

Diseño e Impresión 3D de Modelos Anatómicos Radioequivalentes

DI3D X

Fernández Pallás S. (*), Espejo Sala Y. (*), Pareja Lozano A. (*), Ortolá Mateo M. (*), Marín Lillo S. (*), Llorens Nicolau M. (*), Concepción Aramendia L. A. (**), Sanjuan Llorens N. (*)

(*) CIPFP Canastell, San Vicente del Raspeig, Alicante.

(**) Hospital Dr. Balmis de Alicante.

ÍNDICE

1

Objetivo

2

Material
y
método

3

Resultados

4

Discusión

5

Conclusiones

6

Referencias

1 Objetivo. Justificación.

- El proyecto nace por iniciativa del HGU Dr. Balmis de Alicante.
- Búsqueda de colaboradores (Imagen 1).



Imagen 1. Entidades colaboradoras en el Proyecto.

- Se consigue financiación gracias a los proyectos de innovación e investigación aplicados y transferencia del conocimiento en la FP del MEFPyD (Imagen 2).



Imagen 2. Logo de la convocatoria del proyecto.



1 Objetivo. Objetivo general.

Diseñar y crear mediante impresión 3D, modelos anatómicos con radiodensidad similar a la de tejidos fisiológicos, a partir de estudios de tomografía computarizada y resonancia magnética, que puedan ser utilizados para la simulación médica y en la formación de estudiantes y personal sanitario.



1 Objetivo. Objetivos específicos.

- Objetivo 1: Formación alumnado/profesorado/técnicos.
- Objetivo 2: Elaborar contenidos curriculares
- Objetivo 3: Manejo Software de postprocesado
- Objetivo 4: Diseñar y crear maniquíes Radioequivalentes
- Objetivo 5: Crear una red de centros
- Objetivo 6: Fomentar proyectos en otros ciclos de FP
- Objetivo 7: Fomentar creación de empresas



2 Material y método

El proyecto se ha desarrollado en diferentes fases:

- a) Formación de los participantes**
- b) Diseño, impresión y montaje de modelos anatómicos**
- c) Realización de pruebas con los modelos impresos**
- d) Elaboración de contenidos curriculares**
- e) Difusión del proyecto**
- f) Replicación del proyecto en otros centros**



2 Material y método

a) Formación de los participantes

Se han realizado 12 acciones de formación, implicando a más de 100 alumnos, 15 profesores y 20 TSIDMN (Imágenes 3-5)



Imagen 3. Formación en el Hospital del Mar-Institut FP Sanitaria



Imagen 4. Jornada de Innovación CIPFP Canstell



Imagen 5. Seminarios para profesorado HGU Dr Balmis.

2 Material y método

b) Diseño, impresión y montaje de modelos anatómicos

Esta fase abarca la adquisición de equipamiento, segmentación de estudios DICOM (Imagen 6), pruebas de impresión 3D (Imagen 7) y montaje de los modelos anatómicos seleccionados.

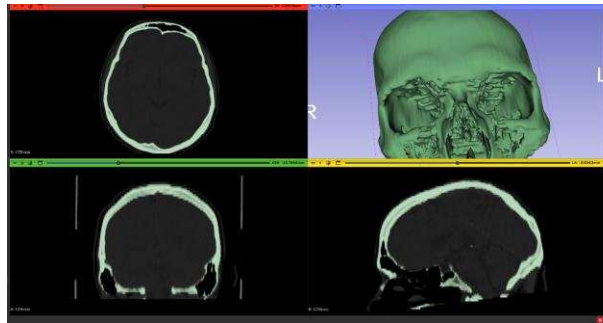


Imagen 6. Segmentación de una tomografía real.

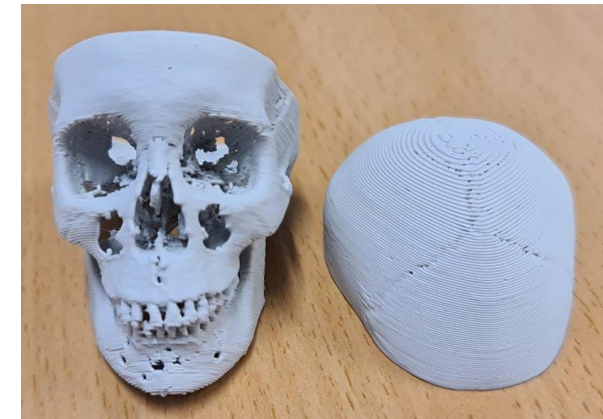


Imagen 7. Modelo impreso con PLA Marble.

2 Material y método

b) Diseño, impresión y montaje de modelos anatómicos.

Esta fase se ha realizado en 5 etapas:

1. Seleccionar la tecnología de impresión 3D, materiales radioequivalentes y configuraciones de impresión.
2. Segmentar el modelo anatómico, a partir de archivos DICOM de un estudio de tomografía computarizada (Invesalius, Horos, Slicer3D).
3. Postprocesado y generación de archivos STL (Meshmixer).
4. Impresión de modelos anatómicos (Impresoras Bambulab y Formlabs).
5. Postprocesado de las piezas impresas.



2 Material y método

El material empleado fue:

- ❖ Impresoras 3D Bambu Lab X1 Carbon (Imagen 8) y Formlabs 4B
- ❖ Filamentos PLA:
 - PLA estándar
 - Marble Bambulab
 - Wood filament
 - Stonefill Calcio 50%
 - Fiberlogy mineral Calcio 30%
- ❖ Resina Formlabs grey



Imagen 8. Impresora Bambu lab X1 Carbon



2 Material y método. Flujo de trabajo.

1. Obtención de estudios anonimizados de TC, cedidos por el HGU Dr. Balmis de Alicante, en formato DICOM (Imagen 9).
2. Segmentación en Slicer 3D, Invesalius, Horos y Materialise.
3. Post-procesado del STL en Meshmixer.
4. Planificación de la impresión en BambuStudio/Formlabs.
5. Impresión 3D.
6. Evaluación de la radioequivalencia de los materiales empleados.



