en donde la imagen es fundamental para su estudio.

Con este trabajo queremos valorar la opinión directa de los alumnos ante el manejo de una herramienta de visualización 3D para el estudio de unas estructuras complejas como son las que constituyen el aparato respiratorio. Todo ello correlacionado con secciones de resonancia magnética, como patrón de referencia de estas estructuras, y desde las cuales se han reconstruido segmentando las estructuras anatómicas de esta región corporal torácica.

Por tanto, nuestro propósito con este trabajo de Tesis Doctoral que planteamos es poner al servicio de la formación médica una herramienta que permita la visualización y el análisis 3D de las estructuras anatómicas del aparato respiratorio, con secciones simultaneas de resonancia magnética, en los tres planos del espacio (axial, sagital y coronal), para facilitar el estudio y la comprensión de las estructuras que componen esta región corporal, dotada de gran complejidad anatómica.

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO Y PRINCIPALES OBJETIVOS A ALCANZAR**

Este trabajo se desarrolla en el programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento (García-Peñalvo, 2013, 2014; García-Peñalvo et al., 2021), siendo su portal la principal herramienta de comunicación y visibilidad de los avances (García-Holgado et al., 2015; García-Peñalvo et al., 2019). Esta tesis se desarrolla con el Grupo VisualMed Systems a la que pertenece la doctoranda, grupo muy enfocada hacia la utilización de técnicas de diagnóstico por imagen para la formación médica y la práctica clínica.

Nos plantamos para la realización de nuestro trabajo de Tesis los siguientes argumentos:

¿Las nuevas generaciones de estudiantes universitarios están cada vez más familiarizadas con los medios digitales?

¿Las tecnologías utilizadas en la transmisión de conocimientos como recursos innovadores, facilitan el aprendizaje activo?

¿Los estudiantes actuales tienen buena predisposición a incorporar en su formación académica metodologías y recursos sustentados en los avances tecnológicos?

La visión 3D de estructuras corporales, ¿facilita el estudio morfológico de la anatomía corporal?

¿Los recursos interactivos de visión 3D, mejoran la comprensión de la anatomía?

¿Estarán satisfechos los estudiantes con el manejo de herramientas de visualización tridimensional, frente a los clásicos libros y atlas anatómicos?

Ante estas consideraciones nos hemos planteado los siguientes objetivos

*Objetivo general:* introducir a los alumnos Universitarios, residentes y facultativos, en la adquisición de capacidades y destrezas a través de la utilización de los sistemas informatizados interactivos de visualización espacial, buscando aumentar la motivación de los usuarios, e intentando proporcionarles un mejor aprendizaje en el conocimiento de las estructuras que conforman el aparato respiratorio.

*Objetivos específicos* de nuestro trabajo destacamos los siguientes:

1.- Llevar a cabo una generación volumétrica de estructuras anatómicas del aparato respiratorio, desde la segmentación manual de imágenes radiológicas de Resonancia Magnética, que ilustren iconográficamente las estructuras en su morfología 3D en diferentes posiciones espaciales y que sirvan de apoyo en los procesos formativos.

2.- Desarrollar mediante un novedoso recurso tecnológico, una segmentación automática, de estructuras anatómicas del aparato respiratorio, desde secciones de tomografía computarizada, y su visualización mediante técnicas de realidad virtual, que facilite a los usuarios su navegación y visualización activa y dinámica en diferentes posiciones espaciales.

3.- Proporcionar una colección iconográfica de imágenes seccionales resonancia magnética y tomografía computarizada del aparato respiratorio.

4.- Favorecer la reducción del tiempo de estudio necesario para el aprendizaje de la anatomía del aparato respiratorio, mediante la utilización de instrumentos interactivos mucho más visuales que los tradicionales. De esta forma, se pretende además aportar a la docencia unos métodos tecnológicos de estudio alternativo, que complementen y refuerce la enseñanza tradicional.

5.- Correlacionar las imágenes 3D generadas por procedimientos tecnológicos, con las imágenes obtenidas mediante el abordaje quirúrgico con el robot Da Vinci. Con este procedimiento el cirujano visualiza el interior del paciente en tres dimensiones, como si estuviera dentro, gracias a un sistema de visualización estereoscópico de alta definición que permite ampliar la imagen para poder visualizar la anatomía microscópica.

