



Centro de  
Formación  
Permanente



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



800 AÑOS

1218 - 2018

# MEMORIA FINAL



## FABRICACIÓN ADITIVA DE PIEZAS ANATÓMICAS CON FINES DOCENTES PARA DIFERENTES TITULACIONES DE CIENCIAS DE LA SALUD

Proyecto ID2018/109

Prof. Dr. Juan A. Juanes Méndez  
2018-2019



**FABRICACIÓN  
ADITIVA DE  
PIEZAS  
ANATÓMICAS  
CON FINES  
DOCENTES  
PARA  
DIFERENTES  
TITULACIONES  
DE CIENCIAS  
DE LA SALUD**

**Prof. Dr. Juan A. Juanes Méndez**

# iNDiCE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	.....	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS</b>	.....	<b>5</b>
<b>METODOLOGIA</b>	.....	<b>7</b>
<b>RESULTADOS</b>	.....	<b>22</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	.....	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	.....	<b>59</b>
<b>EQUIPO DE TRABAJO</b>	.....	<b>61</b>

# Introducción

La asignatura de Anatomía Humana se enfrenta a importantes retos ya que cada vez son más los estudiantes que cursan carreras del área de la salud, y los recursos clásicos, como los restos óseos, son cada vez más difícil de obtener para docencia.

Tendencias educativas actuales para complementar el estudio práctico de la anatomía concuerdan que elementos didácticos de apoyo como las imágenes anatómicas 3D mediante ordenador, los videos, imágenes radiológicas, diferentes softwares, piezas óseas anatómicas tridimensionales, constituyen medios importantes de apoyo a la enseñanza.

La asignatura de anatomía es importante en la formación de los alumnos de Ciencias de la Salud para obtener los conocimientos del cuerpo humano que posteriormente les servirán para su trabajo como médicos.

Se ha pretendido analizar si el estudio práctico de la anatomía humana manejando piezas anatómicas reales o modelos impresos en 3D, permiten a los estudiantes acercarse a la realidad, para determinar así, si estos recursos tecnológicos de reciente incorporación en los laboratorios de prácticas constituyen un elemento motivador en el aprendizaje.

En nuestro caso, planteamos la posibilidad de aproximar la enseñanza descriptiva a través de material de diseño en 3D, reemplazando modelos tradicionales de piezas óseas e imágenes gráficas con dibujos, por un material de alta calidad técnica que permite una manipulación segura, siendo muy aproximados a los huesos reales y que por otra parte pueden ser diseñados a gran escala para su uso generalizado por los estudiantes de ciencias de la salud.

Nuestro equipo de trabajo multidisciplinar viene desarrollando en los últimos años desarrollos tecnológicos relevantes para la formación en diferentes campos y áreas de las ciencias de la salud, creando simuladores clínicos que facilitan y mejoran el proceso de enseñanza-aprendizaje. Fruto de estos desarrollos realizados ha sido la repercusión mediática que han tenido en diferentes medios de comunicación de ámbito nacional, autonómico y local. Por otra parte estas aplicaciones tecnológicas desarrolladas han sido algunas de ellas galardonadas con premios nacionales. Recientemente algunos integrantes del grupo de trabajo nos hemos adentrado en el campo de la reconstrucción tridimensional de piezas corporales con el fin de su utilización en la práctica docente y en simulaciones de abordajes quirúrgicos. Las ciencias de la salud tienen un buen pilar en las técnicas y herramientas que le ofrece la ingeniería industrial. Gracias a esta colaboración se están construyendo materiales

médicos muy valiosos tanto para la docencia de la medicina como para la práctica quirúrgica. La utilización de diferentes parámetros matemáticos para el desarrollo de piezas anatómicas constituye hoy día un avance tecnológico en ciencias de la salud al permitir elaborar así estructuras corporales sintéticas que sirven de apoyo a la formación médica y en las simulaciones quirúrgicas, como entornos o sistemas de entrenamiento previo a una intervención.

Es evidente que el trabajo conjunto entre facultativos de diferentes especialidades médicas e ingenieros industriales, permitirán una productiva generación de modelos anatómicos de gran utilidad práctica en diversos campos de la medicina.

El diseño en tres dimensiones de estructuras anatómicas corporales humanas puede ayudar a los alumnos a una mejor comprensión de los detalles morfológicos de las piezas anatómicas, siendo además un recurso duradero. Aún queda mucho camino por recorrer todavía, en lo referente a esta tecnología de impresión 3D; pero es evidente las grandes posibilidades que la impresión 3D ofrece al ámbito de la medicina. El avance de la ciencia y la propia técnica de impresión 3D, descubrirá un futuro hasta ahora inimaginable. En un futuro no muy lejano, posiblemente estas impresoras 3D superarán, con una gran diferencia a los problemas que hoy día su utilización pueda plantear; y sin duda, ésta revolucionaria tecnología evolucionará considerablemente en el campo de la medicina.



# OBJETIVOS

El proyecto se enmarca dentro de dos disciplinas relacionadas (la Anatomía Humana y la Cirugía) que se imparten en diferentes titulaciones de nuestra Universidad (Medicina, Odontología, Enfermería, Fisioterapia y Terapia Ocupacional), como materias fundamentales en estas titulaciones de las ciencias de la salud.

El auge y desarrollo que en los últimos años está teniendo el diseño y la fabricación digital de estructuras anatómicas, ha tomado mucha fuerza dada la reducción de costes en la adquisición de piezas anatómicas para la docencia de la Anatomía Humana. En la docencia práctica de cualquiera de las titulaciones de las Ciencias de la Salud señaladas anteriormente unas de las disciplinas que más relevancia tienen en estas titulaciones es sin duda la asignatura de Anatomía Humana y la Cirugía, en todas sus vertientes. Estas materias requieren de la utilización de material humano para las clases prácticas; sin embargo, es muy frecuente que este material o bien es escaso o bien suele estar deteriorado, por lo que muchos detalles morfológicos de estructuras corporales no se visualizan correctamente. Por ello, poder desarrollar reproducciones de piezas anatómicas bajo fabricación aditiva con impresoras tridimensionales, con todos sus detalles morfológicos, constituye hoy día un avance tecnológico en ciencias de la salud al permitir elaborar así estructuras corporales sintéticas que sirven de apoyo a la formación en anatomía humana y práctica quirúrgica.

Nuestro objetivo por tanto con este proyecto de innovación docente ha sido mostrar las **posibilidades docentes que tienen la reconstrucciones de piezas anatómicas en tres dimensiones** obtenidas mediante digitalización de piezas reales con escáneres digitales y con a través de técnicas de diagnóstico por imagen como la Tomografía Computarizada y la Resonancia Magnética.

Por otra parte, dado que el material docente que se dispone no es abundante ni de buena calidad, con este proyecto se ha pretendido, además, **ampliar el archivo de material docente para las prácticas de la Anatomía Humana**.

Otro de los objetivos que nos marcamos con este proyecto ha sido utilizar el material anatómico reconstruido en 3D para **planificaciones quirúrgicas, mediante abordajes quirúrgicos simulados**, lo que sirve como entrenamiento previo a una intervención quirúrgica.

Además, también nos marcamos como objetivo **analizar la opinión y valoración que tienen los alumnos** de las diferentes titulaciones de las ciencias de la salud (Medicina, Odontología, Enfermería, Fisioterapia y Terapia Ocupacional), en la utilización de estos materiales didácticos en las clases prácticas de la asignatura de Anatomía Humana y Cirugía, con especial mención hacia la traumatología entre otras.

La visualización tridimensional de piezas corporales para el aprendizaje de la anatomía humana, facilita una mejor comprensión para su estudio y análisis.

Las ciencias de la salud tienen un buen pilar en las técnicas y herramientas que le ofrece la ingeniería industrial. Actualmente se están construyendo materiales médicos muy valiosos tanto para la docencia de la medicina como para la práctica quirúrgica.

Es evidente, por tanto, que entre las mejoras que se han podido obtener con la consecución de este proyecto de innovación docente, destacan las siguientes:

- 1.- Podemos **disponer de un material anatómico** de diferentes estructuras corporales que servirán, sin duda, **de apoyo a la formación médica**.
- 2.- Por otra parte, nos ha permitido **incrementar sus archivos de materiales docentes para sus clases prácticas**.
- 3.- Con las piezas anatómicas generadas se podrán llevar a cabo **simulaciones quirúrgicas**, muy próximas a la realidad, lo que servirá de entrenamiento previo a una intervención quirúrgica.

Por otra parte, con este Proyecto de innovación docente, se ha pretendido aumentar la motivación de los estudiantes, al proceso de enseñanza-aprendizaje, al proporcionándoles materiales didácticos complementarios, como medio adicional y atractivo para la formación académica de estudiantes en nuestra Universidad de Salamanca.

# Metodología

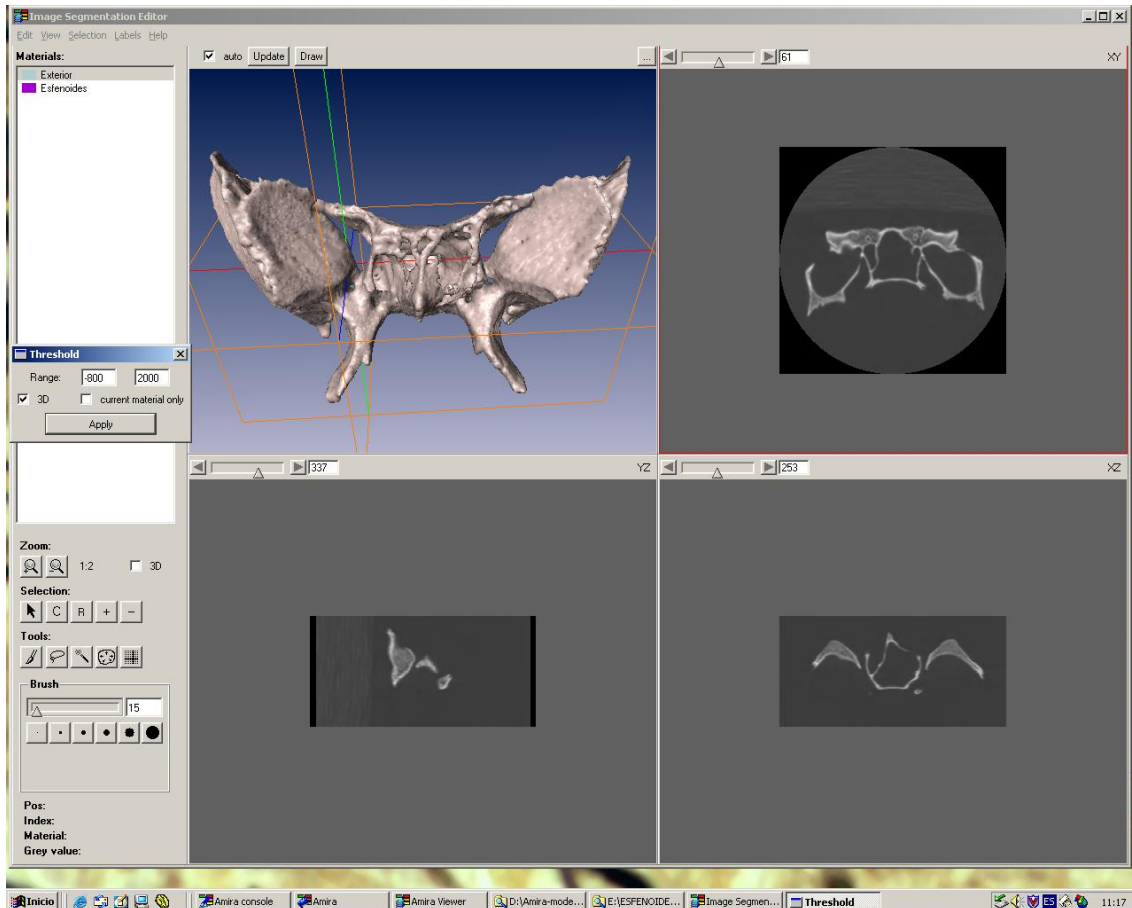
Para proceder a la construcción del material anatómico, se procederá en primer lugar a la digitalización de forma precisa de las piezas a modelar. Este primer paso del trabajo lo desarrollaremos mediante dos modalidades de adquisición de imagen médica tridimensional:

Por un lado, mediante la utilización de técnicas de valoración morfológicas de diagnóstico por la imagen como la Tomografía Computarizada y la Resonancia Magnética. Las imágenes DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) obtenidas por estos procedimientos de imagen diagnóstica, serán posteriormente tratadas con el software Amira, con el objeto de homogeneizar las dimensiones de las imágenes, se alinearon, se redimensionaron (reslicing) y se obtuvieron imágenes isotrópicas con vóxels de 1mm que tuvieron el mismo tamaño en todas las dimensiones.



