

## Memoria de proyectos de innovación y buenas prácticas docentes

### A. Datos generales del proyecto de innovación y buenas prácticas docentes

Título	Implementación del laboratorio del Departamento de Anatomía de modelos 3D basados en imagen médica e inteligencia artificial para la mejora de la formación de grado, máster y formación especializada		
Código	22-193	Fecha de Realización:	2022-2024
Coordinación	Apellidos	Prados Salazar	
	Nombre	Jose Carlos	
Tipología	Tipología de proyecto	Coordinados	
	Rama del Conocimiento	Ciencias de la Salud	
	Línea de innovación	Docencia práctica	

### B. Objetivo Principal

El presente Proyecto intenta dar continuidad y completar todos los logros conseguido en el Proyecto de los cursos 2020-22 financiado por la UGR denominado “Diseño e impresión 3D de modelos anatómicos utilizando técnicas de imagen radiológica e inteligencia artificial para la educación médica”.

\*La finalidad última del Proyecto es la necesidad detectada por parte de médicos residentes, alumnos y doctorandos, profesores de la universidad y de profesionales de diferentes ámbitos de utilizar una herramienta tan potente como es la impresión 3D basada en imagen médica para la mejora de la calidad docente.

\* Sin embargo, si bien es cierto que el objetivo inicial se encuentra en la aplicación al grado de medicina y, en concreto, a las asignaturas de Anatomía Humana, el éxito cosechado con el anterior proyecto, la generación de un laboratorio estable y la disponibilidad de personal cualificado, hace que el objetivo ahora sea aprovechar estos recursos para implementar una mejora ya no solo en los grados sino en master y formación especializada.

### C. Descripción del proyecto de innovación y buenas prácticas docentes

**Resumen del proyecto realizado:** Objetivos, metodología, logros alcanzados, aplicación práctica a la docencia habitual, etc.

#### OBJETIVOS

- 1) Incrementar el desarrollo de modelos más complejos a partir de imágenes patológicas mediante imágenes de TC/RM
- 2) Utilizar dichos modelos para la formación en medicina no sólo en el área de la anatomía sino también en la vinculación de esta con los procesos patológicos
- 3) Desarrollar sistemas de aplicación de los modelos para formación más especializada en la que se incluyan alumnos de Master así como alumnos de programas de especialización, particularmente en el ámbito biomédico
- 4) Explorar la posibilidad de la aplicación de modelos 3D en el diseño personalizado para la utilización en casos clínicos concretos en diferentes campos como puede la cirugía maxilofacial o la odontología
- 5) Ampliar y consolidar el espacio virtual de aprendizaje y colaboración generado previamente a través de la página web (<https://arquim3dx.com>).

#### METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO (resumen)

1. La **participación en el proyecto** se ofertará, de manera voluntaria, al alumnado de Grado, Máster y Programas de Doctorado en Ciencias de la Salud. Respecto al primer grupo, se invitará, atendiendo al tipo de modelo anatómico, a los alumnos de las siguientes asignaturas: -Modelos de la anatomía humana normal: Anatomía Humana I (Formación Básica, 6 créditos ECTS), Anatomía Humana II (Formación Básica, 8 créditos ECTS) y Anatomía Humana III (Formación Básica, 9 créditos ECTS), que se imparten durante el primer y segundo cuatrimestre del primer curso y el primer cuatrimestre de segundo curso, respectivamente. -Modelos de variantes anatómicas y patologías

estructurales, modelos específicos para prácticas de Neuroanatomía: Anatomía II, Neurología, Psiquiatría y resto de especialidades clínicas colaboradoras, que se imparten tanto en el primer y segundo cuatrimestre del tercer y cuarto curso. Respecto al segundo grupo, inicialmente se accederá a los estudiantes de Máster en Medicina Regenerativa, donde imparten docencia la mayor parte de participantes del PID. Progresivamente se incorporarán otros máster donde imparten o son regularmente invitados otros participantes, como el Máster en Avances en Radiología Diagnóstica y Terapéutica y Medicina Física.

2. Los **modelos de la anatomía normal** serán diseñados por el equipo docente de Anatomía, asistidos por los profesores de radiología, siguiendo los criterios de relevancia, representatividad y complejidad, y serán ofrecidos a los estudiantes para el aprendizaje no presencial y como complemento a los talleres prácticos. Se utilizarán para ello tanto modelos disponibles en repositorios de libre acceso como modelos diseñados autónomamente a partir de pruebas de imagen médica de sujetos sanos.

3. Los **modelos de variantes anatómicas y patologías** estructurales serán diseñados por el equipo docente y los especialistas en radiología que participan en el proyecto, a partir de la segmentación de los órganos y estructuras patológicas en pruebas de TC y RM, procedentes de repositorios libres y de la práctica clínica, asegurando en su caso la completa anonimización de los mismos de acuerdo con la LOPD vigente (LO 3/2018).

4. Se utilizará **software específico y herramientas digitales** diseñadas por el equipo de inteligencia artificial para facilitar y optimizar el proceso de segmentación. Los modelos específicos para prácticas y talleres se seleccionarán atendiendo a las posibilidades y disponibilidad de aulas de prácticas, restricciones de seguridad por la pandemia, etc. En cualquier caso, se apoyarán en los radiólogos y anatomistas consultores para el diseño óptimo de los modelos. En el grado en Informática, la participación en el proyecto se ofertará libremente a los alumnos de las asignaturas del departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Asimismo, se promoverá la participación de alumnos de diversos Másteres impartidos en ambas facultades en acuerdo previo con los coordinadores de los mismos (como ya hemos hecho exitosamente en anteriores proyectos), ofreciendo la posibilidad de realizar prácticas a los alumnos interesados, siempre que pueda garantizarse una adecuada supervisión y cumplir con la normativa interna correspondiente.

#### Summary of the Project (In English):

##### OBJECTIVES

- 1) Increase the development of more complex models from pathological images using CT/MR imaging
- 2) Use these models for training in medicine not only in the area of anatomy but also in the link between anatomy and pathological processes
- 3) Develop systems for the application of models for more specialized training that includes Master's students as well as students of specialization programs, particularly in the biomedical field
- 4) Explore the possibility of applying 3D models in personalized design for use in specific clinical cases in different fields such as maxillofacial surgery or dentistry
- 5) Expand and consolidate the virtual space for learning and collaboration previously generated through the website (<https://arquim3dx.com>).