2 Material y método. Flujo de trabajo.

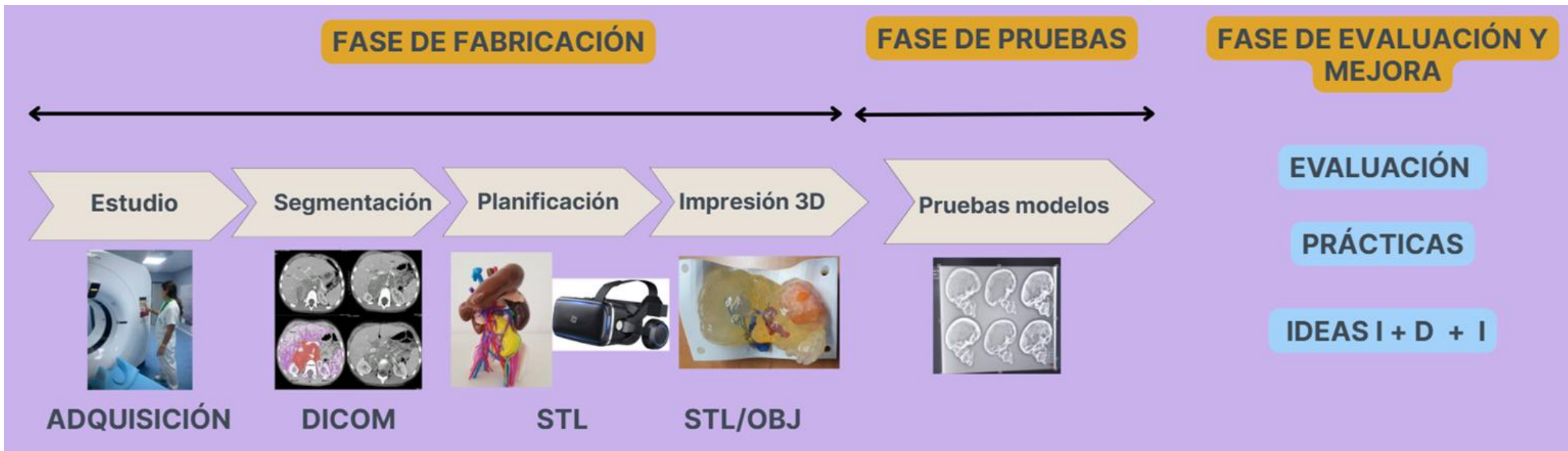


Imagen 9. Esquema de las fases del flujo de trabajo.

2 Material y método. Segmentación.

Acciones:

- Software Slicer3D
- Selección de Unidades Hounsfield
- Selección de modelo 3D (Imagen 10).
- Recorte de artefactos
- Borrado de estructuras no deseadas
- Creación de formato STL.

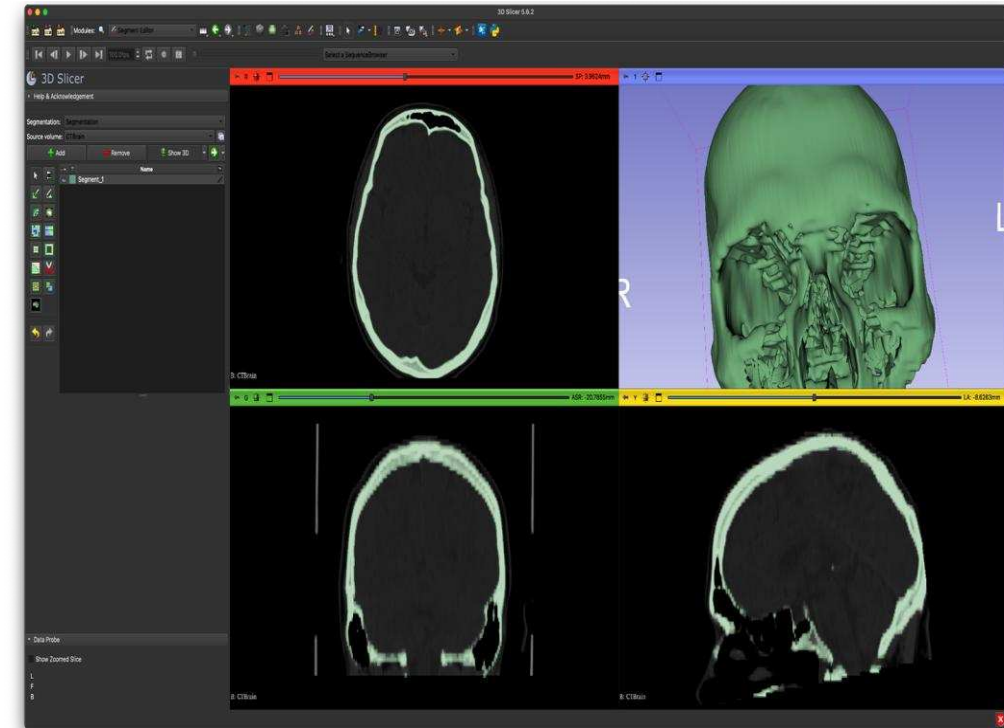


Imagen 10. Segmentación de estudio de TC en 3D Slicer.



2 Material y método. Planificación.

Antes de imprimir se ha de planificar la malla del modelo 3D con el programa Meshmixer. Desde el rellenado de agujeros generados por el algoritmo de segmentación, hasta resolución de errores más graves que imposibilitarían la impresión (2) (Imagen 11).