6.- Valorar el grado de satisfacción de los diferentes procedimientos, mediante un cuestionario, en un grupo de alumnos, con el fin de obtener una información del grado de utilidad práctica en la docencia de esta región anatómica.

## METODOLOGÍA

Para la realización de nuestro trabajo de Tesis en todo momento se tendrá en cuenta el código ético exigido por el comité de ética, basados en los documentos y guías técnicas de la British Educational Research Association (BERA); así como los consentimientos informados de cada uno de los individuos a los que se les realice las pruebas radiológicas.

Para las imágenes de *Resonancia Magnética* se utilizaron RM de 1'5T GE Signa Horizon y RM de 3T Siemens Vida. Se obtendrán las imágenes según protocolos establecidos; así, en RM de 1'5 T se obtendrán imágenes en SE potenciadas en T1 y potenciadas en T2, en los tres planos del espacio, acompañándose en los casos en los que estaba indicado estudio dinámico tras la administración de Gadolinio (Secuencias LAVA)

En la RM de 3T se utilizarán fundamentalmente secuencias potenciadas en T2 con respiración suspendida (evita en gran manera los artefactos de movimiento). Se utilizarán secuencias Hastle y secuencias Truffi, completándose, cuando está indicado, con estudio dinámico tras la administración de Gadolinio (Secuencia THRIVE).

En ambos casos se realiza el estudio dinámico con método Dixon (Secuencias en fase/ Fuera de Fase) son secuencias GRE (Menor duración que las SE) facilita realización en respiración suspendida.

Las imágenes de TC se realizaron con TC helicoidal TOSHIBA modelo Aquilion Prime 80 y TC dual GE, modelo REVOLUTION HD, obteniéndose adquisiciones volumétricas del tórax, que en las estaciones de trabajo (Vitrea y Server respectivamente) permiten la obtención de cortes en los tres planos del espacio, o con diferente oblicuidad si fuera necesario, para la correcta valoración de la patología.

La *segmentación y delimitación de las ROIs* (regiones de interés) consistió en la subdivisión de cada imagen anatómica adquirida en regiones homogéneas. La segmentación se basó en la delimitación manual empleando el software Amira. El proceso de *segmentación manual* es muy laborioso y exigente en cuanto a consumo de tiempo, al realizarse de forma individual para cada conjunto de datos y bajo la supervisión de un anatomista, radiólogo. El algoritmo utilizado fue *Marching Cubes* que permite la extracción de mallas poligonales de una isosuperficie a partir de voxels.

Para la *segmentación automatizada* partiremos de un conjunto de imágenes DICOM obtenidas a partir de un estudio de tomografía computarizada. Se generará de forma automático una nube de puntos de las estructuras anatómicas, empleando algoritmos de visión e inteligencia artificial. Para el diseño e implementación de la plataforma de Realidad Virtual se empleó el software Unity3D, debido a su potente motor de renderizado 3D. Además, se utilizará el SDK (*software development kit*) 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.

Se emplearon las gafas HTC Vive las cuales ofrecen una interacción más profunda y una mayor resolución de imagen, lo que habilita su uso en el campo científico permitiendo una mayor fidelidad a la hora de realizar un diagnóstico.

Para el desarrollo de esta aplicación tecnológica utilizaremos estándares del mercado, con la finalidad de que el desarrollo informático se presente en un soporte compatible con la mayoría de los equipos informáticos y con las diferentes versiones del sistema operativo Windows, de los que disponen la mayor parte de los alumnos y de los centros universitarios españoles.

## MEDIOS Y RECURSOS MATERIALES DISPONIBLES

El proyecto de Tesis Doctoral está encuadrado dentro del programa de Doctorado: Formación en la Sociedad del Conocimiento (García-Peñalvo, 2017; García-Peñalvo et al., 2017), con un enfoque multidisciplinar, asociado al avance tecnológico en el área de la formación médica, apoyándose en el grupo de investigación VisualMed Systems (sobre Sistemas de Visualización Médica Avanzada).

El procedimiento tecnológico que se pretende desarrollar busca que los estudiantes experimenten con medios que se adapten a la realidad tecnológica actual en las áreas de las ciencias médicas. Se pretende que el diseño de procedimientos tecnológicos interactivos para la docencia de la anatomía del organismo humano, ayude a obtener un conocimiento más adecuado de estructuras corporales complejas, como el aparato respiratorio, que requieren de imágenes tridimensionales para su mejor valoración y análisis.