##### METHODOLOGY AND WORK PLAN (summary)

1. Participation in the project will be offered, on a voluntary basis, to students of Bachelor's, Master's and Doctoral Programmes in Health Sciences. Regarding the first group, students from the following subjects will be invited, according to the type of anatomical model: -Models of normal human anatomy: Human Anatomy I (Basic Training, 6 ECTS credits), Human Anatomy II (Basic Training, 8 ECTS credits) and Human Anatomy III (Basic Training, 9 ECTS credits), which are taught during the first and second semester of the first year and the first semester of the second year, respectively. -Models of anatomical variants and structural pathologies, specific models for Neuroanatomy practices: Anatomy II, Neurology, Psychiatry and other collaborating clinical specialties, which are taught in both the first and second semesters of the third and fourth year. Regarding the second group, access will initially be

given to students of the Master's Degree in Regenerative Medicine, where most of the participants of the PID teach. Progressively, other master's degrees will be incorporated where other participants teach or are regularly invited, such as the Master's Degree in Advances in Diagnostic and Therapeutic Radiology and Physical Medicine.

2. The models of normal anatomy will be designed by the Anatomy teaching team, assisted by the radiology professors, following the criteria of relevance, representativeness and complexity, and will be offered to students for remote learning and as a complement to practical workshops. For this purpose, both models available in open access repositories and models designed autonomously from medical imaging tests of healthy subjects will be used.

3. The models of anatomical variants and structural pathologies will be designed by the teaching team and the radiology specialists participating in the project, based on the segmentation of the organs and pathological structures in CT and MRI tests, from free repositories and clinical practice, ensuring, where appropriate, their complete anonymisation in accordance with the current LOPD (LO 3/2018).

4. Specific software and digital tools designed by the artificial intelligence team will be used to facilitate and optimize the segmentation process. Specific models for internships and workshops will be selected based on the possibilities and availability of practice rooms, safety restrictions due to the pandemic, etc. In any case, they will rely on consultant radiologists and anatomists for the optimal design of the models. In the Bachelor's Degree in Computer Science, participation in the project will be freely offered to students of the subjects of the Department of Computer Science and Artificial Intelligence. Likewise, the participation of students from various Master's Degrees taught in both faculties will be promoted in prior agreement with their coordinators (as we have already done successfully in previous projects), offering the possibility of internships to interested students, provided that adequate supervision can be guaranteed and compliance with the corresponding internal regulations.

#### D. Resultados obtenidos

##### A) En relación al objetivo 1.

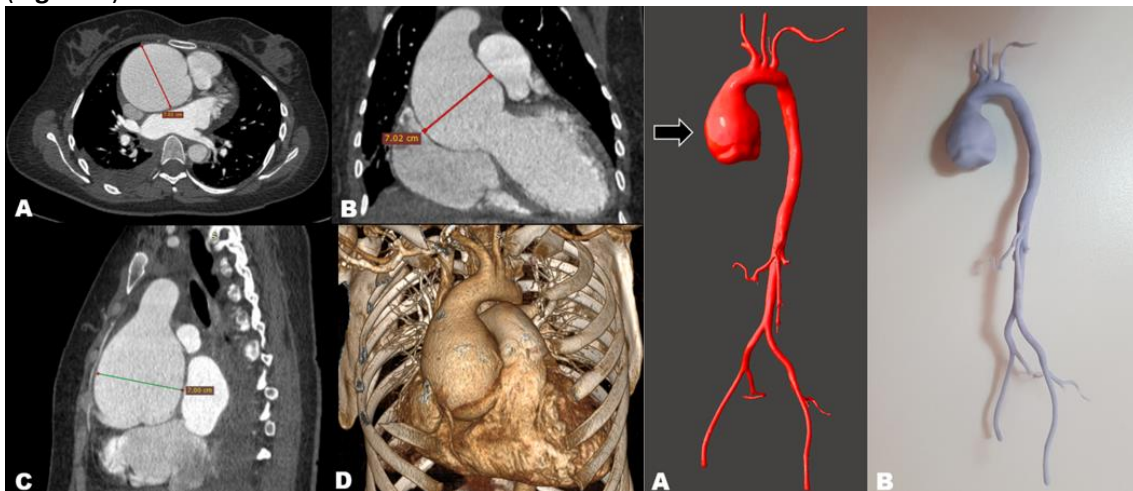
1. Habilitación y mejora del laboratorio de habilitar un laboratorio con tecnologías de impresión 3D previo a su uso. Para incrementar el desarrollo de modelos más complejos a partir de imágenes patológicas mediante imágenes de TC/RM hemos mejorado en laboratorio 3D para la docencia de estudiantes de grado, máster y doctorado de la universidad, así como a la formación especializada (MIR). En este sentido, se ha seguido un proceso secuencial con dos etapas diferenciadas: preparación y adecuación del laboratorio, y aplicación a la docencia. Dada la heterogeneidad de perfiles de estudiantes de grado, máster, doctorado y formación sanitaria especializada, se optó por realizar talleres específicos y estudios de campo con estudiantes seleccionados que mostraron un elevado interés y motivación por el proyecto, con la finalidad de obtener *feedback* sobre los procesos, habilidades, impacto esperable y resultados preliminares en docencia. A continuación se resumen las etapas y logros llevados a cabo en el proyecto.

2. Seguridad en el laboratorio 3D previo a su uso. La finalidad principal fue posibilitar el uso seguro y fiable de equipos de impresión 3D basados en tecnologías SLA, ya que teníamos experiencia previa con tecnologías FDM (no obstante, también se realizaron algunas adaptaciones incorporando nuevos equipos). Entre otros, se destinaron espacios de trabajo específicos con campanas de extracción donde se alojaron las impresoras 3D SLA y las campanas de curado con luz UV. También se dispuso un área de trabajo para pintura con aerógrafo, pincelado y otras técnicas de posprocesado manual, incluyendo estanterías con pinceles, lijas, guantes, recortadores, etc., y almacenamiento para fungibles (discos de filamento tipo PLA, PVA y TPU, y resina líquida). En la **Figura 1** se muestran los resultados de habilitar distintos espacios del laboratorio.