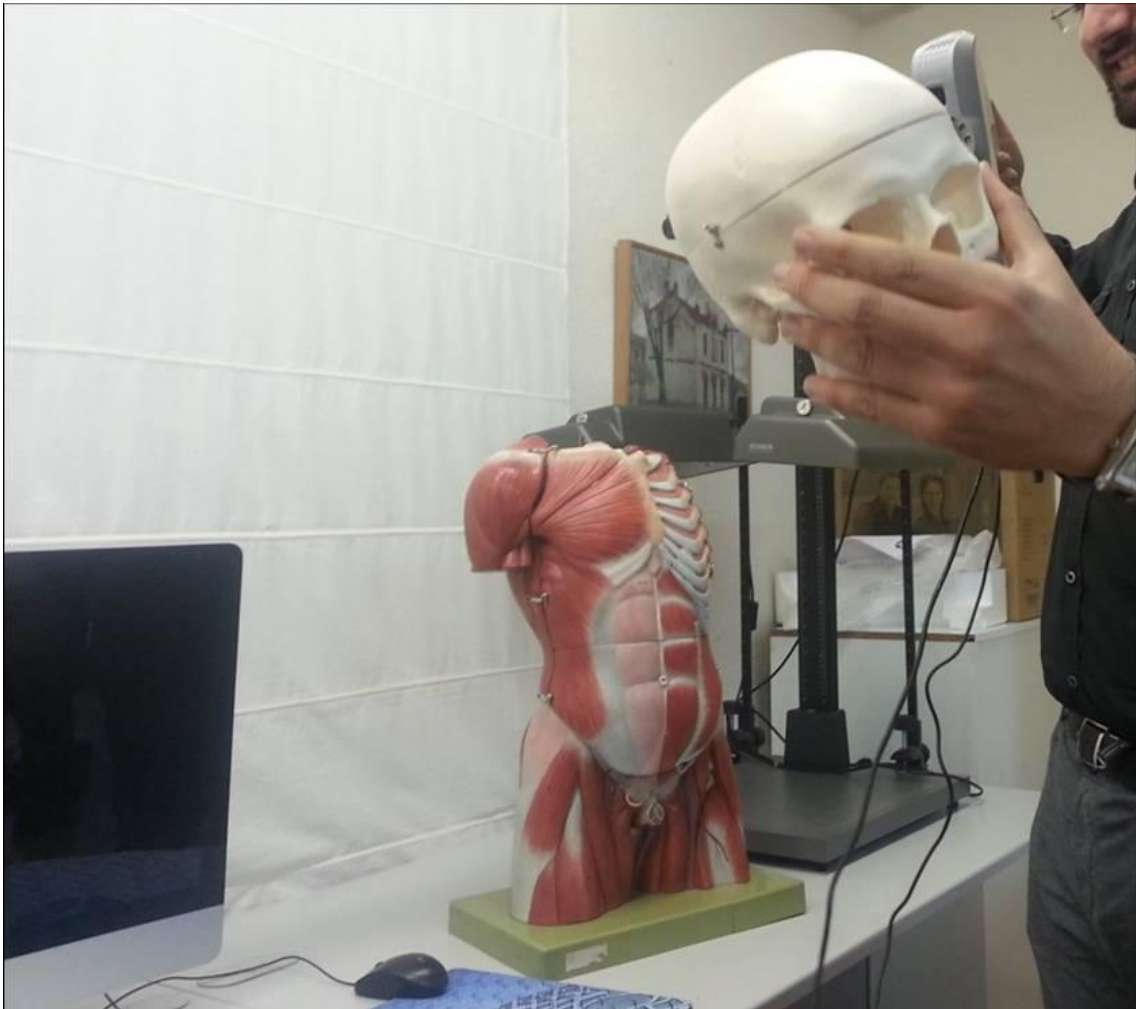






Por otra parte se emplearon dos tipos de escáneres, uno de mano y otro de brazo.

El escáner de mano utilizado para la digitalización de estructuras anatómicas, fue el modelo Artec Eva, el cual debido a sus características técnicas, permite obtener imágenes 3D en alta resolución. Tiene una capacidad de procesamiento de 4000000triangulos/1Gb Ram. La resolución 3D que nos aporta es de 0,5mm. La precisión de puntos es de 0,1 mm; la resolución de texturas 1,3 mp; la velocidad de adquisición de datos 2 millones de puntos por segundo.

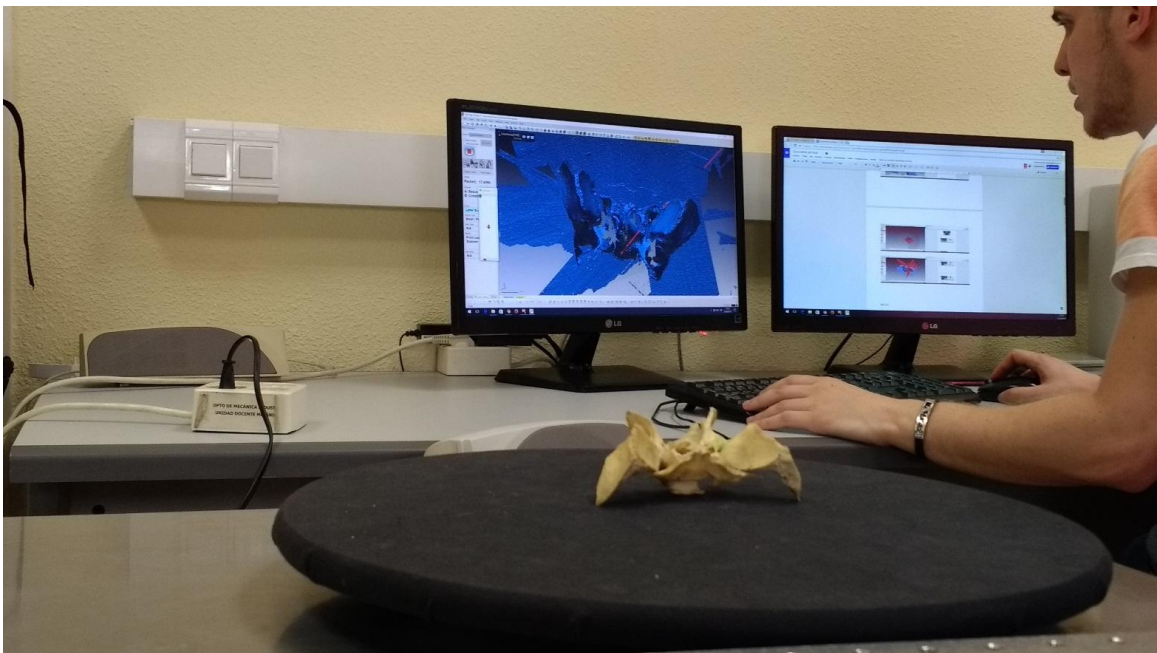
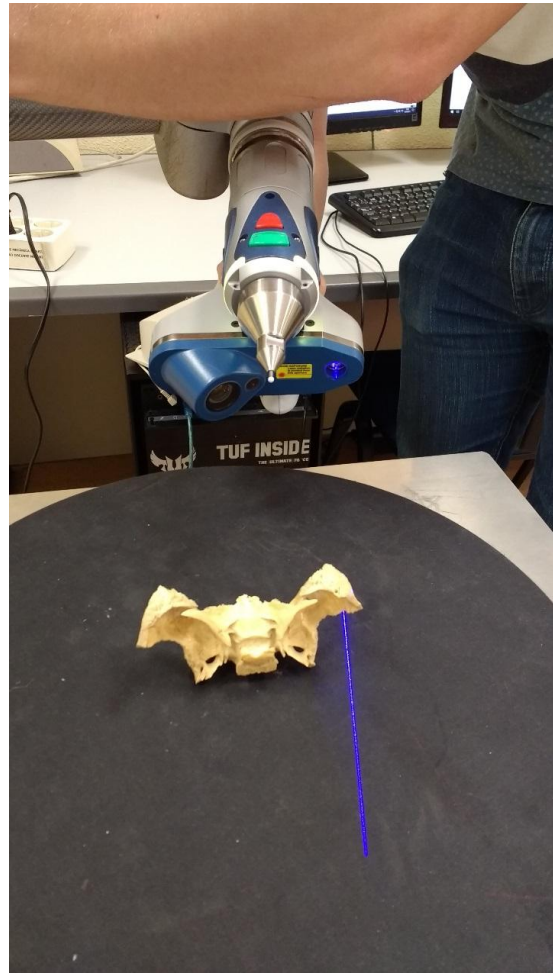
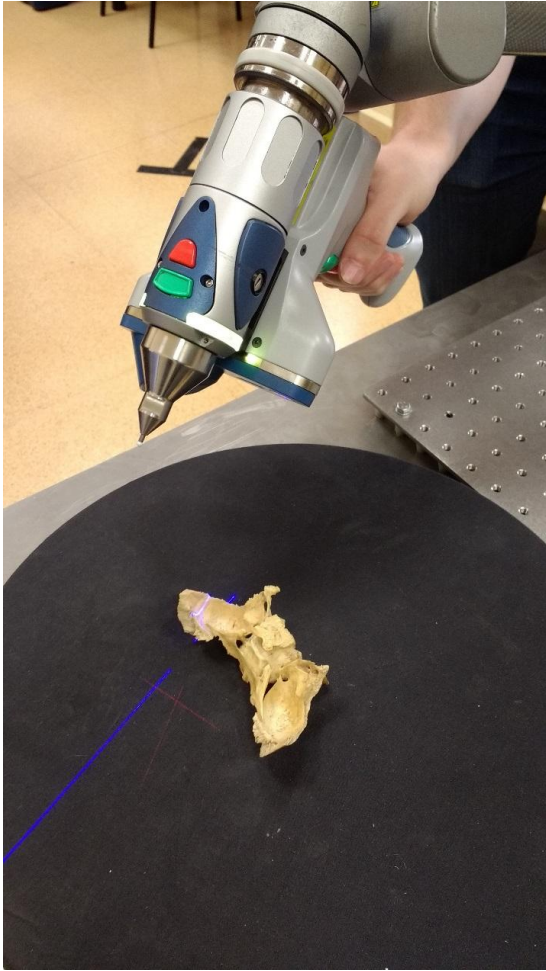


Además, también empleamos un láser escáner de brazo, modelo FaroArm Scan Platimun. Con este procedimiento, obtuvimos una nube de puntos de gran precisión y fiabilidad del modelo craneal. Dichas nubes de puntos posteriormente fueron convertidas a un formato de malla, mediante software específico de digitalización. Después del proceso de reparación y suavizado de las mallas se obtuvo el modelo anatómico final para su posterior impresión en tres dimensiones.

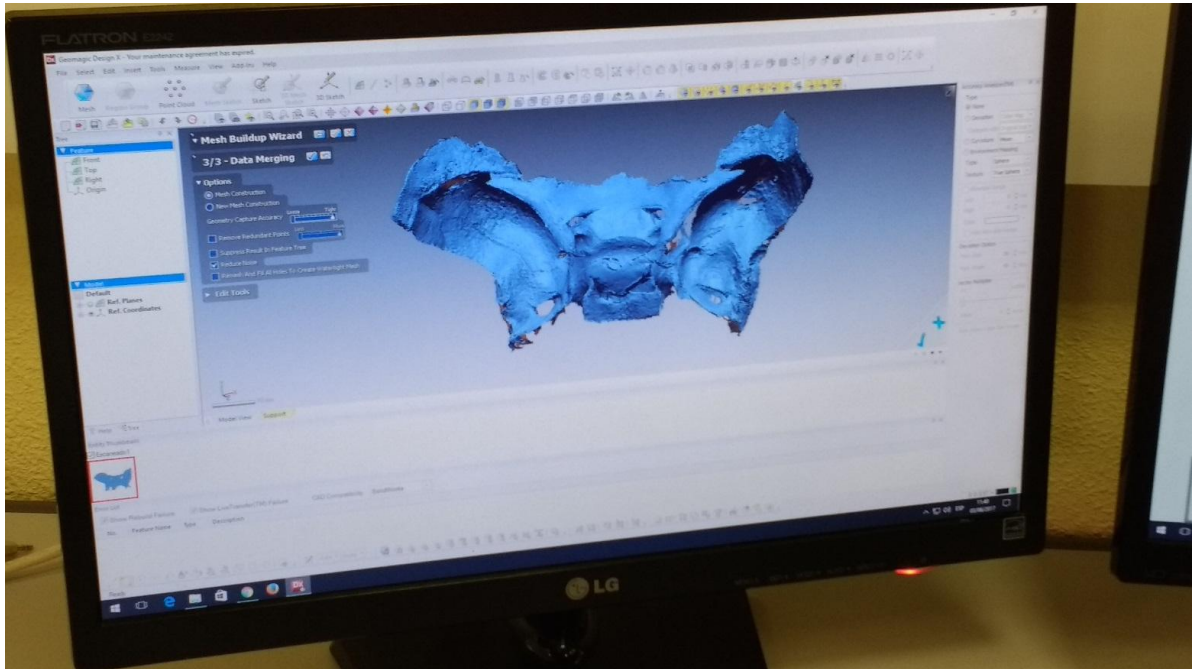


Este escáner FaroArm Scan Platimun permitió capturar nubes de puntos con un gran rendimiento de adquisición de puntos, una alta resolución y una precisión de  $+ 35 \mu\text{m}$ . Debido a la dificultad de acceso a todas las superficies, sobre todo del material óseo y su complejidad geométrica, se requirió de una preparación de utillaje específico de amarre para la obtención de múltiples nubes de puntos en diferentes posiciones para su posterior alineamiento y procesado. La nube de puntos resultante de los modelos anatómicos estuvo compuesta por millones de puntos, referenciados a un sistema de coordenadas local, que representarán con exactitud geométrica y dimensional la estructura anatómica a modelar.

