

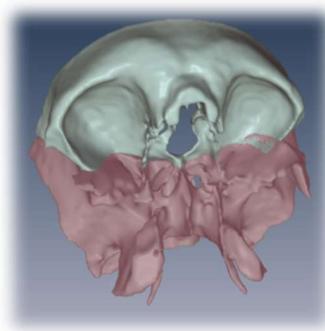
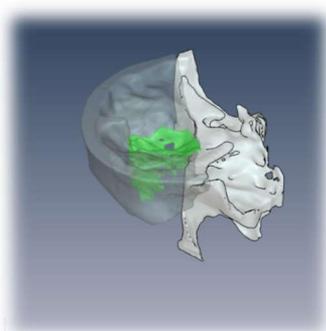


VNiVERSiDAD
D SALAMANCA

TESIS DOCTORAL

Manejo de una herramienta interactiva de
visualización 3D aplicada a la neurorradiología

ROBERTO DOMINGO TABERNERO RICO



DIRECTORES:

JUAN A. JUANES MÉNDEZ- ALBERTO PRATS GALINO

SALAMANCA. AÑO 2020



**VNIVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

D. JUAN ANTONIO JUANES MÉNDEZ, DOCTOR EN MEDICINA Y CIRUGÍA, PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA E HISTOLOGÍA HUMANAS DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, Y D. ALBERTO PRATS GALINO, DOCTOR EN MEDICINA Y CIRUGÍA, PROFESOR EN LA UNIDAD DE ANATOMÍA Y EMBRIOLOGÍA HUMANA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

CERTIFICAMOS:

Que el trabajo titulado "MANEJO DE UNA HERRAMIENTA INTERACTIVA DE VISUALIZACIÓN 3D APLICADA A LA NEURORRADIOLOGÍA", ha sido realizado por

D. *Roberto Domingo Tabernero Rico*, bajo nuestra dirección reuniendo, a nuestro juicio, los requisitos y méritos suficientes para que el autor del mismo pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Y para que así conste, firmamos la presente certificación en Salamanca a 6 de Julio de 2020.

Handwritten signature of Juan Antonio Juanes Méndez.

F^{do}. Juan Antonio Juanes Méndez

Handwritten signature of Alberto Prats Galino.

F^{do}. Alberto Prats Galino

CITA CÉLEBRE

“No he perdido ante la dificultad de los retos, sino contra el tiempo”.

...Leonardo Da Vinci.

AGRADECIMIENTOS

Ha pasado algún tiempo desde que inicié esta aventura. Por supuesto antes había realizado otros proyectos, pero éste siempre había sido un reto y un sueño a alcanzar en mi vida profesional.

Afortunadamente, no era el único, y todavía me quedan otros muchos por alcanzar. A partir de ahora, podré también enfocar algunas de mis horas y empeño en esas otras ilusiones (numerosas) que, aunque no he podido aparcas completamente, les he dedicado menos tiempo del que me gustaría.

Muchos cambios han surgido en mi vida desde entonces, han sido años apasionantes que recordaré siempre. Es de ley reconocer a los que te rodean; su talento, su esfuerzo y su aliento, que me han servido para llevar a cabo esta tarea.

Me gustaría reconocer al programa de doctorado “Formación en la sociedad del conocimiento” y en especial a mis directores, los doctores Juan A. Juanes Méndez y Alberto Prats Galino. He tenido ocasión de conocer a personas y profesionales de primer nivel, muy comprometidos y motivados con esta tarea de investigación y de docencia. Agradezco sus consejos y aliento en todo momento.

Ha sido un viaje más largo de lo previsto en un inicio, pero ha sido un viaje entretenido y agradable. Cuando se ve el destino en el horizonte, la carga se hace más liviana, pero durante el camino, me gustaría reconocer en primer lugar a mi entorno más cercano (grupo de amigos y compañeros de trabajo) por ese día a día ameno y agradable. Me gustaría mencionar a Josepa por su aliento y comprensión en los primeros momentos.

Por último, y con justa razón quería agradecer a mi mujer Sonia F. por estar a mi lado y por la hermosa familia que hemos formado (mi mayor logro); por su gran apoyo y motivación continua. Tengo que reconocerles las facilidades y el tiempo que me han prestado para realizar este trabajo.

Deseo extender estas palabras y sentimientos hacia a aquellos que hoy ya no están y, por supuesto.....

...a DIOS.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvii
PRÓLOGO	3
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	9
1.1. HISTORIA DE LA ILUSTRACIÓN MÉDICA.....	9
1.1.1. LA IMAGEN	9
1.1.2. PRECEDENTES	10
1.1.3. IMAGEN EN LA FORMACIÓN MÉDICA	11
1.2. HISTORIA DE LA IMAGEN RADIOLÓGICA	18
1.3. IMAGEN EN 3D.....	24
1.4. FORMATO PDF	27
1.4.1. NACIMIENTO DEL SOFTWARE PDF:	28
1.4.2. DESARROLLO DEL SOFTWARE PDF:	32
CAPITULO II HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	41
2.1. ANTECEDENTES.....	41
2.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	43
2.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	46
2.4. OBJETIVOS.....	48
2.4.1. Objetivo general	48
2.4.2. Objetivos específicos	48
CAPÍTULO III MATERIAL Y MÉTODOS	57
3.1. MEDIOS Y RECURSOS MATERIALES	58
3.2. ETAPAS EN LA REALIZACIÓN DE LOS MODELOS 3D.....	62

3.2.1.	PROCEDENCIA DE LAS IMÁGENES MÉDICAS	62
3.2.2.	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	63
3.2.3.	CREACIÓN DEL MODELO 3D	64
3.2.4.	MANEJO INICIAL DEL SOFTWARE PDF READER.....	83
CAPÍTULO IV RESULTADOS		93
4.1.	3D PDF.....	93
4.1.1.	Herramientas de navegación 3D	94
4.1.2.	Controles de vista del modelo.....	103
4.2.	COMPONENTES DE LA BASE DEL CRÁNEO.....	110
4.2.1.	HUESOS DE LA BASE DEL CRÁNEO: CARACTERÍSTICAS, MORFOMETRÍA Y VOLUMETRÍA	111
4.2.2.	COMPOSICIÓN DE LA BASE DEL CRÁNEO	127
4.2.3.	ESTRUCTURAS Y RELACIONES DE LA BASE DEL CRÁNEO.....	128
4.3.	RESUMEN DE LOS HALLAZGOS	133
CAPÍTULO V DISCUSIÓN		137
5.1.	SÍNTESIS FINAL	158
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES		163
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA.....		168
CAPÍTULO VIII. ANEXO I ARTÍCULOS PUBLICADOS		203
8.1.	ARTÍCULOS EN REVISTAS INCLUIDAS EN JCR.....	203
8.1.1.	JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS 2017	203
8.1.2.	JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS. 2019.....	210
8.2.	ARTÍCULO EN REVISTAS INDEXADAS NO JCR.....	220
8.2.1.	ARTÍCULO EN REVISTA NUEVO HOSPITAL.....	220
CAPÍTULO IX ANEXO II OTRAS PUBLICACIONES.....		229

9.1. PUBLICACIONES EN CONGRESOS.....	229
9.1.1. ARTÍCULO TEEM 14.....	229
9.1.2. ARTÍCULO TEEM 16.....	234
9.1.3. ARTÍCULO TEEM 18.....	239
9.1.4. ARTÍCULO TEEM 19.....	246
9.1.5. ARTÍCULO EN CONGRESO SERAM 2016.	252
9.1.6. ARTÍCULO EN CONGRESO SERAM 2018.	261
9.1.7. PRESENTACIÓN EDUCATIVA EN CONGRESO CENORA.....	263
9.1.8. PRESENTACIÓN CNIEM	268



ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Figura: 1. Ilustración de una cueva localizada en la península ibérica. Representación de una mujer con un feto en su interior. Obtenida de Dialnet.</i>	11
<i>Figura: 2. Ilustración contenida en el manual de disección de Mondino de Luzzi, impreso con muchas ilustraciones en el comentario sobre Mondino publicado en 1521 por Berengario da Carpi de Bolonia. Obtenida de "Lynx Open EdCourses, virtual exhibits, and educational resources in the history of science"</i>	13
<i>Figura: 3. Hombre de Vitubrio. Leonardo da Vinci.</i>	14
<i>Figura: 4. Figura sacada de Medicine: Leonardo's anatomy year.</i>	15
<i>Figura: 5. Fragmento de obra: " De humani corpori fabrica". Ilustración obtenida de la biblioteca Marqués de Valdecilla de la universidad complutense de Madrid.</i>	16
<i>Figura: 6. Portada de la obra "De humai corpori fábrica". Ilustración obtenida de la biblioteca Marqués de Valdecilla de la universidad complutense de Madrid.</i>	17
<i>Figura: 7. Retrato de Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923). Dominio público.</i>	19
<i>Figura: 8. Primera imagen radiológica. Muestra la mano izquierda de su señora Anna Bertha Ludwing. Fue presentada al Profesor Ludwig Zehnder del Instituto de Física de la Universidad de Freiburg el 01 de enero de 1896. Dominio público Wikimedia Commons. Fotografo: Wilhelm Rontgen. http://www.nobelprize.org/.</i>	20
<i>Figura: 9. Godfrey. N. Hounsfield. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/hounsfield.html</i>	22
<i>Figura: 10. Estetoscopio de Brewster. Imagen obtenida de "https://proyectoidis.org/estereoscopia/"</i>	25
<i>Figura: 11. Estereoscopia de la Reina Victoria, 1897. Imagen obtenida de https://proyectoidis.org/estereoscopia.</i>	25
<i>Figura: 12. Imagen volumétrica a partir de imagen de TC del corazón.</i>	27
<i>Figura: 13. John Warnock. Imagen obtenida de www.wikipedia.org Dominio público</i>	29
<i>Figura: 14. Imagen de la máquina de TC Philips del Hospital Virgen de la Concha. Zamora.</i>	59
<i>Figura: 15. Logo del programa 3D Slicer</i>	59
<i>Figura: 16. Logo Portal IntelliSpace. Philips.</i>	60
<i>Figura: 17. Pantalla portal IntelliSpace Portal, de Philips.</i>	60
<i>Figura: 18. Logo software PDF. Adobe Document Cloud.</i>	61
<i>Figura: 19. Página de descarga del software adobe Acrobat Reader Document Cloud.</i>	61
<i>Figura: 20. Imágenes de TC de base de cráneo. Cortes axiales.</i>	63
<i>Figura: 21. Captura de pantalla. Descarga de software 3D Slicer</i>	65
<i>Figura: 22. Carga de imágenes DICOM al software 3D Slicer</i>	66
<i>Figura: 23. Módulos incluidos en el programa 3D Slicer.</i>	67
<i>Figura: 24. Click en "Volume rendering"</i>	67

Figura: 25. Ampliación de la imagen donde se muestra el icono del "ojo" seleccionado para habilitar la visualización 3D y un display con unas ventanas predeterminadas.	68
Figura: 26. Reconstrucción volumétrica a partir de las imágenes 2D.	68
Figura: 27. Selección del módulo. "Editor"	70
Figura: 28. Rango de colores desplegable.	71
Figura: 29. Estructura segmentada para la elaboración final del modelo.	71
Figura: 30. Módulo "segment editor". Se resaltan las herramientas de retoque.	72
Figura: 31. Ejemplo de recorte de una "isla" que no queremos incluir en el modelo final.	73
Figura: 32. A y B. Ejemplos de modelos 3D compuestos.	73
Figura: 33. Personalización del color.	74
Figura: 34. Imagen general con el modelo final.	75
Figura: 35.. Logo y captura de pantalla. Convertidor formato a PDF.	76
Figura: 36. Software PDF 3D ResportGen. Convierte archivos 3d (-stl, vtk, -obj...) en PDF3D.	77
Figura: 37. Portal PHILIPS. 3D Modeling.	78
Figura: 38. Ventana inicial de la aplicación 3D modeling.	78
Figura: 39. Aplicación del segmentado automático mediante umbral de intensidad.	79
Figura: 40. Captura de pantalla de aplicación 3D Modeling. Visualización del "tejido 1".	80
Figura: 41. Ejemplo de modelo 3D.	81
Figura: 42. Modos exportar el modelo.	82
Figura: 43. Software PDF. Aviso de activación de módulo 3D.	83
Figura: 44. Menú "archivo".	84
Figura: 45. Métodos para compartir el documento PDF entre usuarios.	85
Figura: 46. "preferencias". Opciones multimedia y 3D.	86
Figura: 47. "preferencias" medición 3D.	87
Figura: 48. Características función "ver" en doftware PDF. A) "Ampliación-reducción". B) "Presentación de página". C) "Mostrar/ ocultar".	88
Figura: 49. Modificación color del tema del programa PDF.	88
Figura: 50. Función "mosaico", para visualizar dos documentos PDF en horizontal o vertical desde un mismo archivo.	89
Figura: 51. Barra herramientas 3D de software PDF.	94
Figura: 52. Modelo 3D en software PDF. Herramienta girar izquierda-derecha.	95
Figura: 53. Modelo 3D en software PDF. Herramienta girar arriba-abajo.	95
Figura: 54. . Manejo PDF 3D. Herramienta "girar" sobre eje "X" (A) e "Y" (B).	96
Figura: 55. Herramienta "panorámica" en archivo PDF.	97
Figura: 56. Herramienta Ampliar/Reducir.	97
Figura: 57. Herramienta Caminar. Modelo 3D en archvio PDF.	98
Figura: 58. Ejemplo de herramienta "volar" sobre modelo 3D en programa PDF Reader.	99
Figura: 59. Propiedades de la cámara. PDF reader.	100

<i>Figura: 60. Propiedades de medición 3D en program PDF reader DC.</i>	101
<i>Figura: 61. Herramientas de medición 3D con las distintas opciones.</i>	101
<i>Figura: 62. Medición de objeto 3D. A) Medición radial. B) Medición angular.</i>	102
<i>Figura: 63. Notas sobre el modelo 3D.</i>	103
<i>Figura: 64. Vista de frente, trasera, izquierda y derecha.</i>	104
<i>Figura: 65. Árbol modelo.</i>	105
<i>Figura: 66. Modelo 3D con animación en programa PDF reader.</i>	106
<i>Figura: 67. Representaciones del modelo 3D que ofrece el programa PDF reader.</i>	107
<i>Figura: 68. Apariencias del modelo 3D en PDF reader.</i>	108
<i>Figura: 69. Efectos de iluminación del modelo 3D.</i>	108
<i>Figura: 70. Cuadro de colores de fondo. Basicos y personalizados.</i>	109
<i>Figura: 71. Sección cruzada en el plano coronal. Propiedades de la sección cruzada.</i>	109
<i>Figura: 72. Texto sobre el modelo 3D de la base del cráneo en software PDF Reader DC.</i>	110
<i>Figura: 73. Huesos de la base del cráneo. Vistas superior e inferior.</i>	111
<i>Figura: 74. Modelo PDF. Vistas anterior y superior del modelo 3D del hueso frontal.</i>	112
<i>Figura: 75. Relación de vecindad del hueso frontal con el etmoides y esfenoides. Vista en programa PDF reader DC.</i>	113
<i>Figura: 76. Mediciones sobre modelo de hueso frontal.</i>	113
<i>Figura: 77. Valores volumétricos del modelo del hueso frontal.</i>	114
<i>Figura: 78. Estructuras del hueso etmoides vista en modelo 3D PDF.</i>	114
<i>Figura: 79. Modelo del hueso etmoides.</i>	115
<i>Figura: 80. Mediciones en hueso etmoides.</i>	116
<i>Figura: 81. Volumen hueso etmoides. Programas PDF reader y 3D Slicer. Cálculo en distintos modelos.</i>	117
<i>Figura: 82. Estructuras del hueso esfenoides.</i>	118
<i>Figura: 83. Modelo del hueso esfenoides con huesos vecinos.</i>	119
<i>Figura: 84. Mediciones en modelo de hueso esfenoides. A y A1: Agujeros oval y redondo menor. B y B1: Agujero redondo mayor</i>	120
<i>Figura: 85. Parámetros del modelo 3D del hueso esfenoides. Volumen de 45,85 cc.</i>	120
<i>Figura: 86. Modelos de hueso temporal en programa PDF.</i>	121
<i>Figura: 87. Estructuras(canales) de la audición contenidas en hueso temporal. Corte coronal mediante sección cruzada del modelo 3D en PDF.</i>	122
<i>Figura: 88. Medición volumen huesos temporales mediante el programa PDF 3D y 3D slicer.</i>	122
<i>Figura: 89 Resultados medición CAE y CAI en modelos 3D de hueso temporales combinando las herramientas con la disposición e sección cruzada en el plano axial y coronal oblicuo.</i>	123
<i>Figura: 90. Distintas vistas del modelo del hueso occipital en el programa 3D PDF.</i>	124
<i>Figura: 91. Relación de huesos de la base del cráneo.</i>	125
<i>Figura: 92. Mediciones agujero Magno.</i>	126
<i>Figura: 93. Volumen H. occipital.</i>	126

<i>Figura: 94.. Fosas craneales de la base del cráneo.</i>	128
<i>Figura: 95. Agujeros Fosa Craneal Anterior</i>	129
<i>Figura: 96. Agujeros Fosa craneal Media.</i>	131
<i>Figura: 97. Agujeros Fosa Craneal Posterior</i>	133
<i>Figura: 98. Imagen 3D embebida con imágenes seccionales de TC.</i>	154
<i>Figura: 99. Imagen PDF con modelo de ortodoncia 3D. Imagen propia, pero obtenida a partir de modelos creados en la página web: https://www.pdf3d.com/medical-chemistry-physics-research</i>	154
<i>Figura: 100. Imagen obtenida de: "Application and Evaluation of Interactive 3D PDF for Presenting and Sharing Planning Results for Liver Surgery in Clinical Routine". Artículo citado en texto como Newe et al., 2014.</i>	155
<i>Figura: 101. Modelo de próstata impreso en 3-D. Puede equiparse con sensores de presión que permiten a los cirujanos practicar en material con una sensación real mientras ensayan los procedimientos. Sacada de: K. QIU ET AL / ADVANCED MATERIALS TECHNOLOGIES 2018</i>	156

LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS

Tabla 1. Formatos admitidos por software PDF.----- 31

Tabla 2. Resultados búsqueda PUBMED. ----- 138

Gráfica: 1. Esquema comparativo de la metodología en ambos programas de modelado 3D. ----- 149



RESUMEN

Los últimos avances tecnológicos en el postproceso de imágenes radiológicas han hecho posible la generación de modelos tridimensionales (3D) a partir de imágenes radiológicas en 2D.

Con las nuevas técnicas de imágenes en 3D que presentamos, la percepción espacial y la comprensión anatómica se mejoran, puesto que se permite una nueva visualización interactiva con los modelos.

El PDF es un formato de archivo estándar, y de acceso libre, para presentar e intercambiar documentos de forma fiable, independiente del software, el hardware o el sistema operativo en el que se han elaborado. Por tanto, resulta muy útil y es ampliamente utilizado para la comunicación de información a través de Internet y para la publicación académica electrónica. El PDF permite además incrustar y manipular objetos tridimensionales (3D) en las últimas versiones, Todo ello es posible de realizar desde un ordenador personal sin el requisito de una estación de trabajo profesional, o paquetes de software complejos o caros.

El uso de estos modelos en archivo PDF permite la interacción, proporcionando herramientas útiles de visualización (navegación, traslación, rotación, zoom de los modelos 3D...) y gestión que facilitan el trabajo y la comprensión de la región anatómica del área de estudio.

En este trabajo de tesis doctoral, presentamos las características del software PDF 3D con modelos anatómicos de la base del cráneo, ya que se considera una región anatómica compleja, con múltiples estructuras y características y no accesible a la visualización directa.

Por tanto, mediante el manejo y desarrollo de estos nuevos contenidos educativos a partir de modelos visuales complejos en tres dimensiones, introducidos como material

didáctico complementario para el estudio de la anatomía en regiones complejas, se mejora la capacidad de entendimiento y se agiliza el aprendizaje. Esto es muy importante, no sólo en el ámbito de la enseñanza, sino que, en otras aplicaciones, como la práctica clínica diaria y el ámbito científico, ya que permite el uso de estos contenidos, sin necesidad de comprometer la seguridad del paciente. También es necesario recordar, el gran dinamismo de los modelos 3D en este formato (PDF), para su transmisión entre usuarios y la gran compatibilidad con la impresión 3D.





ABSTRACT

The latest technological advances in postprocessing of images have made possible the generation of three-dimensional (3D) models from 2D radiological images.

With the new 3D imaging techniques, spatial perception and anatomical understanding are improved, since a new interactive visualization with the models is allowed.

The PDF is a standard and open-access file format, to present and exchange documents reliably, independent of the software, hardware or operating system in which they have been prepared. Therefore, it is very useful and is widely used for the presentation of information through the Internet and for the electronic academic publication. The PDF also allows you to embed and manipulate three-dimensional objects (3D) in the latest versions. All this is possible from a personal computer without the requirement of a professional workstation, or complex or expensive software packages.

The use of these models in PDF file allows interaction, providing useful visualization tools (translation, rotation and zoom of 3D models) and management that facilitate the work and understanding of the anatomical region of the study area.

In this doctoral thesis work, we present the characteristics of 3D PDF software with anatomical models of the skull base, since it is considered a complex anatomical region, with multiple structures and characteristics and not accessible to direct visualization.

Therefore, through the management and development of these new educational contents from complex three-dimensional visual models, introduced as complementary didactic material for the study of anatomy in complex regions, the ability to understand is improved and learning is expedited. This is very important, not only in the field of teaching, in other applications, such as clinical practice and the scientific field, since it allows the use of these contents, without the need to compromise patient safety, which

are discussed in the body of work. It is also necessary to remember, the great dynamism of 3D models in this format (PDF), for transmission between users and the great compatibility with 3D printing.

PRÓLOGO



PRÓLOGO

El mundo actual gira en torno a la progresiva informatización y la digitalización de los datos. El uso de la tecnología multimedia en el siglo XXI se ha convertido en algo común en todos los entornos de la sociedad y la presentación de la información en tres dimensiones (3D) es una manera cada vez más utilizada en todos los ámbitos de socioculturales.

Las nuevas imágenes en tres dimensiones se están implantando con importancia en todos los ámbitos científicos, y se están empleando cada vez de manera más habitual para presentar mejor la información. El campo médico no es ajeno a estos acontecimientos.

De manera tradicional, en el estudio de la medicina y, en particular en la anatomía, se han empleado explicaciones teóricas en las aulas, apoyándose éstas frecuentemente con esquemas y dibujos, incluso se complementaban con atlas que contenían ilustraciones bidimensionales donde el alumno trabajaba sobre diversos aspectos de la imagen (coloreando, mediante recortes, sticks, etc...) para conseguir un mejor conocimiento. También era habitual una enseñanza práctica, como aditamento a las horas de teoría. Se trabaja generalmente en laboratorios con pequeños grupos para, de un modo más cercano, fortalecer las explicaciones y remarcar aquellos detalles de mayor importancia con mayor énfasis y detalle.

El interés en el presente trabajo para el autor surge de dos premisas: la primera consiste en la necesidad de conseguir un aprendizaje anatómico ágil y eficiente. Esto es importante tanto para la formación de cualquier profesional de la salud, pero cobra mayor importancia en aquellos profesionales sanitarios y en aquellas especialidades que dependen más del conocimiento anatómico, como es el radiodiagnóstico, aunque también es capital en cualquier especialidad quirúrgica y en general aquella en la que los procedimientos dependan de las estructuras

anatómicas. La segunda premisa deriva de la primera, y es que partimos de una disciplina, como el radiodiagnóstico, en el que el trabajo diario consiste en obtener imágenes de la anatomía de los pacientes con el fin de hacer diagnósticos correctos y precisos de diversas patologías según se manifiestan en los órganos. Esto se realiza a partir de imágenes que se hacen a los pacientes, con distintas tecnologías, fundamentalmente basadas en los rayos X (de RX simples, TC, escopia... etc., pero también mediante ondas de ultrasonidos (US) y la magnetización de las moléculas de hidrógeno en la imagen por resonancia magnética (RM). Los avances en el campo de la informática y la mayor potencia de las máquinas facilitan que la imagen radiológica obtenida en la actualidad sea de mayor calidad y que incorpore un conjunto amplio de datos, lo que deriva en un beneficio a la hora de realizar el postprocesado de la misma.

Debemos establecer un primer punto de partida; en el que cualquier imagen obtenida debe reflejar la esencia de la información original de la manera más objetiva posible. Con las nuevas técnicas de representación 3D de las imágenes se mejora la percepción espacial y el entendimiento anatómico y es posible elaborar contenidos docentes a partir de complejos modelos visuales, incrustándolos en simples documentos de almacenamiento portátil o PDF (portable document format)

El PDF es un formato de archivo estándar, y de acceso libre, para presentar e intercambiar documentos de forma fiable, independiente del software, el hardware o el sistema operativo en el que se hayan elaborado. Es un tipo de archivo muy conocido y usado por el público en general, ya que posee una gran facilidad para compartir la información entre usuarios a través de la red, e incluso amplia compatibilidad para la impresión de estos documentos. Sin embargo, este formato ha evolucionado mucho con las sucesivas versiones. Progresivamente ha ido incorporando mejoras y evoluciones con mayor número de herramientas que incrementan las posibilidades de utilización y facilitan el manejo de nuevo contenido, como modelos 3D.



La base del cráneo es una región anatómica compleja e inaccesible a su visualización directa. Da asiento al cerebro y cerebelo, y es atravesado por una gran cantidad de estructuras, lo que explica la gran cantidad y complejidad de detalles anatómicos que posee. Para su conformación participan varios huesos (o regiones de los mismos) con relaciones topográficas complejas, lo que añade dificultad a la comprensión. Se considera un área anatómica compleja y con dificultades en su estudio, por lo que su estudio mediante modelos tridimensionales cobra mayor importancia.