**Figura 1.** Habilitación del laboratorio con equipos de impresión 3D con tecnología SLA y FDM, áreas de trabajo para posprocesado y almacenamiento.

3. Desarrollo de modelos más complejos mediante la implementación de flujos de trabajo para obtener piezas impresas de calidad. Se usó la impresora SLA, mucho más precisa en términos de resolución espacial. Esta etapa requirió varios meses de entrenamiento debido a que este tipo de impresiones son mucho más exigentes, tanto en términos de procesamiento digital como de uso de hardware. En todo momento se aseguró el correcto uso de equipos protectores para evitar cualquier riesgo de exposición a resina líquida durante los procesos de impresión y curado. Entre otros aspectos a destacar, fue necesario explorar y familiarizarse con programas específicos de impresión SLA, concretamente Lychee Slicer®. Los primeros resultados fueron aplicados a la generación de modelos de arteria aorta (aneurismas) y de columna vertebral (segmentos de columna toracolumbar con fracturas vertebrales osteoporóticas). Algunos ejemplos de estos resultados han sido publicados en trabajos científicos por estudiantes de grado, máster y doctorado que han participado en el PID (Figura 2).



**Figura 2.** Ejemplo de modelo 3D impreso con tecnología SLA a partir de una prueba de imagen médica (tomografía computarizada con contraste). Reproducido con permiso editorial de Archivos de Medicina Universitaria (cf. Córdoba Peláez et al., 2023).



**B) En relación al objetivo 2, 3 y 4**

2) Utilizar dichos modelos para la formación en medicina no sólo en el área de la anatomía sino también en la vinculación de esta con los procesos patológicos

3) Desarrollar sistemas de aplicación de los modelos para formación más especializada en la que se incluyan alumnos de Master así como alumnos de programas de especialización, particularmente en el ámbito biomédico

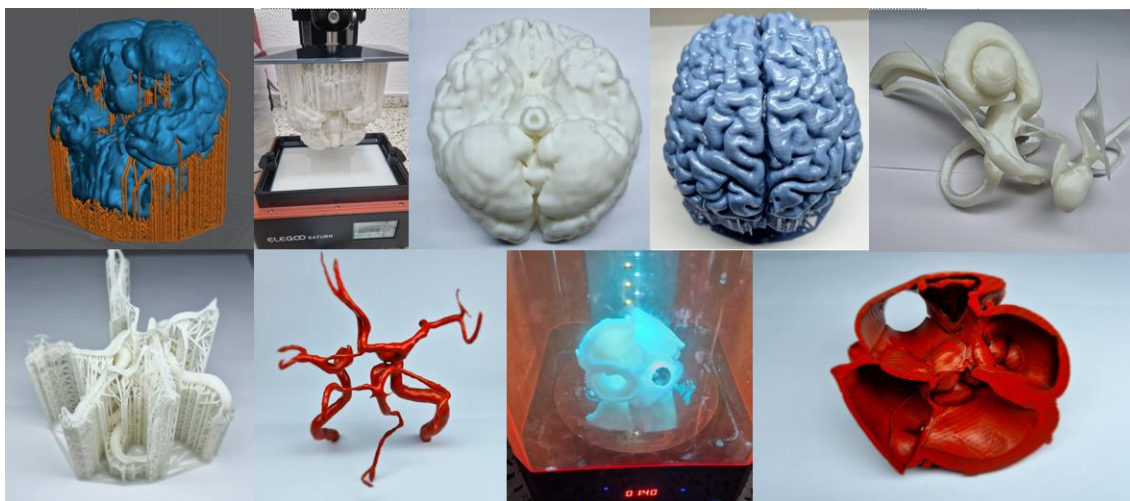
1. Aplicación de los resultados obtenido la formación de los alumnos (1). En este sentido el Proyecto ha permitido impartir talleres con alumnos de diferentes ámbitos, entre ellos a médicos internos residentes. Esta formación ha sido en Anatomía y también en patología relacionada con cambios morfológicos relevantes. Algunos de estos alumnos se han incorporado a programas de doctorado con el coordinador del proyecto (Master en Biomedicina Regenerativa) y a programas de máster oficial de la universidad.

2. Se han implementado sesiones concentradas para aprender a realizar segmentación basada en imagen médica con diferentes programas de uso libre (3D Slicer®, AutoDesk MeshMixer®), software de laminado para impresoras con tecnología FDM (Ultimaker Cura®) y SLA (Lychee®). Se han realizado talleres prácticos de impresión 3D de modelos segmentados. Además, varios miembros del proyecto han impartido charlas relacionados con Avances en Radiología Diagnóstica y Terapéutica y Medicina Física, en sesiones especializadas en el servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Universitario Virgen de las Nieves (**Figura 3**). Se han formado a alumnos a través de congresos como en el X Congreso de Estudiantes de Investigación Biosanitaria con una ponencia sobre procesamiento avanzado de neuroimagen.

3. Se ha valorado la formación de estos alumnos. En este sentido, cabe reseñar que durante este cuatrimestre se ha hecho especial énfasis en la generación de modelos “finos” (esto es, que requieren una elevada resolución espacial) de neuroimagen (polígono de Willis, estructuras corticales y subcorticales, etc.). También se ha trabajado sobre modelos que sean útiles en la cirugía maxilofacial o la odontología. Las estructuras obtenidas por los alumnos han sido de gran calidad y les ha permitido mejorar su aprendizaje de la materia (**Figura 4**)