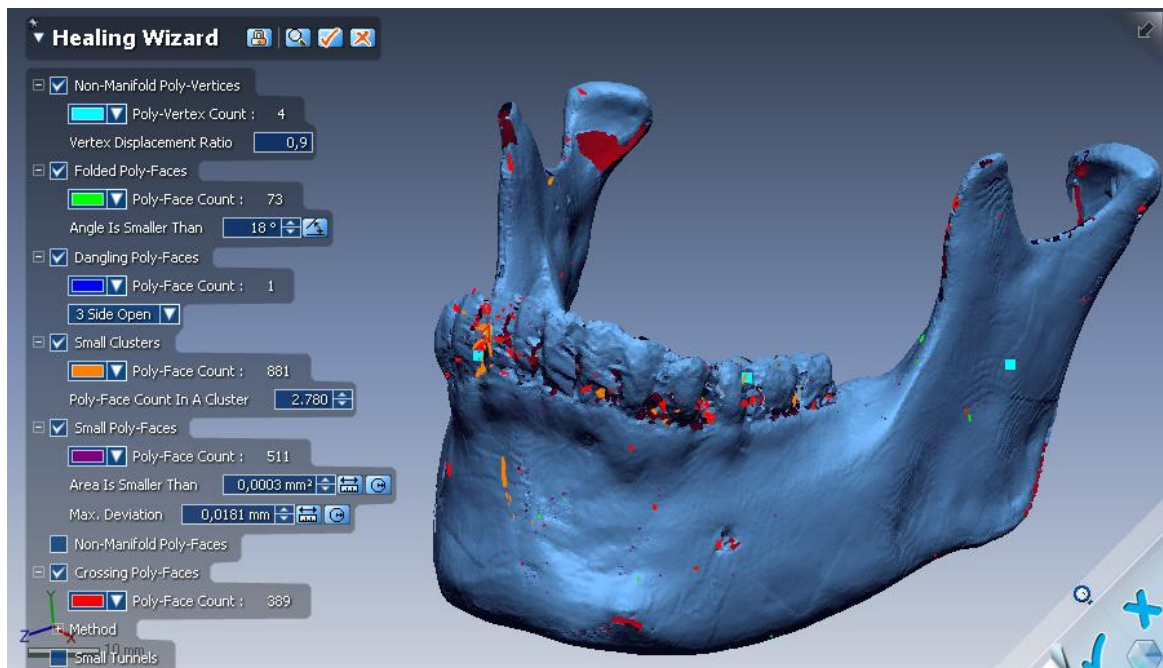




Esta nube de puntos contenía toda la información métrica necesaria del modelo anatómico digitalizado, que sirvió para el procesamiento posterior con el software Geomagic Design X; de esta forma, el proceso de mallado por triangulación de puntos de escaneo nos permitió pasar, de un modelo 3D formado únicamente por puntos, a un modelo de malla constituido por pequeños planos poligonales.



El procesado de malla requirió de diferentes pasos para llevarlo a cabo, entre los que se destacan: la eliminación de ruido superficial, la corrección de errores de solapamiento, el cierre de agujeros, el suavizado de caras y la optimización de la malla para fabricación aditiva. Una vez concluido este procedimiento, se procederá a la generación del modelo en formato .stl (STereo Lithography).

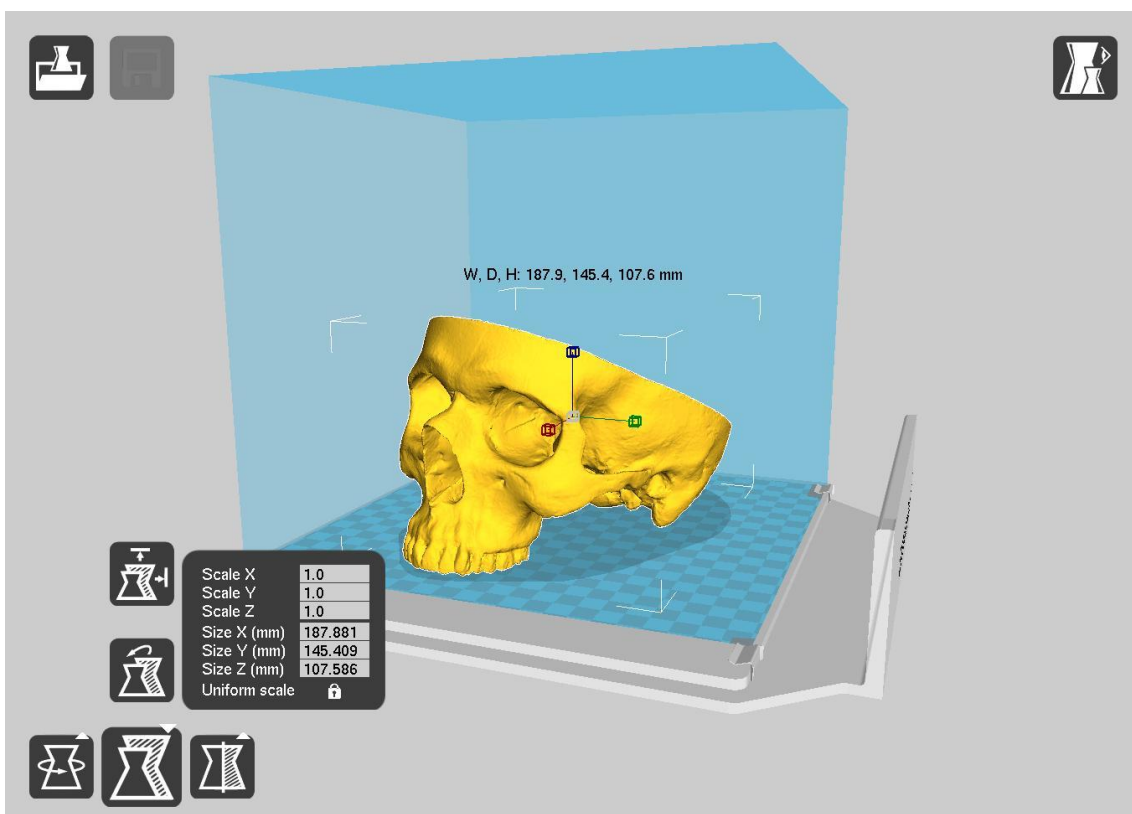
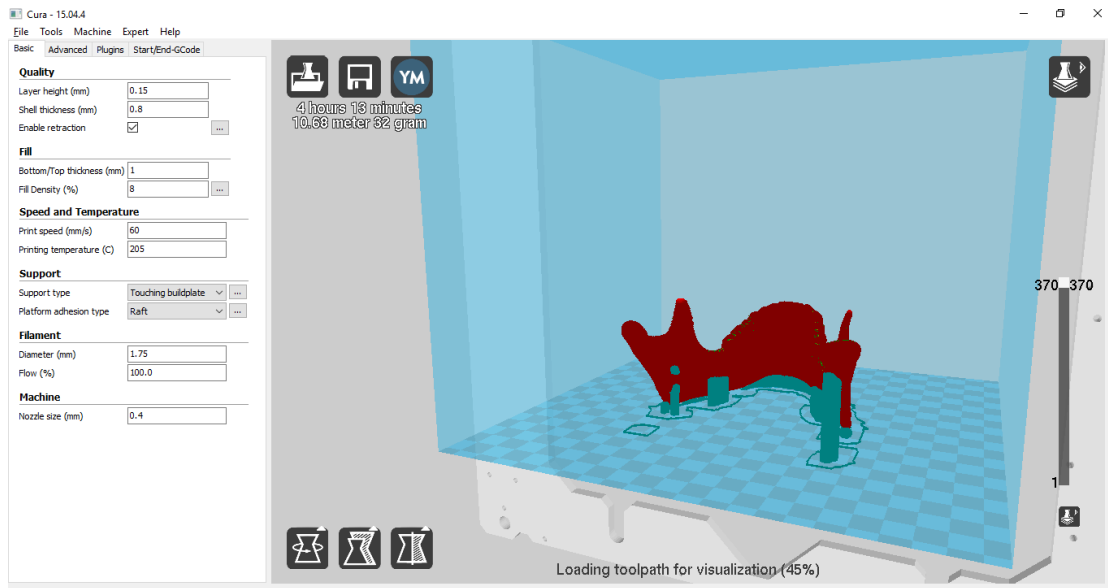


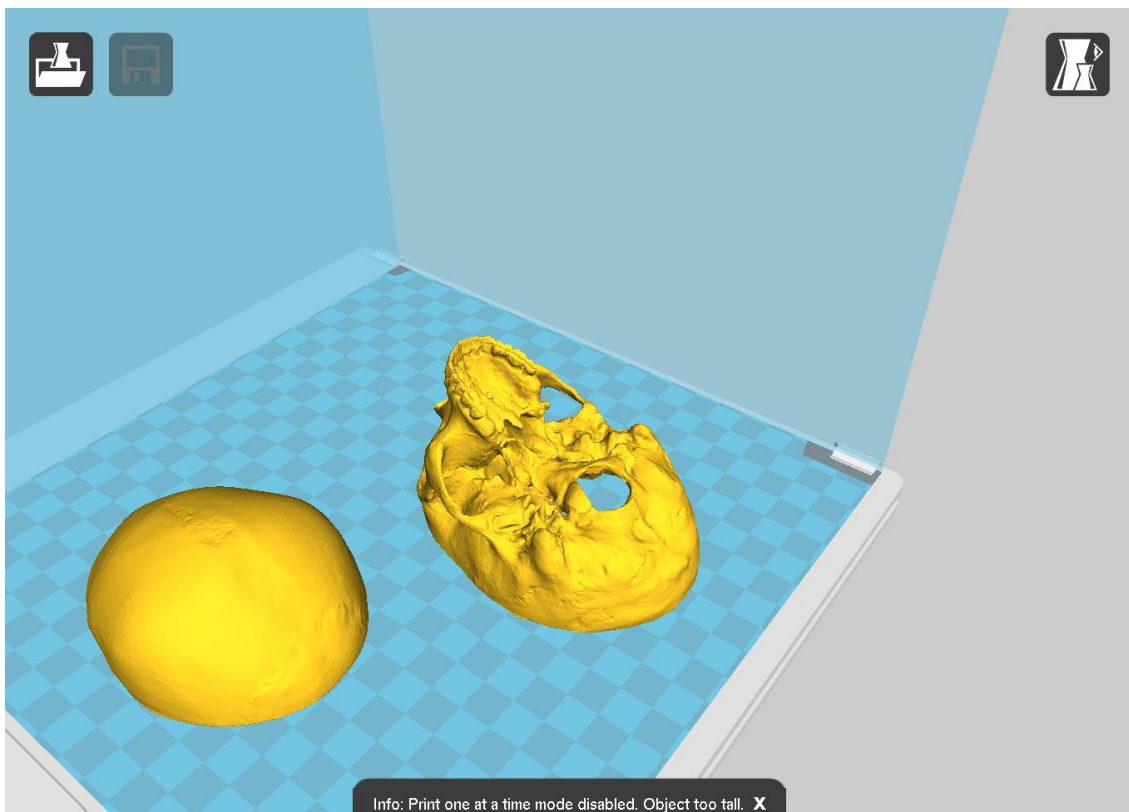
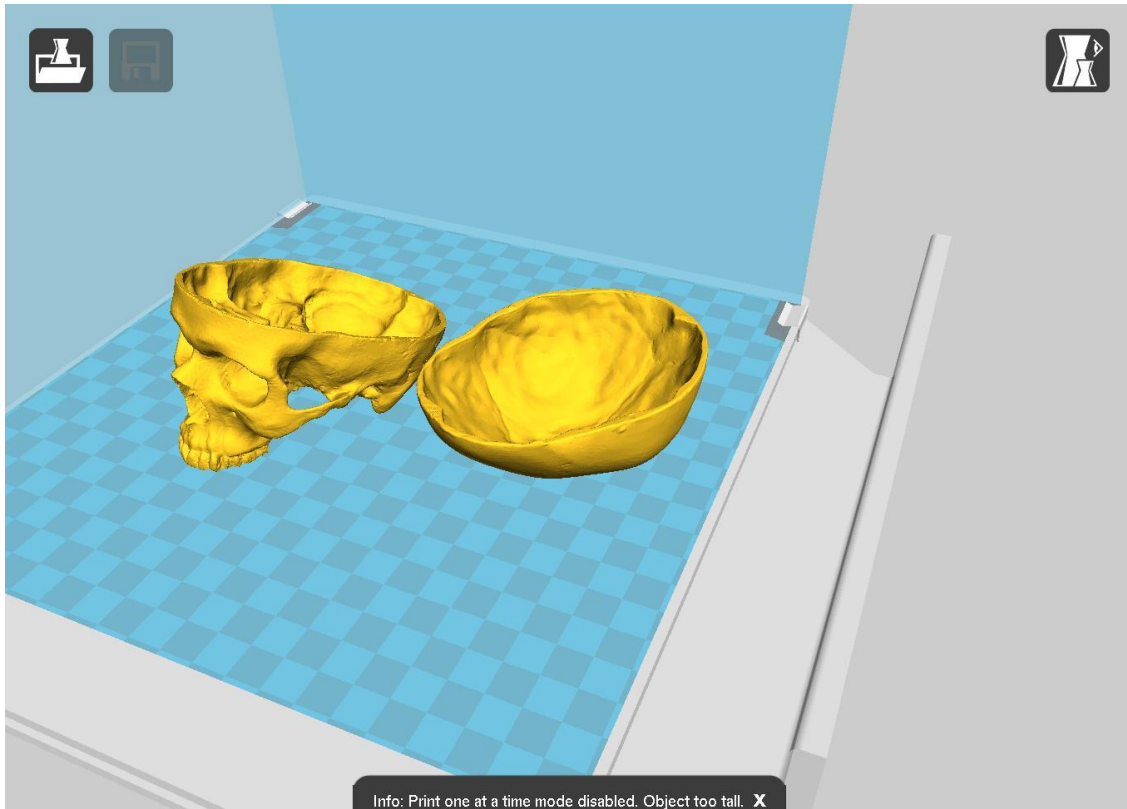
El software Geomagic Design X, soporta la importación de más de 60 formatos y permite combinar datos de diseño asistido por ordenador (CAD) con datos procesados de escaneos 3D, para poder crear así modelos sólidos y editables, como son las estructuras óseas. Design X está construido sobre un Kernel CAD (Parasolid) que le da la flexibilidad para hacer modelos CAD reales de la manera deseada.