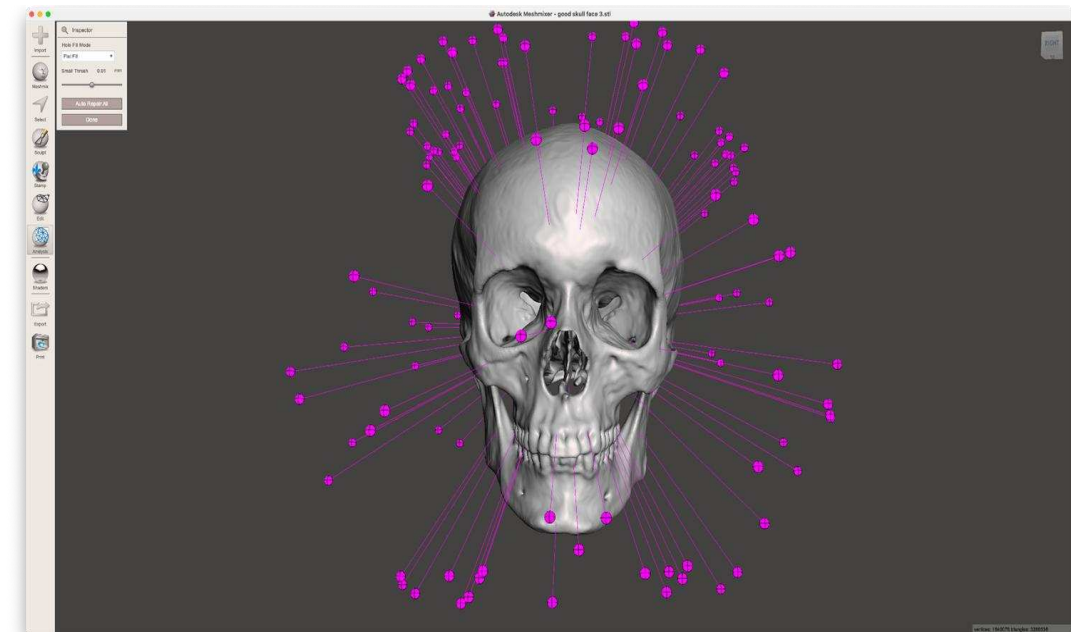


Imagen 11. Herramienta inspector de errores de malla en Meshmixer.

2 Material y método. Impresión.

Planificación y laminado del STL con los programas Bambustudio (Imagen 12-15) y Preform (Imagen 16).

En algún caso, como en el ejemplo mostrado de cráneo, al realizar el laminado se comprobó que los soportes invadían los senos frontales y otras regiones anatómicas inalcanzables para su retirada. Es por ello que se planificó la impresión en dos piezas.

Para ello, con el programa de Bambustudio, se realiza un corte aproximadamente a mitad del seno frontal y se procede a añadir guías de unión. Este proceso se aplicó también con el programa Preform.