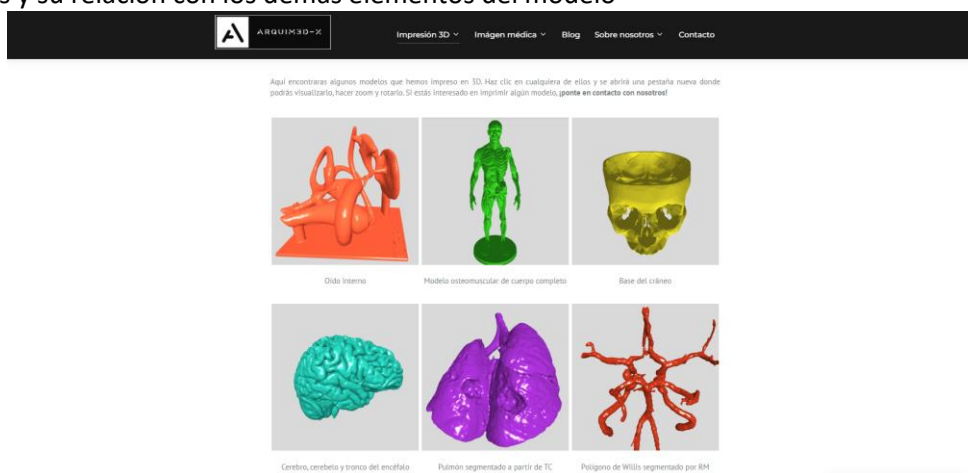
**Figura 3.** Talleres y seminarios docentes sobre segmentación, inteligencia artificial e impresión 3D aplicada a la imagen médica en el laboratorio de impresión 3D y en el servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Universitario Virgen de las Nieves.



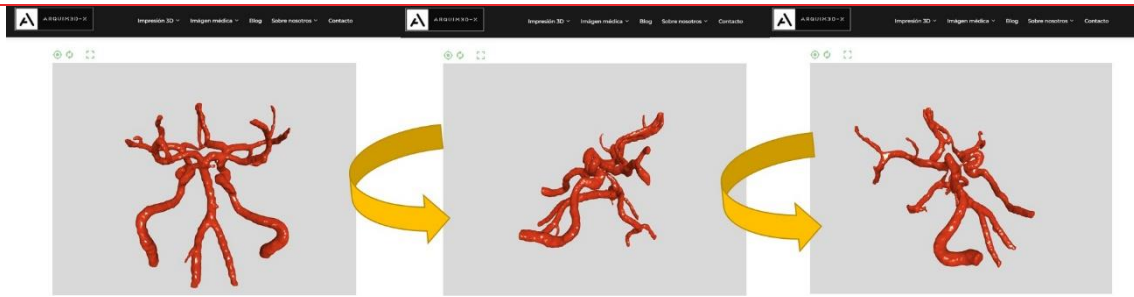
**Figura 4.** Ejemplos de modelos impresos en los talleres para estudiantes de máster, doctorado y formación sanitaria especializada durante el proyecto.

### C) En relación al objetivo 5

1. Se han realizado mejoras en la página web asociada al proyecto (<https://arquim3dx.com/>), que, recordemos, da continuidad al PID “Diseño e impresión 3D de modelos anatómicos utilizando técnicas de imagen radiológica e inteligencia artificial para la educación médica” y que era objetivo importante de este Proyecto, incorporando un catálogo de modelos 3D interactivos para los usuarios (**Figuras 5 y 6**), con posibilidad de rotación 3D y zoom, para poder visualizar en detalle las estructuras anatómicas relevantes y su relación con los demás elementos del modelo

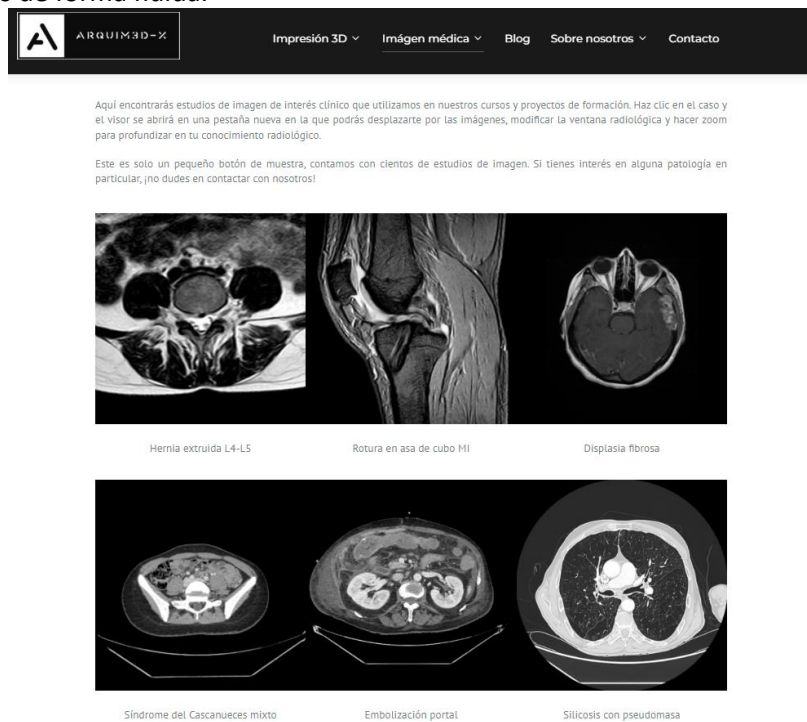


**Figura 5.** Entrada al visor de modelos 3D interactivo en la web del proyecto. Clicando en cualquier modelo se despliega una nueva ventana donde se puede interactuar con el modelo (ver Figura 4). Fuente: <https://arquim3dx.com/index.php/visor-de-modelos-3d/>



**Figura 6.** Ejemplo de visualización de uno de los modelos 3D interactivo de la página web del proyecto con rotación interactiva guiada por el usuario. Concretamente, se trata de una reconstrucción 3D de las principales arterias del polígono de Willis obtenida a partir de segmentación de una angiografía cerebral por resonancia magnética. Fuente: <https://arquim3dx.com/index.php/stl6/>

2) Se ha incluido un visor de imágenes DICOM (<https://arquim3dx.com/index.php/visor-dicom/>) (Figuras 7 y 8), que permita las opciones convencionales de los visores propios de los especialistas en Radiodiagnóstico (zoom, ventana radiológica, medición estándar, pantalla completa) y posibilite la carga de archivos de forma fluida.