A partir del modelo obtenido se procedió a la fabricación aditiva mediante la sucesiva superposición de capas micrométricas de un material polimérico.

Empleamos el software "CURA" (de la casa comercial Utimaker), que nos permitirá dividir en capas el modelo tridimensional, según un perfil de configuración optimizado. El proceso de laminado transfiere un diseño digital en 3D en formato STL (STereo Lithography) creándose unas capas delgadas en un plano de dos dimensiones que la impresora leerá. Tras apilar estas capas se creará el objeto. Este proceso se realizará mediante cálculos matemáticos por el software de generación de G-Code. Este código se genera de forma automática o podemos introducir modificaciones. Calculadas las trayectorias y generados los comandos, se transmite a la impresora y se inicia la creación las piezas anatómicas.







Los materiales de impresión fueron de diferentes modalidades. Uno de los más utilizados fue el PLA (Ácido Poli-Láctico) y la velocidad de impresión de 40 mm por segundo. Este material plástico termoestable, una vez que sufre el proceso de calentamiento-fusión, solidifica por láminas dando lugar al modelo final con la dureza y resistencia requeridas.

Además, se emplearon diferentes tipos de resinas que ofrecieron un excelente acabado de la pieza anatómica.



Se manejarán diferentes máquinas de impresión 3D, siendo una de ellas la impresora 3D compacta marca COLIDO y modelo X3045, que ofrece una buena calidad técnica.



Con el fin de llevar a cabo una limpieza de los modelos anatómicos impresos, se utilizó el alcohol isopropílico, este procedimiento le dio un buen acabado y un pulido a la pieza anatómica, limpiando los restos de resinas.



Para comprobar y evaluar la eficacia de las piezas anatómicas a desarrollar se llevarán a cabo pruebas evaluativas con el material elaborado, con grupos de alumnos, mediante análisis morfológico de los modelos anatómicos reconstruidos y realizando encuestas de satisfacción a los alumnos sobre el manejo del material elaborado, con el objeto de valorar y medir la eficacia de las estructuras que se modelen tridimensionalmente, comparándolas con piezas reales de nuestras salas de disección.

## **PROCEDIMIENTO**

La evaluación de este Proyecto de Innovación Docente se ha planteado desde una doble perspectiva, formativa y sumativa.

1) Desde un planteamiento sumativo, es decir, de valoración de la eficacia del proyecto de innovación, aplicamos unos criterios y unos indicadores para poder contrastar y tomar las decisiones oportunas.

Los criterios que aplicamos desde el punto de vista de una evaluación sumativa o de resultados, fueron los siguientes:

a) Calidad de los modelos anatómicos a desarrollar, desde una dimensión: técnica (simplicidad, claridad, adaptabilidad), pedagógica (motivación, adaptación a contenidos, a necesidades particulares, etc.) y funcional (nivel de eficacia para el logro de los objetivos planteados en la docencia, la relevancia de los aprendizajes que posibilita el manejo de estos materiales, la aportación metodológica que supone la aplicación para la adquisición de los aprendizajes y la relación entre el coste económico que supone su uso y su nivel de eficacia)

b) Calidad de los aprendizajes logrados

Los indicadores y sus medidas objetivas para cada uno de los criterios fueron los siguientes:

a) Escala de valoración tipo Likert para analizar la integración de estos recursos en la docencia universitaria.

b) Resultados de la aplicación de una Prueba tipo test a los estudiantes sobre conocimientos adquiridos a través del uso de los modelos anatómicos elaborados con impresoras 3D (comprobando los resultados frente al mismo test aplicado a un grupo de estudiantes que no ha accedido a estos materiales, sino que ha utilizado materiales óseos tradicionales en las clases prácticas).

2) Desde un planteamiento formativo, es decir, con el objetivo de mejorar aquellos aspectos de los modelos anatómicos tridimensionales elaborados que

se detecten más débiles, aplicamos unos criterios y unos indicadores para poder contrastar y tomar las decisiones oportunas.

a) Nivel de satisfacción hacia el material anatómico creado, por parte del profesorado y

b) Nivel de satisfacción hacia los materiales anatómicos tridimensionales desarrollados, por parte de los estudiantes

Los indicadores y su medida objetiva fueron los siguientes:

a) Encuesta de satisfacción sobre la calidad de los materiales docentes desarrollados, detectando puntos fuertes, débiles y sugerencias de mejora, por parte de los profesores involucrados en la experiencia innovadora y

a) Encuesta de satisfacción sobre la calidad de estos materiales anatómicos 3D, detectando puntos fuertes, débiles y sugerencias de mejora, por parte de los estudiantes

# RESULTADOS

En la formación en cualquier titulación de las Ciencias de la salud (Medicina, Odontología, Fisioterapia, Enfermería, Terapia Ocupacional, Podología, etc...), una de las disciplinas que más relevancia tiene en los primeros cursos de estas titulaciones es sin duda la asignatura de Anatomía Humana. Esta materia requiere de la utilización de material humano para las clases prácticas; sin embargo, es muy frecuente que este material sea escaso y esté deteriorado, por lo que muchos detalles morfológicos de estructuras corporales no se visualizan correctamente. El ejemplo más representativo de este material lo constituyen los huesos del cráneo. Estos en muchas ocasiones están rotos y carentes de detalles óseos relevantes, como se aprecian en la figura.



En este sentido la impresión tridimensional de estos huesos facilita y complementa la labor docente. Como se observa en la figura, la impresión 3D del cráneo mejoró considerablemente la visualización de todos los detalles óseos (apófisis, protuberancias, etc, entre otros muchos detalles o relieves óseos).







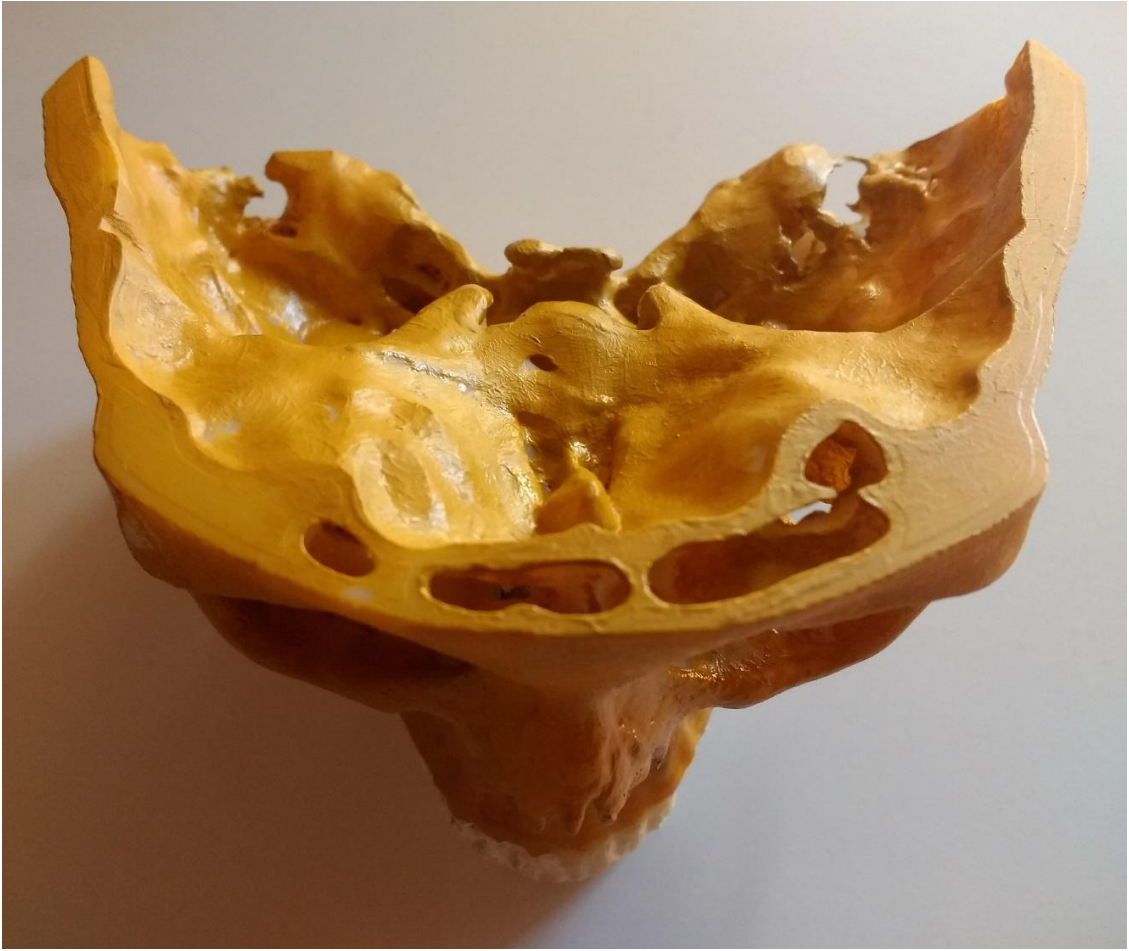
Los modelos anatómicos impresos en 3D fueron analizados en toda su morfología por anatomistas con el objetivo de valorar su eficacia para la docencia.

De esta forma hemos conseguido obtener un modelo craneal, a escala real, con todos los detalles anatómicos que en los huesos reales en ocasiones se desdibujan debido a su mal estado o deterioro con el paso del tiempo.