Para la realización de este trabajo de Tesis Doctoral, disponemos de un equipamiento tecnológico de última generación, ubicados en los Servicios de Radiodiagnóstico y Cirugía del Hospital Universitario de Salamanca. Además, contamos con la colaboración de la empresa ARSoft, del parque científico de la Universidad de Salamanca.

### **Aparatos de radiodiagnóstico:**

Equipo de Resonancia Magnética de 1,5 Teslas modelo General Electric

Equipo de Resonancia Magnética de 3 Teslas

Equipo de Tomografía Computarizada ...

Estaciones de trabajo General Electric y Vitrea

### **Aparato Quirúrgico:**

*Sistema quirúrgico Robot Da Vinci.* (desarrollado por la empresa norteamericana Intuitive Surgical). Se compone de una consola ergonómica desde la que el cirujano opera sentado Al lado del paciente se sitúa la torre de visión (formada por controladores, vídeo, audio y proceso de imagen) y el carro quirúrgico que incorpora tres o cuatro brazos robóticos interactivos controlados desde la consola, en el extremo de los cuales se encuentran acopladas las distintas herramientas que el cirujano necesita para operar, tales como bisturís, tijeras, unipolar, etc.

### **Softwares a manejar**

Amira (plataforma de software para visualización, procesamiento y análisis de datos 3D y 4D; desarrollado activamente por Thermo Fisher Scientif.

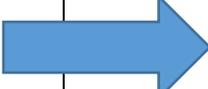
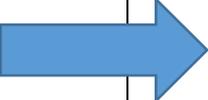
Unity 3D y Vuforia.

### **Gafas de realidad virtual**

HTC Vive (Resolución 1080x1200 por ojo a 90Hz, tecnología de visualización diseñada específicamente para realidad virtual; con seguimiento de 360 grados de Roomscale, girocompás y acelerómetros también incorporados).

Se tendrá acceso a los recursos digitales de la Universidad de Salamanca, así como a diversa literatura gris (Ferrerías-Fernández et al., 2016) accesible en diferentes repositorios, como, por ejemplo, GREDOS (<https://gredos.usal.es>).

## PLANIFICACIÓN TEMPORAL AJUSTADA A TRES AÑOS

Actividades programadas a desarrollar	1 <sup>er</sup> semestre	2 <sup>o</sup> semestre	3 <sup>er</sup> semestre	4 <sup>o</sup> semestre	5 <sup>o</sup> semestre	6 <sup>o</sup> semestre
Elaboración del <i>Plan de investigación</i> . Revisión y actualización <i>bibliográfica</i>						
Adquisición de imágenes radiológicas en <i>formato DICOM</i> de Resonancia Magnética y Tomografía Computarizada						
<i>Segmentación</i> de las secciones radiológicas, mediante <i>softwares</i> comerciales						
<i>Reconstrucción 3D</i> de las imágenes segmentadas. Limpieza y depuración de bordes. Presentación en Congresos específicos de radiología						
Generación de un <i>software de visión 3D</i> de las estructuras reconstruidas, para su visualización e interacción con ellas. Publicación del software elaborado						
Testeo de la aplicación. Pruebas de funcionamiento y depuración del software.						
Desarrollo con Unity 3D y Vuforia de las segmentaciones automáticas. Montaje en gafas de RV						
Abordaje quirúrgico robotizado. Da Vinci. Protocolos de abordaje						
Encuesta de satisfacción en alumnos del software desarrollado. Publicaciones de resultados						
Nueva revisión y actualización <i>bibliográfica</i> . Redacción del trabajo.						