**Figura 7.** Entrada al visor de imágenes DICOM interactivo en la página web del proyecto. Fuente: <https://arquim3dx.com/index.php/visor-dicom/>





**Figura 8.** Ejemplo de estudio incorporado en el visor DICOM con las funciones principales (zoom, venta, medida y pantalla completa). En este caso se muestra una RM de rodilla intervenida por lesión del ligamento cruzado anterior en la que se observa una rotura meniscal “en asa de cubo”. Fuente: <https://arquim3dx.com/index.php/caso-2/>

### Results obtained (In English)

A) In relation to objective 1.

1. Enabling and improving the laboratory to enable a laboratory with 3D printing technologies prior to its use. To increase the development of more complex models based on pathological images using CT/MRI images, we have improved the 3D laboratory for the teaching of undergraduate, master's and doctoral students of the university, as well as specialized training (MIR). In this sense, a sequential process has been followed with two different stages: preparation and adaptation of the laboratory, and application to teaching. Given the heterogeneity of the profiles of undergraduate, master's, doctoral and specialized health training students, it was decided to carry out specific workshops and field studies with selected students who showed a high interest and motivation for the project, in order to obtain feedback on the processes, skills, expected impact and preliminary results in teaching. The following is a summary of the stages and achievements of the project.

2. Safety in the 3D laboratory prior to use. The main purpose was to enable the safe and reliable use of 3D printing equipment based on SLA technologies, as we had previous experience with FDM technologies (however, some adaptations were also made by incorporating new equipment). Among others, specific workspaces were allocated with extraction hoods where the SLA 3D printers and UV light curing hoods were housed. A work area was also set up for airbrushing, brush brushing and other manual post-processing techniques, including shelving with brushes, sandpaper, gloves, trimmers, etc., and storage for consumables (PLA, PVA and TPU filament discs, and liquid resin).

Figure 1 shows the results of enabling different spaces in the lab. (see above)

3. Development of more complex models by implementing workflows to obtain quality printed parts. The SLA printer was used, which was much more accurate in terms of spatial resolution. This stage required several months of training because these types of prints are much more demanding, both in terms of digital processing and hardware use. The correct use of protective equipment was ensured at all times to avoid any risk of exposure to liquid resin during the printing and curing processes. Among other aspects to highlight, it was necessary to explore and familiarize oneself with specific SLA printing programs, specifically Lychee Slicer®. The first results were applied to the generation of aortic artery (aneurysms) and spine (thoracolumbar spine segments with osteoporotic vertebral fractures) models. Some examples of these results have been published in scientific papers by undergraduate, master's and doctoral students who have participated in the PID (Figure 2) (see above).



B) In relation to objectives 2, 3 and 4

2) Use these models for training in medicine not only in the area of anatomy but also in the link between anatomy and pathological processes

3) Develop systems for the application of models for more specialized training that includes Master's students as well as students of specialization programs, particularly in the biomedical field

1. Application of the results obtained in the training of the students (1). In this sense, the Project has made it possible to give workshops with students from different fields, including resident interns. This training has been in Anatomy and also in pathology related to relevant morphological changes. Some of these students have joined doctoral programs with the project coordinator (Master's Degree in Regenerative Biomedicine) and official master's programs at the university.

2. Focused sessions have been implemented to learn how to perform segmentation based on medical images with different free-to-use programs (3D Slicer®, AutoDesk MeshMixer®), laminating software for printers with FDM technology (Ultimaker Cura®) and SLA (Lychee®). Practical workshops have been held on 3D printing of segmented models. In addition, several members of the project have given talks related to Advances in Diagnostic and Therapeutic Radiology and Physical Medicine, in specialized sessions in the Radiodiagnosis service of the Virgen de las Nieves University Hospital (Figure 3) (see above). Students have been trained through congresses such as the X Congress of Biomedical Research Students with a presentation on advanced neuroimaging processing.

3. The training of these students has been valued. In this sense, it should be noted that during this semester special emphasis has been placed on the generation of "thin" models (i.e., requiring high spatial resolution) of neuroimaging (Willis polygon, cortical and subcortical structures, etc.). Work has also been done on models that are useful in maxillofacial surgery or dentistry. The structures obtained by the students have been of high quality and have allowed them to improve their learning of the subject (Figure 4) (see above).

C) In relation to Objective 5

1. Improvements have been made to the website associated with the project (<https://arquim3dx.com/>), which, let us remember, gives continuity to the PID "Design and 3D printing of anatomical models using radiological imaging techniques and artificial intelligence for medical education" and which was an important objective of this Project, incorporating a catalogue of interactive 3D models for users (Figures 5 and 6), with the possibility of 3D rotation and zoom, to be able to visualize in detail the relevant anatomical structures and their relationship with the other elements of the model.

2) A DICOM image viewer (<https://arquim3dx.com/index.php/visor-dicom/>) (Figures 7 and 8) (see above) has been included, which allows the conventional options of the viewers of Radiology specialists (zoom, radiological window, standard measurement, full screen) and allows the loading of files in a fluid way.

## E. Difusión y aplicación del proyecto a otras áreas de conocimiento y universidades

### DIFUSIÓN DEL PROYECTO (GENERACIÓN DE MATERIAL)

Los resultados del proyecto se ha difundido a través de

1) Congresos

GLORIA PERAZZOLI. MEJORA DE LA FORMACIÓN EN ANATOMÍA: LABORATORIO DE IMPRESIÓN 3D Y MODELOS ANATÓMICOS PERSONALIZADOSIII. Congreso Internacional de Innovación Docente, Educación y Transferencia del Conocimiento. Debates y experiencias en torno a la innovación docente: visión actual y prospectiva. 23 y 24 de Abril de 2024.

DOELLO K, QUIÑONERO F, LÁINEZ-RAMOS-BOSSINI AJ, CABEZA L, PERAZZOLI G, JIMÉNEZ-LUNA C, MELGUIZO C, PRADOS J, MESAS C. ENHANCING ANATOMY EDUCATION THROUGH 3D PRINTING TECHNOLOGY: THE 3D-ANAT-UGR PROJECT. XXX CONGRESO DE LA SOCIEDAD ANATÓMICA ESPAÑOLA. GIRONA DEL 7 AL 9 DE SEPTIEMBRE DEL 2023.