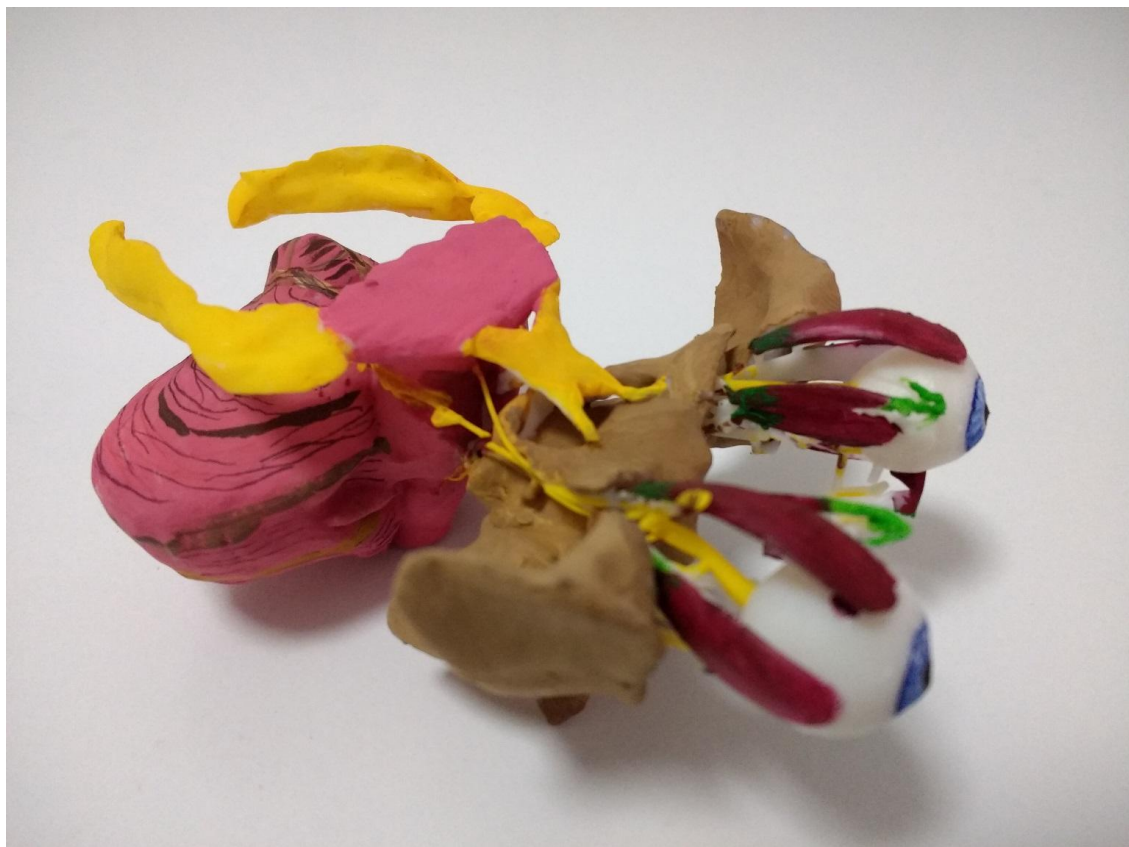


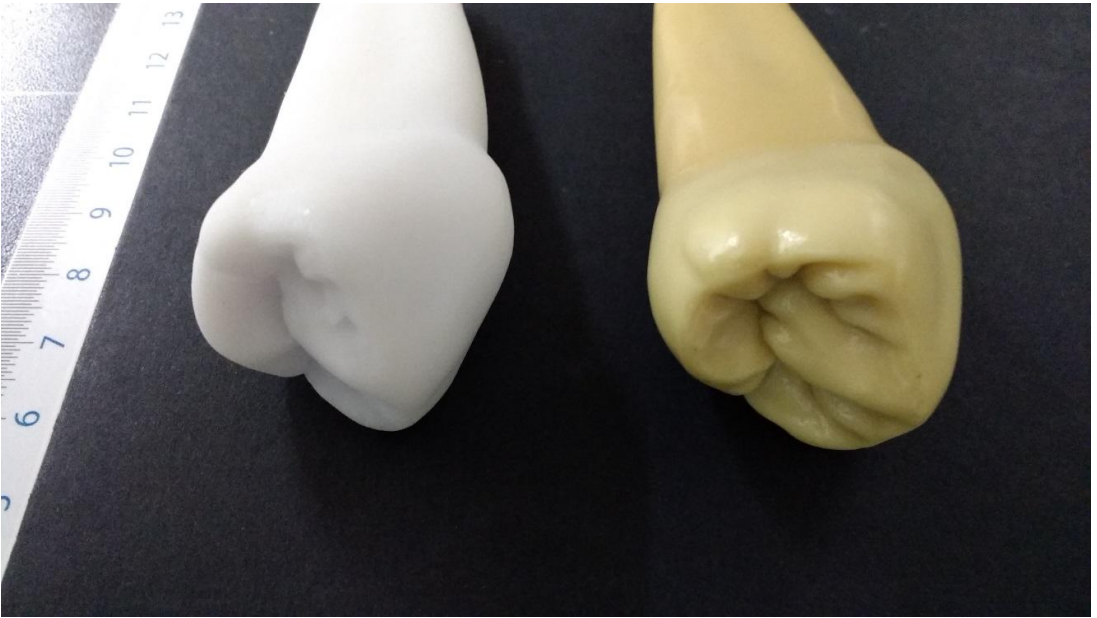












Se llevó a cabo un estudio observacional descriptivo cualitativo prospectivo.

**N= 280** (Alumnos)

- N=116 Medicina
- N=56 Enfermería
- N=42 Fisioterapia
- N=42 Terapia ocupacional
- N=24 Odontología

Los **ítems** que se han evaluado atienden a variables subjetivas de acuerdo al siguiente esquema:

1. Sexo
2. Consideración de utilización de huesos reales en las prácticas
3. Estado del material
4. Material en peor estado de conservación
5. Capacidad para identificar accidentes óseos en el material de prácticas
6. Preferencia por material gráfico a material real.
7. Grado de visualización de accidentes óseos en huesos 3D (diseñado)
8. Grado de realismo de la pieza 3D con relación a la real.
9. Grado de necesidad de tener un almacén de huesos para prácticas en 3D.

Para la recogida de datos, se diseñó una **encuesta de satisfacción** tipo Likert (5 puntos) para valorar la opinión en alumnos que reciben la asignatura de Anatomía Humana, cuyas prácticas se llevan a cabo en las salas de disección anatómica, con materiales óseos reales y de impresión 3D. .

Emplearemos la escala Likert, que nos permite medir y conocer el grado de conformidad del estudiante con cualquier afirmación que le proponemos.

Utilizamos este tipo de escala porque presenta unas ventajas interesantes a la hora de confeccionarla y de analizar los datos obtenidos. Además, desde el punto de vista del diseño del cuestionario, es una escala fácil de construir. Por otra parte, ofrecemos al encuestado la facilidad de poder graduar su opinión ante afirmaciones complejas.

<b>Tabla 1. Likert (5 puntos),</b>				
(1) Totalmente en desacuerdo	(2) En desacuerdo	(3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo	(4) De acuerdo	(5) Totalmente de acuerdo

<b>Tabla 2. Encuesta satisfacción alumnos</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1. Titulación					
2. Sexo					
3. Es oportuno utilizar huesos reales en las prácticas?					
4. El material óseo está buen estado?					
5. Qué piezas óseas están en peor estado?					
6. Identifico bien todos los accidentes óseos en el hueso real?					
7. Prefiero los atlas para el estudio de los huesos					
8. Los huesos impresos en 3D permiten ver bien los detalles óseos					
9. El material de impresión simula bien la pieza ósea real					
10. Me gustaría disponer de una osteoteca personal con impresión 3D					

Analizamos los datos estadísticos obtenidos en nuestro trabajo con el programa estadístico de IBM SPSS versión 22.

- ✓ Por sexos, destaca las diferencias significativas entre las mujeres que estudian Ciencias de la Salud frente a hombres con un 74,7% de media. (Medicina 75,9%); (Enfermería: 80,4%); (Fisioterapia: 64%); Terapia Ocupacional (81,4%); (Odontología: 62,5%) (gráfico 1)

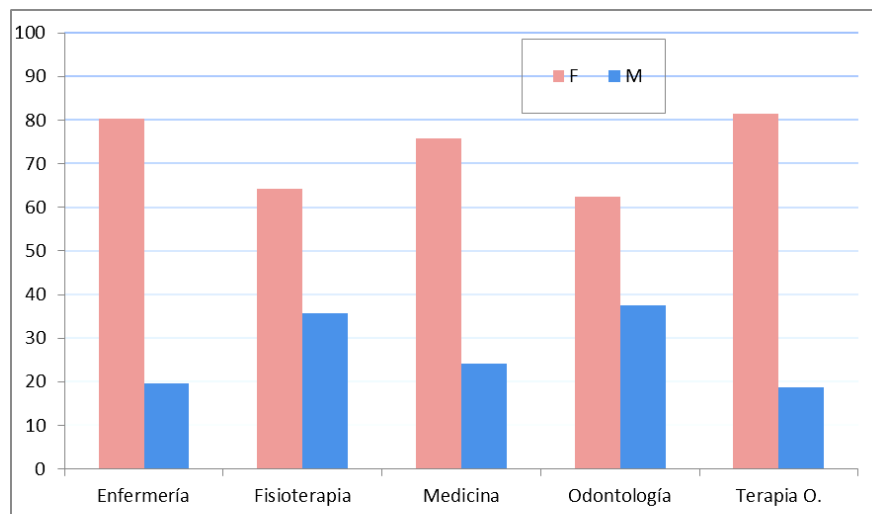


Gráfico 1: Sexo

De forma global, describiremos los resultados obtenidos en los ítems analizados:

- Ítem: 2, *Consideración de utilización de huesos reales en las prácticas*, 84,3% se muestra totalmente satisfecho. (gráfico 2)

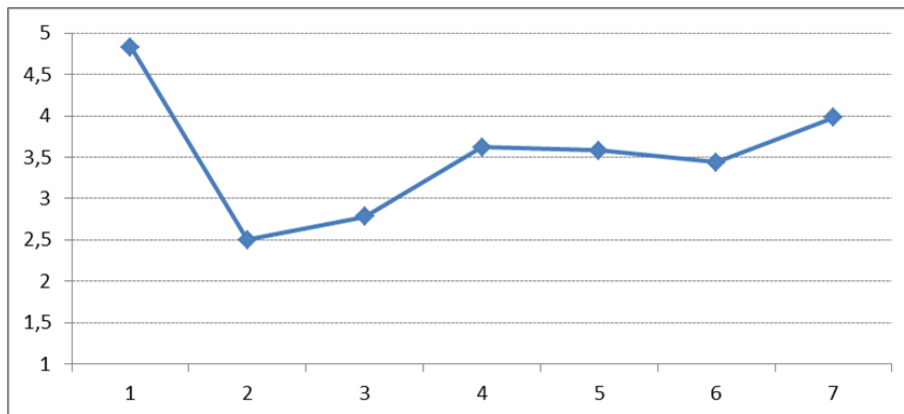


Gráfico 2: Utilización material real en prácticas

- Ítem 3 - 4: *Estado del material – material en peor estado de conservación*; el 41,3% de los alumnos se muestran indiferente, sin embargo la media aritmética en la muestra da 2,50/5 lo cual ratifica que el material está considerado con un perfil bajo de conservación, siendo el peor considerado el cráneo en general, siendo otras piezas como tórax, vértebras, huesos cortos etc., también mal valorados como estado de conservación (gráfico 3).

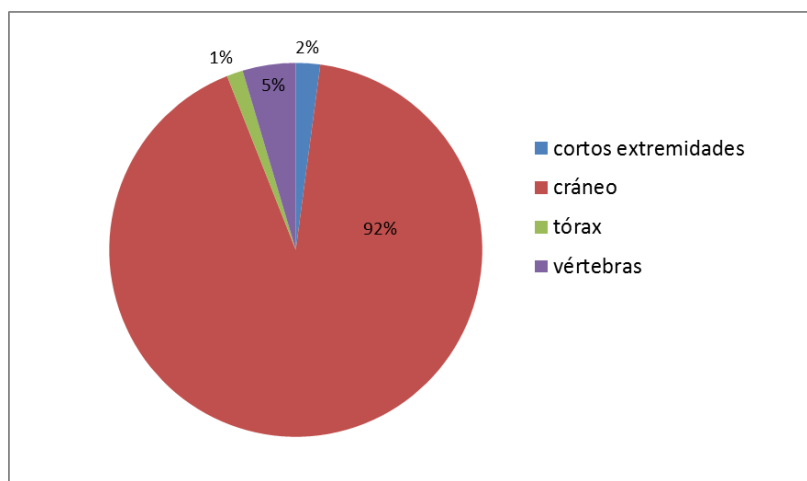


Gráfico 3: Pieza ósea de prácticas peor conservado

- Ítem 5: *Capacidad para identificar accidentes óseos en el material de prácticas en piezas óseas reales*; el 68%, se muestra indiferente, siendo la media de 2,78/5, lo cual refleja que gran parte de los alumnos/as tienen dificultades para identificar los accidentes óseos en el material en general. (gráfico 4)

- *Item 7: Grado de visualización de accidentes óseos en huesos 3D (diseñado);* El 48,8% dice estar satisfecho en la visualización de los accidentes óseos, así mismo un 39,3% le es indiferente, por lo que el grado de satisfacción de visualización es discretamente mejor en las piezas diseñadas en 3D que en las reales. (gráfico 4)

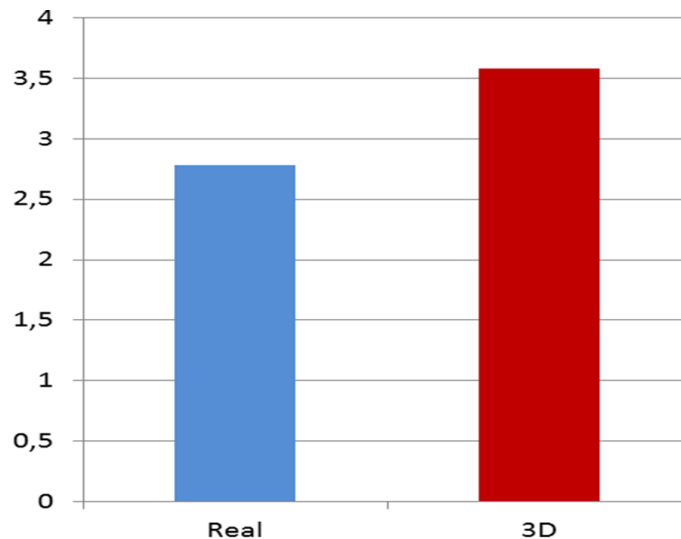


Gráfico 4: Diferencias de visualización de accidentes óseos en piezas de prácticas

- *Item 6: Preferencia por material gráfico a material real;* Un 48,0% estar satisfecho con el material gráfico mientras que un 42,7% le es indiferente, por lo que este material didáctico es bien aceptado por los alumnos en cualquiera de los casos.
- *Item 8: Grado de realismo de la pieza 3D con relación a la real.* El 45,6% dice estar satisfecho con el nivel de realismo de las piezas diseñadas en 3D, y un 43,4% manifiesta indiferencia, el resultado es 3,44/5, por lo que es aceptable la simulación del material diseñado con respecto al biológico. (gráfico 5)