El trabajo que presentamos para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca tiene por objeto introducir y familiarizar a la sociedad científica, las características y herramientas que ofrece el formato PDF con modelos tridimensionales para su manipulación en una visualización interactiva, así como destacar las posibles ventajas que tienen estos modelos 3D sobre las imágenes tradicionales. Todo ello, fundamentalmente en el entorno de facilitar el aprendizaje de áreas complejas de anatomía humana.

Para ello se estudiarán con esta herramienta de visualización tridimensional, los diferentes huesos que conforman la base del cráneo y sus relaciones topográficas, mediante el empleo de aplicaciones, haciendo énfasis en las características del formato PDF READER.

Resulta por tanto crucial la constante actualización acerca de las técnicas de aprendizaje que nos aporta la tecnología, puesto que nos permite obtener nuevas herramientas, así como la adquisición de nuevas capacidades que, en definitiva, nos permitan realizar una valoración óptima de aquellas regiones anatómicas complejas, o con un interés especial, ya que podrían ser la ventana al desarrollo de novedosas técnicas clínicas y terapéuticas.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. HISTORIA DE LA ILUSTRACIÓN MÉDICA

Por su propia naturaleza, el material visual trasciende las barreras del idioma y no presenta las dificultades de la terminología técnica. Permite centrar la atención y provocar el interés sobre un elemento concreto, que podría pasar inadvertido de otra manera.

1.1.1. LA IMAGEN

La expresión "una imagen vale más que mil palabras", se cree que es atribuible a Confucio y surge muy a menudo a lo largo de la historia. En pocos ámbitos es más apropiado su uso que en la historia de la ilustración médica.

La historia de la ilustración médica en su sentido más amplio, contando todas las representaciones visuales del cuerpo humano o sus partes separadas, para los fines de documentación, enseñanza o la práctica de la medicina, está estrechamente integrado e influenciado por los acontecimientos históricos, sociales y desarrollos tecnológicos de las diferentes épocas. Estos acontecimientos afectaron el contenido de las ilustraciones, a los propios artistas y las técnicas mediante las cuales se hicieron, se reprodujeron y difundieron las representaciones, desde los tiempos prehistóricos e históricos hasta hoy.

Las técnicas utilizadas para representar gráficamente los conocimientos médicos han sido tan variadas como los propios ilustradores, que implican dibujo, grabado, impresión, la fotografía, la



cinematografía y el procesamiento digital. Cada nueva técnica se ha basado en la experiencia previa de ampliar el conocimiento médico y hacerlo accesible a un público cada vez más amplio (Antonuk, 2002).

Esta vasta acumulación de materia pictórica ha planteado problemas considerables de almacenamiento, catalogación, recuperación, visualización y difusión de la información, así como las cuestiones de ética, validez, manipulación y fiabilidad.

Los tipos de ilustraciones comenzaron con el estudio de la anatomía macroscópica a través de disecciones, que muestran los diversos sistemas orgánicos, extendiéndose a preparaciones histológicas e imágenes radiológicas y funcionales.

Hoy en día está disponible la imagen digital, lo que permite su visualización en un aspecto estático y dinámico, pudiendo cambiar aspecto y forma de visualización en cuestión de segundos. También la tecnología actual permite obtener representaciones tridimensionales con mucha más información contenida, que tienen la capacidad de transmitirse por vía electrónica en el mundo en cuestión de segundos.

1.1.2. PRECEDENTES

Se cree que es casi instintivo en el hombre para tomar imágenes o diagramas de sus ideas, ya sea por su propio interés o para transmitir información.

En tiempos prehistóricos, los hombres de las cavernas tallaban sus ideas del cuerpo humano en piedra o las pintaban en las paredes de las cavernas. Por ejemplo, los grabados de cuevas que se encuentran en España muestran una ilustración aproximada de una mujer embarazada, con el feto en el interior (Figura 1) (Lyons & Petrucelli, 1987).



Figura: 1. Ilustración de una cueva localizada en la península ibérica. Representación de una mujer con un feto en su interior. Obtenida de Dialnet.

Más tarde, cuando se hizo evidente que el conocimiento del cuerpo humano y todos sus sistemas era esencial para la práctica de la curación, los textos se acompañan de ilustraciones, convirtiéndose en una parte integral del proceso de enseñanza (Tsafrir & Ohry, 2001).

Los ilustradores incluyen artistas, cuyo interés era principalmente artístico, aunque en ocasiones éstos eran empleados por los cirujanos o médicos para ilustrar sus textos.

1.1.3. IMAGEN EN LA FORMACIÓN MÉDICA



Los textos médicos primitivos eran puramente descriptivos y no aportaban ilustraciones entre sus contenidos.

Uno de los documentos más valiosos que se conservan, es el código de Hammurabi del Antiguo Reino de Babilonia. Es el primer cuerpo legal que se conoce, data de alrededor del 2250 a.C. teniendo su origen en preceptos sumerios un milenio más antiguos (*Apuntes sobre Historia de la Medicina*, 2015).

En la medicina egipcia, la mayor parte de los conocimientos que se tienen de se han obtenido de papiros. El papiro más antiguo hasta ahora descubierto es el "Papiro de Ginecología Kahun", que data de 1825 a. C. Describe métodos para diagnosticar el embarazo y el sexo del feto, enfermedades de las mujeres, así como medicamentos femeninos, pastas y aplicaciones vaginales (Sameh M, 2017).

Los papiros más famosos y elaborados son el "Papiro de Edwin Smith" (1600 aC) y el "papiro de Ebers". Ambos fueron escritos hacia el 1600aC. Su primera traducción data de 1930. El papiro consta en su mayor parte del "Libro sobre las heridas". El papiro de Ebers es un texto completo. Su primera traducción, hecha por Joachim, es de 1890. Se trata de un compendio de medicina (*Apuntes sobre Historia de la Medicina*, 2015). El estudio de anatomía y fisiología fue muy avanzado. Esto se debió a sus ritos como el embalsamamiento de los muertos.

En la época de esplendor griego, cabe destacar a Hipócrates, como uno de los personajes más importante, conocido también como el padre de la medicina, con la obra "*El corpus hipocrático*" (*Corpus Hippocraticum*) que es una colección de obras médicas y también a Galeno, considerado uno de los más completos investigadores médicos de la Edad Antigua. Practicando disecciones en animales aumentó el conocimiento en anatomía. Sus puntos de vista dominaron la medicina



europea a lo largo de más de mil años en campos como la anatomía, la fisiología, la patología, la farmacología y la neurología, así como la filosofía y la lógica.

En general, durante el periodo clásico, las ilustraciones no son utilizadas, ya que la temática estaba dominada por el texto descriptivo de Galeno (Ghosh, 2015).

Guido da Vigevano fue el primero en usar ilustraciones en anatomía durante la Baja Edad Media y este concepto se desarrolló aún más durante el período del Renacimiento.

En ese período destaca la obra del profesor boloñés Mondino de Luzzi, *Anathomia*, completada en 1316 (figura 2).



Figura 2. Ilustración contenida en el manual de disección de Mondino de Luzzi, impreso con muchas ilustraciones en el comentario sobre Mondino publicado en 1521 por Berengario da Carpi de Bolonia. Obtenida de "Lynx Open EdCourses, virtual exhibits, and educational resources in the history of science"

Durante la época renacentista, destaca por encima de todo un personaje: Leonardo Da Vinci (Vinci, 15 de abril de 1452-Amboise, 2 de mayo de 1519). Durante los siglos XV y XVI, la anatomía atravesó un gran avance gracias a la aportación de este autor. Su formación inicial comenzó mientras se formaba en el taller con Andrea del Verrocchio, quien insistía



en que todos sus alumnos tuvieran conocimientos de anatomía. Como artista, pronto fue un maestro de la anatomía topográfica. En colaboración con Marcantonio della Torre, un médico anatomista de Pavía, hicieron investigaciones sobre anatomía (figura 3).

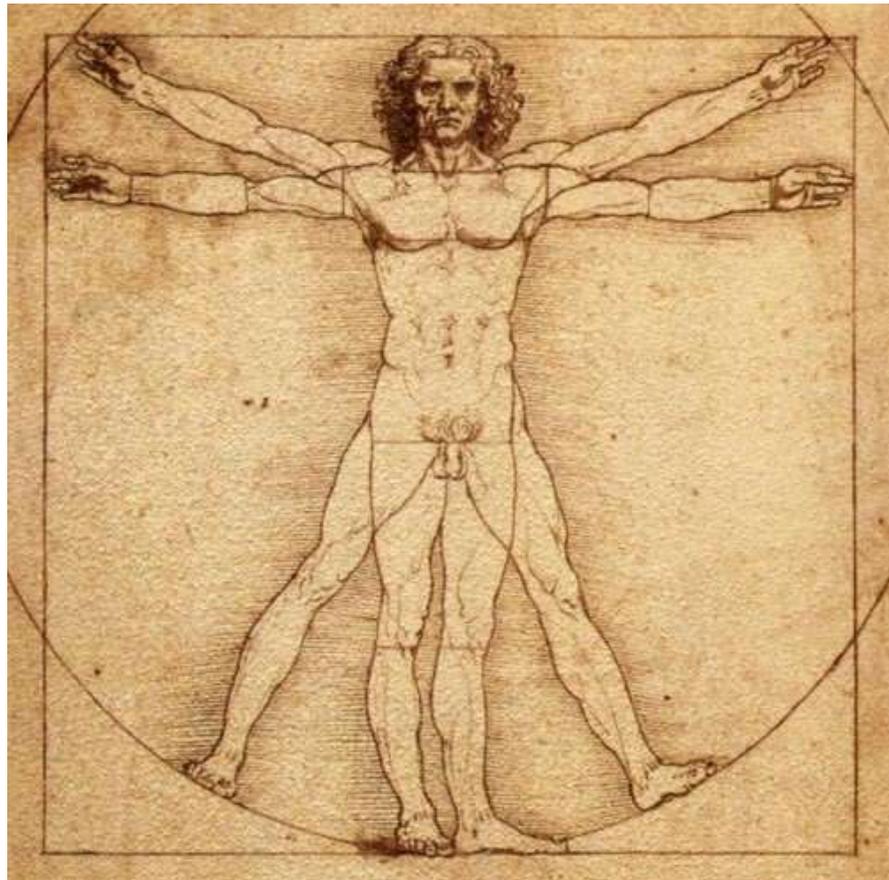


Figura: 3. Hombre de Vitubrio. Leonardo da Vinci.

Sus estudios anatómicos recogidos en el "*Manuscrito Anatómico A*" (1510-1511) se centran en la osteología y la miología, y en sus láminas se plasman los intentos de comprender el funcionamiento humano. Además del aporte científico, las láminas resultantes de los estudios de Leonardo contienen algunos de los dibujos anatómicos más brillantes jamás creados.



Leonardo proyectó, aunque nunca llegó a escribir, un tratado de Anatomía ("*Il libro dell'Anatomia*"). Aunque la mayor parte de las más de 200 ilustraciones sobre el cuerpo humano que realizó Da Vinci para este tratado desaparecieron, se pueden observar algunas de las que sobrevivieron en su Tratado sobre la pintura (1680). Leonardo da Vinci realizó muchos dibujos sobre anatomía humana, de huesos, músculos y tendones, del corazón y el sistema vascular, del sistema reproductivo y otros órganos internos, y gráficos sobre la acción del ojo (figura 4) (Clayton, 2012; de la Hoz Rojas & Lahera Fernández, 2016).

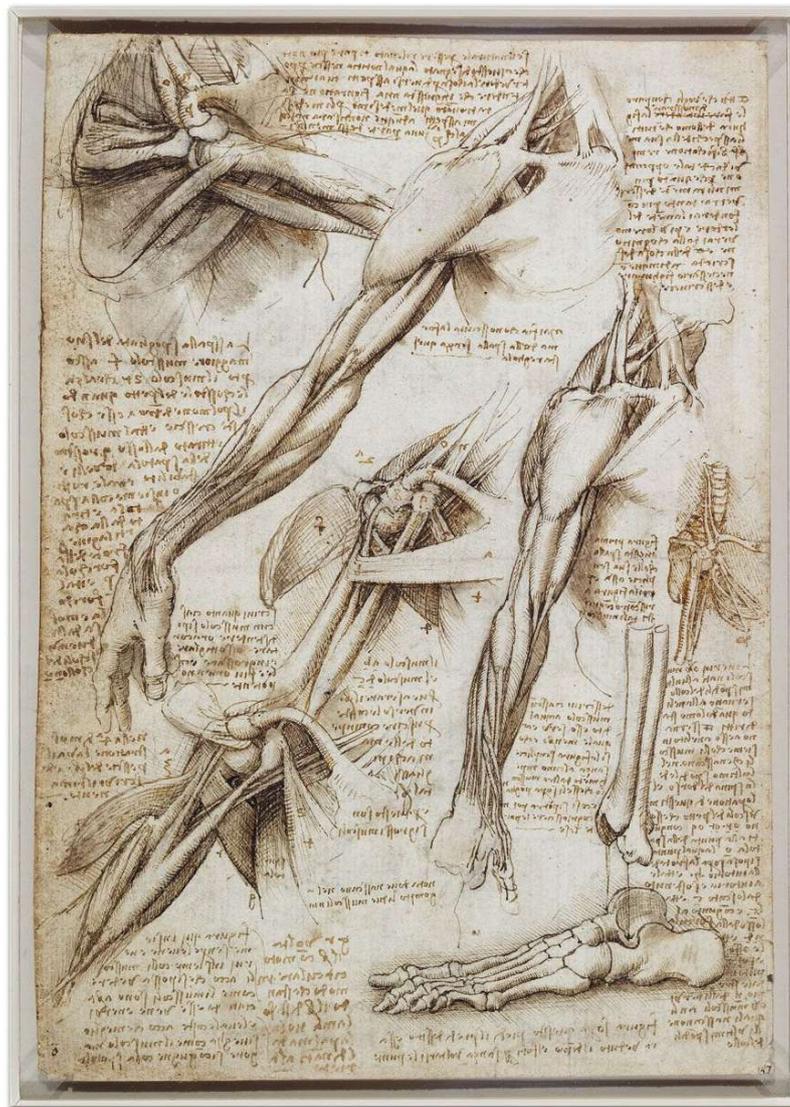


Figura 4. Figura sacada de *Medicine: Leonardo's anatomy year*.



Otra figura realmente importante fue Andreas Vesalio, considerado el padre de la anatomía.

Acudió a la Universidad de París, entre 1533 y 1536, donde sólo estaban permitidas dos disecciones anuales. Posteriormente se trasladó a Padua, donde realizó las primeras tablas o mapas de anatomía humana, las “*Tabulae Anatomicae Sex*” en 1538.

Sin embargo, es la obra “*De humani corporis fabrica*” (Sobre la estructura del cuerpo humano) publicada en 1543 (figuras 5 y 6) su obra más importante con una visión estática del cuerpo humano, como una “fabrica” o edificio. Su obra puede considerarse como el primer tratado moderno de anatomía humana, tanto por su claridad como por el rigor expositivo de sus contenidos y es uno de los libros más influyentes sobre este tema, donde las ilustraciones se convirtieron en una herramienta indispensable para transmitir detalles anatómicos.



Figura: 5. Fragmento de obra: " *De humani corpori fabrica*". Ilustración obtenida de la biblioteca Marqués de Valdecilla de la universidad complutense de Madrid.

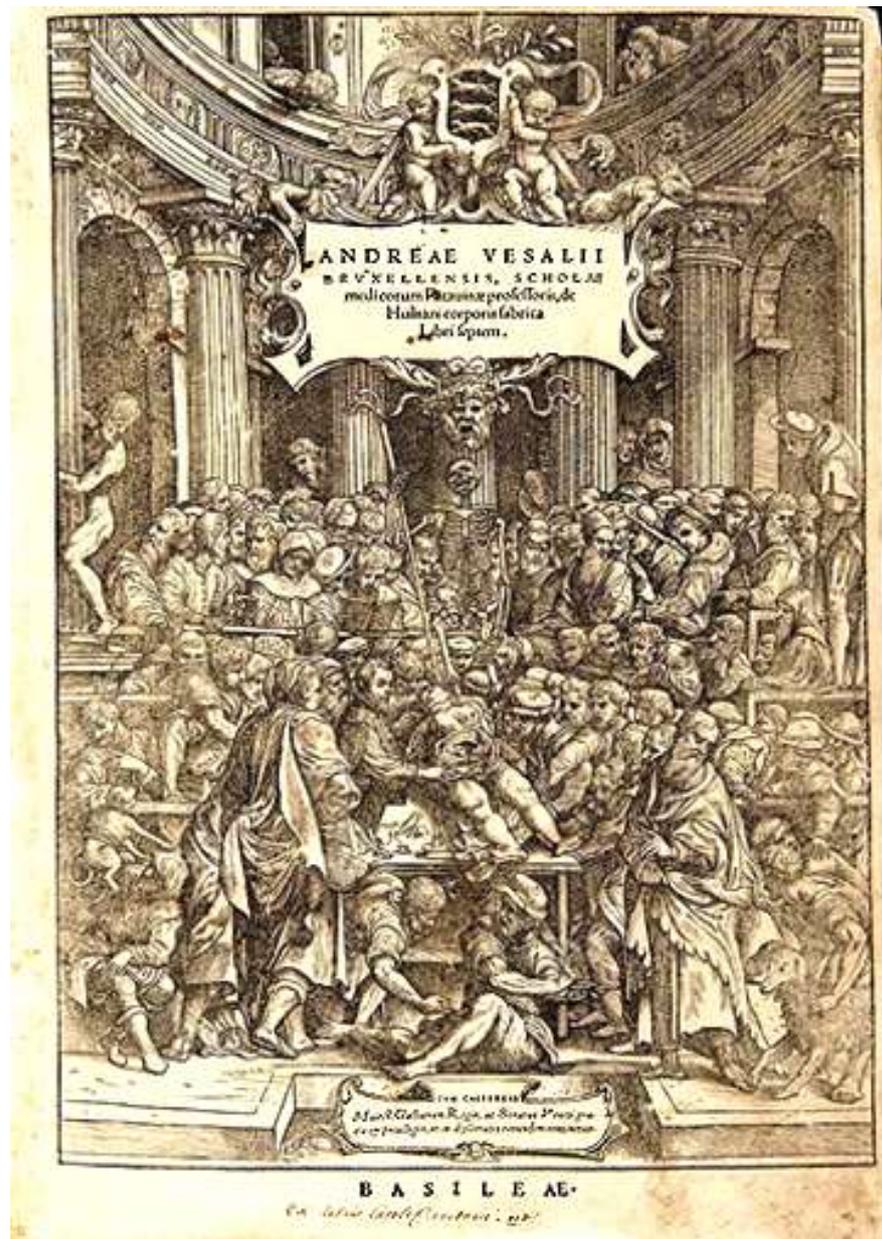


Figura 6. Portada de la obra "De humani corporis fábrica". Ilustración obtenida de la biblioteca Marqués de Valdecilla de la universidad complutense de Madrid.

Hacia las etapas posteriores del período del Renacimiento, las ilustraciones anatómicas se generaban más bien como forma de arte, que como imágenes científicas. Durante el siglo XVIII, la obra de arte anatómica se caracterizó por los estilos individuales de prominentes anatomistas que llevaron a la supresión de detalles anatómicos. En el



siglo XIX, Henry Gray utilizó ilustraciones en su obra maestra anatómica que se centraron en representar estructuras anatómicas y no tenían ningún estilo artístico.

Desde principios del siglo XX, las imágenes y fotografías médicas comenzaron a complementar las ilustraciones anatómicas tradicionales hechas a mano.

La tecnología informática y los sistemas de software avanzados desempeñaron un papel clave en la evolución de las ilustraciones anatómicas a finales del siglo XX, lo que resultó en conjuntos de datos de imágenes 3D de nueva generación que se utilizan en el siglo XXI en formatos innovadores para enseñar y aprender anatomía (Lorenzo Alvarez, 2018; Pereira et al., 2013; Usón et al., 2014; *Visualización de modelos 3d en archivos PDF, Adobe Acrobat*, 2020).

1.2. HISTORIA DE LA IMAGEN RADIOLÓGICA

Ya hemos mencionado la importancia que ha tenido y tiene la imagen en la formación y en la práctica de la medicina, y en particular en la anatomía, pero además cuando se produjo el hecho que permite la visualización de las estructuras internas del cuerpo en una imagen, supuso una gran revolución médica, dando lugar a una especialidad como es la radiología, a partir de imágenes de rayos X (Weber, 2001).

El descubrimiento de los rayos X en 1895 revolucionaron la medicina diagnóstica para detectar fracturas óseas, inflamaciones, derrames, tumores. Sin embargo, la radiología ha evolucionado o a lo largo del tiempo implementando nuevas tecnologías de visualización, de tal forma que se considera una mejor denominación Radiodiagnóstico.



El primer personaje a destacar es Wilhelm Conrad Roentgen (figura 7), un físico alemán que, en 1895 experimentando con un tubo de vacío y un generador eléctrico y pudo ver un resplandor en un pequeño papel con cubierta fluorescente, el cual era producido por una energía que no era visible ni conocida a la cual denominó Rayos X. También se conocieron como rayos Roentgen (Augusto Brazzini Arméstar et al., 1996).



Figura 7. Retrato de Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923). Dominio público.



La primera prueba en humanos fue con su esposa, y descubrió que podía ver los huesos de la mano, imprimió la imagen en una placa fotográfica y así nació la primera radiografía (figura 8).



Figura: 8. Primera imagen radiológica. Muestra la mano izquierda de su señora Anna Bertha Ludwing. Fue presentada al Profesor Ludwig Zehnder del Instituto de Física de la Universidad de Freiburg el 01 de enero de 1896. Dominio público Wikimedia Commons. Fotografo: Wilhelm Rontgen. <http://www.nobelprize.org/>.



En las siguientes décadas, fue impresionante el impulso con que se desarrolló esta técnica. Ya no solo era cuestión de poder ver los huesos en patología traumática u osteoarticular, sino el poder ver, con la evolución de las sustancias de contraste, otras estructuras internas como el tubo digestivo, el sistema urinario, los vasos sanguíneos, etc. De tal forma, Röntgen en 1901 recibió el primer Premio Nobel de Física (Röntgen, 1896).

Con el hallazgo de este haz de luz capaz de atravesar la materia, nació el diagnóstico médico por imágenes que mejoró considerablemente el ejercicio de la medicina.

Conforme se mejoraban los equipos de Rayos X haciéndolos más eficientes y seguros se iniciaban otras modalidades de imágenes.

El uso del ultrasonido de alta frecuencia en problemas marítimos se inició en la primera guerra mundial y las investigaciones, entre 1948 y 1958, para la aplicación de esta técnica al diagnóstico fue un trabajo en conjunto de personal y equipo militar, industrial y médico. George Ludwig primero aplicó ultrasonido con fines médicos a fines de la década de 1940 (40). Sin embargo, no fue hasta finales de los 70 que se lograron los equipos a tiempo real tal con los actuales. Hoy al ecógrafo se le conoce como el “fonendoscopio moderno”.

El progreso de la informática tiene y seguirá teniendo una gran influencia en la radiología. En 1972, el británico Hounsfield (figura 9) presenta en Londres el primer tomógrafo computarizado, en el cual la imagen no es analógica, como en la radiología convencional, sino digital. El equipo, que le valió un premio Nobel.



Figura: 9. Godfrey. N. Hounsfield. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/hounsfield.html

Fue desarrollado en base a los trabajos matemáticos, en 1917, del australiano Radon y a los de un sudafricano, Cormack, en 1950, sobre la distribución de las dosis de radioterapia causada por la heterogeneidad de las regiones del cuerpo (Di Chiro & Brooks, 1979; Wininger, 2012).

El tomógrafo mide la atenuación de los rayos X conforme pasan a través de una sección del cuerpo desde diferentes ángulos, y luego, con los datos de estas medidas, el computador es capaz de reconstruir la imagen del corte.

La más reciente aportación de la tecnología al diagnóstico por la imagen es la resonancia magnética.



la RM nuclear fue descubierta por Félix Bloch y Edward Mills Purcell, realizando trabajos con moléculas sólidas y líquidas a través de un campo magnético. Su descubrimiento les valió el premio Nobel de Física en 1952 (Edelman, 2014). Paul Lauterbur demostró en 1973 que era posible utilizar MR nuclear para crear una imagen. Lauterbur y Sir Peter Mansfield fueron galardonados conjuntamente con el Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2003 en reconocimiento a sus esfuerzos pioneros (Edelman, 2014; Lauterbur, 1973).

No fue sino hasta 1977 que se publicaron las primeras imágenes de RM en humanos, 6 años después de las primeras imágenes de TC en humanos. El primer estudio de imágenes de RM en humanos, basado en la técnica de imágenes de voxel con MR nuclear centrado en el campo (o FONAR), tardó casi 5 horas en adquirirse (Edelman, 2014).

La publicación de los artículos relacionados con la RM nuclear o la RM en Radiología tiene su origen en 1980. Las imágenes de RM nuclear enfrentaban numerosos obstáculos tecnológicos. Desde entonces ha habido un crecimiento exponencial de las publicaciones anuales en paralelo al creciente interés en el uso del diagnóstico, así como en la investigación clínica.

La gran diferencia de la resonancia magnética con todas las otras técnicas radica en que en lugar de radiaciones utiliza un pulso de radiofrecuencia y, una vez finalizado el pulso, se capta una señal proveniente del paciente, la cual es procesada por un equipo computarizado para reconstruir una imagen.

Paulatinamente con las continuas innovaciones en computación e informática, la digitalización de la imagen, así como el continuo aumento de potencia de las máquinas y la velocidad de la red, han conseguido un enorme



desarrollo y mejoras en la calidad de la imagen y han reducido enormemente los tiempos de producción de las mismas.

1.3. IMAGEN EN 3D.

Se suele pensar que la tecnología 3D es reciente o moderna, sin embargo, es una tecnología que tiene ya más de 100 años. No obstante, hace unos años, con la llegada de películas en 3D ha crecido de manera significativa su interés.