PERAZZOLI, GLORIA; CABEZA MONTILLA, LAURA; MELGUIZO ALONSO, CONSOLACIÓN; LUQUE UCEDA, CRISTINA; ORTIGOSA PALOMO, ALBA Y JIMÉNEZ LUNA, CRISTINA. IMPRESIÓN 3D: UNA HERRAMIENTA INNOVADORA EN LA ENSEÑANZA PRÁCTICA DE ANATOMÍA. XIII REUNIÓN DE JÓVENES FARMACÓLOGOS DE ANDALUCÍA (XIII RJOFA). GRANADA EL 26 DE JUNIO DE 2023. **DIPLOMA A LA MEJOR COMUNICACIÓN ORAL**

#### 2) Foros de Innovación docente

FRANCISCO QUIÑONERO, LAURA CABEZA Y JOSÉ PRADOS. “IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DEL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA DE MODELOS 3D BASADOS EN IMAGEN MÉDICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA MEJORA DE LA FORMACIÓN DE GRADO, MÁSTER Y FORMACIÓN ESPECIALIZADA (22-193)”. FORO DE INNOVACIÓN DOCENTE. UNIVERSIDAD DE GRANADA. DÍAS 1 Y 2 DE DICIEMBRE DE 2022.

#### 3. Presentación en la NOCHE de los INVESTIGADORES.

Actividad de divulgación científica “Impresión de estructuras 3D en Anatomía para aplicaciones docentes y clínicas”. Noche Europea de los Investigadores 2022. 30 de septiembre de 2022. Dentro del proyecto: Título del Proyecto: OPENRESEARCHERS2223 Referencia: HORIZON-MSCA-2022-CITIZENS-01 GA: 101061307 (**Figura 7**)



**Figura 7.** Participación de los miembros del PID en la Noche de los Investigadores (2023) con una charla divulgativa y modelos impresos para mostrar a la ciudadanía y acercar a los más jóvenes a la ciencia.

#### 4) Desarrollo de un blog de noticias para incluir resultados de divulgación del proyecto

En el blog se han incluido algunos de los eventos en los que han participado miembros del PID (i.e. Noche de los Investigadores de Granada, defensa de tesis doctoral y trabajo fin de grado relacionados con el proyecto, participación en cursos y congresos, etc.) (**Figura 8**).

Impresión 3D ▾ Imágen médica ▾ Blog Sobre nosotros ▾ Contacto

## NOCHE DE LOS INVESTIGADORES 2023

Un año más, los miembros del equipo ArquiM3D-X y del proyecto de innovación docente "Implementación del laboratorio del Departamento de Anatomía de modelos 3D basados en imagen médica e inteligencia artificial para la mejora de la formación de grado, máster y formación especializada" estuvieron presentes en la Noche de los Investigadores de Granada.

El equipo mostró a la ciudadanía, a través de charlas breves de divulgación, la utilidad de la impresión 3D basada en imagen médica en la creación de modelos anatómicos especializados. La jornada transcurrió de manera excelente, y hubo una gran asistencia e interés por parte del público, especialmente de los más jóvenes.

¡Nos vemos el año que viene!



**Figura 8.** Entrada del blog de la página web del proyecto mostrando algunos resultados de divulgación.

### 5) Tesis doctoral

La generación de resultados que han sido incluidos en una Tesis doctoral en la que se reflejaron algunos avances significativos de la impresión 3D aplicada a la docencia e investigación, de un miembro del proyecto que coordinó las relaciones con los estudiantes de MIR durante la formación especializada. Láinez Ramos-Bossini, AJ. Diagnóstico y tratamiento de las fracturas vertebrales osteoporóticas: aportaciones desde la radiología (2023). Universidad de Granada. ISBN: 9788411950725. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/85098?locale-attribute=en>

### 6) Trabajo Fin de Grado

La generación de un trabajo fin de grado (TFG) de un miembro del proyecto, titulado "Segmentación e impresión 3D de modelos anatómicos a partir de pruebas de imagen médica", que resumió gran parte de los resultados alcanzados hasta el momento a lo largo de los dos PID dirigidos por el coordinador, en este caso desde la óptica de la ingeniería. • Dirigido por Antonio Martínez Olmos. Codirigido por Antonio Jesús Láinez Ramos-Bossini. Grado en Ingeniería Electrónica (UGR). Calificación: 9,8 (sobresaliente).

### 7) Artículos científicos

Córdoba Peláez P, Redruello Guerrero P, Láinez Ramos Bossini, AJ. Aneurisma de aorta en paciente con Síndrome de Marfan. A propósito de un caso. AMU. 2023; 5(1):97-103. Disponible en: <https://archivosmedicinauniversitaria.es/aneurisma-de-aorta-en-paciente-con-sindrome-de-marfan-a-proposito-de-un-caso-2>

Láinez Ramos-Bossini AJ, López Cornejo D, Redruello Guerrero P, Ruiz Santiago F. The Educational Impact of Radiology in Anatomy Teaching: A Field Study Using Cross-Sectional Imaging and 3D Printing for the Study of the Spine. Acad Radiol. 2024 Jan;31(1):329-337. doi: 10.1016/j.acra.2023.10.024. Epub 2023 Nov 3. PMID: 37925345.

Láinez Ramos-Bossini AJ, Ruiz Santiago F, Moraleda Cabrera B, López Zúñiga D, Ariza Sánchez A. Imaging of low-energy vertebral fractures. Radiologia (Engl Ed). 2023;65(3):239-250. doi: 10.1016/j.rxeng.2023.01.006.