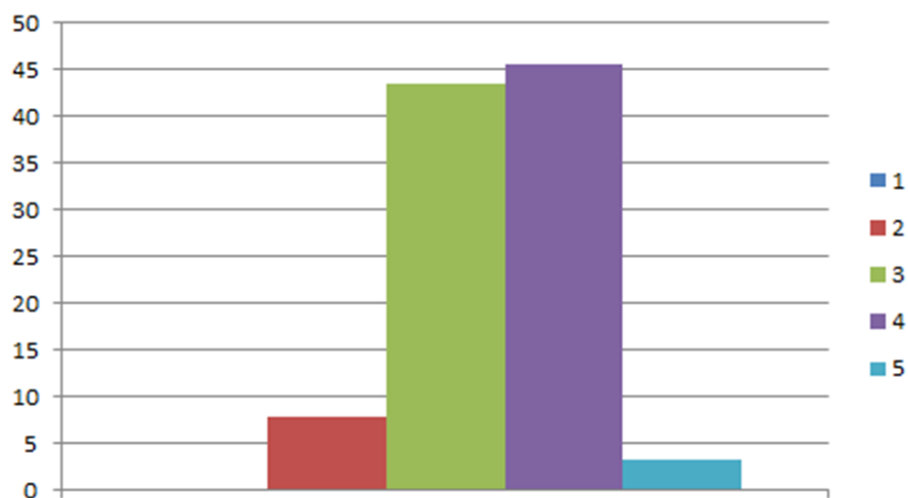
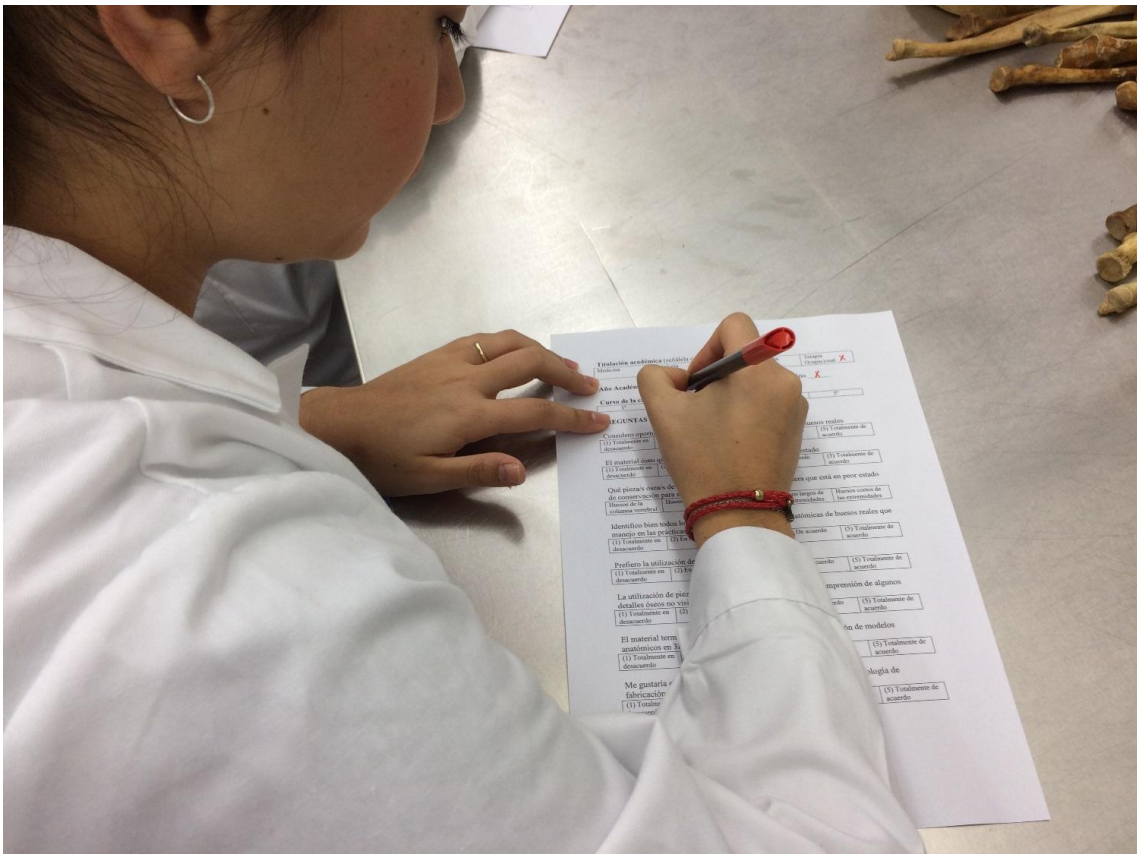
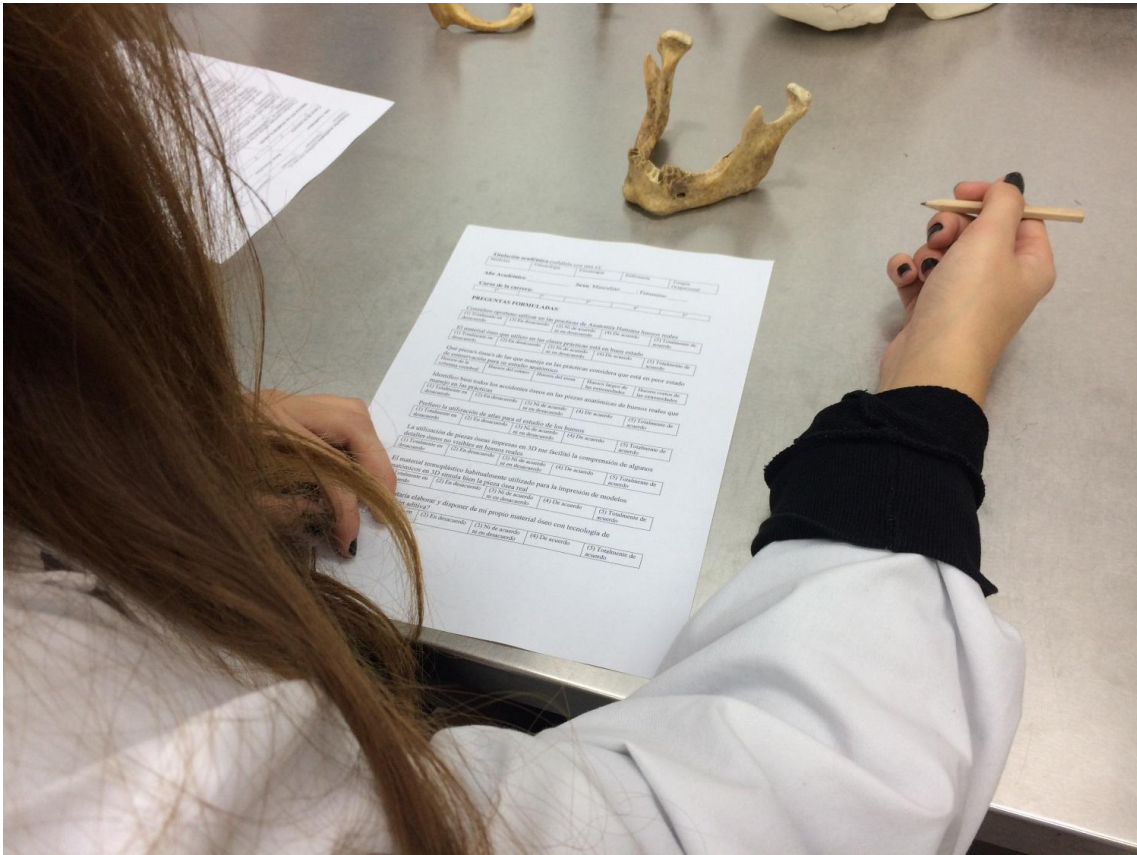


Gráfico 5: Grado realismo de la pieza 3D con relación a la real



- *Item 9: Grado de necesidad de tener un almacén de huesos para prácticas en 3D. Un 65%, manifiesta estar de acuerdo con tener una “osteoteca”, para el material 3D de prácticas de anatomía.*



El fin principal del estudio de anatomía por los estudiantes es la adquirir la capacidad de identificar y distinguir las estructuras anatómicas. En cuanto al sistema óseo lo más importante es identificar los accidentes óseos que presentan los huesos. Cuando el deterioro de los huesos es importante estos no cumplen los parámetros necesarios para su utilización en la enseñanza de anatomía en las facultades de Ciencias de la Salud y se hace necesario el apoyo didáctico de los modelos 3D . En nuestro trabajo los estudiantes valoran positivamente la calidad de los modelos 3D que les permiten una buena identificación de los accidentes óseos.

El empleo de material procedente de cadáver y el uso de salas de disección en el aprendizaje de anatomía por los alumnos de Ciencias de salud es defendido por varios autores otros autores defienden el empleo de las nuevas tecnologías 3D en imagen y modelos 3D para este aprendizaje y son varios estudios los que ponderan la necesidad de combinar ambos para adquirir un mayor conocimiento anatómico por los estudiantes. Algunos autores defienden que no hay estudios suficientes y profundos de la eficacia de los modelos 3D o imágenes 3D en la enseñanza de anatomía

Los modelos 3D óseos son una alternativa a los huesos procedentes de cadáveres porque proporcionan detalles anatómicos definidos y el estudiante identifica fácilmente los accidentes óseos que necesita conocer, además son reproducibles por lo que pueden ser empleado para el estudio de anatomía en las Facultades de Ciencias de la Salud

Son recientes los estudios relacionados con el impacto de los modelos 3D en el estudio de anatomía. indicaron que los modelos 3D para el estudio de la anatomía cardiaca , presentan ciertos beneficios al aprendizaje de la anatomía y respalda su uso indica un valor positivo para los modelos 3D pero no para las imágenes 3D en el estudio de anatomía sobre todo para estudiantes con poca capacidad visual tridimensional. Diez estudiantes de otorrinolaringología valoraron la generación de un hueso temporal impreso en 3D siguiendo un algoritmo patentado que desconstruye el modelo digital en cortes antes de la impresión 3D y su utilidad en el aprendizaje, siendo este positivo. Crearon un modelo 3D de la extremidad superior multicolor y multimaterial y valoraron mediante una encuesta a 15 estudiantes que era positivo su utilización en el estudio de anatomía.

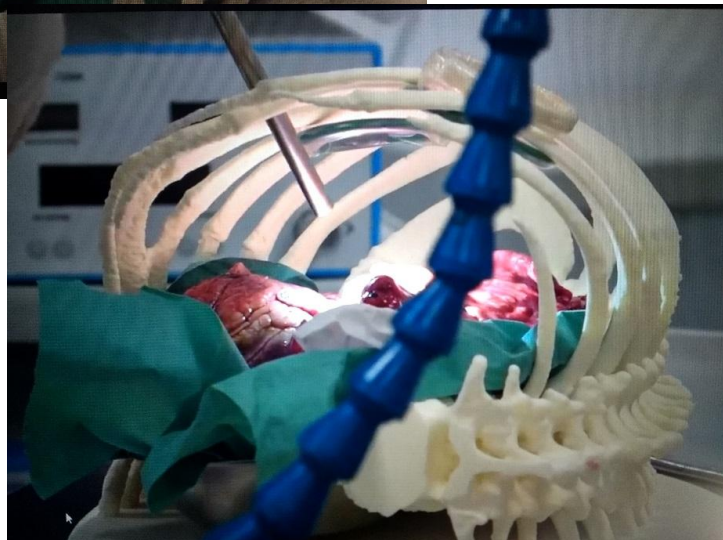
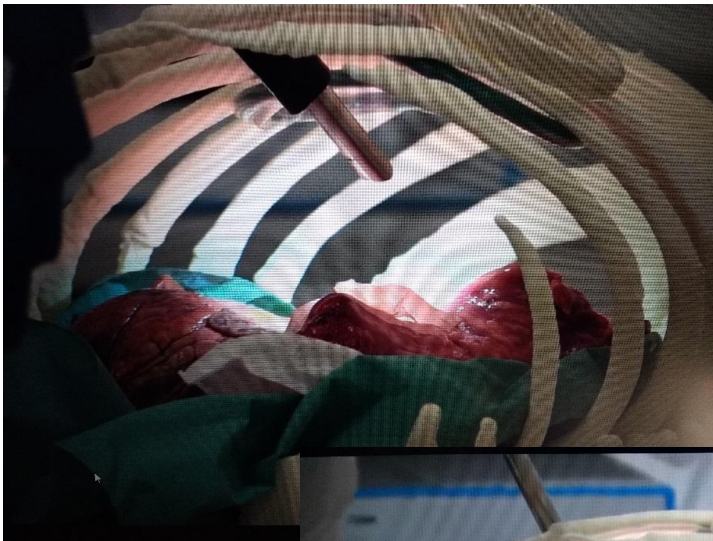


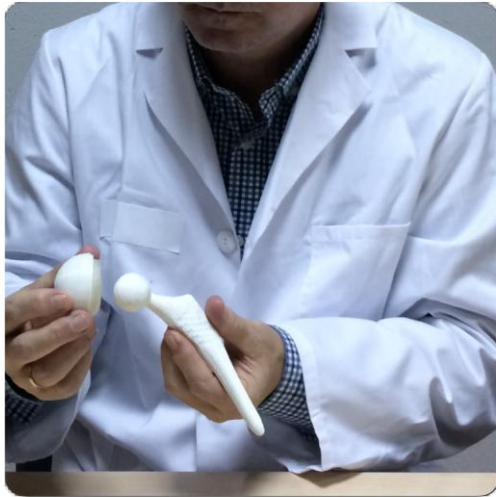
## Aplicaciones quirúrgicas de piezas impresas en 3D

La Traumatología y la Ortopedia son dos de las especialidades médicas donde más se está aprovechando la impresión en 3D. Gracias a esta tecnología se ha llevado a cabo la reproducción de huesos y en la creación de prótesis personalizadas y adaptadas a las necesidades específicas de cada paciente: reemplazos de cadera, reconstrucción de rodilla, cajas torácicas, reconstrucción de cráneos, etc, etc.....

Desde el punto de vista quirúrgico, el poder disponer de un modelo físico, impreso en 3D, resulta muy útil de cara a optimizar el diseño, analizar diversas soluciones e identificar posibles problemas que pudiesen surgir durante una intervención quirúrgica. Estos modelos impresos tridimensionalmente se pueden utilizar como banco de pruebas sobre el cual implantar, a modo de ensayo, por ejemplo una prótesis, de cara a asegurar la adecuación geométrica dimensional de la misma, junto con el análisis de los ajustes o actuaciones a efectuar sobre el hueso del paciente de cara a establecer un protocolo que asegure el correcto ajuste de la misma.