Ya conocemos la evolución de las imágenes. Sin embargo, todas ellas son imágenes estáticas. Desde muy temprano, el hombre ha querido representar el movimiento en imágenes, consiguiéndolo mediante fotogramas. Es la manera en la que nació el cine.

Otra de las obsesiones era que las imágenes pudieran representar las tres dimensiones que componen una imagen real.

Merece la pena mencionar a William Friese-Greene (Reino Unido 1855 – 1921), fue un fotógrafo e inventor inglés pionero en el desarrollo de la captura y representación de imágenes en movimiento. En 1880 trabajó en un proyector de imágenes que podía reproducir hasta 7 imágenes por segundo, basado primero en fotogramas de papel tratado con aceites.

También fue el precursor de la imagen en 3D. Intentó desarrollar un sistema de proyección estereoscópica. La ilusión de profundidad en una fotografía, película u otra imagen bidimensional se crea presentando una imagen ligeramente diferente para cada ojo (*Tecnología 3D (en el cine o televisión)*, 2011).

El científico e inventor inglés Sir Charles Wheatstone, inventa en 1840 el estereoscopio, un aparato para poder ver imágenes tridimensionales. Este dispositivo constaba de grandes espejos que reflejaban dos imágenes (una para cada ojo) creando ilusión de profundidad (EcuRed contributors, 2019; Franco Castro, 1840).



En 1845, un Sir David Brewster, otro inventor de la época, con estudios en óptica, perfecciona el instrumento con lentes correctivas para poder enfocar las imágenes desde más cerca y haciendo del aparato un objeto más pequeño que el estereoscopio de Wheatstone (figura 10).

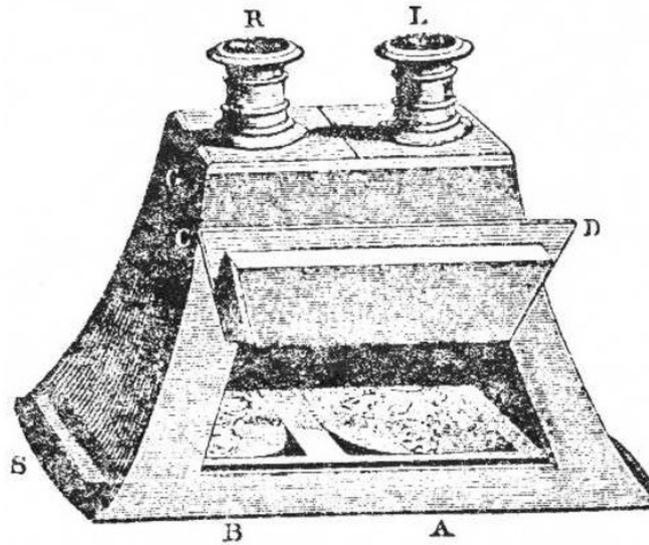


Figura: 10. Estetoscopio de Brewster. Imagen obtenida de "<https://proyectoidis.org/estereoscopia/>"

La primera fotografía estereoscópica (figura 11) se logró con una sola cámara, moviéndola 6 cm. entre una foto y la otra (los 6 cm. es la distancia normal entre los ojos -distancia interocular o interpupilar).



Figura: 11. Estereoscopia de la Reina Victoria, 1897. Imagen obtenida de <https://proyectoidis.org/estereoscopia>.



Años más tarde, Frederick Eugene Ives patentó el estereograma de paralelo, la primera tecnología de visualización 3-D auto estereoscópica "sin gafas". Comenzó a utilizar una cámara con dos lentes de diferente color. Esto es esencial, pues el 3D se consigue con la superposición de dos imágenes.

Sin embargo, las técnicas de visualización 3D aplicadas en medicina son diferentes de las técnicas usadas en la imagen fotográfica o cinematográfica. Se basan en la capacidad de ordenadores potentes para crear "fotografías" tridimensionales a partir de un determinado conjunto de imágenes médicas. Donde a partir de la obtención de múltiples imágenes consecutivas de una región, se obtiene suficiente información acerca de los vóxeles¹ que componen la imagen, rellenando los "espacios" con algoritmos basados en la información obtenida de las imágenes adyacentes. De tal forma que dan una imagen de superficie a partir de las imágenes seccionales obtenidas en los estudios radiológicos.

También es posible hoy día obtener imágenes médicas en modo cine. Por ejemplo, en la imagen de Tomografía computarizada cardiaca (figura 12), donde las máquinas son capaces de obtener imágenes topográficas a una velocidad de 320 cortes por segundo, y sincronizar su obtención con el ciclo cardiaco, permite a los computadores tener la suficiente capacidad como para que un programa informático pueda montar un vídeo sobre la visualización 3D del latido de un corazón. Esto se está empleando y se obtiene mucha información de la motilidad de las cavidades cardiacas y permite la medición de volúmenes obteniendo parámetros muy exactos de la función cardiaca.

¹ Vóxel: Unidad mínima procesable de una matriz tridimensional. Equivalente a pixel en una imagen 2D

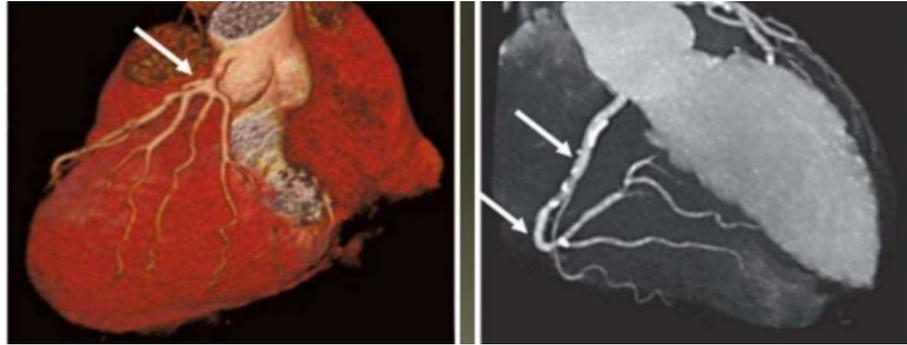


Figura: 12. Imagen volumétrica a partir de imagen de TC del corazón.

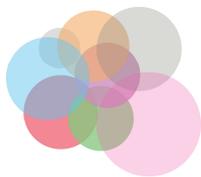
También cabe destacar el gran desarrollo de nuevas pantallas que faciliten la observación de las nuevas imágenes médicas, desde modelos 4K, disponibles en la actualidad, hasta las pantallas 8K con mayor definición.

1.4. FORMATO PDF

El formato de datos más conocido y más utilizado para el intercambio de documentos electrónicos es probablemente el Portable Document Format (PDF).

Este tipo de archivos permite mostrar los documentos de manera fiable preservando su fidelidad. Esto lo hace independientemente del software, dispositivo o sistema operativo que haya sido utilizado para crear o mostrar los datos. Además, el formato de archivo PDF es capaz de encapsular todos los recursos necesarios (por ejemplo, textos, imágenes o elementos multimedia) (*¿Qué es el formato PDF?*, 2020; *Visualización de modelos 3d en archivos PDF*, Adobe Acrobat, 2020).

El acceso abierto de la aplicación ha llevado a que los archivos PDFs sean el formato de archivo más utilizado para el intercambio de documentos electrónicos.



Es el formato de archivo estándar para la comunicación de información biomédica a través de Internet y para publicaciones académicas electrónicas. Es independiente de la plataforma, adecuada para el intercambio de datos médicos

En casi todas las computadoras hay un software con capacidad de leer PDFs. La mayoría de los navegadores de Internet y clientes de correo electrónico tienen incorporado un procesador de PDF.

Sin embargo, el PDF ofrece más funciones de las que mucha gente conoce. Los archivos PDF pueden contener vínculos y botones, campos de formulario, audio, vídeo y lógica empresarial y se abren y visualizan fácilmente con el software gratuito Acrobat Reader DC. También ofrecen la posibilidad de ser firmados electrónicamente (Edgardo García, 2016; *ISO 32000-2:2017(en), Document management — Portable document format — Part 2: PDF 2.0*, 2017)

Aunque técnicamente está disponible desde 2005, una característica estándar aún menos conocida de PDF es la posibilidad de incorporar modelos tridimensionales (3D) permitiendo así una visualización interactiva (por ejemplo, zoom, panorama, rotación y selección de componentes) de esos objetos con un software de lectura cualificado (Artifex Engineering, 2017; *ISO 32000-2:2017(en), Document management — Portable document format — Part 2: PDF 2.0*, 2017; «Taking Documents to the Next Level with PDF 2.0», 2017; Ruthensteiner & Heß, 2008).

1.4.1. NACIMIENTO DEL SOFTWARE PDF:

El formato de archivo PDF comenzó con el sueño de uno de los fundadores de la compañía Adobe, John Warnock (figura 13), de crear una oficina sin papel. Inicialmente, fue un proyecto interno en la compañía, creando un formato de archivo para que los documentos



podieran distribuirse por la empresa y mostrarse en cualquier computadora con cualquier sistema operativo. Inicialmente se llamó con el nombre del “proyecto Camelot”, lo que más tarde se convirtió en el software Acrobat (Edgardo García, 2016; *The history of PDF*, 2008; «Who Created the PDF?», 2015).

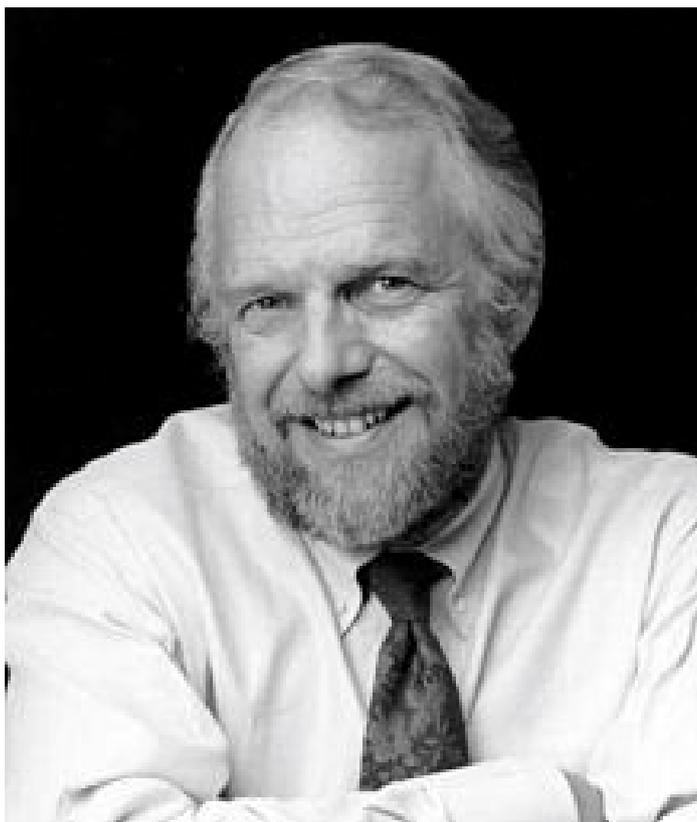


Figura: 13. John Warnock. Imagen obtenida de www.wikipedia.org Dominio público

La primera vez que Adobe presentó esta tecnología fue en una conferencia de Seybold, en San José en 1991. En ese momento, se la denominaba "IPS", que significa "intercambio de PostScript".

Desde ese entonces, el PDF se ha transformado en una norma ISO internacional y es el standard electrónico para la mayoría de los documentos tanto privados como empresariales.



El primer software capaz de soportar modelos 3D fue Adobe Reader 7. Sin embargo, el software que realmente permitió un uso más eficiente para trabajar con modelos 3D en PDF fue Acrobat 8, lanzado a principios de 2006. Esta versión proporciona herramientas para la importación y conversión de muchos formatos 3D y un editor 3D (Edgardo García, 2016).

Acrobat 9 Pro Extended ha sido la última versión que incluye herramientas para convertir y editar modelos 3D, incluida la conversión con multitud de formatos 3D (*Formatos de archivo admitidos en Acrobat y Reader*, 2019; «Taking Documents to the Next Level with PDF 2.0», 2017).



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Tabla 1. Formatos admitidos por software PDF.

Formato / aplicación	Extensión	Versión	Acrobat 9 Pro Extended	3D Reviewer
3DXML	3DXML	Hasta 3.0	S	S
ACIS	SAT, SAB	Hasta 15	S	S
Adobe Acrobat 3D	PDF	7, 8, 9	S	S
Autodesk 3D Studio	3DS		S	S
Autodesk AutoCAD	DWG, DWF, DXF	12, 13, 14, 2000-2008	S	
Autodesk Inventor	IPT, IAM	Hasta 12.x, 2008	S	S
Representación gráfica CATIA (CGR)	CGR		S	S
CoCreate OneSpace Designer	PKG, SDP, SDPC, SDW, SDWC, SDA, SDAC, SDS, SDSC, SES, BDL	V3 a V2007	S	S
COLLADA	DAE		S	S
Dassault CATIA V4	MODELO, DLV, EXP, SESIÓN	Hasta V4.2.5	S	S
Dassault CATIA V5	CATDRAWING	2D		S
Dassault CATIA V5	CATPRODUCT, CATPART	Hasta R18	S	S
Biblioteca de gráficos de Hewlett-Packard	HP, HGL, HPL, HPGL, PLT			S
Clases de fundamentos para la industria	IFC	IFC2x3 y IFC2x2	S	S
Especificación para intercambio inicial de gráficos (IGES)	IGS, IGES	5.1, 5.2, 5.3	S	S
JTOpen	JT	Hasta 8.2	S	S
KMZ	KMZ			S
Enrejado XVL	XV3, XV0	P-XVL	S	S
PRC	PRC, PRD	Todas las versiones	S	S
Pro/ENGINEER	PRT, XPR, ASM, XAS, NEU	V18.0 para Wildfire 4	S	S
PTC CADD5	PD, _PD, CADD5	Versiones 4x/5 explícita	S	S
Siemens I-deas	MF1, ARC, UNV, PKG	Hasta 13.x (NX 5)	S	S
Siemens NX	PRT	2D		S
Siemens NX	PRT	Hasta NX 5	S	S
Siemens Parasolid	X_T, X_B	Hasta 17	S	S
Siemens Solid Edge	ASM, PAR, PWD, PSM	V19, V20	S	S
SolidWorks	SLDASM, SLDPRRT	Hasta 2009	S	S
STEP Exchange	STP, STEP	AP 203, AP 214	S	S
Esterilitografía	STL		S	S
Universal 3D	U3D	ECMA 1, ECMA 3	S	S
Mundos de lenguaje para modelado de realidad virtual (VRML)	WRL, VRML	V1.0, V2.0	S	S
Objeto Wavefront	OBJ	Solo malla	S	S



1.4.2. DESARROLLO DEL SOFTWARE PDF:

El software PDF ha sido desarrollado por Adobe en las distintas versiones, incorporando mejoras y complementos en cada una de ellas.

- La versión 1.0 de PDF se anunció en la feria Comdex Fall en 1992. Las herramientas para crear y ver archivos PDF, Acrobat, se lanzaron al mercado en 1993

- Acrobat 2 estuvo disponible en noviembre de 1994. Era compatible con el formato de archivo PDF 1.1. Agregó soporte para enlaces externos, notas, dispositivo de color independiente, mejoró algunas características de seguridad.

- Acrobat 2.1 agregó soporte multimedia con la posibilidad de agregar datos de audio o video a un documento PDF.

- En noviembre de 1996, Adobe lanzó Acrobat 3.0. Fue la primera versión de PDF que fue realmente utilizable en un entorno de preimpresión. El lanzamiento de un complemento para ver los archivos PDF en el navegador Netscape incrementó la popularidad del archivo PDF en el auge de Internet. Adobe también agregó la posibilidad de vincular archivos PDF a páginas HTML y viceversa.

- La versión inicial de Acrobat 4, versión 4.0 nació en abril de 1999, pero contenía muchos errores que limitaban la utilidad del software. Esto provocó quejas, sobre todo porque la compañía Adobe intentó cobrar por



la corrección de los mismos. Al final, se envió una copia gratuita a los usuarios registrados.

Cuando se lanzó Acrobat 4.05, el PDF se había convertido en un formato de archivo aceptado para el intercambio de información. Más de 100 millones de copias de Acrobat Reader se habían descargado de la web.

-En mayo de 2001, finalmente apareció Acrobat 5 y PDF 1.4 se convirtió en una realidad. El formato del archivo en sí no había cambiado mucho.

Añadió una serie de características; adición de soporte de transparencias, seguridad mejorada, incluido el cifrado de 128 bits y la opción de configurar la calidad de impresión. Se mejoró el soporte para JavaScript, incluido JavaScript 1.5 y una mejor integración con las bases de datos. También se incorporó la posibilidad de incorporar metadatos con el documento (definición de títulos, bloques de texto...)

Esto facilita la creación de archivos PDF que pueden adaptarse al dispositivo en el que se utilizarán. Esta nueva función está destinada principalmente al mercado emergente de libros electrónicos. Adobe ha comenzado a enviar una versión de Acrobat Reader que se ejecuta en PalmOS PDA.

Los usuarios de preimpresión disfrutaron de las siguientes mejoras:

Acrobat 5 puede mostrar correctamente las sobreimpresiones. También puede realizar operaciones por lotes que se pueden utilizar, entre otras, para exportar carpetas llenas de archivos PDF. También Acrobat 5 puede comprimir imágenes que usan colores DeviceN. Esto



significa que los archivos PDF que contienen multimodos serán mucho menos pesados.

La interfaz de usuario de Acrobat se hizo más parecida a las aplicaciones de Microsoft Office. La integración de Acrobat dentro de Office también había mejorado.

Se incorporaron más y mejores filtros de exportación, incluida una opción para exportar datos desde un PDF al formato de archivo RTF. Esto facilita preservar la apariencia de los archivos al exportarlos a procesadores de texto.

A mediados de 2000, la empresa Adobe hizo algo extraño, lanzaron una nueva versión de una aplicación de dibujo, Illustrator 9. Esta aplicación tenía una característica sorprendente; fue la primera aplicación compatible con PDF 1.4. Esta fue la primera vez que Adobe no acompañó una nueva versión de PDF con una nueva versión de Acrobat.

- A mediados de 2003, Adobe anunció Acrobat 6. Una nueva versión de Acrobat, también trajo consigo una nueva versión de PDF, el 1.5.

PDF 1.5 trae una serie de nuevas características, como técnicas de compresión mejoradas, incluidas secuencias de objetos y compresión JPEG 2000, soporte para capas, mejora para etiquetar PDF.

Acrobat Reader pasó a llamarse Adobe Reader y ahora también incluye las funciones de Adobe e-book Reader. Sin embargo, el tamaño (peso) de la aplicación creció demasiado para un uso de oficina. Por este motivo se creó Acrobat Professional, la versión de gama alta de Acrobat 6, orientada al uso de preimpresión, con una gran cantidad de nuevas características. Acrobat Professional contenía mejoras como optimizador



de PDF, reglas, tickets de trabajo, vista previa preimpresión, manejo de transparencias, capas, herramientas de medición y zoom...

- En enero de 2005, Adobe comenzó a distribuir Acrobat 7. Por supuesto, ofreció soporte para un nuevo PDF; PDF 1.6 que ofrece algunas mejoras de compatibilidad con dispositivos anteriores con DeviceN y permite un manejo más preciso. También dispone de algoritmos de cifrado mejorados y mejoras menores en anotaciones y etiquetado. Los archivos PDF 1.6 se pueden usar como un tipo de formato de "contenedor" al ofrecer la posibilidad de incrustar archivos en un PDF. **La nueva característica principal es la capacidad de incrustar datos 3D.**

- El PDF 1.7 fue la versión más completa creada hasta el momento, contenía un soporte mejorado para comentarios y seguridad. El soporte para 3D también se mejoró, con la posibilidad de agregar comentarios a objetos 3D y un control más elaborado sobre las animaciones 3D. Un archivo PDF 1.7 puede incluir la configuración predeterminada de la impresora, como la selección de papel, el número de copias, la escala.

- Adobe Acrobat 8 (disponible en octubre de 2006), presentó una nueva característica interesante: en lugar de usar PDF 1.7 como formato de archivo predeterminado, se adhiere a PDF 1.6. También resulta más fácil guardar documentos en una versión de PDF más antigua. Este hecho, es probablemente el reconocimiento de Adobe de que la mayoría de las personas no necesitan la última versión en PDF para su uso doméstico.

Un hecho relevante de PDF 1.7 es que se convirtió en un formato de archivo estándar, bajo una norma ISO oficial (ISO 32000-1: 2008) en



enero de 2008 (*ISO 32000-1:2008 - Document management -- Portable document format -- Part 1: PDF 1.7, 2008*).

A partir de entonces, la organización ISO controla el estándar de PDF y Adobe no pudo introducir un nuevo formato de archivo PDF 1.8 con el lanzamiento de Acrobat 9, que fue en junio de 2008.

Sin embargo, el formato de archivo PDF es bastante flexible y permite la incorporación de extensiones; se puede usar para incrustar datos geoespaciales en un archivo PDF, algo útil para los mapas.

- El último proyecto de PDF es PDF 2.0 lanzado en 2018. Esta es la primera actualización importante en el mundo de PDF posterior a Adobe. El PDF 2.0 no es un reemplazo del PDF 1.7, es un refinamiento del formato PDF. Refuerza la seguridad de los documentos, aumenta la accesibilidad y permite una experiencia superior para la gestión y visualización de medios con gran riqueza gráfica: 3D, video, geoespacial e impresión. Una diferencia importante en comparación con las versiones anteriores de PDF; Dado que ISO posee los derechos de autor, el PDF 2.0 no se puede descargar libremente (Artifex Engineering, 2017; «Taking Documents to the Next Level with PDF 2.0», 2017).

En las últimas versiones del PDF de Adobe, es posible incorporar modelos de red de superficie tridimensional (3D), lo que permite una visualización interactiva (*PDF3D Announces 3D PDF Generation Family Version 2.7PDF3D, 2020*).

En general, podemos anunciar que el formato PDF ha evolucionado mucho desde sus primeras versiones. Progresivamente ha ido incorporando mejoras y evoluciones con mayor número de herramientas que posibilita la utilización y facilitan el manejo de los modelos (*JavaScript*



for Acrobat API Reference, 2007; Visualización de modelos 3d en archivos PDF, Adobe Acrobat, 2020).

CAPITULO II
HIPÓTESIS DE TRABAJO



CAPITULO II

HIPÓTESIS DE TRABAJO

2.1. ANTECEDENTES

En los últimos tiempos, el mundo está avanzando hacia un entorno digital de forma imparable. El uso de la tecnología multimedia en el siglo XXI se ha convertido en algo común en todo el mundo y las nuevas formas de presentación de información (entre otras los modelos en tres dimensiones) se utilizan cada vez más en la educación médica y la asistencia sanitaria (Pujol et al., 2016; Sugand et al., 2010; Trelease & Rosset, 2008).

Los modelos interactivos tridimensionales de la anatomía humana han evolucionado durante la última década con los avances en la tecnología informática. También es más común la creación de nuevos planes de estudios para la formación basados en la web (educación en línea). Estos modelos digitales pueden usarse dentro del entorno de enseñanza clásico en un enfoque de aprendizaje combinado, así como en planes de educación no presencial (Abulrub et al., 2011; Faria et al., 2016; Johnson et al., 2012; Mayfield et al., 2013; Pereira et al., 2013).

Las imágenes, y en particular las de uso en el ámbito sanitario, durante su desarrollo, han recorrido un largo camino, desde los primeros días de su aparición como herramientas ilustrativas de apoyo en el aprendizaje y práctica médica.

Hoy en día, las técnicas radiológicas modernas permiten obtener imágenes con conjuntos de datos complejos, que permiten posteriormente emplear técnicas de postprocesado, consiguiendo modelos en tres dimensiones, con una gran resolución, una calidad muy alta (Juanes et al., 2014; Newe & Ganslandt, 2013; Ruisoto Palomera et al., 2014).

Esto ha permitido el desarrollo de herramientas cruciales para la enseñanza y el aprendizaje de diferentes ciencias (Hoyek et al., 2014; Jang et al., 2018). Anteriormente en algunas disciplinas de ciencias e ingenierías topográficas y espaciales, (como en la arquitectura), se usaban fórmulas tridimensionales que representaba la realidad en proporción, realizadas a escala, (las llamadas “maquetas”). Así conseguían presentar la información de una manera más rápida, directa y gráfica. Actualmente, nuevas técnicas han surgido y progresivamente se están implementando en las aulas; como realidad aumentada, visualización telemática, hologramas, imágenes en 3D, y los modelos tridimensionales, que además de la visualización, permiten la interacción con ellos y supone una nueva forma de aprendizaje interactiva y ágil (Colucci et al., 2015; Johnson et al., 2012; Mitrousias et al., 2018; Pereira et al., 2013; Preece et al., 2013; Pujol et al., 2016; Triepels et al., 2020).

De acuerdo con lo anterior, la tecnología 3D se ha extendido a todas las disciplinas científicas, que utilizan los diferentes recursos tridimensionales para presentar la información de una manera más exacta (Newe & Becker, 2018). Esta tecnología está paulatinamente implementándose en la formación (pre- y postgrado), ya que permiten introducir al alumno en el uso de modelos anatómicos complejos, desde la ingeniería, la informática, la biología... etc., y en particular en el campo biomédico. (Abulrub et al., 2011; J. Cong et al., 2006; Jason Cong et al., 2006; Eslahpazir et al., 2014; Sampaio et al., 2010; Singh et al., 2014; Wang et al., 2012; Waran et al., 2014).

Con las nuevas técnicas de representación 3D de las imágenes se mejora la percepción espacial y el entendimiento anatómico y es posible elaborar contenidos docentes a partir de complejos modelos visuales, incrustándolos en simples documentos de almacenamiento portátil o PDF (Newe, 2015; Phelps et al., 2012).