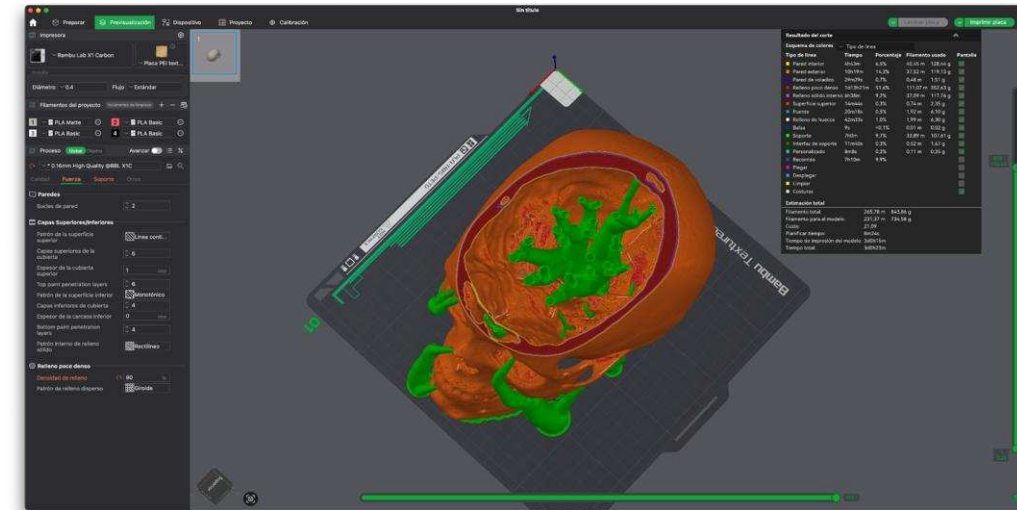
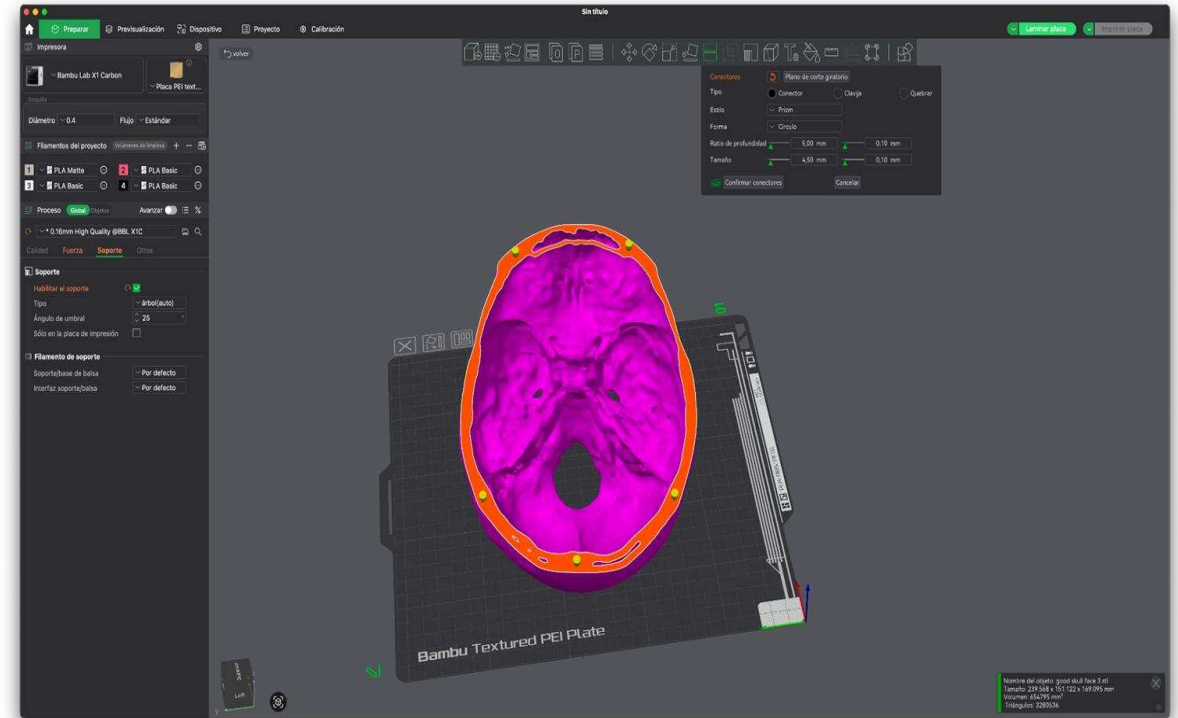
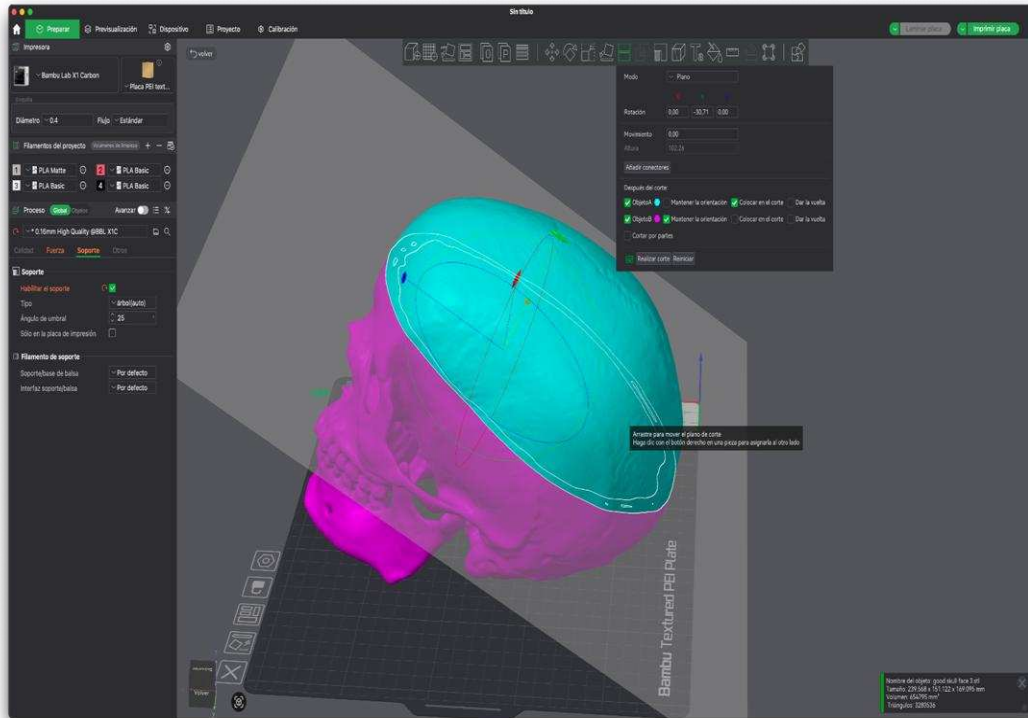


Imagen 12. Soportes de impresión invadiendo partes anatómicas inaccesibles.