La impresión 3D está encontrando un nicho de desarrollo muy importante en el mundo médico. Las características propias de la tecnología permiten realizar modelos muy complejos, totalmente personalizados para cada paciente.





## **Ejemplo práctico de aplicación quirúrgica de un implante impreso en 3D**

Presentamos un desarrollo llevado a cabo en el Servicio de cirugía torácica del Complejo Asistencial Universitario de Salamanca. Las figuras siguientes ofrecen una visión aproximada de todo el proceso llevado a cabo así como la implantación, de la prótesis generada, sobre el paciente. Se procedió al desarrollo y fabricación, de una prótesis torácica implantable y personalizada a los requisitos de un paciente concreto. Para ello se desarrolló un modelo CAD 3D de la región torácica, a partir de un archivo radiológico de imágenes en formato DICOM, sobre el cual se pudo llevar a cabo el diseño adaptativo para fabricación aditiva.

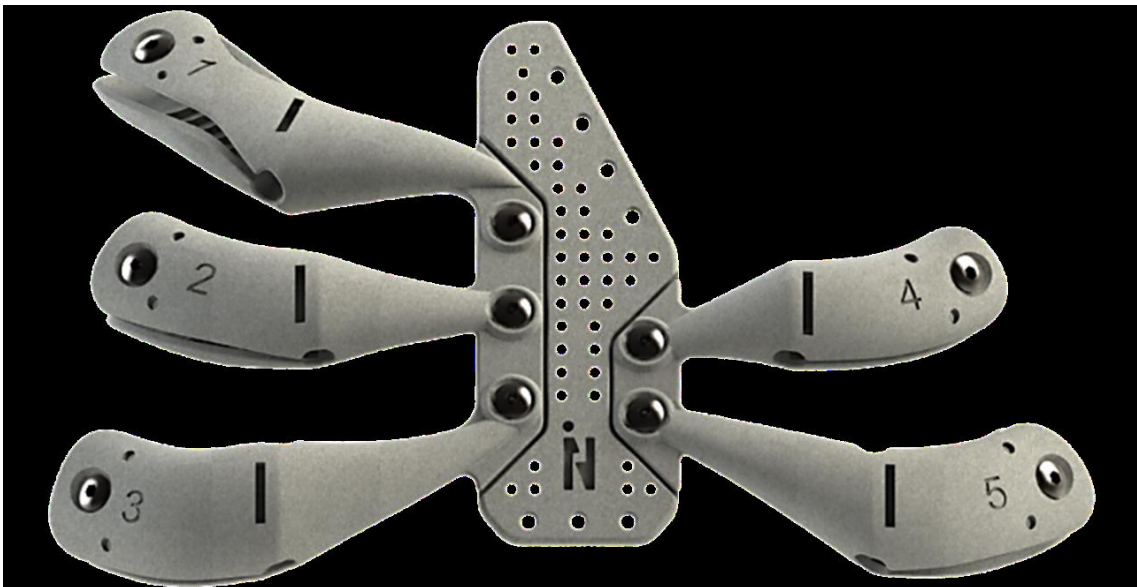
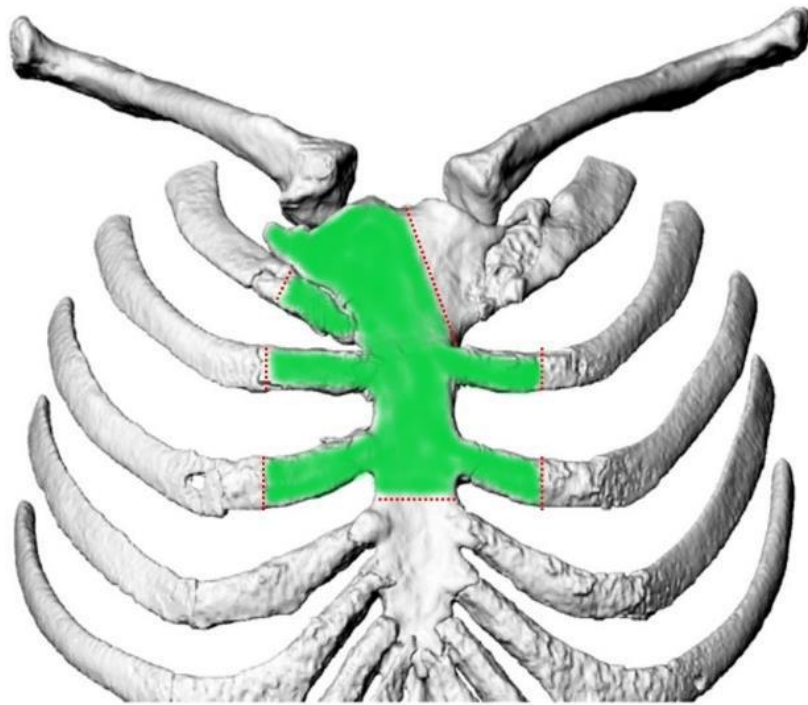
Además, se diseñó un sistema guía de corte, a medida del desarrollo planteado, que facilitara el proceso de implantación de la prótesis en la fase quirúrgica. Se fabricó una guía de corte que facilitara la actividad quirúrgica durante la operación de implantación de la prótesis.

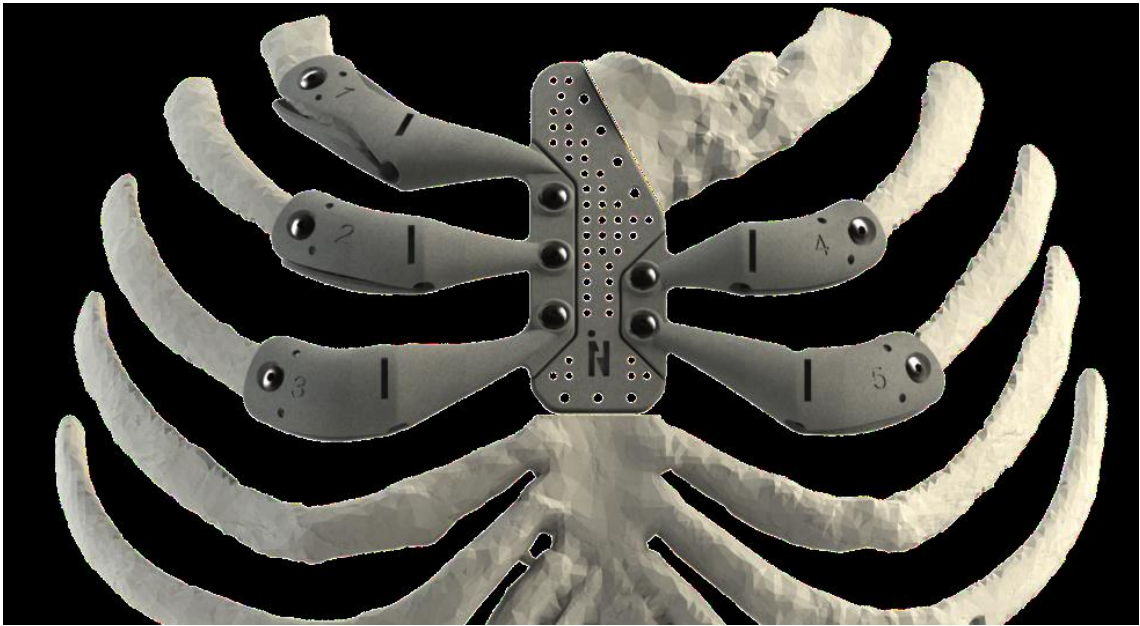
En base al modelo torácico tridimensional generado, descrito sobre estas líneas, el equipo médico procedió a definir la zona de resección en base a la cual se realizaron, con posterioridad, los diseños y desarrollos tanto de la prótesis torácica como de la guía de corte de apoyo a la cirugía.

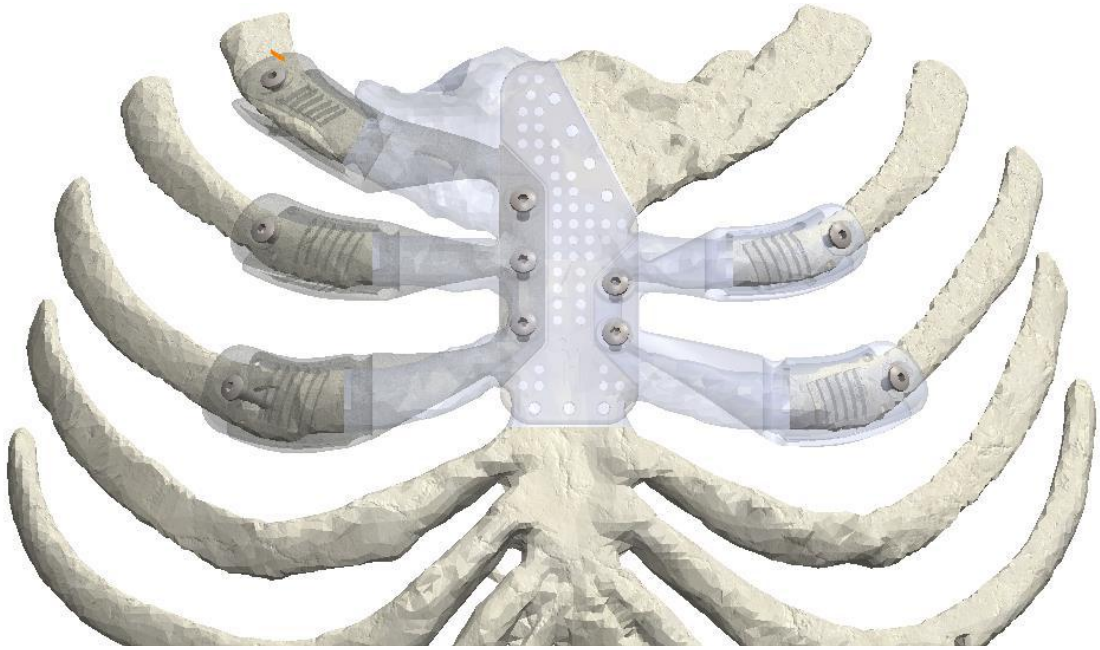
La figura muestra en detalle la zona en la cual se ubicará la prótesis (color verde) junto con las dimensiones de la misma en base a las zonas de corte.

Los elementos de anclaje de la prótesis al esternón del paciente tuvieron una geometría tal que permitió que la costilla del paciente encajase en los mismos. En este marco se planteó utilizar elementos con geometría tipo tulipa, capaz de envolver en su interior el hueso.









## **Aplicaciones de la impresión 3D en Traumatología: Férulas.**

Afortunadamente se están empezando a incorporar nuevas tecnologías a la medicina que mejoran la inmovilización de una determinada lesión tipo fractura. En este sentido una de las nuevas tecnologías es la impresión 3D, que en este caso llega para ofrecer un sustituto al yeso mucho más efectivo: la férula plástica impresa en 3D.

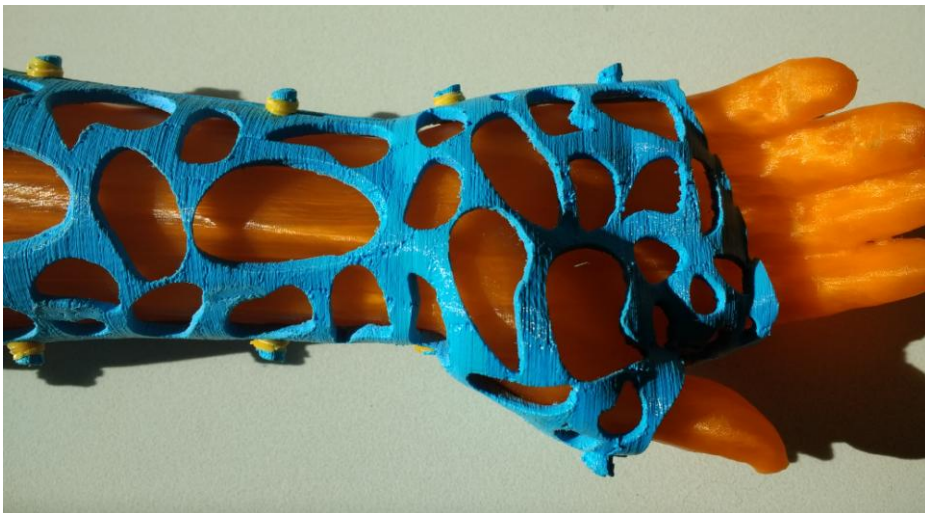
La comodidad de este tipo de férulas en comparación con los clásicos yesos o escayolas ya es motivo suficiente para incorporarlas.

Uno de los puntos a favor es que ayudan a acelerar la recuperación, ya que permiten la incorporación de electrodos para realizar terapias de electroestimulación que evitan que el músculo inmovilizado se atrofie durante el tratamiento.

Los variables diseños de las férulas impresas en 3D permiten que los médicos puedan quitarlas y ponerlas durante el tratamiento para observar la evolución de la lesión. Asimismo, los pacientes pueden abrir y cerrar su propia férula para introducir los electrodos pautados en la terapia de electroestimulación sin necesidad de acudir al hospital.

En las siguientes imágenes mostramos unos ejemplos de férulas que hemos reconstruido con impresión 3D.





Son muchas las ventajas que ofrecen las férulas impresas en 3D; entre las más relevantes destacamos las siguientes:

Son livianas.