Los usuarios, (estudiantes o profesionales de la salud) ahora tienen la oportunidad de acceder a nuevos ángulos, accesos y detalles, que ofrecen una



mejor comprensión del objeto estudiado y posibilitan la planificación e implantación de novedosas técnicas de abordaje de difícil acceso. La medicina moderna depende completamente de la visualización en 3D (Jyothikiran et al., 2014; Yarboro et al., 2017).

2.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

En el dominio biomédico, las fórmulas tridimensionales (3D) están generalizadas y se utilizan para representar multitud de estructuras (moléculas de química farmacológica, plantillas ortopédicas, estructuras biomecánicas y anatómicas, prótesis, mapeo cerebral, tractografía²...) (Jyothikiran et al., 2014; Kumar et al., 2008).

Los proyectos de investigación modernos en ciencias de la salud recurren cada vez más a las técnicas de imagen, en particular a la tecnología 3D. Sin embargo, los resultados de estas investigaciones, generalmente han sido presentados en forma de texto o como imagen ilustrativa clásica, ya sea en forma de figuras, gráficas, tablas, esquemas..., también, imágenes 3D construidas se proyectan sobre un plano bidimensional en forma de imagen, esto se ha denominado por algunos autores, como imagen en 2.5 dimensiones (Newe & Becker, 2018). Esto conlleva una pérdida inherente de la información y supone una penalización en la percepción de los detalles singulares (Jyothikiran et al., 2014). Las principales razones que se han planteado para esto, son falta de experiencia y de conocimiento en las técnicas novedosas y en el manejo de las imágenes, así como problemas técnicos en la creación o distribución de las imágenes. También puede contribuir a lo anterior, la dificultad o falta de compatibilidad de los modelos 3D en los formatos tradicionales para la presentación de la información.

² Tractografía: Técnica de imagen de RM para poner de manifiesto los haces neurales.

Se han desarrollado técnicas de representación de volumen para permitir que el software de CT, MRI y ecografía produzca imágenes en 3D (Fujita et al., 2008; Lauterbur, 1973).

Sin embargo, uno de los principales desafíos de los enfoques 3D es compartir conjuntos de datos complejos de manera efectiva e intuitiva entre colegas de diferentes campos para la discusión, y finalmente presentarlos en un formato de publicación.

En general, los conjuntos de datos 3D necesitaban softwares especiales para su visualización, por tanto, en el pasado eran reducidos a imágenes 2D. Sin embargo, existen también programas gratuitos libres disponibles en la red, como el formato PDF, sobre el que realizamos el trabajo. Éste es un formato de almacenamiento de documentos digitales independiente de plataformas de software o hardware que permite al usuario manipular los modelos sólo mediante el uso de un programa (Adobe Reader), que se encuentra a libre disposición, y evitando así la necesidad de emplear costosos y complejos visualizadores 3D existentes en el mercado (Phelps et al., 2012; Ruthensteiner & Heß, 2008).

Para el trabajo clínico diario ha crecido la importancia de uso de los modelos tridimensionales; en las especialidades quirúrgicas, (traumatología, ginecología, cirugías...) y en especialidades cuyas técnicas invasivas dependan del conocimiento y adecuado entrenamiento anatómico como anestesia, aparato digestivo, neumología, UCI...(Trunk et al., 2007; Zrimec et al., 2004). Permiten un aprendizaje y entrenamiento seguro de técnicas intervencionistas de los profesionales en formación, que precisan de un conocimiento minucioso de una región anatómica, evitando así posibles riesgos para los pacientes (Anastakis et al., 2000; Richardson-Hatcher et al., 2014). Una especialidad médica que se aprovecha de los avances tecnológicos en la imagen como ninguna otra es el radiodiagnóstico, ya que es en esta especialidad donde se aprovechan los scaneos del cuerpo humano para fines de diagnóstico y,



también de tratamiento mediante técnicas intervencionistas; siempre a partir de las imágenes radiológicas creadas a partir de rayos X, US o RM, de regiones del cuerpo humano.

Cualquier región anatómica puede ser evaluada con imágenes tridimensionales, sin embargo, resulta de más utilidad en aquellas regiones con mayor número de detalles y relaciones espaciales complejas, que son las que mayor dificultad presentan a los estudiantes. También aquellas con acceso difícil, donde no se puede acceder a su estudio directo. El presente estudio se centra en la región de la base del cráneo, ya que es una zona anatómica donde se concentran multitud de estructuras y detalles y cuyo aprendizaje habitualmente resulta dificultoso.

La base del cráneo es una región anatómica compleja, compuesta por varios elementos óseos que se disponen y contienen múltiples detalles y canales ubicados estratégicamente, de tal forma que numerosas estructuras neurovasculares vitales pasan a su través (Borges, 2009; Harnsberger R et al., 2004; Parmar et al., 2009; Raut et al., 2012).

Además, por su naturaleza y ubicación, no está directamente accesible para la evaluación clínica; por tanto su conocimiento anatómico es de una importancia capital (Miranda-Merchak et al., 2018).

El cráneo, para su estudio anatómico y descripción se divide en dos partes: región inferior o base del cráneo y región superior, bóveda craneal o calota.

La base del cráneo es una plataforma ósea sobre la que asientan el cerebro y cerebelo. Tiene dos superficies, una interna, sobre la que asientan cerebro y cerebelo y otra externa. Divide el neurocráneo del esqueleto facial.

La formación de cartílago del condrocraqueo es dependiente de la presencia del cerebro y otras estructuras neurales y requiere un proceso de inducción neuroepitelial-mesenquimal (Chileno-Aquiño & Chávez-Sevillano, 2015; Infante Contreras, 2019; White, 2016).

En la formación del complejo de la base del cráneo participan varios huesos (Sobotta, 2006). Es fundamental, por tanto, conocer en profundidad la anatomía de esta región anatómica, determinando su relación con estructuras colindantes y describiendo las principales estructuras y huesos que la componen.

De forma tradicional, para el estudio anatómico, se han empleado explicaciones teóricas y éstas se apoyaban frecuentemente con esquemas y dibujos, incluso se complementaban con atlas que contenía ilustraciones bidimensionales donde el alumno trabajaba (mediante recortes, plegables, etc...) para conseguir un mejor entendimiento. También era habitual como complemento a las horas teóricas, una enseñanza mediante prácticas. En la facultades de medicina existen salas de disecciones y laboratorios donde, por lo general, en pequeños grupos se trabaja de un modo más cercano para conseguir transmitir los detalles más complejos o de mayor importancia mejorando su precisión y realismo (Estai & Bunt, 2016; Jang et al., 2018; Johnson et al., 2012; Zilverschoon et al., 2017).

2.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

En este trabajo se ha realizado una búsqueda bibliográfica en la base de datos PubMed con el fin de conocer el estado actual de uso de herramientas tridimensionales como método en la enseñanza o práctica clínica, obteniendo como resultados escasos artículos.

Una vez evaluada esta información y teniendo en cuenta la necesidad de profundización en esta materia, dada la carencia de datos y publicaciones



acerca de las herramientas tridimensionales como método de estudio de regiones anatómicas, este trabajo de tesis, titulado “Manejo de una herramienta interactiva de visualización 3D aplicada a la neurorradiología” pretende dar a conocer las características y funcionalidades principales de los modelos tridimensionales, almacenados en formato PDF, para mejorar la eficacia en el estudio de ciencias de la salud y la potencialidad del uso de esta herramienta para el estudio de la anatomía, sobre todo en regiones anatómicas complejas como la base del cráneo.

Se pretende ampliar la difusión y funcionalidad de los modelos tridimensionales, desde la visualización de una estructura desde cualquier ángulo, con amplio rango de detalle, hasta varias formas de interacción con el mismo, añadiendo un dinamismo y creando un nivel de experiencia más profundo.

Se exponen nuevos puntos de vista, pudiendo aplicar, además distintas secciones, cortes y transparencias de (partes de) los distintos modelos 3D para valorar sus relaciones de vecindad con mayor facilidad. También es posible visualizar partes del modelo de forma independiente y con características visuales distintas. Asimismo, existe la posibilidad de configurar y personalizar el propio modelo, desde la textura, color, tamaño... y el entorno del mismo, modificando ambiente, luces, sombras... etc.

De acuerdo a los hechos y argumentos expuestos en los apartados anteriores de este capítulo, las **hipótesis** de este trabajo son las siguientes:

- El empleo de la tecnología 3D mediante imágenes y modelos interactivos permiten descubrir nuevos puntos de vista (accesos) y caracterizar detalles anatómicos más pormenorizadamente;

- La digitalización de las imágenes médicas (mediante un conjunto amplio de datos) posibilita un posterior manejo y postprocesado informático a través de softwares de modelado 3D asistido por ordenador;
- Las imágenes radiológicas de una determinada región anatómica, realizadas con equipos de última generación, por su naturaleza y cualidades, resultan un buen punto de partida para la elaboración de modelos tridimensionales personalizados, de acuerdo a las particularidades de cada paciente;
- La comparación de estos modelos tridimensionales interactivos en formato PDF con las herramientas didácticas tradicionales usadas (atlas, esquemas...) en el estudio de regiones anatómicas complejas, demostrará que los primeros podrían disponer de mayores ventajas que los segundos; incluso pudiendo potenciarse en algunos casos mediante la combinación de ambas herramientas.

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. Objetivo general

De acuerdo a las premisas anteriores, el **objetivo general** de esta Tesis Doctoral es el estudio detallado de los modelos 3D almacenadas en formato PDF para el estudio de regiones anatómicas complejas, en nuestro estudio en particular, de la base del cráneo.

2.4.2. Objetivos específicos



Según lo expuesto en el apartado anterior y partiendo de la anterior consideración, se desprenden los **objetivos concretos**, que se enumeran a continuación:

- [1] Realizar una descripción anatomorradiológica de la base del cráneo, haciendo hincapié en un análisis morfométrico de los huesos que lo componen.
- [2] Realizar un análisis de las imágenes utilizadas para la enseñanza de la anatomía, en particular en el área de neuroanatomía (*Artículos 1, 2 y 3*).
- [3] Describir y presentar las características de los modelos tridimensionales para el estudio de regiones anatómicas complejas, con especial interés en aquellos modelos guardados en formato PDF (*Artículos 4, 5 y 6*).
- [4] Demostrar que es posible la elaboración de modelos tridimensionales fidedignos de la anatomía de los pacientes, sin necesidad de estaciones de trabajo profesionales ni softwares comerciales. De tal forma que, cualquier usuario puede hacer uso de esta tecnología desde su ordenador personal. Con ello se pretende acercar esta tecnología a los usuarios (*Artículos 7, 8 y 9*).
- [5] Examinar la utilidad de los modelos 3D en distintos ámbitos, no sólo en la enseñanza. Se pretende describir usos en la práctica clínica profesional e incluso en el ámbito científico (*Artículos 4 y 10*).

Los artículos que han servido de base para la presente Tesis Doctoral, y que se incluyen en el último apartado de la misma, corresponden a:

Artículo 1: *New Generation of Three-Dimensional Tools to Learn Anatomy.*

CITADO COMO:

Tabernerico Rico, R.D., Juanes Méndez, J.A. & Prats Galino, A. New Generation of Three-Dimensional Tools to Learn Anatomy. J Med Syst 41, 88 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0725-4>

Artículo 2. *Creating Interactive 3d Models Of The Skull Base For Learning Anatomy*

CITADO COMO:

Tabernerico Rico RD, Juanes Méndez JA, Prats-Galino A. Creating interactive 3d models of the skull base for learning anatomy. En: Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality [Internet]. Salamanca, Spain: Association for Computing Machinery; 2016 [citado 16 de mayo de 2020]. p. 487–490. (TEEM '16). Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3012430.3012561>

Artículo 3. *Modelos 3D interactivos de la base de cráneo. ¿Son útiles para el aprendizaje de la anatomía?*

CITADO COMO:

Tabernerico Rico RD, Juanes Méndez JA, Prats Galino A. Modelos 3D interactivos de la base de cráneo. ¿Son útiles para el aprendizaje de la anatomía? Nuevo Hosp. 2017 junio; XIII (2): 14-8.

Artículo 4. *Aplicación de documentos pdf-3d para representar imágenes tridimensionales en (neuro)radiología. seram 2016*

CITADO COMO:



Tabernerico Rico, R., Juanes Méndez, J., & Prats Galino, A. (2018). APLICACIÓN DE DOCUMENTOS PDF-3D PARA REPRESENTAR IMÁGENES TRIDIMENSIONALES EN (NEURO)RADIOLOGÍA. Seram. Recuperado a partir de <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/745>

Artículo 5 *Nuevas herramientas tridimensionales para el aprendizaje de la anatomía humana*

CITADO COMO:

Tabernerico Rico RD, Juanes Méndez JA, Prats-Galino A. Nuevas herramientas tridimensionales para el aprendizaje de la anatomía humana. En: Livro Resumos [Internet]. Covilhã. Portugal: Faculdade de Ciências da Saúde Universidade da Beira Interior; 2016. p. 85. Disponible en: <http://cniem2016.weebly.com/livro-de-resumos.html>

Artículo 6. *Application of PDF Software with 3D Functionalities in Radiological Models of the Skull Base: Characteristics, Experience and Solutions*

CITADO COMO:

Tabernerico Rico, R.D., Juanes Méndez, J.A. & Prats-Galino, A. Application of PDF Software with 3D Functionalities in Radiological Models of the Skull Base: Characteristics, Experience and Solutions. J Med Syst 43, 103 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1233-5>.

Artículo 7. *Herramientas tridimensionales útiles para el posprocesado de las imágenes radiológicas*

CITADO COMO

Tabernerico Rico, R., Juanes Méndez, J., & Prats Galino, A. (2018). Herramientas tridimensionales útiles para el postprocesado de las imágenes radiológicas. Seram. Recuperado a partir de <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/2908>

Artículo 8 Use of 3D PDF (portable document format) in radiological models: Tools and Applications

CITADO COMO:

Tabernerico Rico RD, Juanes Méndez JA, Prats-Galino A. Use of 3D PDF (portable document format) in radiological models: Tools and Applications. En: *Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality [Internet]. Salamanca, Spain: Association for Computing Machinery; 2018 [citado 16 de mayo de 2020]. p. 351–356. (TEEM'18). Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3284179.3284239>*

Artículo 9 Taking advantage of 3D technology in health sciences: 3D PDF

CITADO COMO:

Tabernerico Rico RD, Juanes Méndez JA, Prats-Galino A, González SFP. Taking advantage of 3D technology in health sciences: 3D PDF. En: *Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality [Internet]. León, Spain: Association for Computing Machinery; 2019 [citado 16 de mayo de 2020]. p. 321–325. (TEEM'19). Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3362789.3362812>*

Artículo 10. Possibilities of application of 3d-pdf documents to represent models and tridimensional images in medicine.

CITADO COMO:



Tabernero Rico RD, Juanes Méndez JA, Mavar-Haramija M, Reina Perticone MAR, Prats-Galino A. Possibilities of application of 3D-PDF documents to represent models and tridimensional images in medicine. En: Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality [Internet]. Salamanca, Spain: Association for Computing Machinery; 2014 [citado 16 de mayo de 2020]. p. 53–56. (TEEM '14). Disponible en: <https://doi.org/10.1145/2669711.266987>

Para conseguir estos objetivos se desarrollará un trabajo de construcción y representación de imágenes tridimensionales a partir de imágenes radiológicas de estudios de TC convencionales, ya que se considera la mejor técnica de imagen para la valoración ósea de la base del cráneo (Abrahams & Eklund, 1995; Feng et al., 2009; Laine et al., 1990; Sarbu et al., 2012; Zhang et al., 2014).

Por lo tanto, se verá con gran detalle el aspecto de ambas caras de la base del cráneo, endocraneal y exocraneal. Así como la estructura de cada hueso implicado, por separado.

Se manejarán mediante las herramientas y capacidades que nos ofrece el software PDF READER en el manejo de modelos tridimensionales complejos con submodelos, de tal forma que podremos ocultar algunos de ellos o hacer transparentes ciertas zonas para evaluar con mayor detalle las estructuras y las relaciones de vecindad de los huesos que componen la base del cráneo.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS



CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología del trabajo se basó en una primera búsqueda bibliográfica en la base de datos científica PUBMED para conocer el estado actual acerca del uso de las herramientas de visualización e interacción tridimensionales como método complementario en la enseñanza o práctica clínica.

Se llevó a cabo introduciendo con los tesauros "3D PDF anatomy-" para poder acceder a los artículos que aplican la tecnología de PDF en 3D con fines de visualización en el campo de las ciencias biomédicas.

Dado que el PDF es un vehículo para presentar datos, más que un tema de investigación en sí mismo, seleccionamos la búsqueda de aquellos artículos que utilizan el software PDF en la temática de la publicación, como medio de visualización.

Se limitó a los artículos publicados después de 2004, ya que, como hemos mencionado anteriormente, 3D PDF no estaba disponible antes de 2005.

Seguidamente, a partir de imágenes radiológicas obtenidas de estudios realizados en el servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Virgen de la Concha de Zamora (España), se crearon modelos tridimensionales que puedan ser almacenados en el formato de archivo PDF.

Se utilizaron imágenes de estudios radiológicos realizados por el autor desde 2015 a 2019. Se seleccionaron aquellos estudios con estructuras óseas de mejor calidad (sin artefactos en la imagen y sin entidades patológicas), ya que no son de interés para los objetivos del trabajo.

De cada estudio se obtuvieron varias series, con algoritmo de hueso y de partes blandas.



Los estudios radiológicos se realizaron bajo prescripción de los especialistas y siguiendo los parámetros de bioseguridad respecto a los protocolos de estudio del servicio de radiodiagnóstico del hospital Virgen de la Concha. Se rellenaron los consentimientos informados de todos los pacientes antes de realizar la prueba, incluso aquellos estudios en los que no se administran medios de contraste radiológico.

Todas las imágenes utilizadas en este estudio fueron anonimizadas, de tal manera que no se incluyeron datos demográficos, nombres ni cualquier otro rasgo que pudiera comprometer la seguridad y privacidad de los pacientes.

Debido que nuestro proyecto no es un ensayo clínico, sino el desarrollo de un programa de reformato de imagen para su visualización en 3D, no se considera oportuno realizar protocolos de bioseguridad.

3.1. MEDIOS Y RECURSOS MATERIALES

Las máquinas, medios y programas que se utilizaron en el estudio para el análisis y formateo de los datos son:

Los estudios radiológicos se realizaron en máquina de tomografía computarizada (Philips, 12 detectores, ampliados a 40 mediante software computacional) del hospital Virgen de la Concha en Zamora (figura 14).



Figura: 14. Imagen de la máquina de TC Philips del Hospital Virgen de la Concha. Zamora.

El reformateo y postprocesado de las imágenes se llevó a cabo mediante dos softwares distintos.

Una herramienta gratuita y de libre acceso obtenida de internet, el Software 3D slicer© (figura 15) En el trabajo se usó la versión 4.8.1 obtenido de manera gratuita de la red, desde la página web de la compañía. “<https://www.slicer.org/>”



Figura: 15. Logo del programa 3D Slicer



PROGRAMA DE DOCTORADO FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Por otro lado, también se analizaron las imágenes desde la aplicación de la empresa PHILIPS incluida en el paquete de aplicaciones de la máquina de TC. Se trata del portal PHILIPS® IntelliSpace PORTAL Workstation (Figuras 16 y 17). Esta aplicación es de uso profesional, no gratuita, bajo licencia PHILIPS para el servicio de radiodiagnóstico del Hospital Virgen de la Concha de Zamora.



Figura: 16. Logo Portal IntelliSpace. Philips.



Figura: 17. Pantalla portal IntelliSpace Portal, de Philips.



Una vez obtenidos los modelos 3D, éstos se manejaron mediante el programa Adobe Acrobat Document Cloud (versión 2019.010.20064) (figura 18), estándar gratuito descargado de la red, desde la página web de la compañía Adobe: <https://get.adobe.com/es/reader/>



Adobe Document Cloud

Figura: 18. Logo software PDF. Adobe Document Cloud.

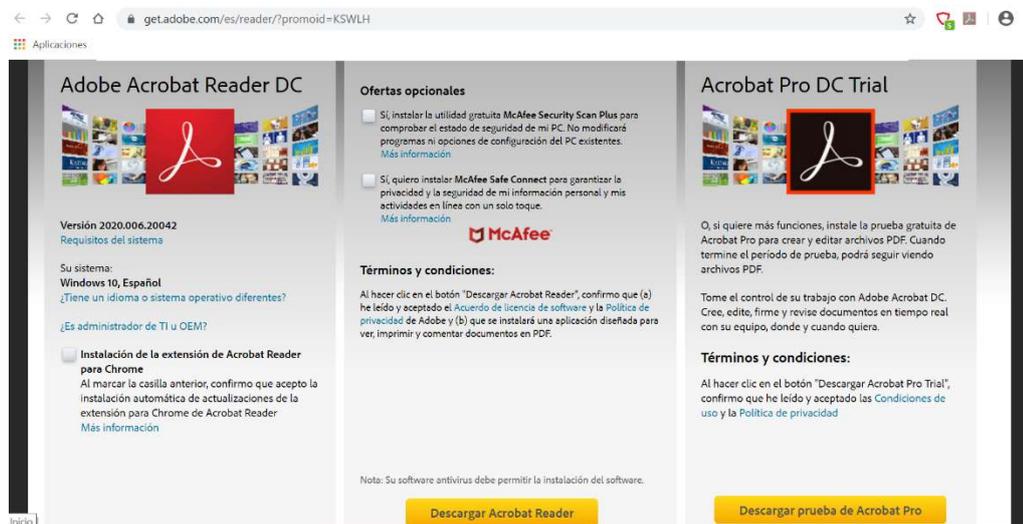


Figura: 19. Página de descarga del software adobe Acrobat Reader Document Cloud.

Esta versión gratuita, “acrobat reader”, descargada desde la página anteriormente expuesta (figura 19), nos permite visualizar, comentar, imprimir y firmar documentos PDF. Desde esta versión simple y gratuita, no nos da acceso a



otras opciones más avanzadas como crear archivos PDF, exportar estos archivos a Word o Excel, proteger los archivos con contraseñas... etc, que sí permiten las versiones de pago.

3.2. ETAPAS EN LA REALIZACIÓN DE LOS MODELOS 3D

3.2.1. PROCEDENCIA DE LAS IMÁGENES MÉDICAS

Las imágenes obtenidas de TC se centraron en estudios de la región anatómica de la base del cráneo, debido a que se considera una región anatómica compleja y con dificultad en su estudio.

Se seleccionaron imágenes con una buena resolución de contraste y adecuada resolución espacial (Figura 20). Mediante el ajuste adecuado de los parámetros, se intentó reducir al máximo los artefactos, sin embargo, en ocasiones no fue posible eliminarlos, debido a factores como el movimiento del paciente durante la exploración, artefactos de material metálicos (presencia de implantes...), adecuado campo de visión...

El protocolo empleado para estos estudios es el denominado “peñascos”, con los siguientes parámetros técnicos.

3.2.1.1. Parámetros técnicos de estudio de la máquina de TC

- Grosor de corte de 1mm
- Incremento de corte (pitch) de 0,75.
- Colimación: 64 x 0,625 mm
- Desplazamiento: 0,45
- Tiempo de rotación: 0,75-1 s.



- Potencia en el tubo de rayos X de 410 mA y 120 kilovoltios.
- Colimación del haz de rayos X 2x0,5mm.
- FOV³ de 200mm, para evitar la dispersión de los rayos X.

Los estudios generaron de promedio una dosis de radiación de 432,4mGy*cm.

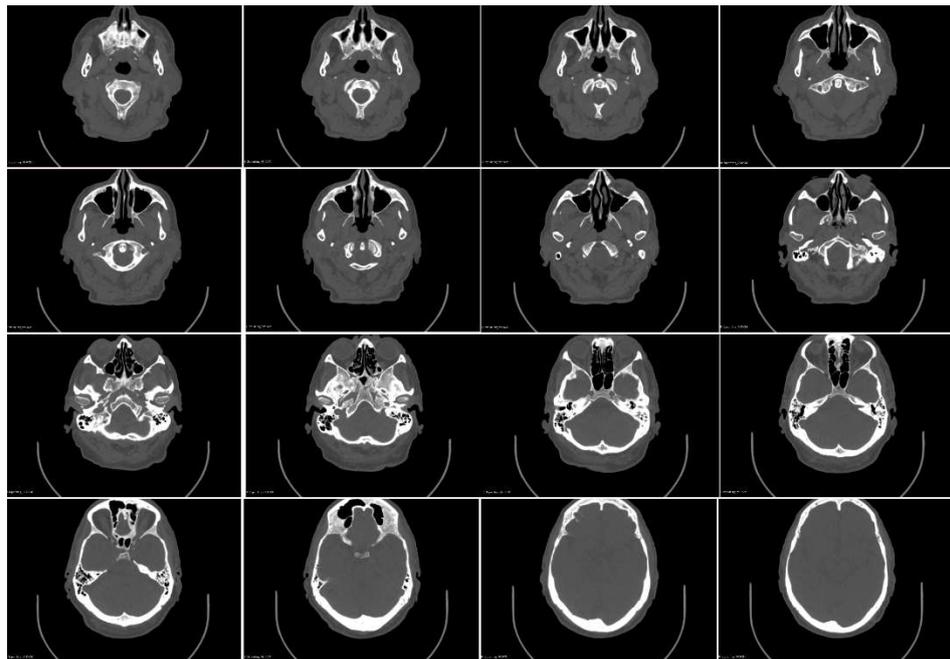


Figura: 20. Imágenes de TC de base de cráneo. Cortes axiales.

3.2.2. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Una vez se consiguieron las imágenes radiológicas, en el visor, se seleccionaron aquellas imágenes o serie de imágenes de interés y se almacenaron en formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*).

³ FOV: Field of view. Campo de vision.



El visor permite guardar las imágenes en formato DICOM en una carpeta del ordenador ya creada, o crear una carpeta nueva en el directorio de archivos del ordenador.