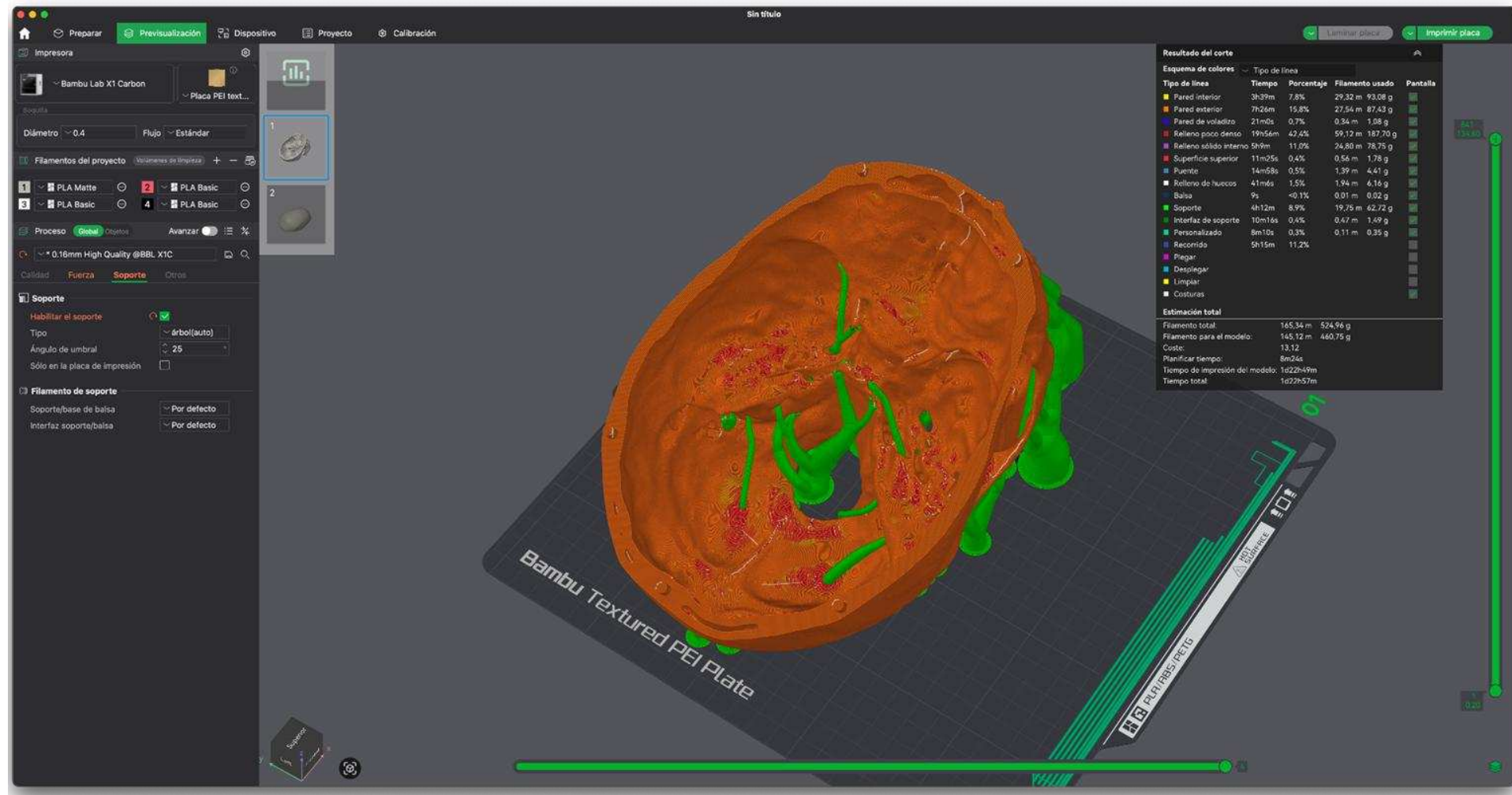


Imagen 15. Soportes plenamente accesibles para su retirada.

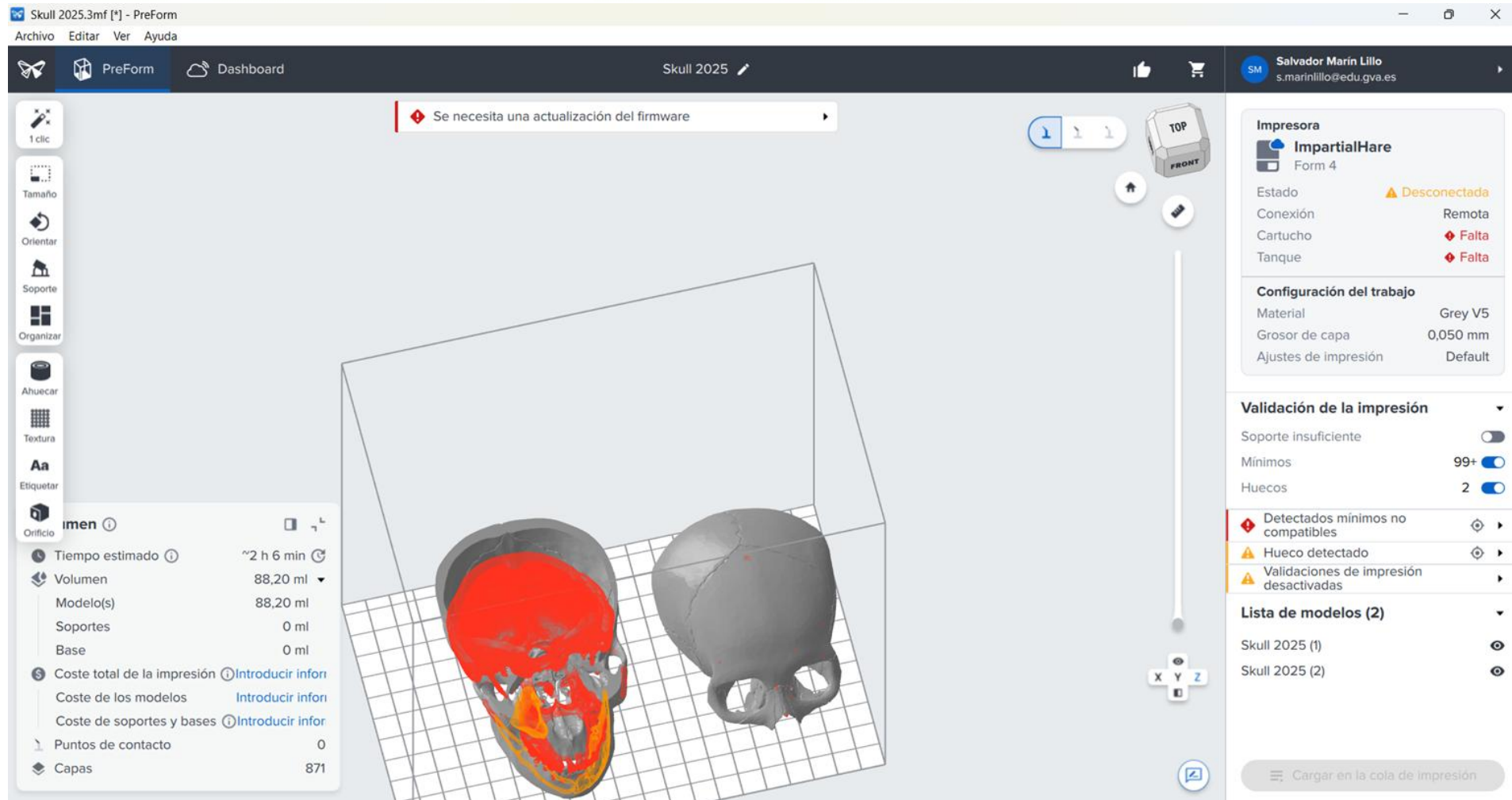


Imagen 16. planificación de impresión 3D en el software Preform.