**APLICACIÓN DEL PROYECTO A OTRAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO y UNIVERSIDADES**

Los resultados del Proyecto son transversales lo que implica una aplicación directa en prácticamente todos los campos relacionados con la salud incluyendo la docencia de grado Medicina donde la posibilidad de obtener imágenes de tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM) mejora la comprensión del alumno de la materia, grado de Fisioterapia y Enfermería, donde se puede3 aplicar a estructuras que son manipuladas frecuentemente por estos profesionales, grado Óptica para el desarrollo de modelos de partes especialmente complejas de la anatomía de ojo (i.e. desarrollo de modelos dinámicos que permitan comprender el funcionamiento de las diferentes cámaras oculares), grado de Odontología para el diseño de piezas dentales para la resolución de problemas complejos. Además, los resultados son aplicables a másteres especializados en Medicina y Biomedicina y en general a todos aquellos que se relaciona con la patología. Puede ser aplicado también a otros másteres de Ciencias de la Salud (Radiología Medicina etc). Por último, también es aplicable a cursos de especialización donde el desarrollo de modelos con vinculación a procesos patológicos permitiría una mejor formación de los alumnos (cirugía maxilofacial, oncología, la neurocirugía, odontología, etc). Todos estos resultados pueden ser utilizados por otras Universidades, especialmente aquellas que requieren de este material para formación de los alumnos.

**Dissemination and application of the project to other areas of knowledge and universities (In English)**

## DISSEMINATION OF THE PROJECT (GENERATION OF MATERIAL)

The results of the project have been disseminated through

**1) Congress**

GLORIA PERAZZOLI. MEJORA DE LA FORMACIÓN EN ANATOMÍA: LABORATORIO DE IMPRESIÓN 3D Y MODELOS ANATÓMICOS PERSONALIZADOSIII. Congreso Internacional de Innovación Docente, Educación y Transferencia del Conocimiento. Debates y experiencias en torno a la innovación docente: visión actual y prospectiva. 23 y 24 de Abril de 2024.

DOELLO K, QUIÑONERO F, LÁINEZ-RAMOS-BOSSINI AJ, CABEZA L, PERAZZOLI G, JIMÉNEZ-LUNA C, MELGUIZO C, PRADOS J, MESAS C. ENHANCING ANATOMY EDUCATION THROUGH 3D PRINTING TECHNOLOGY: THE 3D-ANAT-UGR PROJECT. XXX CONGRESO DE LA SOCIEDAD ANATÓMICA ESPAÑOLA. GIRONA DEL 7 AL 9 DE SEPTIEMBRE DEL 2023.

PERAZZOLI, GLORIA; CABEZA MONTILLA, LAURA; MELGUIZO ALONSO, CONSOLACIÓN; LUQUE UCEDA, CRISTINA; ORTIGOSA PALOMO, ALBA Y JIMÉNEZ LUNA, CRISTINA. IMPRESIÓN 3D: UNA HERRAMIENTA INNOVADORA EN LA ENSEÑANZA PRÁCTICA DE ANATOMÍA. XIII REUNIÓN DE JÓVENES FARMACÓLOGOS DE ANDALUCÍA (XIII RJOFA). GRANADA EL 26 DE JUNIO DE 2023. DIPLOMA FOR THE BEST ORAL COMMUNICATION

**2) Forus**

FRANCISCO QUIÑONERO, LAURA CABEZA Y JOSÉ PRADOS. “IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DEL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA DE MODELOS 3D BASADOS EN IMAGEN MÉDICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA MEJORA DE LA FORMACIÓN DE GRADO, MÁSTER Y FORMACIÓN ESPECIALIZADA (22-193)”. FORO DE INNOVACIÓN DOCENTE. UNIVERSIDAD DE GRANADA. DÍAS 1 Y 2 DE DICIEMBRE DE 2022.

**3. Presentation at the “ Noche de los investigadores”**

Impresión de estructuras 3D en Anatomía para aplicaciones docentes y clínicas”. Noche Europea de los Investigadores 2022. 30 de septiembre de 2022. Dentro del proyecto: Título del Proyecto: OPENRESEARCHERS2223 Referencia: HORIZON-MSCA-2022-CITIZENS-01 GA: 101061307 (**Figure 7**) (see above).

**4) Development of a news blog to include results of the project's dissemination**

The blog has included some of the events in which members of the PID have participated (i.e.



Researchers' Night in Granada, defence of doctoral thesis and final degree project related to the project, participation in courses and conferences, etc.). (Figure 8) ( see above).

#### 4) Doctoral thesis

The generation of results that have been included in a doctoral thesis in which some significant advances in 3D printing applied to teaching and research were reflected, of a member of the project who coordinated the relations with the MIR students during the specialized training. Láinez Ramos-Bossini, AJ. Diagnosis and treatment of osteoporotic vertebral fractures: contributions from radiology (2023). University of Granada. ISBN: 9788411950725. Available in: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/85098?locale-attribute=en>

#### 6) Final Degree Project

The generation of a final degree project (TFG) by a member of the project, entitled "Segmentation and 3D printing of anatomical models from medical imaging tests", which summarized a large part of the results achieved so far throughout the two PIDs directed by the coordinator, in this case from the engineering perspective. • Directed by Antonio Martínez Olmos. Co-directed by Antonio Jesús Láinez Ramos-Bossini. Bachelor's Degree in Electronic Engineering (UGR). Rating: 9.8

#### 7) Scientific articles

Córdoba Peláez P, Redruello Guerrero P, Láinez Ramos Bossini, AJ. Aneurisma de aorta en paciente con Síndrome de Marfan. A propósito de un caso. AMU. 2023; 5(1):97-103. Disponible en: <https://archivosmedicinauniversitaria.es/aneurisma-de-aorta-en-paciente-con-sindrome-de-marfan-a-proposito-de-un-caso-2>

Láinez Ramos-Bossini AJ, López Cornejo D, Redruello Guerrero P, Ruiz Santiago F. The Educational Impact of Radiology in Anatomy Teaching: A Field Study Using Cross-Sectional Imaging and 3D Printing for the Study of the Spine. Acad Radiol. 2024 Jan;31(1):329-337. doi: 10.1016/j.acra.2023.10.024. Epub 2023 Nov 3. PMID: 37925345.

Láinez Ramos-Bossini AJ, Ruiz Santiago F, Moraleda Cabrera B, López Zúñiga D, Ariza Sánchez A. Imaging of low-energy vertebral fractures. Radiologia (Engl Ed). 2023;65(3):239-250. doi: 10.1016/j.rxeng.2023.01.006.