3.2.3. CREACIÓN DEL MODELO 3D

Existen varios métodos para crear modelos tridimensionales a partir de imágenes médicas en formato DICOM. Hay paquetes de software de licencia libre gratuitos, y también programas de pago, hasta programas profesionales complejos para usuarios con alto conocimiento en modelado 3D con diversos procesos de construcción y reformateo.

En nuestro trabajo, los modelos se crearon utilizando dos softwares distintos, uno obtenido de manera gratuita de la red; 3D slicer© versión 4.8.1 y también mediante el paquete de software incluido en la máquina CT (InterlIiSpace Portal, de Philips®).

En la sección de discusión se realizada un análisis comparativo de ambos métodos. En la sección actual se explican ambos procesos empezando por el software 3D slicer®.

3.2.3.1. Metodología usando software 3D slicer®

Como hemos mencionado, primero se descargó el programa desde la red: se encuentra en el siguiente enlace: <https://download.slicer.org/> (figura 21).



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



Download Slicer4

the free cross-platform open-source medical image processing and visualization system

3DSlicer

You are one click away from downloading 3D Slicer, a free and open-source platform for analyzing and understanding medical image data. Created through multiple grants from the US National Institutes of Health (NIH) over almost two decades, Slicer brings powerful medical image processing, visualization, and data analysis tools within reach of everyone.

Slicer is built and tested on many hardware and software platforms. 3D Slicer runs on modern Windows, Mac OS X (10.7 and up), and a variety of Linux distributions.

Installers

	Windows	Mac OS X	Linux
Stable Release <small>access older releases</small>	version 4.10.2 <small>revision 29357 built 2019-05-22</small>	version 4.10.2 <small>revision 28267 built 2019-05-20</small>	version 4.10.2 <small>revision 29357 built 2019-05-22</small>
Preview Release	version 4.11.0 <small>revision 29590 built 2019-12-19</small>	version 4.11.0 <small>revision 28950 built 2019-12-19</small>	version 4.11.0 <small>revision 29590 built 2019-12-19</small>

Resources

For everyone

- Slicer home
- Slicer wiki
- General help
- Reporting problems
- Acknowledgements
- Slicer discussion forum
- Slicer 3 download
- License
- Contact us

For users

- Getting Started
- Training and tutorials
- User documentation
- Slicer in use

For developers

- Development overview
- Building from source
- Quality dashboard: stable, preview
- Download statistics

Content of this site is Copyright BWH and 3D Slicer contributors, unless otherwise noted. Contact webmaster@bwh.harvard.edu for questions about the use of this site's content.

Figura: 21. Captura de pantalla. Descarga de software 3D Slicer

La creación del modelo anatómico se compone de una serie de pasos que a continuación detallamos

Lo primero que hicimos fue incorporar los datos (imágenes) en DICOM al software 3D slicer®. Se realizó pinchando en el botón “LOAD DATA” donde te abre un directo para localizar la carpeta que contiene los archivos DICOM en nuestro ordenador, o bien, abriendo la carpeta y seleccionando los archivos DICOM y arrastrarlos hasta la pantalla del software en cualquiera de las 3 ventanas de la derecha.

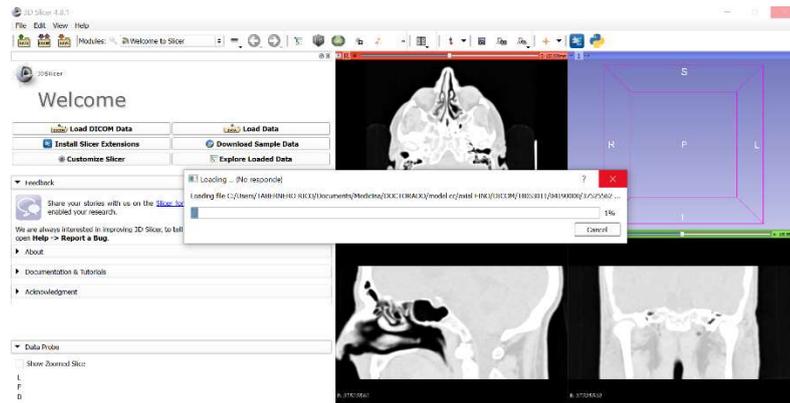


Figura: 22. Carga de imágenes DICOM al software 3D Slicer

El proceso de carga de datos dura unos instantes, se abre un cuadro de diálogo donde nos indica el proceso, que se cierra cuando termina (figura 22).

Hay que destacar, que el propio programa tiene a modo de ejemplo preinstaladas unas imágenes, para trabajar con ellas de diversas regiones del cuerpo humano. Se descargan desde el botón “Download Sample Data” situado en la parte izquierda de la pantalla.

Una vez tenemos las imágenes del estudio cargadas, aparecen las imágenes radiológicas en las pantallas en los tres planos, cada uno en una ventana; axial, sagital y coronal. En la parte superior de las ventanas se dispone de una serie de herramientas que permiten cambiar la visualización de las imágenes, la ventana, el tamaño...

A continuación, una vez las imágenes están en el programa, ya podemos interactuar, mediante los diferentes menús que dispone el programa. En los módulos desplegados de parte superior existen menús con diversas herramientas.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



Figura: 23. Módulos incluidos en el programa 3D Slicer.

Se activó el display de módulos (figura 24) y se seleccionó “volumen rendering”. En la parte izquierda de la pantalla se pica en el icono de un “ojo”. Así aparece el volumen en la ventana de volumen. Se centra dentro del recuadro mediante el botón correspondiente y se hacen los retoques oportunos con las herramientas situadas en el display de la parte izquierda de la pantalla (figura 25).

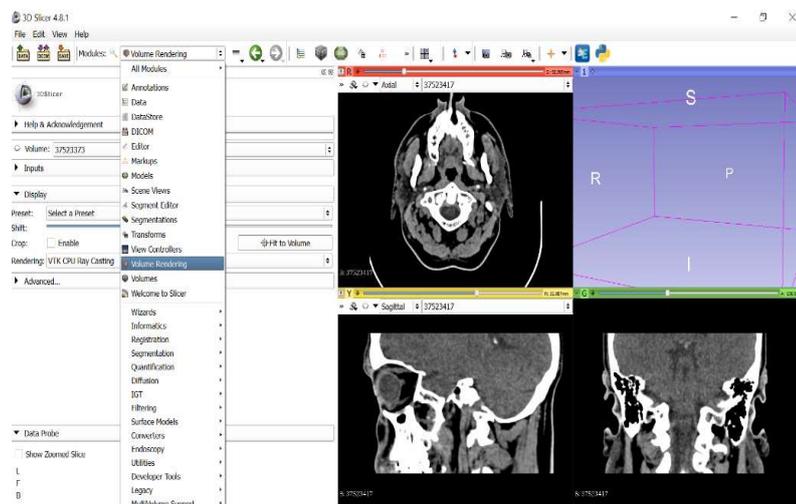


Figura: 24. Click en "Volume rendering"



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

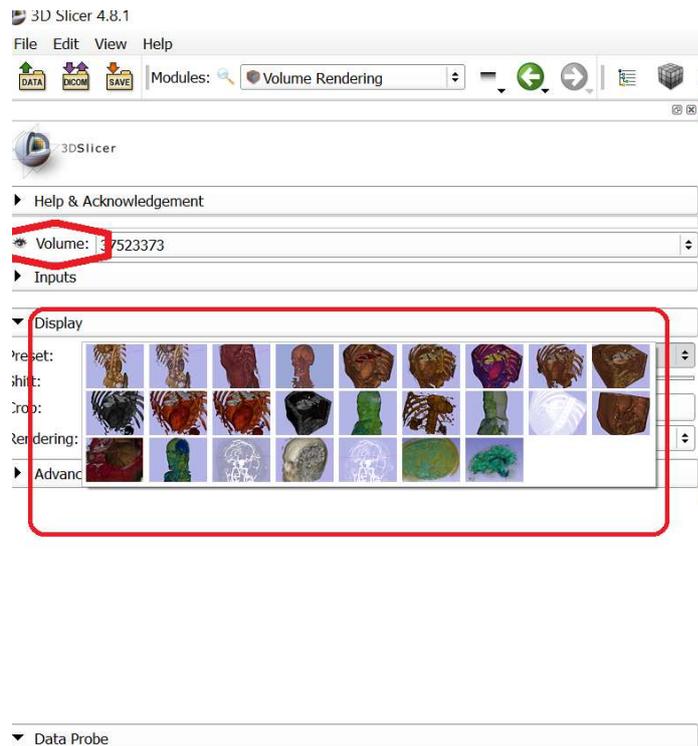


Figura: 25. Ampliación de la imagen donde se muestra el icono del "ojo" seleccionado para habilitar la visualización 3D y un display con unas ventanas predeterminadas.

Se seleccionó en el display predeterminado la ventana apropiada. En nuestro caso, la ventana ajustada a nivel óseo (figura 26).

Y obtuvimos la imagen volumétrica correspondiente (figura 26).

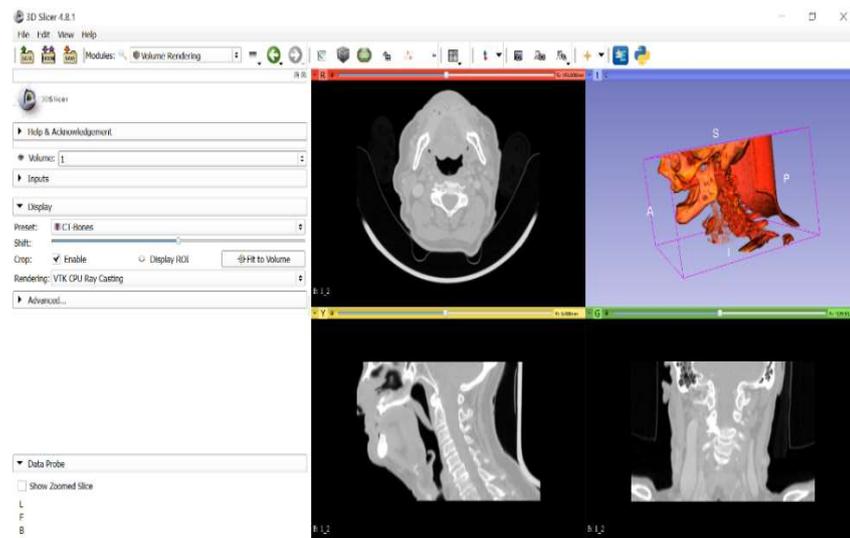
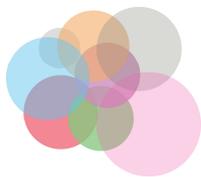


Figura: 26. Reconstrucción volumétrica a partir de las imágenes 2D.



En general, un modelo 3D, se puede construir en pocos pasos, y sin mucha dificultad. Pero es un modelo de baja calidad y que incluye todas las estructuras de las imágenes primitivas, por lo que contiene estructuras vecinas, que no siempre son útiles; como el inicio de la columna vertebral o los cóndilos mandibulares.

Si queremos, construir un modelo 3D de una región en particular, “puro”, sin el resto de estructuras y de mayor calidad, debemos realizar un proceso de segmentado de las imágenes. Por ejemplo, de la base del cráneo, sin las estructuras vecinas como la mandíbula o la columna cervical.

En este caso, debemos realizar una serie de pasos más complejos, para recortar de manera semiautomática estas estructuras, ya que el segmentado automático basado en la densidad de las imágenes en general no es de buena calidad, también por las diferencias en la densidad ósea, que nos contamina mucho el resultado.

A continuación, seleccionamos la herramienta “Editor” del menú desplegable y nos permitió seleccionar las estructuras para segmentar e incluir en el futuro modelo (figura 27).

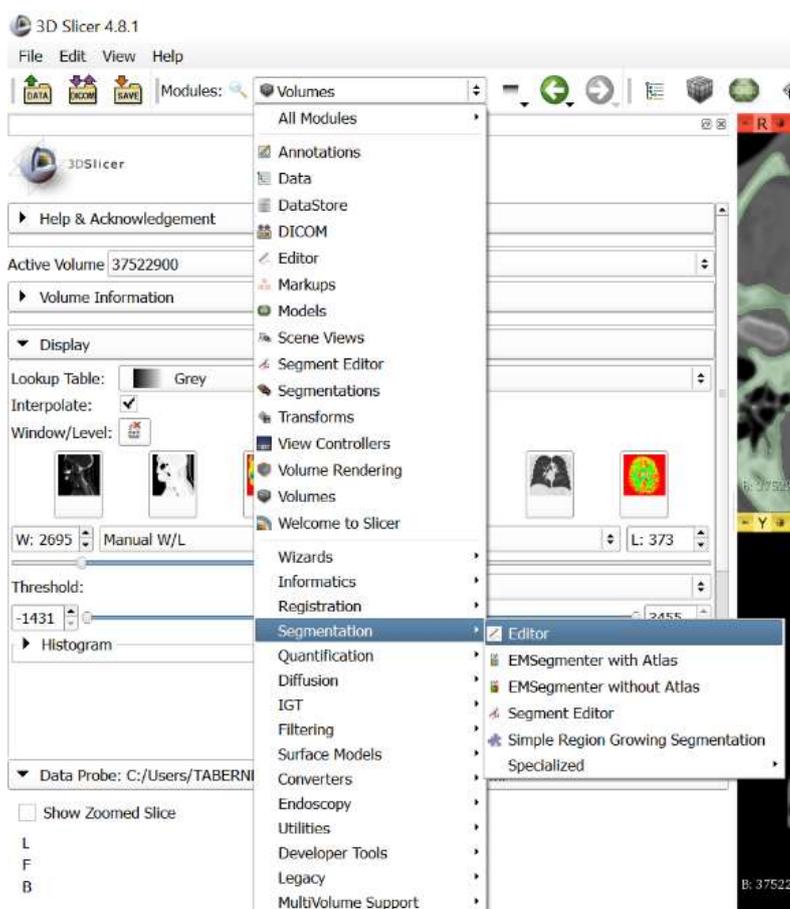


Figura: 27. Selección del módulo. "Editor"

A continuación, activamos la herramienta "Threshold" donde seleccionamos el nivel de intensidad de las estructuras incluidas en el modelo. En un desplegable se eligió el rango de colores para crear el modelo de segmentación, en nuestro caso de hueso (figura 28).

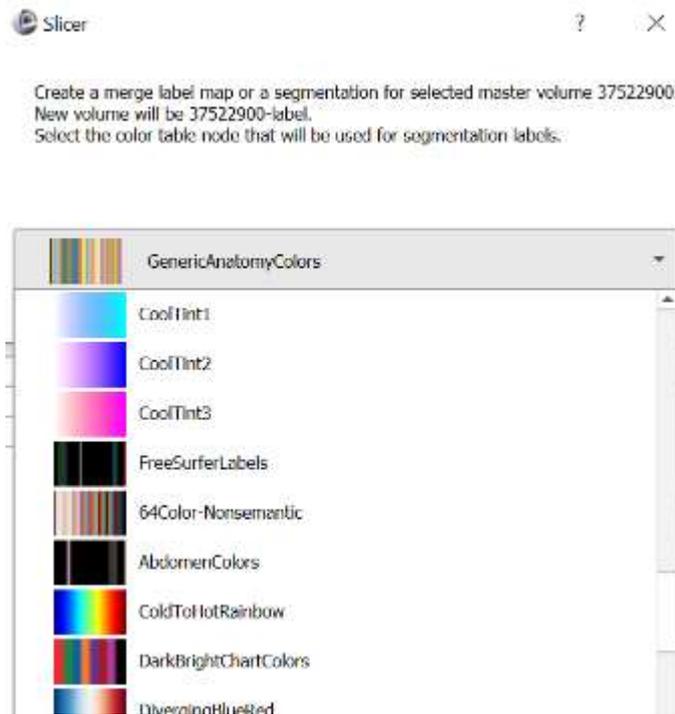


Figura: 28. Rango de colores desplegable.

Una vez seleccionamos el nivel de opacidad, aceptamos y se crea un modelo de segmentación. Para hacerlo aparecer en la ventana 3D, activamos el icono (figura 29).

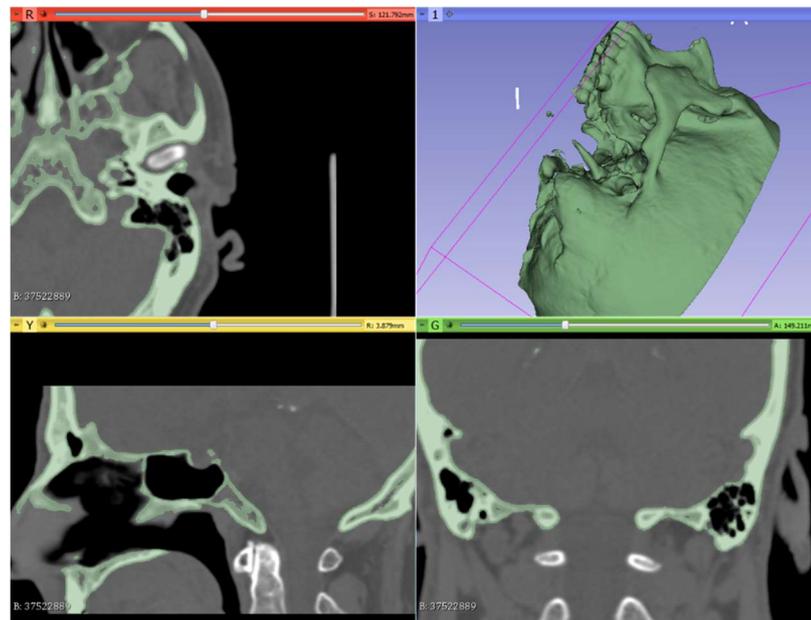


Figura: 29. Estructura segmentada para la elaboración final del modelo.

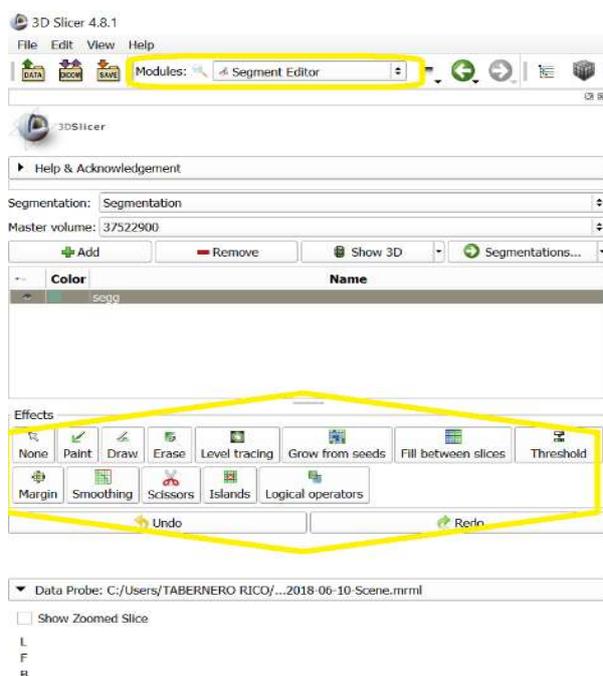


Figura: 30. Módulo "segment editor". Se resaltan las herramientas de retoque.

Posteriormente se activó el módulo "segment editor" para hacer retoques al modelo, puesto que, como se ha dicho, el programa de densidad no elabora un segmentado perfecto en el resultado (figura 29).

Mediante las herramientas proporcionadas en este módulo de aplicación (figura 30), hicimos algunas mejoras; recortamos zonas incluidas que no correspondían con el modelo. También se eliminaron "islas", que son fragmentos sueltos de alta densidad que no pertenecían al modelo (figura 31). Una vez se eliminó lo sobrante, mediante la herramienta de "adición", a modo de pintar, se incluyeron áreas del modelo que habían quedado fuera en el segmentado por nivel de densidad.

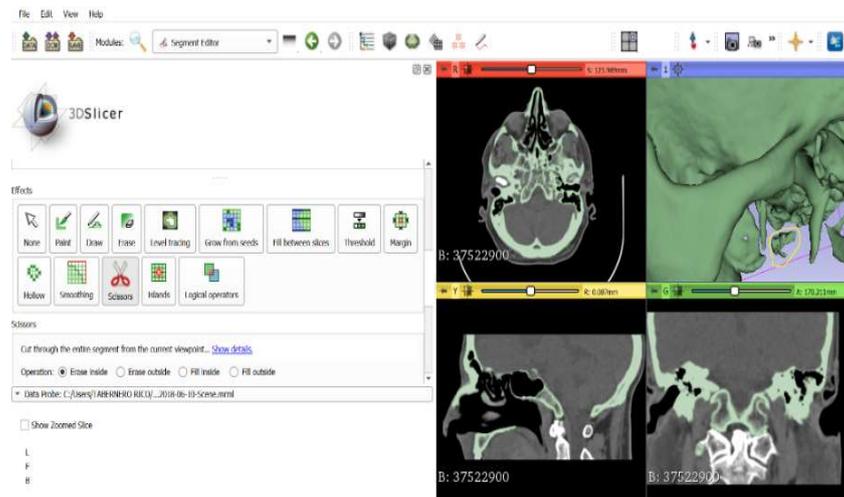


Figura: 31. Ejemplo de recorte de una "isla" que no queremos incluir en el modelo final.

También pudimos realizar un modelo con varias áreas 3D, para la mejor valoración de relaciones de vecindad. En el módulo "segment editor" añadimos un segundo modelo con la rama mandibular, que posteriormente se podrá visualizar o no, en función de lo que interese, haciendo que aparezca sola, con el modelo de la base del cráneo, o no aparezca con el modelo. Se hizo con la herramienta de añadir modelo y seleccionando la estructura a incluir, en nuestro caso la mandíbula y el inicio de la columna vertebral. Lo creó en un color diferente (figura 32).

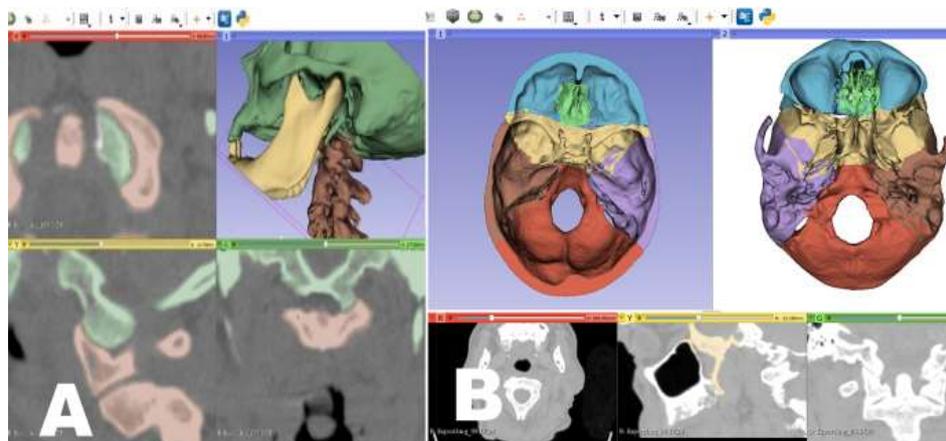


Figura: 32. A y B. Ejemplos de modelos 3D compuestos.



Asimismo, una vez realizado, pudimos elegir el color del modelo, de tal forma que fue personalizarlo de acuerdo a los intereses (figura 33).

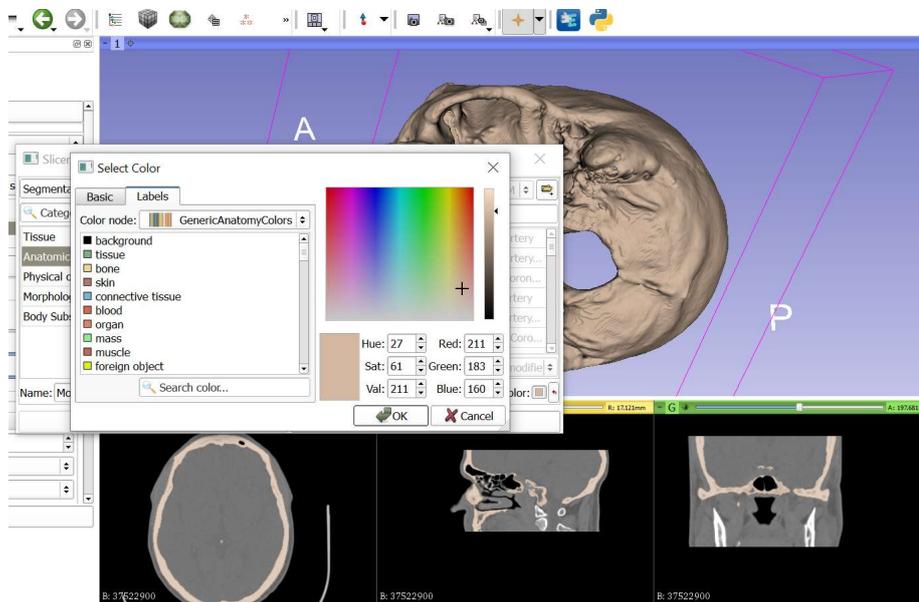


Figura: 33. Personalización del color.

Tras realizar todos los retoques necesarios, se consiguieron los modelos 3D adecuados. Sobre estos modelos, utilizamos algunas herramientas de interacción de las que dispone el software. Cambiamos de color el modelo y también lo embebimos con las imágenes radiológicas seccionales superpuestas al modelo (figura 34).