Se pueden mojar.

Están hechas a medida del paciente y se adaptan a su anatomía.

El diseño del patrón permite generar más resistencia en los puntos necesarios y permitir mayor comodidad en otros.

No producen picazón ni tienen bordes que puedan molestar.

Permiten la circulación de aire, por lo que no dan calor ni generan olor.

Pueden abrirse y cerrarse para revisar la evolución de la lesión.

Permiten realizar electroestimulación para que no se atrofie el músculo.

Ocupan muy poco lugar, por lo que pueden ser cubiertas con la ropa cotidiana del paciente.

Son estéticamente bonitas y novedosas, por lo que no incomodan estéticamente cuando están en zonas del cuerpo expuestas a la vista.

La medicina tiene un buen pilar en las técnicas y herramientas que le ofrece la ingeniería industrial (Anderson, 2010). Gracias a esta colaboración se están construyendo materiales médicos muy valiosos tanto para la docencia de la medicina como para la práctica quirúrgica (McGurk et al., 1997; Hieu et al., 2003; Suzuki et al., 2004; Hurson et al., 2007; Drstvensek et al., 2008; Bagaria et al., 2011; Yih-Lin et al., 2012; Zhao et al., 2012).

La utilización de diferentes parámetros matemáticos para el desarrollo de piezas anatómicas constituye hoy día un avance tecnológico en ciencias de la salud al permitir elaborar así estructuras corporales sintéticas que sirven de apoyo a la formación médica (McGurk et al., 1997) y en las simulaciones quirúrgicas, como entornos o sistemas de entrenamiento previo a una intervención (Potamianos, 1998; Hieu et al., 2003; Suzuki et al., 2004; Hurson et al., 2007; Mavili et al., 2007; Drstvensek et al., 2008; Diaz y Lafont, 2012).

En este sentido, es evidente que el trabajo conjunto entre facultativos de diferentes especialidades médicas e ingenieros industriales, permitirán una productiva generación de modelos anatómicos de gran utilidad práctica en diversos campos de la medicina.

Las diversas técnicas que se desarrollan desde la Ingeniería Industrial, como ayuda en los diferentes aspectos de la Medicina, están consiguiendo excelentes resultados en la confección de dispositivos y procedimientos que mejoran la práctica clínica. Un claro ejemplo de la aportación que la ingeniería industrial hace a la medicina es la generación de prótesis, ortesis y dispositivos de terapia ocupacional (Potamianos et al., 1998; Hurson et al., 2007). En el campo de la cirugía, la ingeniería industrial también está jugando un papel importante en la creación de instrumentos para cirugías mínimamente invasivas, implantes artificiales, microcámaras, robots, etc... (Wagner et al., 2004; Suzuki et al., 2004; Zhao et al., 2012).

Las aplicaciones de la impresión 3D en el campo de la medicina están cada día en aumento, abriéndose nuevas líneas de investigación (Waran et al., 2012). No cabe duda, que en un futuro la verdadera revolución de la impresión 3D será la rapidez con la que esta tecnología se transformará en algo usual e incluso esencial en la vida cotidiana. Por tanto, una de las aplicaciones más

relevantes en el futuro será en la medicina reconstructiva o en la ortopedia, ya que con las bioimpresoras tridimensionales los cirujanos tendrán a su disposición implantes y hasta órganos humanos personalizados. En este sentido, la progresión de estas técnicas de ingeniería industrial aplicadas en medicina traerá la posibilidad de crear órganos adaptados a cada caso concreto y colocarlos por un procedimiento análogo al de las técnicas de implantología dentaria. Desde la aparición de las primeras prótesis utilizadas, va a haber un antes y un después con la utilización de la impresión en 3D. No solo permite que los materiales sean más ligeros, sino que además la prótesis se crea con el tamaño y la forma que el paciente necesita exactamente, lográndose de esta forma una mejor adaptación a su uso. En este sentido, recientemente se empiezan a ver muchos proyectos de investigación basados en la creación de partes artificiales del cuerpo humano con el objetivo de reemplazar órganos dañados por accidentes o por alguna enfermedad grave. La utilización de materiales termoplásticos, permiten generar modelos anatómicos por inyección, que proporcionan una enorme flexibilidad en la ejecución geométrica de las piezas óseas moldeadas; lo que supone un buen campo para la aplicación en la práctica de la docencia de la anatomía humana, así como la posibilidad de construir otras estructuras como prótesis que permitan sustituir, en un futuro, a las tradicionales prótesis que se emplean; pudiendo ser fabricadas de manera más personalizadas.

Los avances en impresión de tejidos van encaminados a poder disponer en un futuro cercano de órganos que se puedan implantar y que sean compatibles en los pacientes que necesiten un trasplante urgente (Huixia et al., 2010; Derby, 2012). La impresora Bioprinter, desarrollada por la compañía estadounidense Organovo, en colaboración con la australiana Invetech permitirá reproducir tejidos u órganos gracias a la multiplicación de sus células en impresoras 3D. Tengion es otra empresa que recientemente ha presentado otro modelo de impresora 3D de órganos.



Nuestros resultados han sido posibles gracias al esfuerzo conjunto que venimos desarrollando nuestra red de trabajo, en materia de investigación, diseño y desarrollo en favor de promover la incorporación de innovaciones a la producción industrial y la generación de aplicaciones no convencionales de las tecnologías de manufactura digital. En un futuro no muy lejano, la manufactura aditiva no dejará indiferente a ningún sector porque conllevará una nueva revolución industrial y tecnológica semejante a cuando apareció en nuestras vidas Internet, que ha cambiado nuestra forma de comunicarnos y de trabajar de una manera global. Por ello, la colaboración conjunta entre profesionales de la ingeniería industrial y de la medicina está contribuyendo al desarrollo de procedimientos útiles tanto para la formación médica como para la práctica clínico-quirúrgica; mejorando así, la docencia y la salud y calidad de vida de las personas. Por ello, es destacable e importante fomentar que se lleven a cabo investigaciones conjuntas entre estos profesionales, que conlleven a una mejora en diversos procedimientos en el área de la salud.

# Conclusiones



Las tecnologías de impresión 3D están experimentando recientemente un gran crecimiento, ganando importancia en el campo biomédico.

El diseño en tres dimensiones de estructuras anatómicas corporales humanas puede ayudar a los alumnos a una mejor comprensión de los detalles morfológicos de las piezas anatómicas, siendo además un recurso duradero.

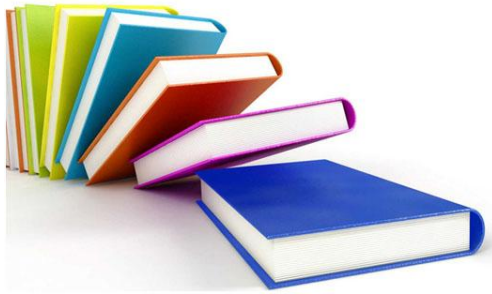
Tras el análisis de resultados y conclusiones sobre los mismos, consideramos que el material 3D es apto para el estudio de la asignatura de anatomía por los estudiantes en Este material presenta una mayor accesibilidad, una mejor conservación y resistencia a la manipulación que las piezas óseas de cadáver.

La buena aceptación e incluso el no encontrar diferencias significativas entre la utilización de este material sintético y el procedente de cadáveres, abre un campo de oportunidades de optimización y mejora de la calidad pedagógica, en éste ámbito de la enseñanza universitaria, que incluso podría valorarse en próximos estudios en cuanto a la eficiencia de su uso.

Aún queda mucho camino por recorrer todavía, en lo referente a esta tecnología de impresión 3D; pero es evidente las grandes posibilidades que la impresión 3D ofrece al ámbito de la medicina. El avance de la ciencia y la propia técnica de impresión 3D, descubrirá un futuro hasta ahora inimaginable.

En un futuro no muy lejano, posiblemente estas impresoras 3D superarán, con una gran diferencia a los problemas que hoy día su utilización pueda plantear; y

sin duda, ésta revolucionaria tecnología evolucionará considerablemente en el campo de la medicina.



## BIBLIOGRAFIA

Anderson C. (2010). The new industrial revolution. *Wired magazine* 18, 2.

Bagaria V, Deshpande S, Rasalkar DD, Kuthe A, Paunipagar BK. (2011). Use of rapid prototyping and three-dimensional reconstruction modeling in the management of complex fractures. *European Journal of Radiology*, 80(3), 814-820.

Dardon U, Siquiera de Souza R, Terezinha C, Abranches S, Paglarelli L. (2010). Modelagem 3D e suas aplicações na pesquisa paleontológica. *Gaea*, 6(2): 76-89.

Derby B. (2012). Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds. *Science*, 338(6109):921-926.

Diaz A, Lafont P. (2012). Rapid Prototyping for Biomedical Engineering: Current Capabilities and Challenges Annu. *Rev. Biomed. Eng*, 14:3-96.

Drstvensek I, Ihan N, Strojnik T, Brajlilh T, Valentan B, Pogacar V. (2008). Applications of Rapid Prototyping in Cranio-Maxilofacial Surgery Procedures. *International Journal Of Biology And Biomedical Engineering.*, 1(2);29-38.

Hieu LC, Bohez E, Vander Sloten J, Phien HN, Vatcharaporn E, Binh PH, Oris P. (2003). Design for medical rapid prototyping of cranioplasty implants. *Rapid Prototyping Journal*, 9(3), 175-186.

Huixia H, Junkai C, Dongsheng W, Bing G, Hong G, Hongchen L. (2010). Gene-Modified Stem Cells Combined with Rapid Prototyping Techniques: A Novel Strategy for Periodontal Regeneration. *Stem Cell Rev and Rep*, 6:137-41.

Hurson C, Tansey A, O'donnchadha B, Nicholson P, Rice J, McElwain J. (2007). Rapid prototyping in the assessment, classification and preoperative planning of acetabular fractures. *Injury*, 38(10), 1158-1162.

Mavili ME., Canter HI, Saglam-Aydinatay B, Kamaci S, Kocadereli I. (2007). Use of three-dimensional medical modeling methods for precise planning of orthognathic surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*, 18(4), 740-747.

McGurk M, Amis AA, Potamianos P, Goodger NM. (1997). Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. *Ann R Coll Surg Engl*; 79:169-74.

Potamianos P, Amis AA, Forester AJ, McGurk M, Bircher M. (1998). Rapid prototyping for orthopaedic surgery. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 212(5), 383-393.

Suzuki M, Ogawa Y, Kawano A, Hagiwara A, Yamaguchi H, Ono H. (2004). Rapid prototyping of temporal bone for surgical training and medical education. *Acta oto-laryngologica*, 124(4), 400-402.

Wagner J D, Baack B, Brown GA, Kelly J (2004). Rapid 3-dimensional prototyping for surgical repair of maxillofacial fractures: a technical note. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 62(7), 898-901.

Waran V, Devaraj P, Chandran T H, Muthusamy KA, Rathinam AK, Balakrishnan Y K, Rahman ZA (2012). Three-dimensional anatomical accuracy of cranial models created by rapid prototyping techniques validated using a neuronavigation station. *Journal of Clinical Neuroscience*, 19(4), 574-577.

Yih-Lin Ch, Yi-Tsung L, Kan-Shan S. (2012). Rapid Prototyping Mandible Model for Dental Implant Surgery Simulation. *Computer-Aided Design & Applications*, 9(2):177-85.

Zhao L, Patel P K, Cohen M. (2012). Application of virtual surgical planning with computer assisted design and manufacturing technology to cranio-maxillofacial surgery. *Archives of plastic surgery*, 39(4), 309-316.



El equipo que ha desarrollado este Proyecto, tiene una amplia experiencia en el ámbito tecnológico aplicado a la docencia en diferentes titulaciones de Ciencias de la Salud, habiendo elaborado numerosas aplicaciones informáticas con distintas técnicas de innovación tecnológica en relación con las ciencias de la salud. Nuestro equipo de trabajo es multidisciplinar, y experto en el manejo de herramientas tecnológicas y softwares comerciales. Fruto de nuestra experiencia como equipo de trabajo ha sido la obtención de numerosos premios, así como la publicación de un gran número de artículos en revistas con buen índice de impacto y la presentación de multitud de comunicaciones a congresos nacionales e internacionales de innovación tecnológica educativa. Dentro de las colaboraciones externas que mantiene el grupo destaca la Escuela de Ingenieros Técnicos Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, con cuyos miembros del departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, cuya aportación ha sido necesaria dado el equipamiento técnico necesario para este proyecto y que ellos disponen.

**MIEMBROS DEL EQUIPO DE TRABAJO :**

**Investigador Principal: Prof. Dr Juan Antonio Juanes Méndez**

NIF/	Nombre y apellidos	E-mail	Firma
7.808.478R	Fco. Javier CABRERO FRAILE (1)	cabrero@usal.es	
24.158.646K	Marcelo F. JIMENEZ LÓPEZ (2)	mfjl@usal.es	
07835537N	Andrés FRAMIÑAN DE MIGUEL(3)	frami@usal.es	
02879880G	Fernando BLAYA HARO (4)	fernando.blaya@upm.es	
7.785.759Y	Manuel RUBIO SÁNCHEZ (5)	mrsa@usal.es	
7.825.063A	Manuel ASENSIO GÓMEZ (6)	mago59@usal.es	
7.781.667P	José M. RIESCO SANTOS (7)	jmrs@usal.es	