## REFERENCIAS

- Allen, L. K., Bhattacharyya, S. y Wilson, T. D. (2015). Development of an interactive anatomical three-dimensional eye model. *Anat Sci Educ*, 8, 275–282. <https://doi.org/10.1002/ase.1487>
- Azer, S. A. y Azer, S. (2016). 3D Anatomy Models and Impact on Learning: A Review of the Quality of the Literature. *Health Profession Education*, 2 (2), 80–98. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2016.05.002>
- Birbara, N. S., Sammut, C. y Pather, N. (2020). Virtual Reality in Anatomy: A Pilot Study Evaluating Different Delivery Modalities. *Anat Sci Educ*, 0, 1-13. <https://doi.org/10.1002/ase.1921>
- Ferreras-Fernández, T., Martín-Rodero, H., García-Peñalvo, F. J., & Merlo-Vega, J. A. (2016). The Systematic Review of Literature in LIS: An approach. In F. J. García-Peñalvo (Ed.), *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'16) (Salamanca, Spain, November 2-4, 2016)* (pp. 291-298). ACM. <https://doi.org/10.1145/3012430.3012531>
- García-Peñalvo, F. J. (2013). Education in knowledge society: A new PhD programme approach. In F. J. García-Peñalvo (Ed.), *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)* (pp. 575-577). ACM. <https://doi.org/10.1145/2536536.2536624>
- García-Peñalvo, F. J. (2014). Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar. *Education in the Knowledge Society*, 15(1), 4-9.
- García-Peñalvo, F. J. (2017). *Education in the Knowledge Society PhD Programme. 2017 Kick-off Meeting* Seminarios del Programa de Doctorado en Formación en la Sociedad del Conocimiento (16 de noviembre de 2017), Salamanca, España. <https://goo.gl/bJ5qKd>
- García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J., & Rodríguez-Conde, M. J. (2015). Definition of a technological ecosystem for scientific knowledge management in a PhD Programme. In G. R. Alves & M. C. Felgueiras (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'15) (Porto, Portugal, October 7-9, 2015)* (pp. 695-700). ACM. <https://doi.org/10.1145/2808580.2808686>
- García-Peñalvo, F. J., Ramírez-Montoya, M. S., & García-Holgado, A. (2017). TEEM 2017 Doctoral Consortium Track. In J. M. Doderó, M. S. Ibarra Sáiz, & I. Ruiz Rube (Eds.), *Fifth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'17) (Cádiz, Spain, October 18-20, 2017)* (pp. Article 93). ACM. <https://doi.org/10.1145/3144826.3145440>
- García-Peñalvo, F. J., Ramírez-Montoya, M. S., García-Holgado, A., & Fonseca-Escudero, D. (2021). An introduction to TEEM 2021 Track 15: The Doctoral Consortium. In M. Alier & D. Fonseca (Eds.), *Proceedings TEEM'21. Ninth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (Barcelona, Spain, October 27th – 29th, 2021)* (pp. 652-656). ACM. <https://doi.org/10.1145/3486011.3486533>
- García-Peñalvo, F. J., Rodríguez-Conde, M. J., Verdugo-Castro, S., & García-Holgado, A. (2019). Portal del Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento. Reconocida con el I Premio de Buena Práctica en Calidad en la modalidad de Gestión. In A. Durán Ayago, N. Franco Pardo, & C. Frade Martínez (Eds.), *Buenas Prácticas en Calidad de la Universidad de Salamanca: Recopilación de las I Jornadas. REPOSITORIO DE BUENAS PRÁCTICAS (Recibidas desde marzo a septiembre de 2019b)* (pp. 39-40). Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca.
- González-Izard, S., Sánchez Torres, R., Alonso Plaza, Ó., Juanes-Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2020). Nextmed: Automatic Imaging Segmentation, 3D Reconstruction, and 3D model Visualization Platform Using Augmented and Virtual Reality. *Sensors*, 20(10), Article 2962. <https://doi.org/10.3390/s20102962>

- Erolin, C. (2019). Interactive 3D Digital Models for Anatomy and Medical Education. En: P. Rea (Ed.) *Biomedical Visualisation. Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1138, (pp. 1-16). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14227-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14227-8_1)
- Hackett, M. y Proctor, M. (2016). Three-Dimensional Display Technologies for Anatomical Education: A Literature Review. *Journal of Science Education and Technology*, 25, 4, 641-654. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9619-3>
- Juanes, J. A. y Ruisoto, P. (2014). Technological Advances and Teaching Innovation Applied to Health Science Education. *Journal of Information Technology Research*, 7, 2, 1-6. <https://doi.org/10.4018/jitr.2014040101>
- Keenan, I. D. y Awadh, A. (2019). Integrating 3D Visualisation Technologies in Undergraduate Anatomy Education. En P. Rea (Ed.), *Biomedical Visualisation*, 1120, (pp. 39-53). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-06070-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-06070-1_4)
- O'Rourke, J. C., Smyth, L., Webb, A. L. y Valter, K. (2020). How Can We Show You, If You Can't See It? Trialing the Use of an Interactive Three-Dimensional Micro-CT Model in Medical Education. *Anat Sci Educ*, 13, 2, 206-217. <https://doi.org/10.1002/ase.1890>