### APPLICATION OF THE PROJECT TO OTHER AREAS OF KNOWLEDGE and UNIVERSITIES

The results of the Project are transversal, which implies a direct application in practically all health-related fields, including the teaching of the degree in Medicine, where the possibility of obtaining images of computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) improves the student's understanding of the subject, degree in Physiotherapy and Nursing, where it can be applied to structures that are frequently manipulated by these professionals. Bachelor's degree in Optics for the development of models of particularly complex parts of the anatomy of the eye (i.e. development of dynamic models that allow us to understand the functioning of the different ocular chambers), Bachelor's degree in Dentistry for the design of teeth for the resolution of complex problems. In addition, the results are applicable to specialized master's degrees in Medicine and Biomedicine and in general to all those related to the pathology. It can also be applied to other master's degrees in Health Sciences (Radiology, Medicine, etc.). Finally, it is also applicable to specialization courses where the development of models linked to pathological processes would allow a better training of students (maxillofacial surgery, oncology, neurosurgery, dentistry, etc.). All these results can be used by other universities, especially those that require this material for student training.

### F. Estudio de las necesidades para incorporación a la docencia habitual

Los resultados de este Proyecto, su continuación y mejora, abren un campo de aplicación a la innovación docente que justifica y avala su incorporación a la docencia habitual por múltiples motivos. Son muchos los grados y disciplinas en los que la Anatomía es una asignatura básica y en los que, por tanto, se pueden aplicar, incluyendo los grado Medicina, Fisioterapia, Enfermería, Óptica, Odontología, Logopedia, Farmacia, Nutrición, Terapia ocupacional, entre otros, Además, los resultados son aplicables a másteres especializados en Medicina, Biomedicina e Ingeniería Informática y en másteres de Ciencias de la Salud. Intentaremos, por tanto, indicar los más relevantes, que afectan a todos y lo haremos de forma resumida:

1) Los avances conseguidos en modelos 3D posibilitan de manera cada vez más sencilla, intuitiva y práctica el entendimiento de estructuras volumétricas en diferentes áreas de conocimiento.

2) Las nuevas generaciones de alumnos se encuentran familiarizados con el uso de estas nuevas herramientas, lo que predispone un escenario ideal en la implementación educativa de estos modelos, favoreciendo la transmisión horizontal del conocimiento, entre otros aspectos.

3) La enseñanza de la anatomía humana está experimentando enormes cambios en los últimos años debido, entre otros factores, al impacto de las tecnologías de imagen médica. Las técnicas de impresión 3D se presentan como una herramienta ideal para entender la imagen y para mejorar la educación de nuestros alumnos

4) La impresión 3D supera alguna de las limitaciones de la actual enseñanza de la anatomía como es el elevado precio de los modelos, la posibilidad de realice replicas para los grupos de alumnos necesarios, generar modelos de partes anatómicas especialmente difíciles, genera modelos de patologías y su comparación con la anatomía normal.

5) La impresión 3D suplementa, que no sustituye, las anatomía mediante sujetos anatómicos que requiere de instalaciones extremadamente caras.

6) Los resultados de este Proyecto mejoran la calidad del aprendizaje de especialistas, especialmente en el campo de la cirugía y en la planificación de las operaciones a realizar.

7) Los resultados de este Proyecto permiten la generación de un material que integra la docencia. Por ejemplo, puede ser utilizada por áreas como la Anatomía, Radiología y la fisiología, la cirugía, la patología, etc. Por otro lado, los estudiantes del Grado en Informática y de Másteres en Informática y Ciencia de Datos, podrán ejercitar los conocimientos y habilidades que van adquiriendo en las asignaturas sobre problemas reales. Por tanto, también integra titulados especializados en el campo de la Salud y Bioinformática

### **G. Puntos fuertes, las dificultades y posibles opciones de mejora**

#### **PUNTOS FUERTES**

La aplicación de los resultados de nuestro Proyecto presenta como puntos fuertes:

1. El desarrollo y uso de los modelos generados mejora la formación docente del alumno ya que facilita enormemente la adquisición de conocimientos prácticos en relación al conocimiento de la anatomía tridimensional, el uso y aplicaciones de la impresión 3D, y el aprendizaje en un entorno no presencial y virtual.

2. Los resultados obtenidos permiten dar respuesta al estudiantado que demanda una formación más práctica y actualizada en materias consideradas “básicas” como la Anatomía Humana, cuyo denso y complejo contenido teórico puede resultar difícil de abordar.

3. La experiencia educativa desarrollada demuestra que el acercamiento desde el primer momento de una disciplina como la Anatomía al campo de la patología es beneficiosos ya que el alumno demuestra más interés.

4. Cabe resaltar la utilidad en este tipo de formación para los alumnos de postgrado y los especialistas que encuentran en esta innovación docente una forma de acercarse a sus necesidades de formación muy específica y en campos muy concretos.

5. la implementación docente generada obliga a los estudiantes a enfrentar problemas complejos y con múltiples posibilidades de resolución de forma muy similar a lo que ocurre en la vida real. Este

enfoque superan las restricciones de los tradicionales abordajes basados en la simple memorización.

6. El propio desarrollo del Proyecto ha supuesto una gran riqueza formativa con un trabajo en equipo y la interacción entre estudiantes de diferentes campos tan alejados como Medicina e Informática.

#### **DEBILIDADES y OPCIONES DE MEJORA**

1. La necesidad de desarrollar laboratorios especializados en esta tecnología de forma más amplia y con mayor capacidad lo que supone recursos económicos importantes. La opción de mejora es la consecución de Proyectos o recursos de la universidad que permitan dotar a los diferentes centros de laboratorios para el desarrollo de procesos similares, formación de alumnos y generación de nuevos materiales.

2. Necesidad de una enseñanza muy específica y por tanto de un personal muy cualificado en determinados campos muy avanzados como anatomía radiológica aplicada a la resolución de patología o de intervenciones quirúrgicas. La opción de mejora es la dedicación, dentro de los Departamentos, de personas que puedan liberarse de otras tareas y dedicarse plenamente a su formación en este campo así como a la enseñanza al nivel más especializado de la anatomía y de su aplicación clínica o en su defecto la contratación de personal especializado para tal fin.