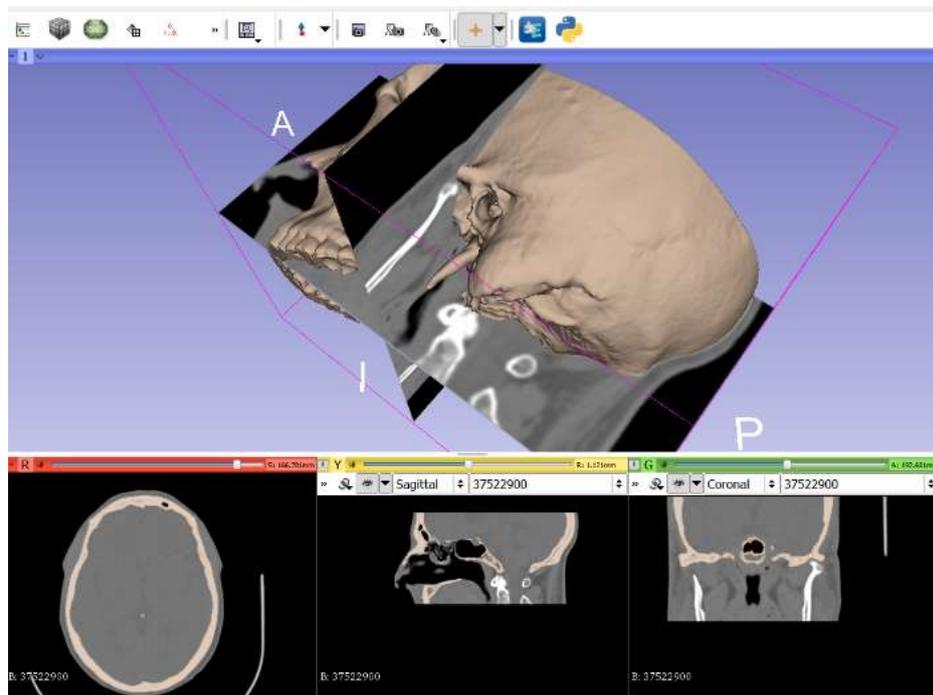


Figura: 34. Imagen general con el modelo final.

Una vez terminado el proceso lo guardamos. Entre los formatos de almacenamiento que dispone el programa no está el pdf3D o el -u3D, por lo que se archivó en los formatos -obj., -stl., -y vtk.

La conversión al formato PDF fue mediante conversor descargado desde la red, el programa reaConverter 7, edición estándar. Se añade el archivo en formato -stl. Y se seleccionó el formato de salida, en nuestro caso PDF (figura 35).

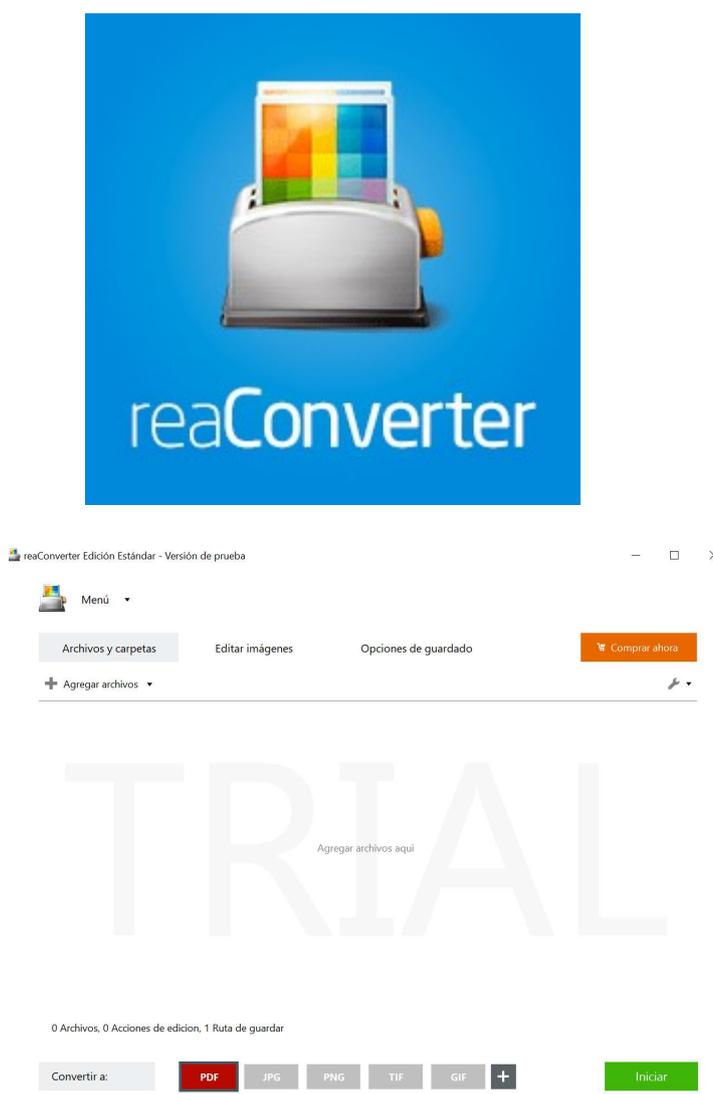


Figura: 35.. Logo y captura de pantalla. Convertidor formato a PDF.

También, es posible la conversión usando el programa Adobe Photoshop, o PDF 3D reporGen (figura 36), que nos permitieron exportar el modelo en formato 3DPDF directamente, sin necesidad de nuevos pasos. Sólo señalar que estos programas no son gratuitos, salvo versiones DEMO, y por tiempo limitado.

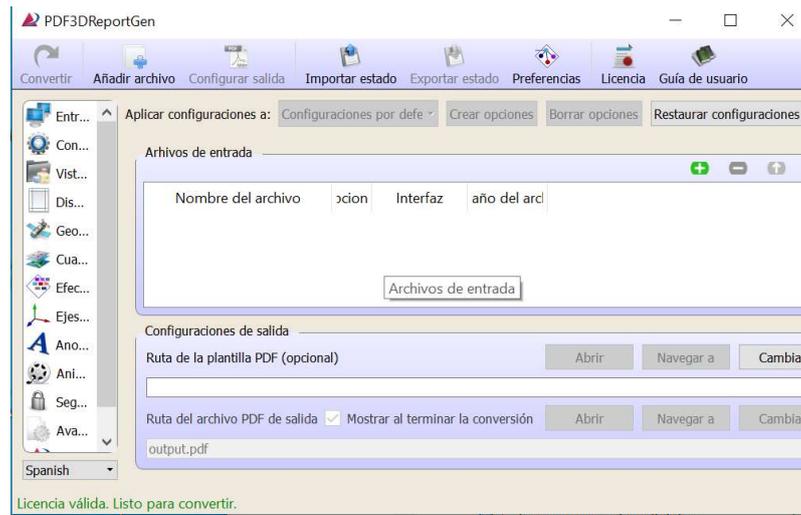
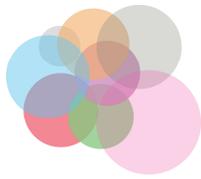


Figura: 36. Software PDF 3D ResportGen. Convierte archivos 3d (-stl, -vtk, -obj...) en PDF3D.

3.2.3.2. Metodología usando software IntelliSpace Portal®

El otro método que utilizamos para construir los modelos 3D es a partir de una aplicación incluida en el paquete de TC Philips IntelliSpace Portal.

Desde el mismo servidor del TC, donde se encuentran las imágenes radiológicas, se seleccionó la serie correspondiente e iniciamos la aplicación “3D Modeling” (figura 37).



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



Figura: 37. Portal PHILIPS. 3D Modeling.

Entonces aparece una pantalla con las imágenes radiológicas del estudio en los tres planos, una pantalla con la reconstrucción volumétrica a partir de esas imágenes y otra pantalla vacía donde se colocará el modelo que se cree. También en el margen izquierdo de la pantalla está un menú con herramientas, así como en parte superior de las imágenes, donde se sitúan una serie de botones con distintas herramientas para aplicar a las imágenes (figura 38).

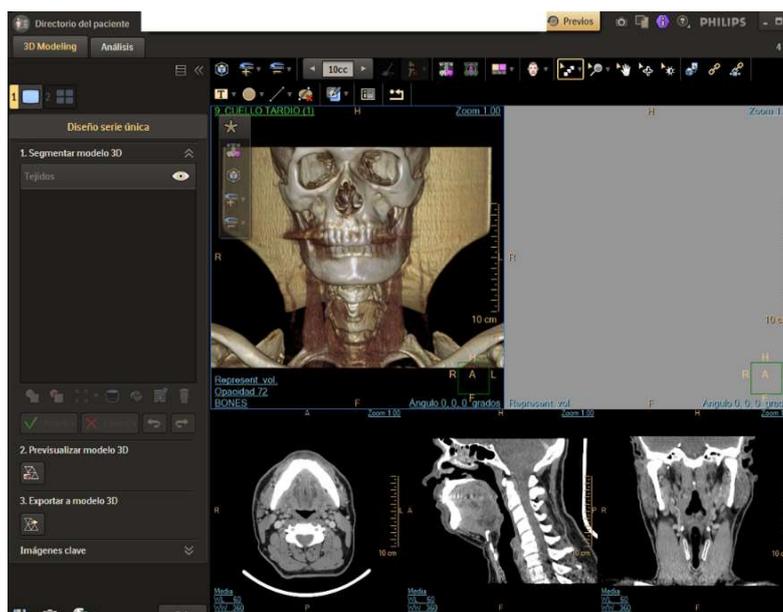


Figura: 38. Ventana inicial de la aplicación 3D modeling.



A continuación, mediante la herramienta de segmentado automático a partir de diferencia de densidades, se seleccionaron unos umbrales adecuados, en nuestro caso, que incluían a las estructuras óseas, de una manera bien definida (Figura 39).

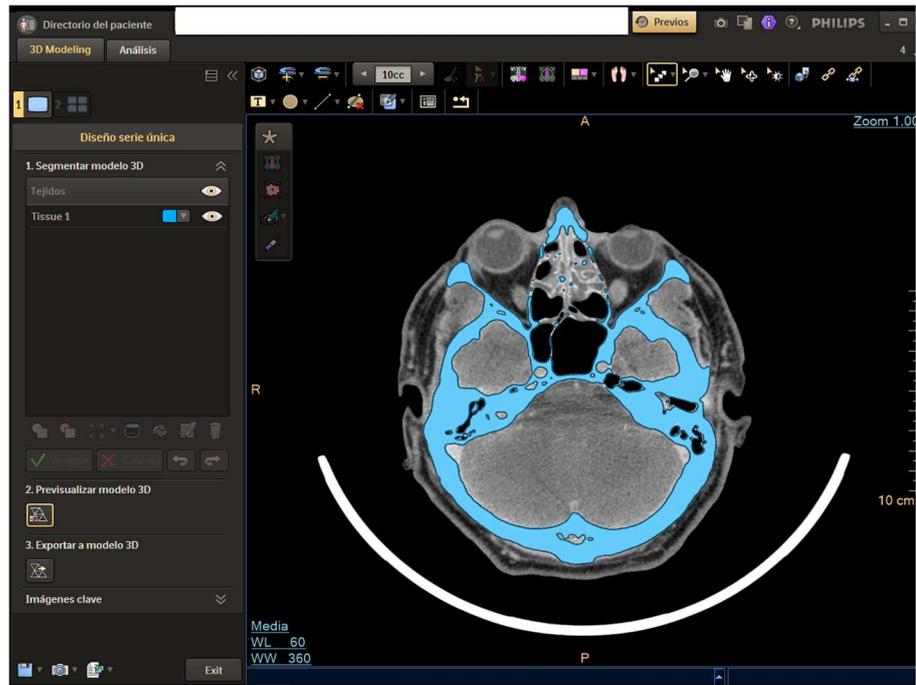


Figura: 39. Aplicación del segmentado automático mediante umbral de intensidad.

Y automáticamente se creó un “tejido”. La aplicación lo denomina “Tissue 1” y mediante el botón del icono del ojo, pudimos visualizarlo en la pantalla del modelo 3D (figura 40).

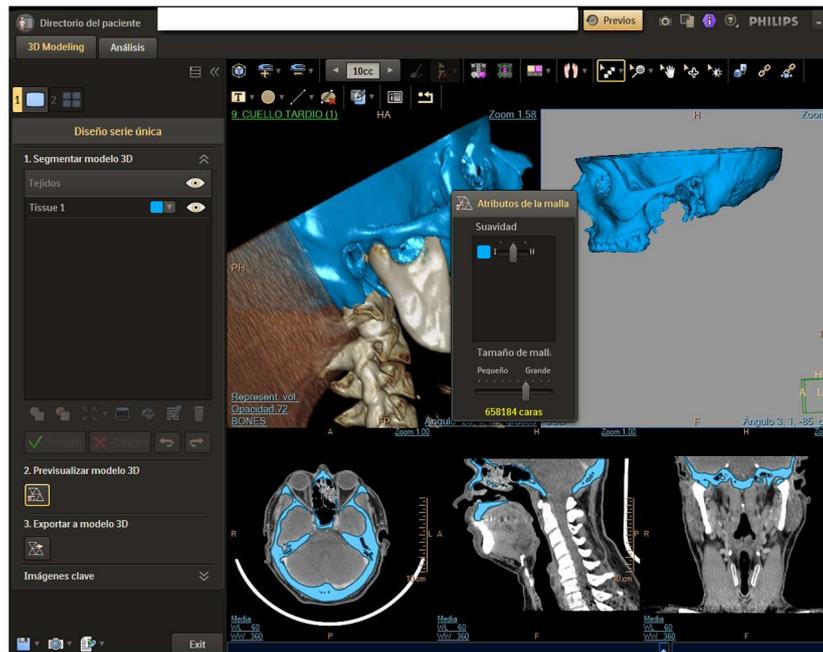


Figura: 40. Captura de pantalla de aplicación 3D Modeling. Visualización del "tejido 1".

También en esta aplicación dispusimos de herramientas de personalización, para modificar el color o apariencia según nuestro interés.

Al igual que con el anterior programa, tuvimos que realizar algunas modificaciones de pintado para crear un modelo fidedigno. Seleccionamos las estructuras para ir creando tejidos, que se pueden mostrar u ocultar según nuestro interés mediante los botones del menú de la izquierda.

Una vez terminado, la nueva imagen con el modelo segmentado, la colocamos junto a las imágenes originales, para poder visualizar el resultado (figura 41).

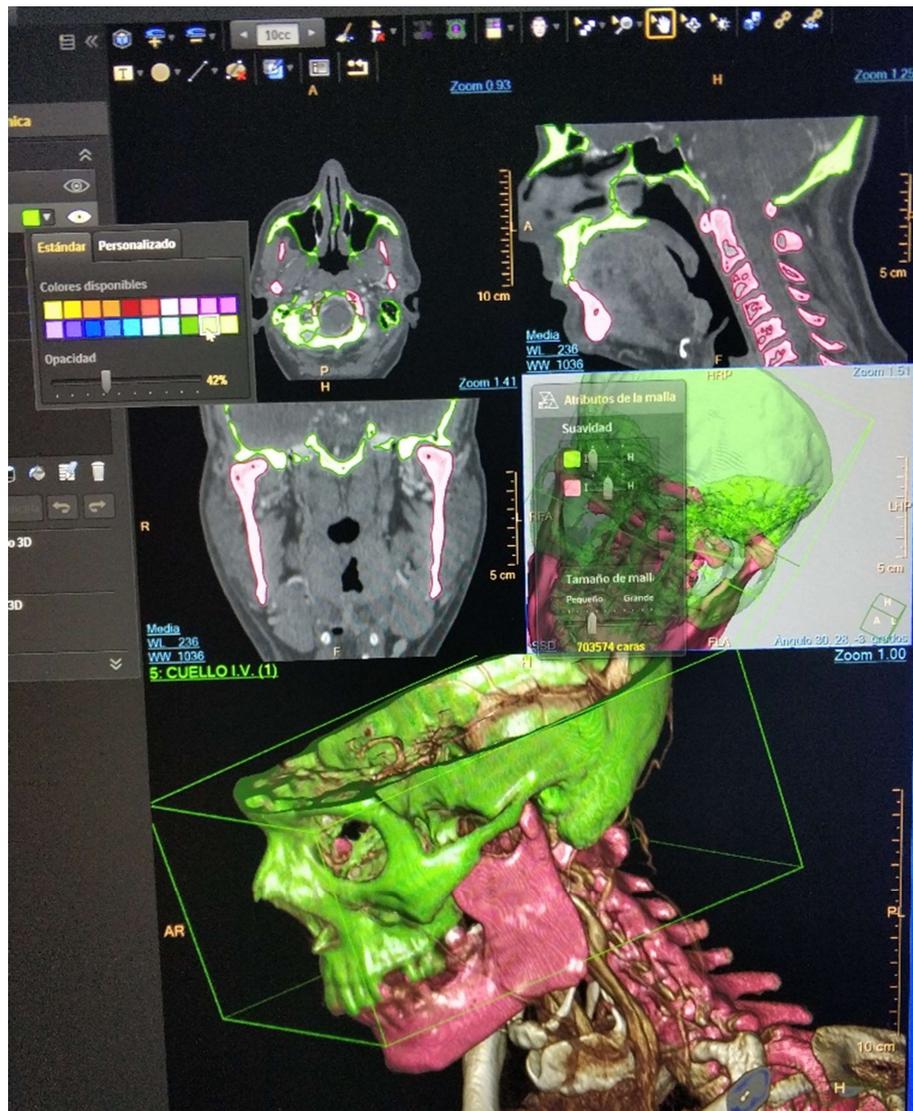
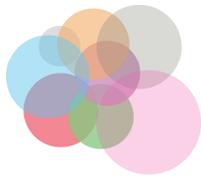


Figura: 41. Ejemplo de modelo 3D.

Una vez se compuso el modelo requerido, la aplicación dispone de un botón para exportar el modelo directamente. Dispone de varias modalidades de archivo. La malla 3D, o en PDF 3D. Además, permite seleccionar los “tejidos” que se desean guardar. Se pueden guardar varios “tejidos” que componen un mismo modelo 3D, permitiendo hacer transparente u ocultarlos cuando se desee.



Por lo tanto, desde esta aplicación se pudo exportar el modelo directamente en el formato PDF (figura 42), sin necesidad de más pasos intermedios.

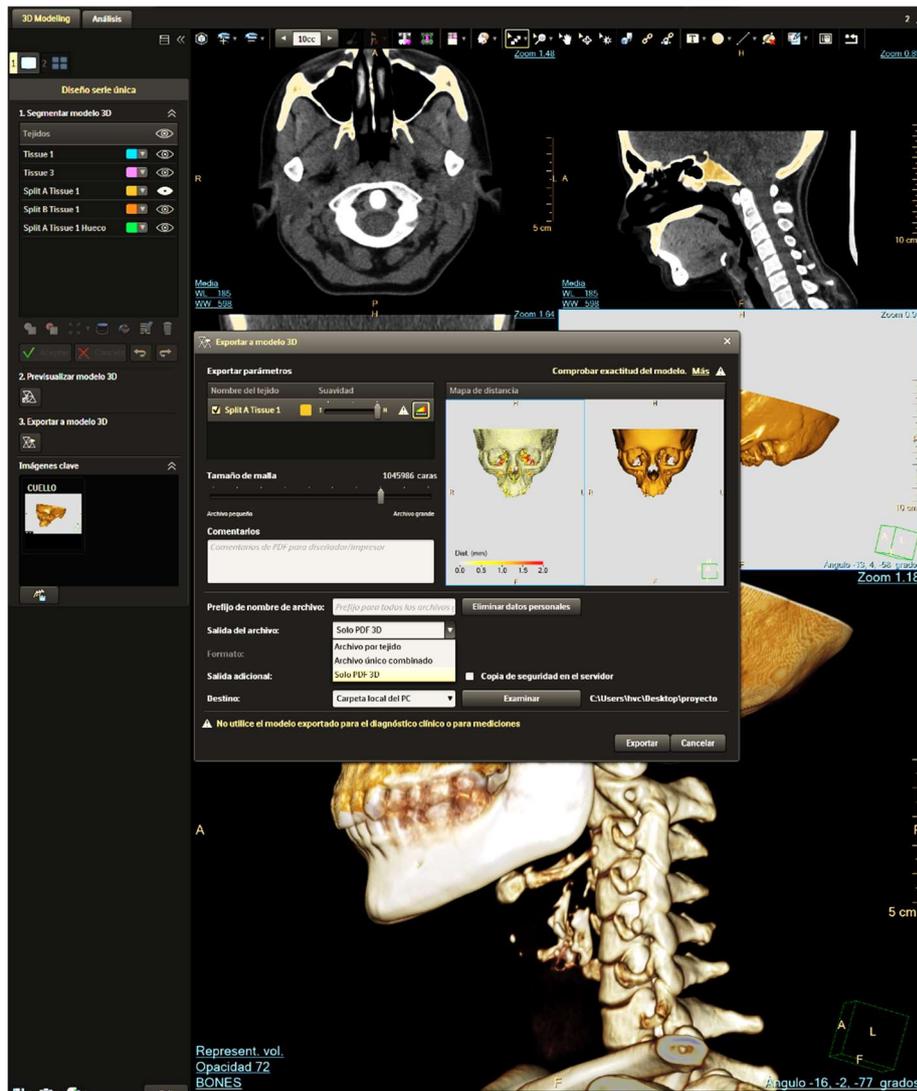


Figura: 42. Modos exportar el modelo.



3.2.4. MANEJO INICIAL DEL SOFTWARE PDF READER

Una vez se cargó el modelo tridimensional, el programa PDF lanza un aviso para habilitar el contenido en 3D (figura 42). Una vez habilitado el contenido 3D, (podemos hacerlo una vez, o para siempre que abramos ese documento), se activa la barra de herramientas 3D, para manejar y manipular el documento (figura 43).

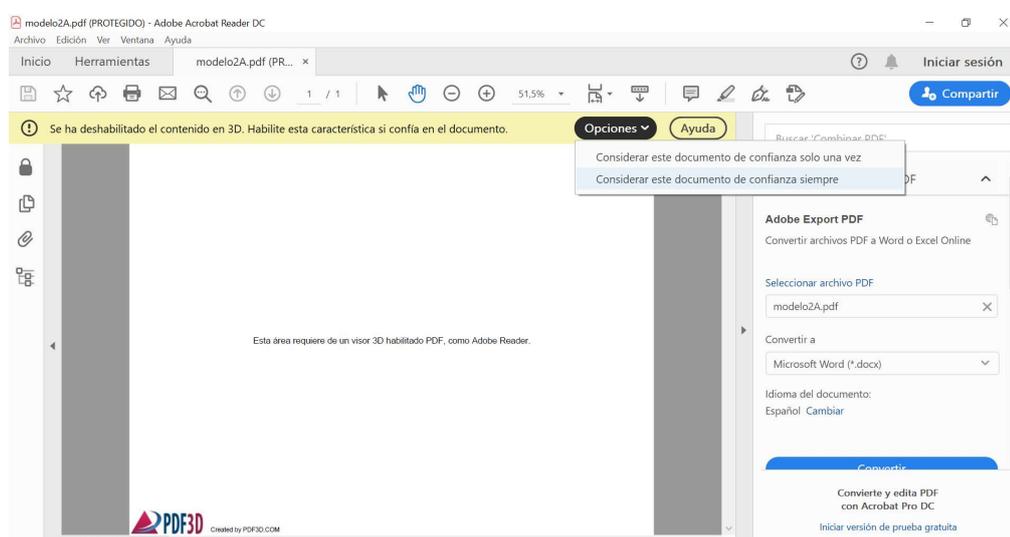


Figura: 43. Software PDF. Aviso de activación de módulo 3D.

Aunque estemos trabajando con un documento tridimensional, el archivo PDF permite hacer uso de sus herramientas generales, comunes a todos los documentos PDF. Una vez se activó el contenido 3D, apareció la barra de herramientas del contenido 3D, que nos permitió interactuar con el modelo. Pero, antes de hablar de la visualización interactiva, que se hará en el apartado de resultados, detallamos brevemente algunas propiedades generales que ofrece el formato PDF, común a todos los documentos, y que modificamos para una mejor experiencia en la visualización de estos documentos con material en tres dimensiones.



En el botón “archivo” (figura 44) localizado en el margen superior izquierdo de la pantalla, desplegamos una pestaña con herramientas, entre las cuales destacamos, “abrir”, para visualizar otro documento PDF (puede ser otro modelo diferente) en una segunda pestaña o ventana nueva.

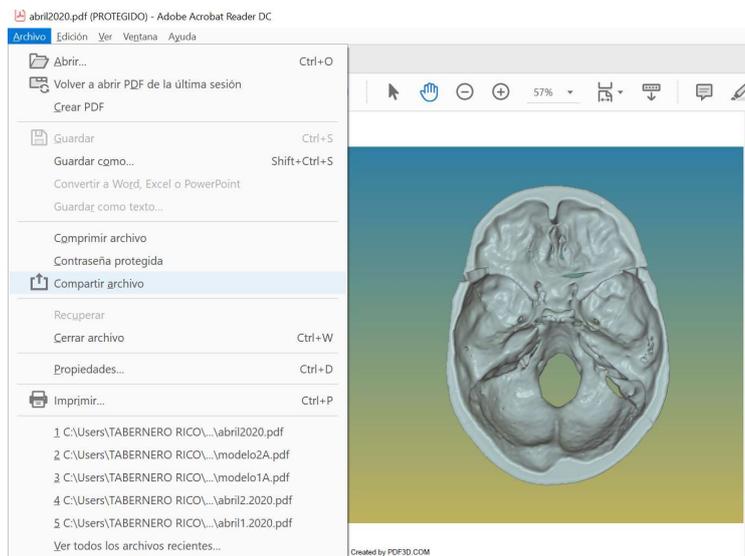


Figura: 44. Menú "archivo".

- Mediante el botón “guardar como” almacenamos el archivo con los cambios realizados en cualquier unidad de almacenamiento.
- El botón “compartir archivo” se utiliza para enviar el modelo a colegas; pinchando se abre una pestaña superpuesta donde se pregunta cómo quiere compartirlo, mediante la creación de un enlace, o haciendo una invitación mediante código. También permite enviarlo como archivo adjunto en un correo electrónico. (Figura 45).