2 Material y método. Impresión.

Tras la planificación se procedió a la impresión de los modelos anatómicos, utilizando diferentes parámetros y materiales.

Los parámetros de impresión que resultaron más adecuados son:

- ❖ Relleno: 80-90%
- ❖ Patrón de relleno: Giroide
- ❖ Boquilla de impresión: Acero endurecido, diámetro 0,6 mm
- ❖ Soportes tipo árbol nacidos únicamente de la placa de impresión.



2 Material y método. Impresión.

En la imagen 17 se muestra un modelo impreso con resina mediante la impresora Formlabs 4B (Imagen 19), mientras que en la imagen 18 se muestra un cráneo impreso con la Bambulab X1 Carbon.



Imagen 17. Vértebra torácica.



Imagen 18. Ausencia bilateral de la rama mandibular por error de impresión.



Imagen 19 Tanda de vértebras torácicas.



2 Material y método. Impresión.

Los resultados de impresión con tecnología SLA, si bien ofrecen unos acabados con altísima fidelidad al modelo 3D, presentan una nueva problemática. Los modelos impresos en resina deben tener orificios de purgado para evitar la retención de resina sin curar en su interior. Esto imposibilita el replicado del trabeculado óseo.

Es por ello que los modelos finales, con material radioequivalente, fueron impresos mediante la técnica FDM e impresora X1 Carbon.





2 Material y método

El proyecto se ha desarrollado en diferentes fases:

- a) Formación de los participantes**
- b) Diseño, impresión y montaje de modelos anatómicos**
- c) Realización de pruebas con los modelos impresos**
- d) Elaboración de contenidos curriculares**
- e) Difusión del proyecto**
- f) Replicación del proyecto en otros centros**



2 Material y método.

c) Realización de pruebas con los modelos impresos.

Tras la impresión de los modelos anatómicos, se evaluó su radioequivalencia realizándoles exploraciones de TC y radiología convencional (Imagen 21 y 22).

Posteriormente, se utilizó el Slicer3D para comprobar la radiodensidad de las piezas (UH) que aporta cada uno de los materiales probados.



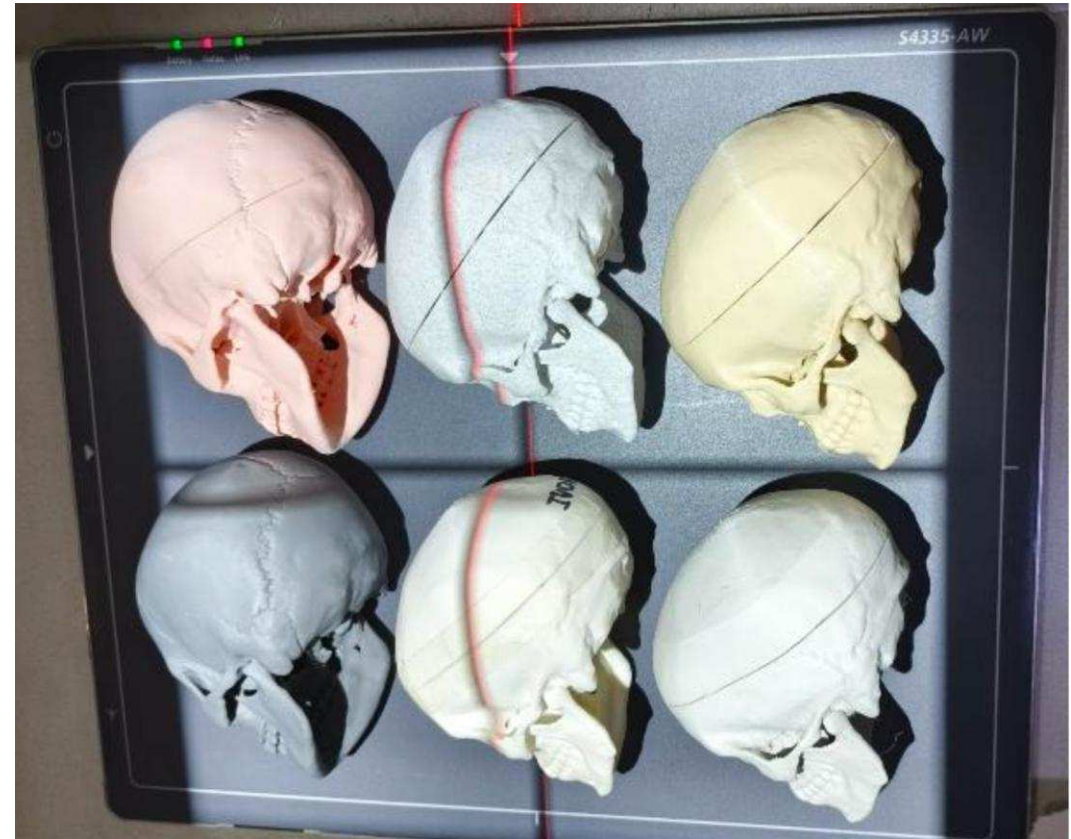
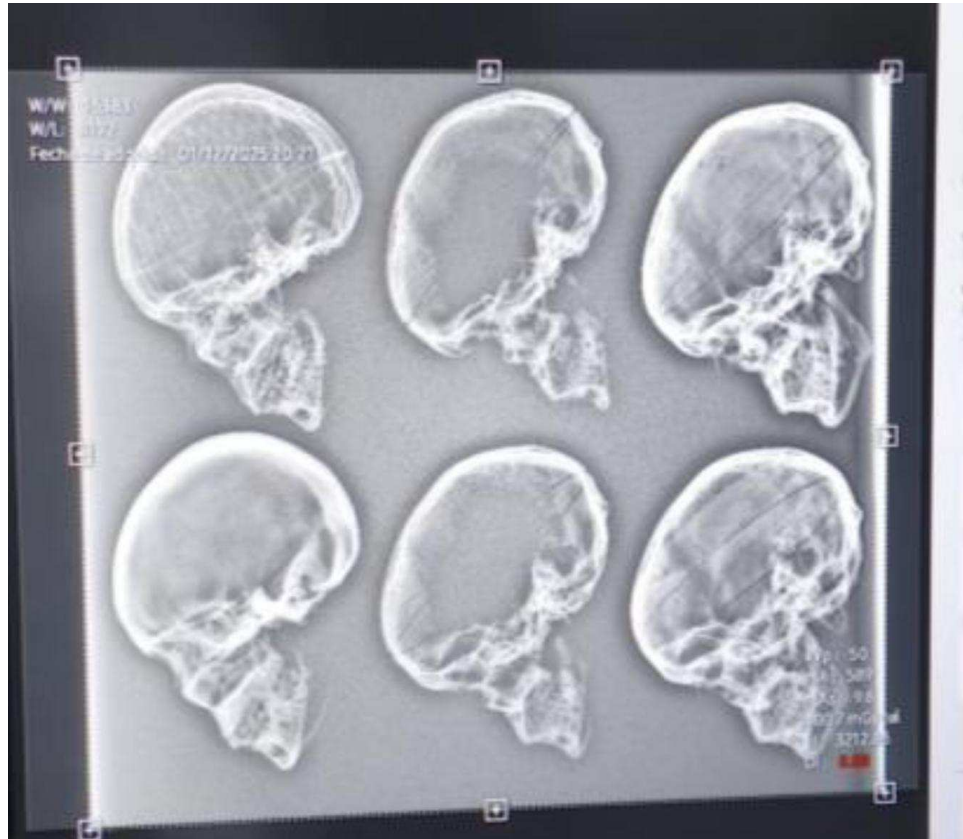
2 Material y método.