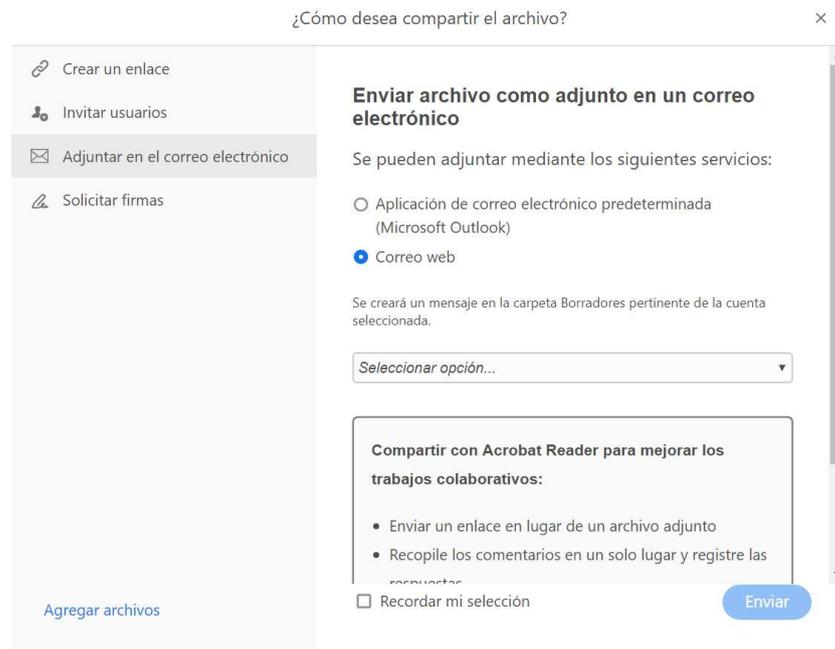


Figura: 45. Métodos para compartir el documento PDF entre usuarios.

- El botón “imprimir” no fue utilizado en este trabajo, precisamente, porque consideramos que mediante una visualización interactiva se puede sacar mucho partido a los modelos sin la necesidad de recreaciones en objetos físicos. Sin embargo, el programa PDF Reader DC, ofrece también esta posibilidad que sirve para transformar el modelo en un objeto físico, ya sea en papel (mediante una visualización bidimensional del modelo 3D, imagen en 2,5D) con el modelo incrustado o, si se dispone de la tecnología o impresora 3D, construir el modelo en un objeto material.

La segunda herramienta, que usamos es la herramienta “Edición”. Esto nos permitió, como en cualquier otro documento editar el texto incluido en el modelo con los botones de “cortar”, “copiar”, “pegar”. También nos permitió elegir las preferencias generales del documento y de las opciones multimedia y 3D.



- Seleccionando el botón “preferencias”. fue posible configurar opciones de contenido multimedia y 3D; cambiar la visualización, mediante cruces en lugar de puntos en la malla de superficie, abrir el árbol modelo (mostrar u ocultar), el estado de la barra de herramientas (ocultar, mostrar o fijar), mostrar ejes de orientación o el cuadro delimitador. También configuramos las herramientas de medición lineal y angular mediante la elección de las unidades en centímetros, y grados respectivamente (figura 46).

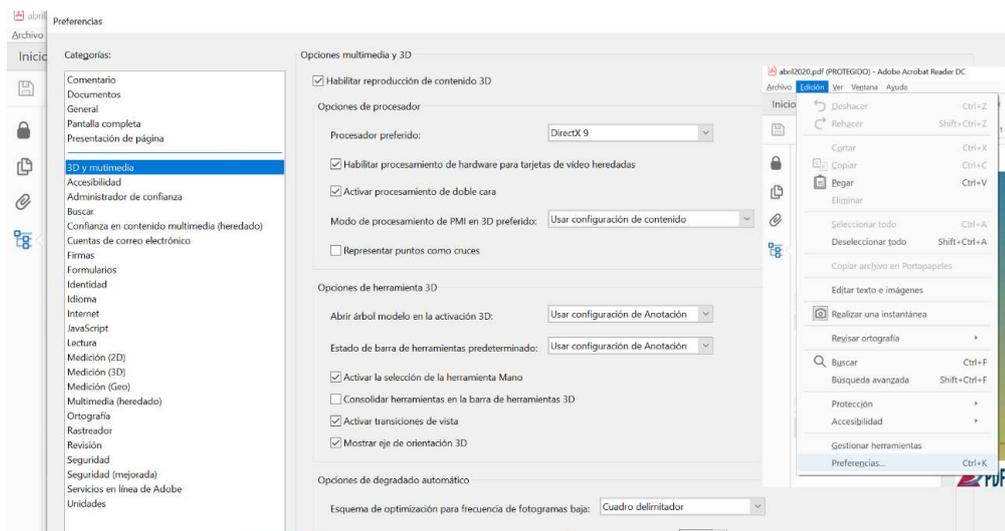


Figura: 46. "preferencias". Opciones multimedia y 3D.

También configuramos las herramientas de medición lineal y angular mediante la elección de las unidades en centímetros, y grados respectivamente (figura 47)



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

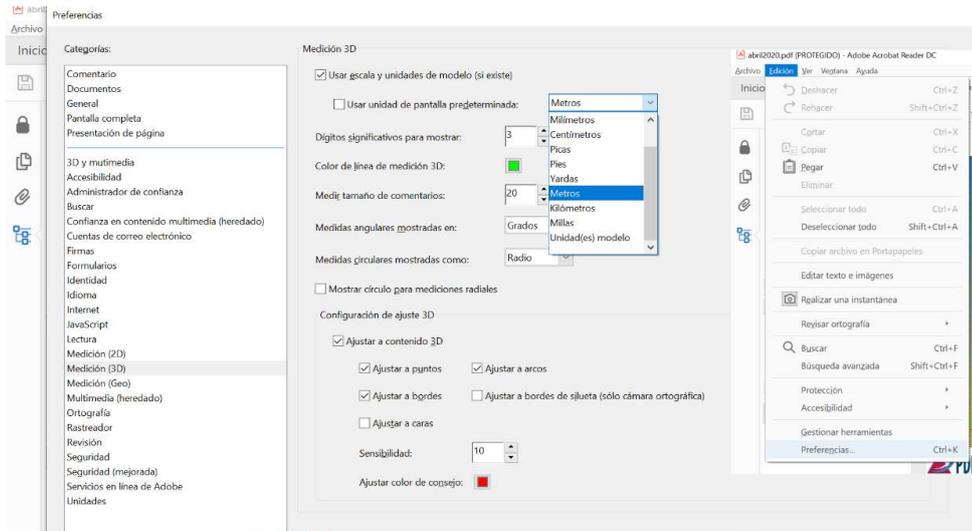
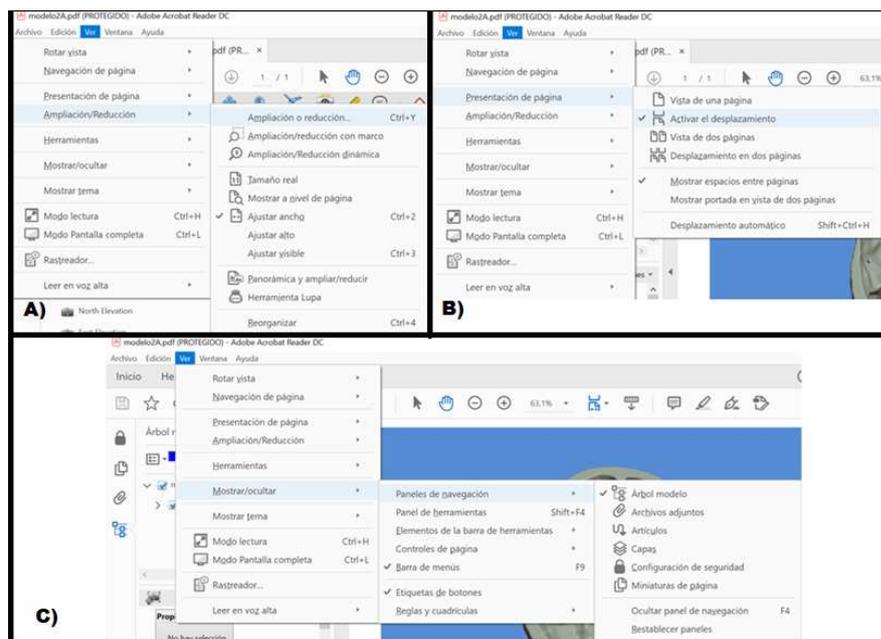


Figura: 47. "preferencias" medición 3D.

El siguiente botón, “ver”, se utilizó para cambiar la vista de página, o apariencia de la pantalla, mostrar u ocultar elementos de la barra de navegación, o del panel de herramientas, incluso pudimos personalizar y elegir los botones ocupan cada una. Además, como anécdota, se cambió en alguna ocasión el color del tema del programa, por una gris oscuro. (Figuras 48 y 49)





PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Figura: 48. Características función "ver" en software PDF. A) "Ampliación-reducción". B) "Presentación de página". C) "Mostrar/ocultar".

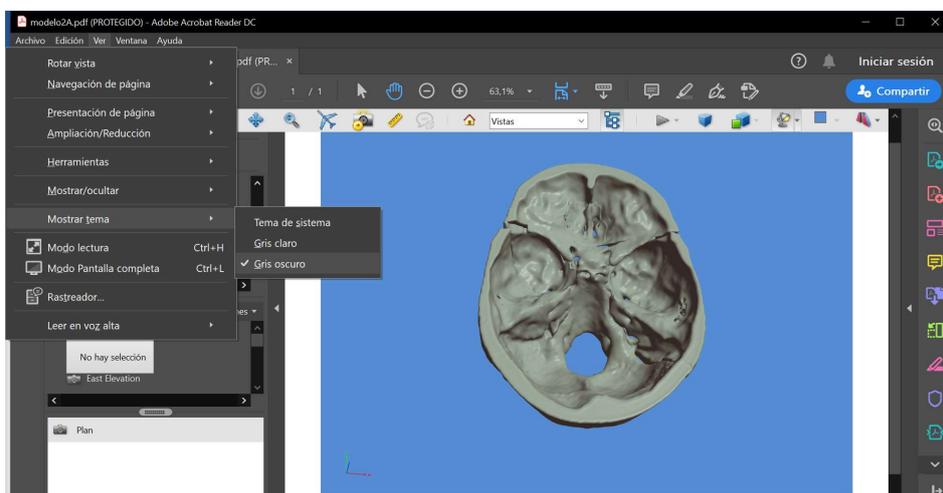


Figura: 49. Modificación color del tema del programa PDF.

Seleccionando en el botón "ventana" localizado a la derecha del de archivo, se puede manejar la forma de visión, de cascada, con varias ventanas o documentos abiertos, o modo en mosaico horizontal o vertical, como en la figura 50, útil cuando se está trabajando con varios documentos a la vez, combinando la barra de herramientas para visualizar las características de manera simultánea.

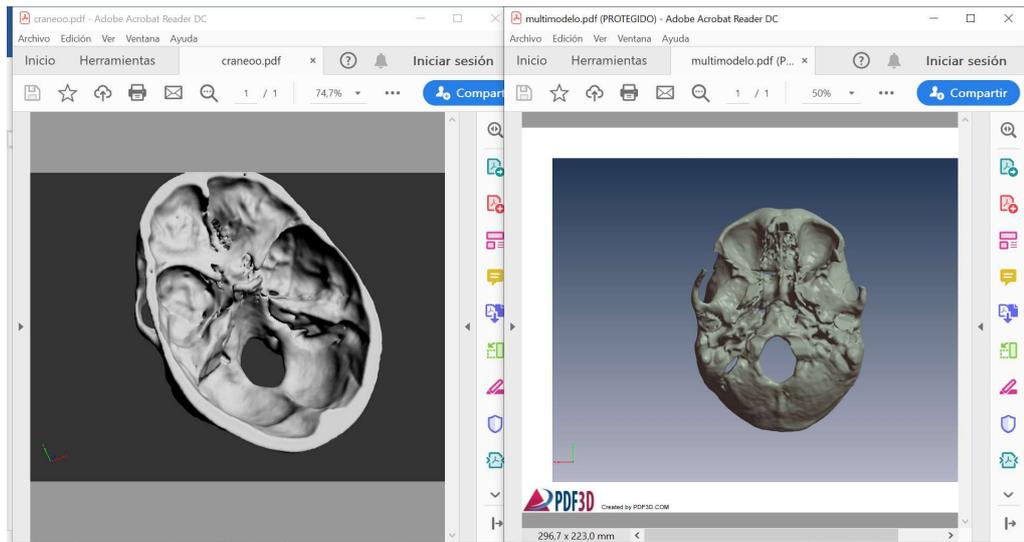


Figura: 50. Función "mosaico", para visualizar dos documentos PDF en horizontal o vertical desde un mismo archivo.

Por último, nos queda que describir la función de “ayuda”, que ofrece un soporte en línea o búsqueda de actualizaciones del software. Esta herramienta no fue utilizada durante el desarrollo de este trabajo.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el trabajo, una vez construidos los modelos tridimensionales de la región anatómica de estudio (la base del cráneo) y almacenados en formato PDF, para que puedan manejarse desde un lector, procedemos a la manipulación de los mismos, mostrando sus características y describiendo las herramientas específicas que tiene este programa (Adobe Reader) para su visualización interactiva.

4.1. 3D PDF.

El programa lector de PDF (Adobe Reader), se encuentra en la red, para una descarga libre y gratuita, como nos marcamos al comienzo del trabajo en los objetivos. De esta manera evitamos la necesidad de software costosos y complejos existentes en el mercado y enfocados para profesionales del modelado y animación 3D.

A continuación, se hará una breve explicación con las funciones principales que ofrece el programa cuando tiene contenido tridimensional.

Una vez abierto y activadas las propiedades 3D del documento, como se ha referido en la sección de metodología (eligiendo la opción apropiada: considerar este documento de confianza solo una vez, si nos interesa verlo una única vez; o considerar este documento de confianza siempre)

Una vez habilitado el contenido 3D, aparece en la parte superior de la pantalla la barra de herramientas 3D y se reproduce la animación, si el modelo que manejamos dispone de ella (figura 51).



Figura: 51. Barra herramientas 3D de software PDF.

Manejo de la barra de herramientas 3D

Puede usar la barra de herramientas 3D para reducir y ampliar el objeto, rotarlo y obtener una panorámica.

El Árbol modelo permite ocultar o aislar partes, o para hacer las partes transparentes.

Un modelo 3D se manipula seleccionando y arrastrando con diversas herramientas de navegación 3D.

4.1.1. Herramientas de navegación 3D

A continuación, se detallan los diferentes botones de que consta la barra de herramientas y las funciones que permiten.



Botón Rotar

Esta herramienta permite girar objetos 3D respecto a la pantalla. El movimiento del objeto depende de la vista inicial en la que inició el arrastre y de la dirección de éste (figuras 52 y 53).

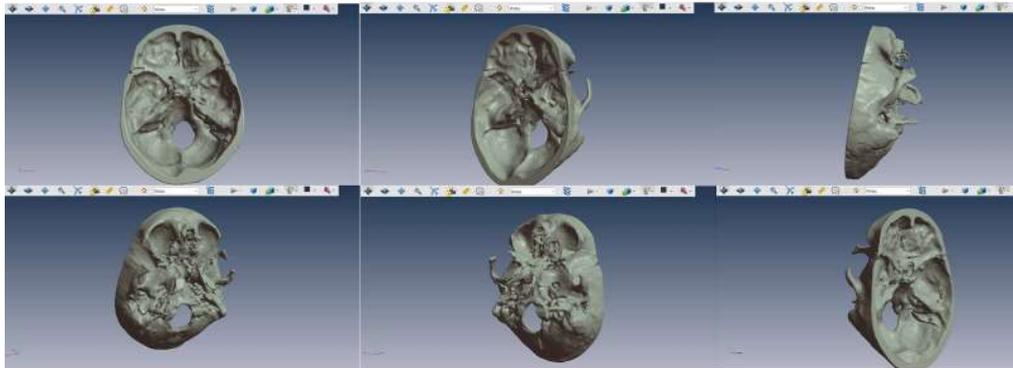


Figura: 52. Modelo 3D en software PDF. Herramienta girar izquierda-derecha.



Figura: 53. Modelo 3D en software PDF. Herramienta girar arriba-abajo.

Girar

Gira un modelo 3D en paralelo respecto a los dos ejes fijos del modelo 3D, el eje x, y el eje z (figura 54).

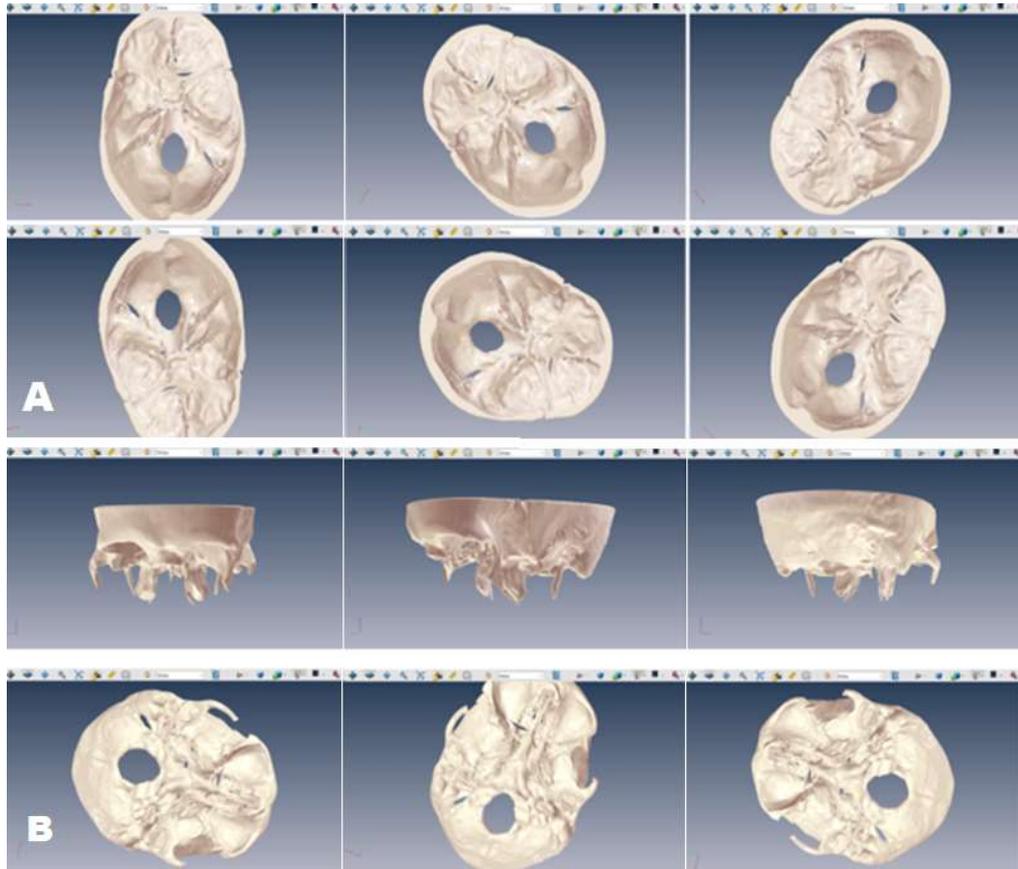


Figura: 54. . Manejo PDF 3D. Herramienta "girar" sobre eje "X" (A) e "Y" (B).

Panorámica

Permite mover el modelo únicamente en vertical o en horizontal. También puede realizar esta acción con la herramienta Mano: mediante los comandos Ctrl+arrastrar (figura 55).

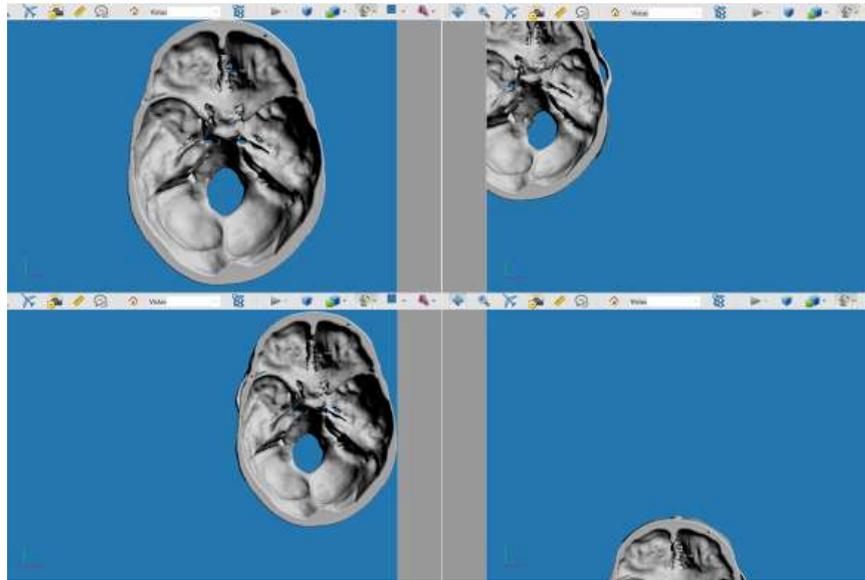


Figura: 55. Herramienta "panorámica" en archivo PDF.

 Ampliar/Reducir

Acerca o aleja los objetos que forman parte de la escena al arrastrar verticalmente (Figura 56).

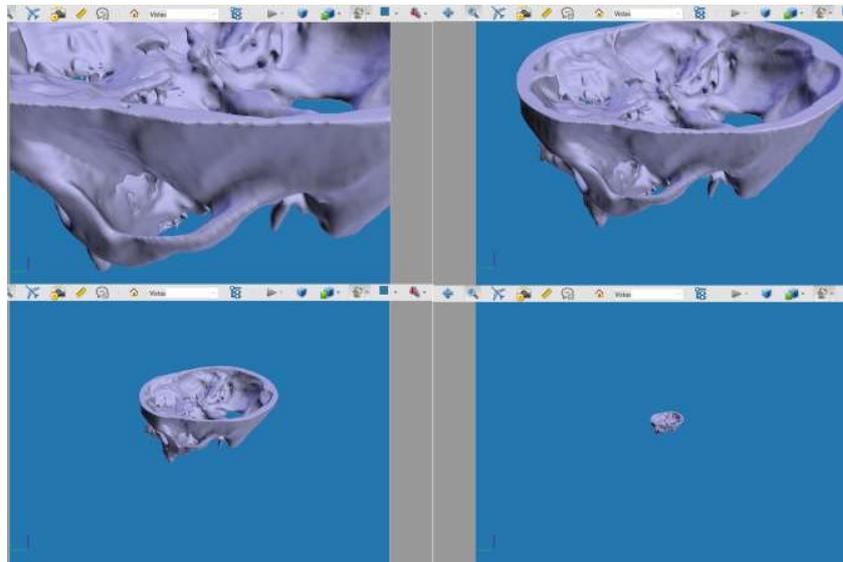


Figura: 56. Herramienta Ampliar/Reducir.



 Caminar

Esta herramienta se considera especialmente útil para modelos arquitectónicos, menos para modelos biomédicos. Si arrastra verticalmente, se desplazará adelante o atrás en la escena; en ambos casos mantendrá un nivel de elevación constante. Se permite cambiar la velocidad de desplazamiento desde el menú → preferencias → herramientas → Caminar (figura 57).

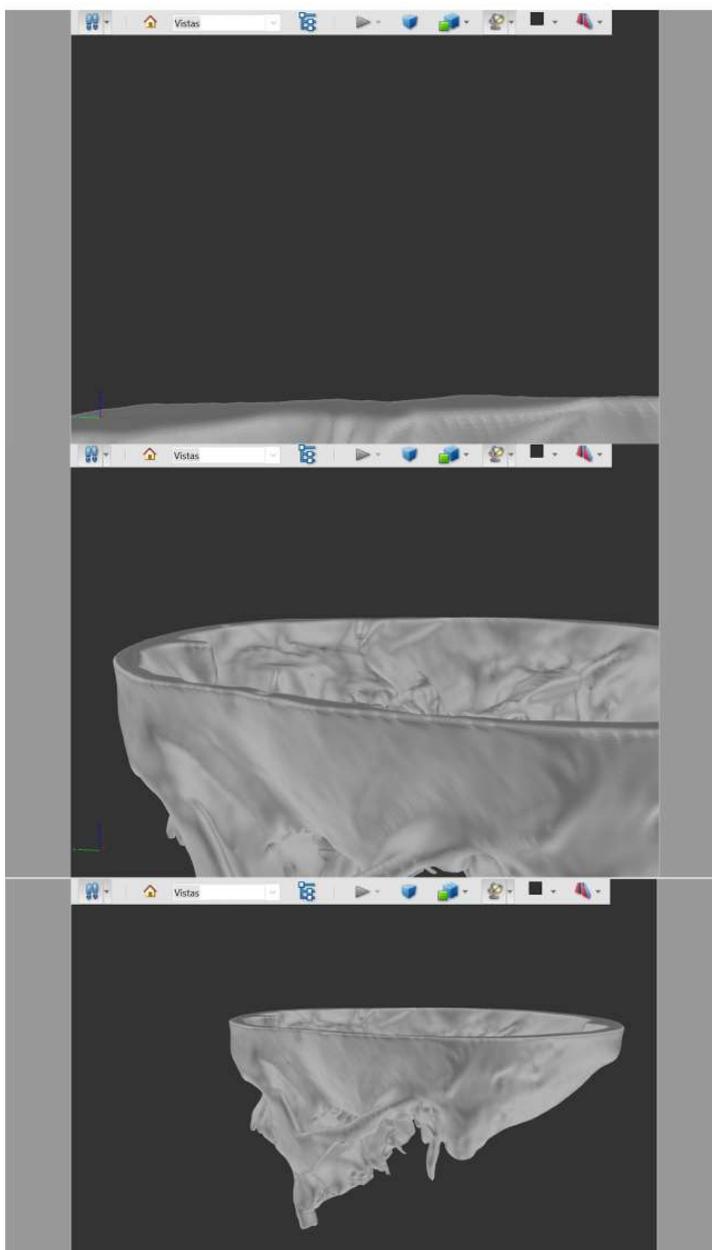


Figura: 57. Herramienta Caminar. Modelo 3D en archivo PDF.