c) Realización de pruebas con los modelos impresos



Se realizaron diversos estudios de tomografía computarizada (imágenes 20 y 21) y de radiología convencional (imagenes 22 y 23) para evaluar el patrón y la densidad del relleno, las Unidades Hounsfield.

Imágenes 20 y 21. Prueba de TC de diferentes modelos.



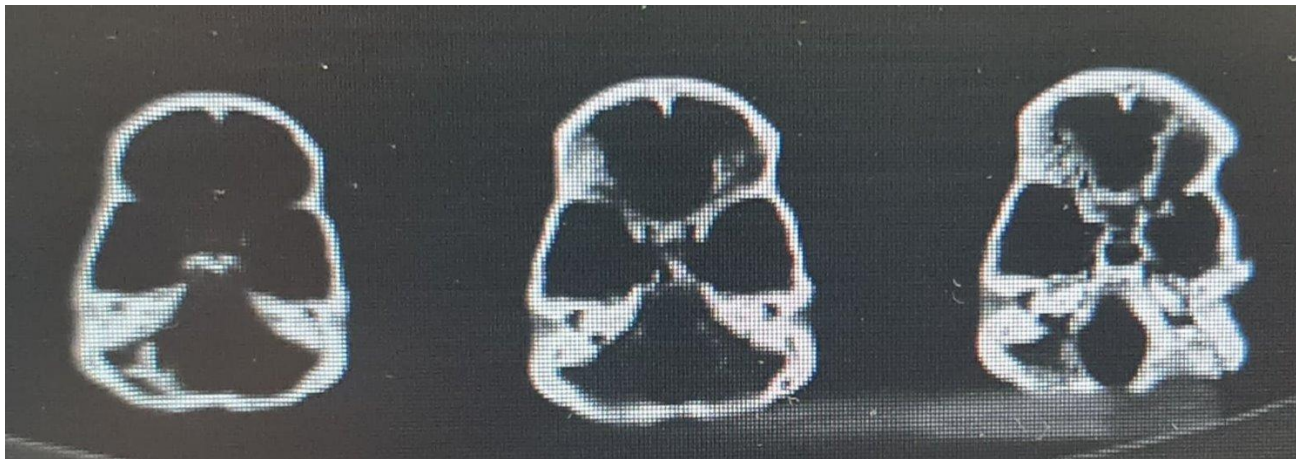
Imágenes 22 y 23. Prueba de radioequivalencia mediante radiología convencional.



2 Material y método.

c) Realización de pruebas con los modelos impresos

Imágenes 24 y 25. Prueba de materiales en tomografía computarizada de diferentes modelos.



2 Material y método.

d) Elaboración de contenidos curriculares.

La implantación de la Ley Orgánica 3/2022 (Imagen 26) introdujo entre otros cambios un nuevo módulo optativo en todos los ciclos de Formación profesional.



LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

Ley Orgánica 3/2022, de 31 de marzo, de ordenación e integración de la Formación Profesional.

Imagen 26. Portada de la publicación de la nueva ley de FP.



2 Material y método.

d) Elaboración de contenidos curriculares.

Gracias al proyecto, se ha diseñado un nuevo módulo optativo:

MÓDULO: PROCESADO DE LA IMAGEN DIAGNÓSTICA E IMPRESIÓN 3D.



2 Material y método.

d) Elaboración de contenidos curriculares.

Así mismo, se ha impartido un curso para profesores sanitarios de la Comunidad Valenciana sobre procesamiento de la imagen digital e impresión 3D (Imagen 27).



Imagen 27. Presentación del curso de Procesado de la Imagen Digital e Impresión 3D en Sanidad

2 Material y método.

e) Difusión del proyecto.

Se han llevado a cabo varias acciones de difusión:

- Participación en los premios Don Bosco de Zaragoza 2025
- Publicación de reels en Instagram y LinkedIn de centros implicados
- Participación en las II Jornadas de Innovación del Canastell
- Blog del proyecto dentro de la web del CIPFP Canastell
- Aparición en medios de comunicación (Diario Información, Radio San Vicente...)
- Organización I Jornadas de Impresión 3D en el CIPFP CANASTELL



2 Material y método.

f) Replicación del proyecto en otros centros.

Por el momento, tres centros educativos han mostrado interés en incorporar contenidos sobre procesamiento de la imagen médica e impresión 3D en el ciclo de Técnico Superior en Imagen para el Diagnóstico y Medicina Nuclear (CIPFP Canastell, Hospital del Mar-Institut FP Sanitaria, CIPFP Batoi).

Está previsto que más centros incorporen estas tecnologías en el ámbito educativo.



3 Resultados

- ❖ El proyecto ha permitido obtener un Banco de modelos anatómicos con densidad similar al hueso, utilizada para formación y entrenamiento de estudiantes y del personal sanitario (cráneo, cadera, columna, fémur proximal...).
- ❖ Así mismo, se ha desarrollado un protocolo estandarizado de procesamiento de la imagen digital e impresión 3D que puede ser replicado en cualquier centro hospitalario.



3 Resultados

- ❖ Gracias a las numerosas acciones llevadas a cabo durante el desarrollo del proyecto, el profesorado, el alumnado y varios empleados de HGU Dr. Balmis e ISABIAL han expandido su conocimiento acerca de las diversas tecnologías de impresión y segmentación de imágenes radiológicas.
- ❖ Se ha creado un nuevo módulo optativo en el Ciclo superior de Imagen para el Diagnóstico y Medicina Nuclear: **Procesado de la imagen diagnóstica e impresión 3d.**



4 Discusión

En comparación con la FDM (deposición de material fundido), la impresión SLA (estereolitografía) es mucho más precisa y proporciona acabados mucho más finos, proporcionando un grosor de capa de hasta 10 micras frente a 0,1 milímetros que ofrece la impresión FDM (3). Sin embargo, la tecnología SLA no es capaz de replicar el trabeculado óseo, y las piezas que produce en estos casos resultan macizas, no produciendo radioequivalencia adecuada.



4 Discusión

De los diferentes materiales empleados, los que han ofrecido los resultados más prometedores en la evaluación de la radioequivalencia han sido:

- Stonefill, con una composición aproximada del 50% de calcio
- Marble de Bambulab.



5 Conclusiones

- ❖ El proyecto ha permitido mejorar las competencias del profesorado en el diseño e impresión 3D de modelos anatómicos, lo que a su vez permite una mejor cualificación profesional del alumnado.
- ❖ La creación de un nuevo módulo optativo en el grado superior de Imagen para el diagnóstico y medicina nuclear, permite al alumnado adaptarse a las demandas tecnológicas actuales del sector sanitario.
- ❖ La producción de modelos anatómicos y patológicos mediante impresión 3D mejora la asimilación de contenidos complejos por parte del alumnado.



5 Conclusiones

- ❖ La creación modelos anatómicos radioequivalentes posibilita el entrenamiento radiológico sin la necesidad de exponer a rayos X a pacientes o estudiantes, así como la posibilidad de capacitación de los Técnicos en Radiodiagnóstico en procesado de la imagen digital e impresión 3D. Todo ello redundando en una mejor atención al paciente



5 Conclusiones

- ❖ El proyecto ha permitido crear una red de centros que compartan material didáctico sobre la impresión 3D dentro de la Industria 4.0.
- ❖ Se ha fomentado la participación en proyectos intermodulares dentro de los ciclos de Formación Profesional
- ❖ Se ha Fomentado creación de empresas relacionadas con Diseño e impresión 3D de modelos anatómicos, gracias a la plataforma Llançat de la Consellería de educación de la comunidad Valenciana.



6 Bibliografía.

1. Meyer-Szary, J., Luis, M. S., Mikulski, S., Patel, A., Schulz, F., Tretiakow, D., Fercho, J., Jaguszewska, K., Frankiewicz, M., Pawłowska, E., Targoński, R., Szarpak, Ł., Dądela, K., Sabiniewicz, R., & Kwiatkowska, J. (2022). The Role of 3D Printing in Planning Complex Medical Procedures and Training of Medical Professionals—Cross-Sectional Multispecialty Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3331. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063331>
2. Segaran, N., Saini, G., Mayer, J. L., Naidu, S., Patel, I., Alzubaidi, S., & Oklu, R. (2021). Application of 3D Printing in Preoperative Planning. *Journal of Clinical Medicine*, 10(5), 917. <https://doi.org/10.3390/jcm10050917>
3. Lucía, C. (2017, diciembre 12). FDM o SLA: ¿Qué tecnología de impresión 3D elegir? 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/fdm-o-sla-impresion-3d-131220172/>





38 CONGRESO
NACIONAL

seRam
Sociedad Española de Radiología Médica

ferm
FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE RADIOLOGÍA MÉDICA

DI3D X

Diseño e Impresión 3D de maniqués
radioequivalentes a través de Industria 4.0



**ALACANT
HOSPITAL GENERAL**
DEPARTAMENT DE SALUT

www.seram2026.com



Canastell
Centro Integrado Público
de Formación Profesional