 Volar

Navega por un modelo mientras mantiene la orientación de la superficie. Se puede volar y dirigirse hacia forámenes del modelo. Modo de ejemplo se navega hacia el agujero rasgado posterior derecho. (Figura 58).

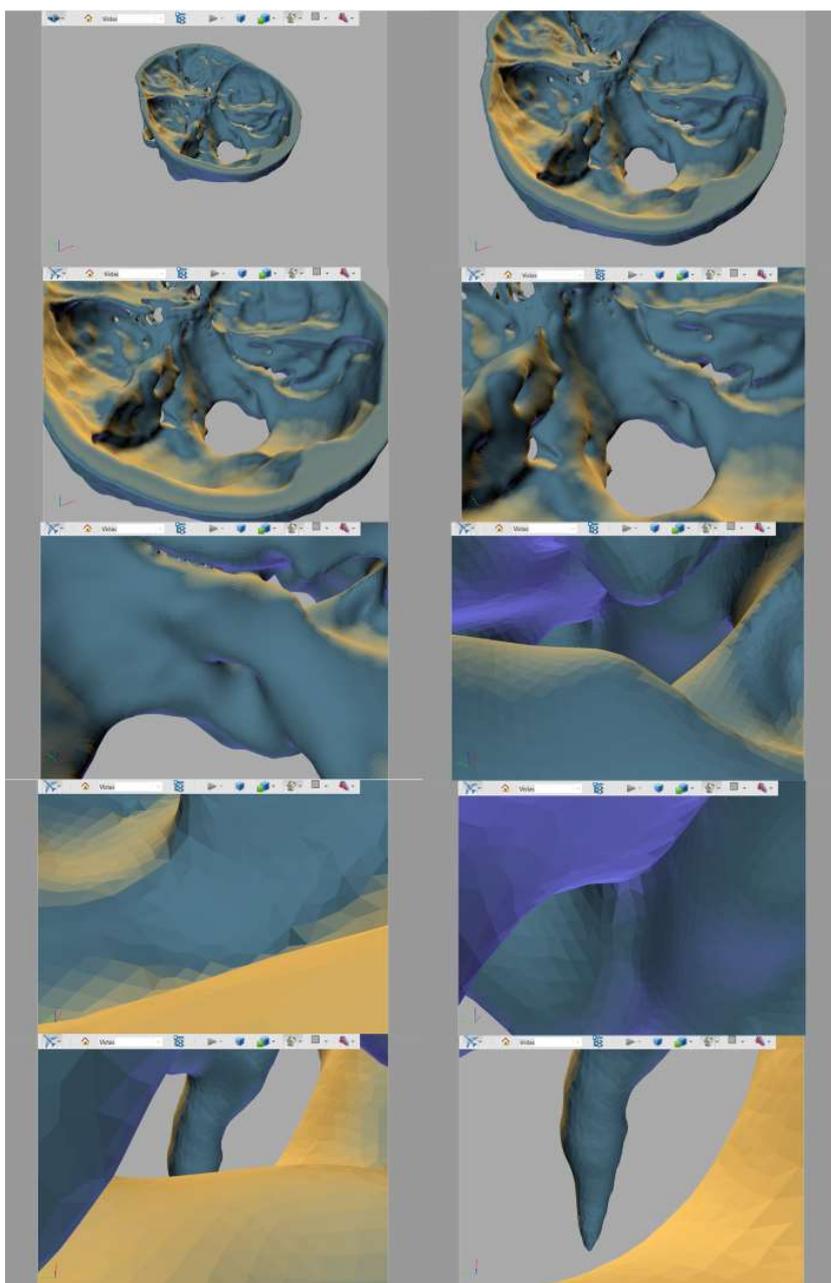
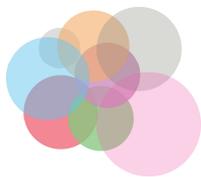


Figura: 58. Ejemplo de herramienta "volar" sobre modelo 3D en programa PDF Reader.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

👤 Propiedades de cámara

Permite definir el ángulo de la cámara, la alineación y otras propiedades que definen la lente a través de la cual se ve un modelo 3D (figura 59).

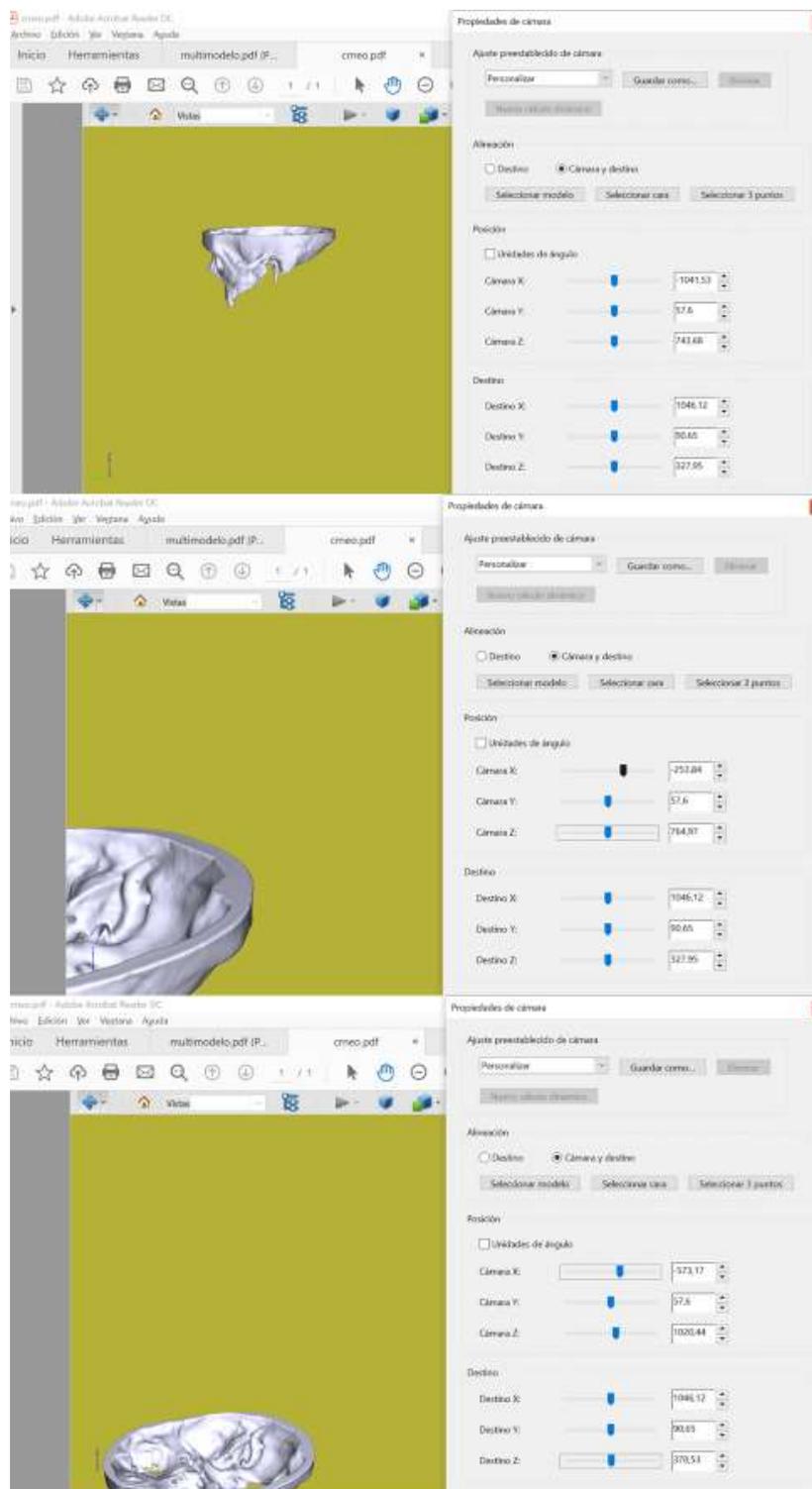


Figura: 59. Propiedades de la cámara. PDF reader.



Herramienta de medición 3D

Mide los tamaños de partes y distancias en el modelo 3D. Ofrece medición en distintas unidades y diferentes tipos de medidas; distancias, ángulos...etc. (figuras 60, 61 y 62).

Permite realizar varios tipos de medición: Medida 3D punto a punto, medida perpendicular, dimensiones 3D radial (mediante diámetro o radio), medición de ángulos.

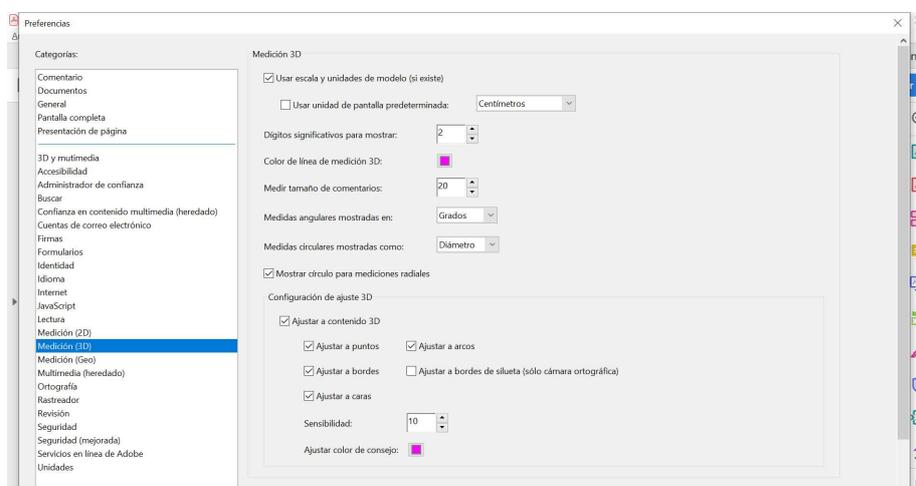


Figura: 60. Propiedades de medición 3D en program PDF reader DC.

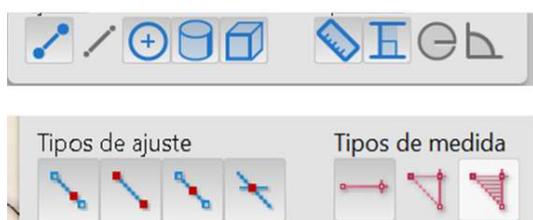


Figura: 61. Herramientas de medición 3D con las distintas opciones.

Entre las características que ofrece, se desarrollan las siguientes:

-  • Ajuste 3D a puntos finales del borde. Ajusta a todo el borde.
-  • Ajuste 3D a aristas lineales. Ajusta a un segmento recto de un borde.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

-  • Ajuste 3D a aristas radiales. Ajusta a una circunferencia.
-  • Ajuste 3D a siluetas. Ajusta al borde aparente de una parte, por ejemplo, el lado de un cilindro.
-  • Ajuste 3D a caras planas. Ajusta al plano geométrico que forma una cara de una parte
-  • Medida 3D punto a punto. Mide la distancia entre dos posiciones del modelo 3D. Haciendo clic para definir un punto de inicio y otro clic en otra ubicación para definir el punto o borde final.
-  • Dimensión 3D perpendicular. Mide la distancia entre dos bordes medida en ángulo recto al borde inicial.
-  • Dimensión 3D radial. Mide el radio en la ubicación en que se hace clic.
-  • Ángulo de medición 3D. Mide el ángulo entre dos bordes.

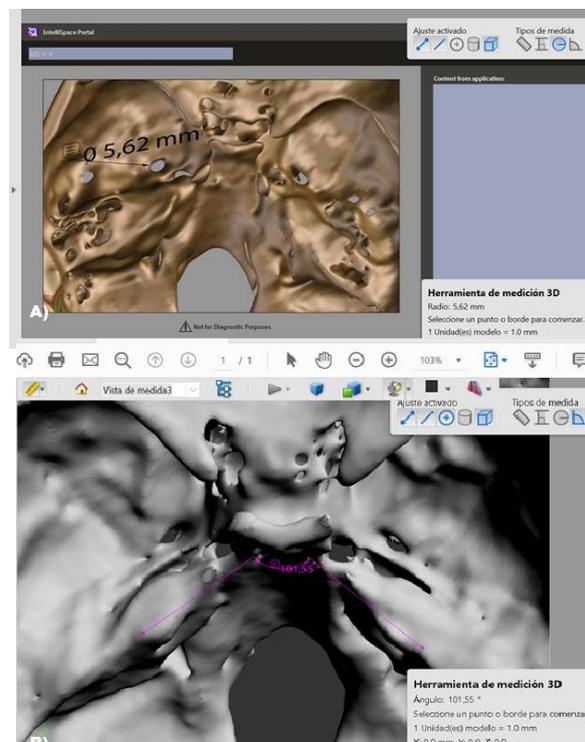


Figura: 62. Medición de objeto 3D. A) Medición radial. B) Medición angular.



 Añadir comentario.

Permite agregar notas o comentarios sobre el modelo o alguna de sus partes (figura 63).

*Las anteriores herramientas, además se pueden realizar pulsando determinados comandos en el teclado, de manera directa.

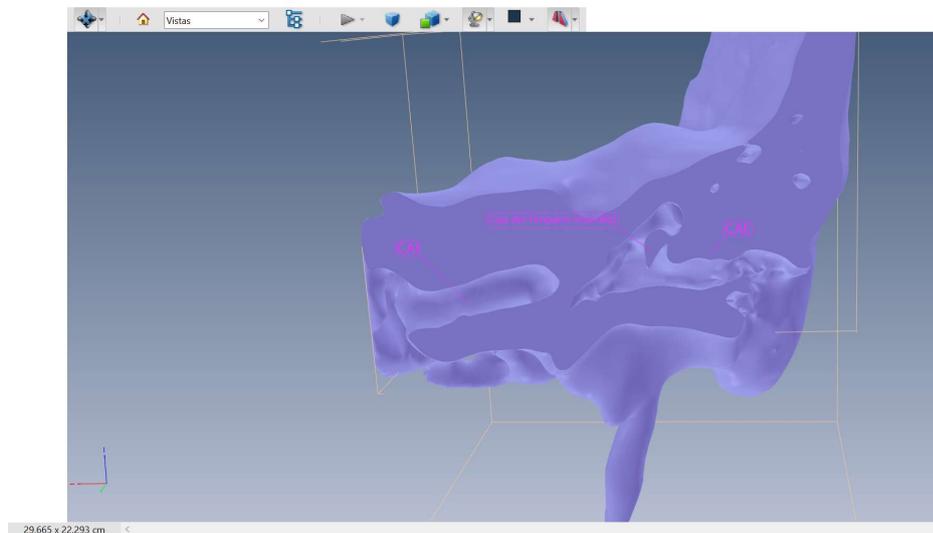


Figura: 63. Notas sobre el modelo 3D.

4.1.2. Controles de vista del modelo

Menú Vistas

Esta segunda parte de la barra de herramientas ofrece la posibilidad de realizar cambios en la apariencia del modelo 3D.

El PDF ofrece unas vistas básicas predeterminadas, de frente, visión trasera, izquierda y derecha. Seleccionando en el desplegable (figura 64).

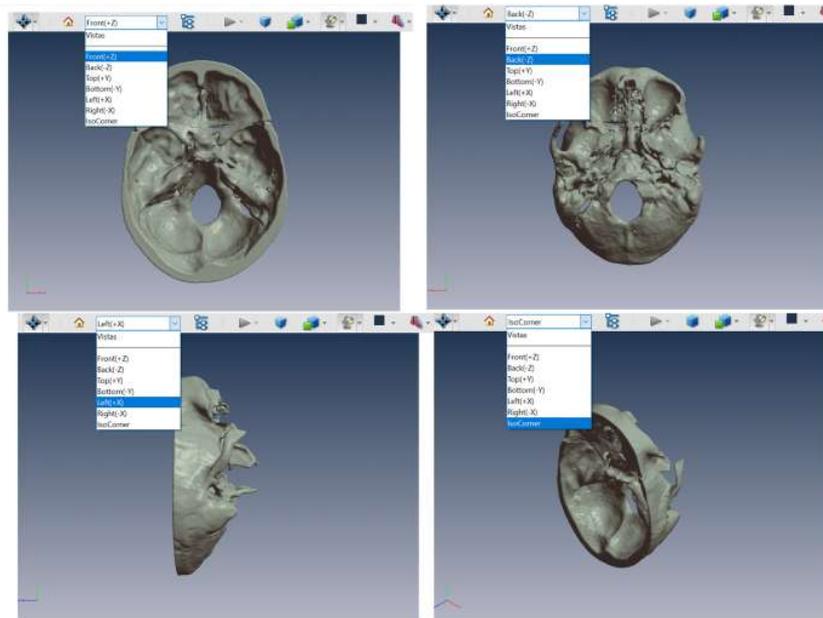


Figura: 64. Vista de frente, trasera, izquierda y derecha.

Vista predeterminada

Recupera el zoom, la panorámica, la rotación y el modo de proyección predeterminados del modelo 3D en su inicio.

Alternar Árbol modelo

Esta herramienta extiende u oculta el Árbol modelo.

Se trata de una especie de “índice” donde se contiene la información y las distintas partes que conforman el modelo. Activando o desactivando los respectivos botones se puede interaccionar con el mostrando u ocultando esa parte de la visión general, así como la inclusión de ciertas propiedades. Entre ellas es posible manejar cada submodelo de manera individual y proporciona unas posibilidades ampliadas en la visualización del conjunto y sus interrelaciones (figura 65).

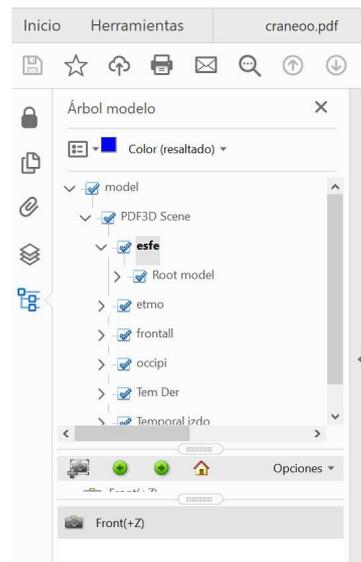


Figura: 65. Árbol modelo.

Reproducir/Detener animación

Reproduce o pausa animaciones activadas por JavaScript. En aquellos casos en los que el modelo se incluya animación (figura 66). Pueden ser animaciones secuenciales, de rotación sobre algún eje, o cambio u aparición de distintas vistas del modelo.

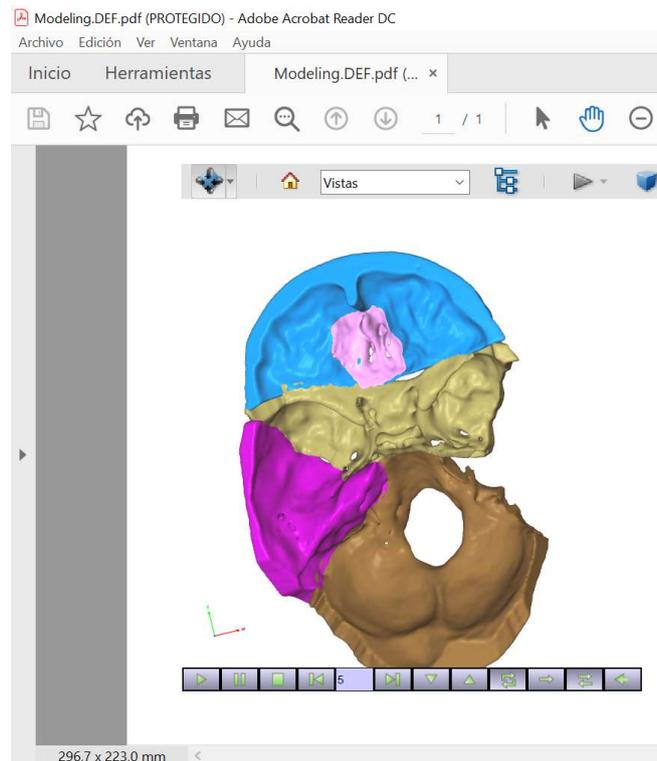


Figura: 66. Modelo 3D con animación en programa PDF reader.

 Usar proyección ortográfica/Usar proyección de perspectiva

Alterna entre la visualización de proyección de perspectiva u ortográfica del objeto 3D

 Menú Modo de representación de modelo

Determina las distintas apariencias de contorno o relleno de la forma 3D. Se despliegan para seleccionar la correspondiente a la visualización (figuras 67 y 68). Se dispone desde una visión en objeto sólido, ilustración, contorno de la forma, dibujo de los bordes, distintos tipos de trama (opaca, transparente), cuadro delimitador, vértices...



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

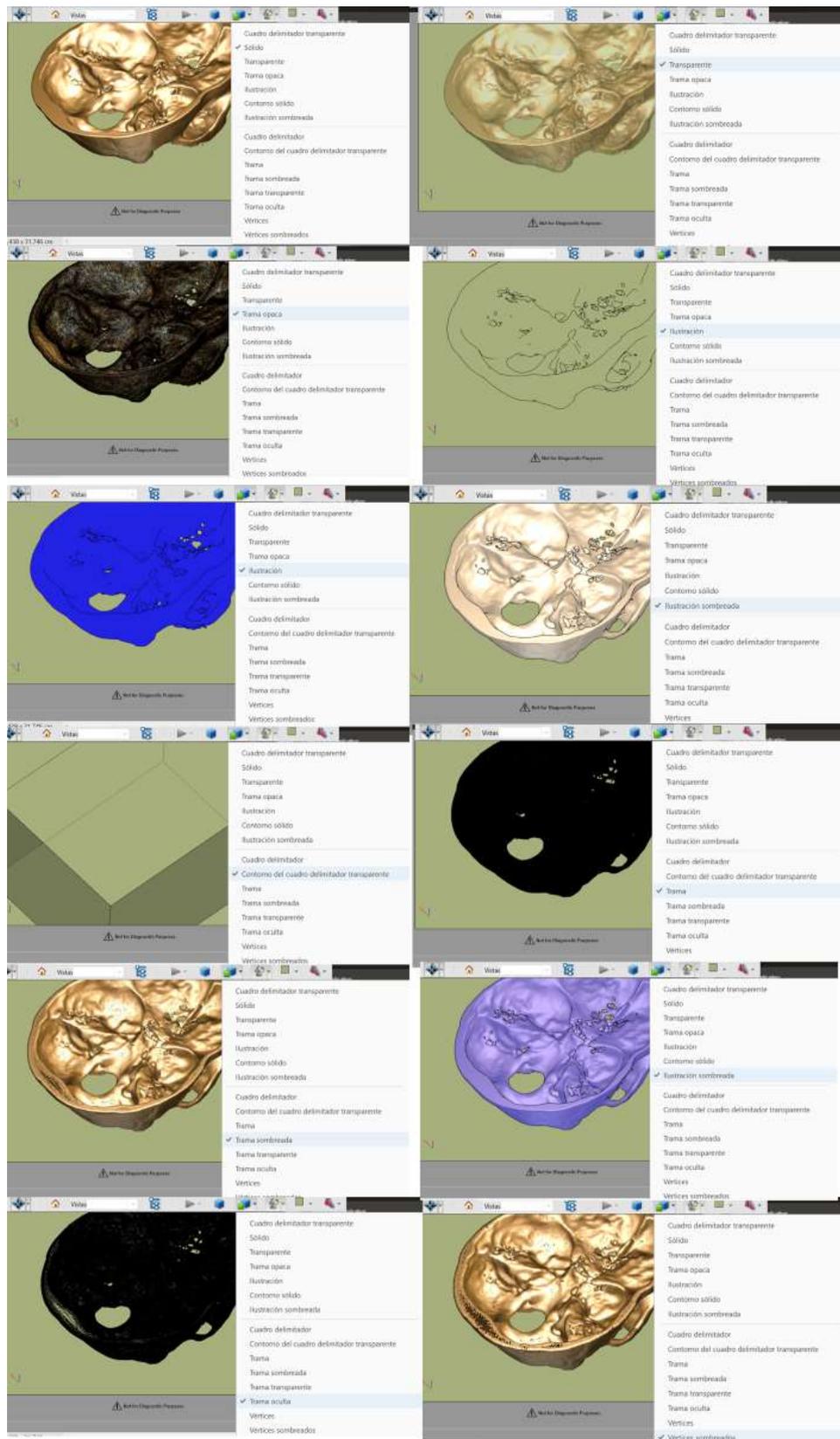


Figura: 67. Representaciones del modelo 3D que ofrece el programa PDF reader.

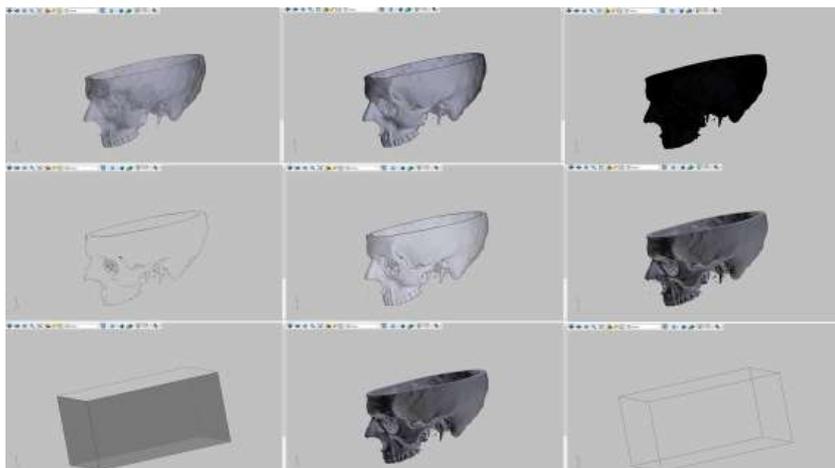


Figura: 68. Apariencias del modelo 3D en PDF reader.



Menú Activar iluminación adicional

Ofrece una lista desplegable de los distintos efectos de iluminación disponibles para mejorar la iluminación del objeto 3D. Se dispone de varias formas de luz: blanca, diurna, de colores primarios, faro, nocturna, foco rojo, foco azul... etc (figura 69).

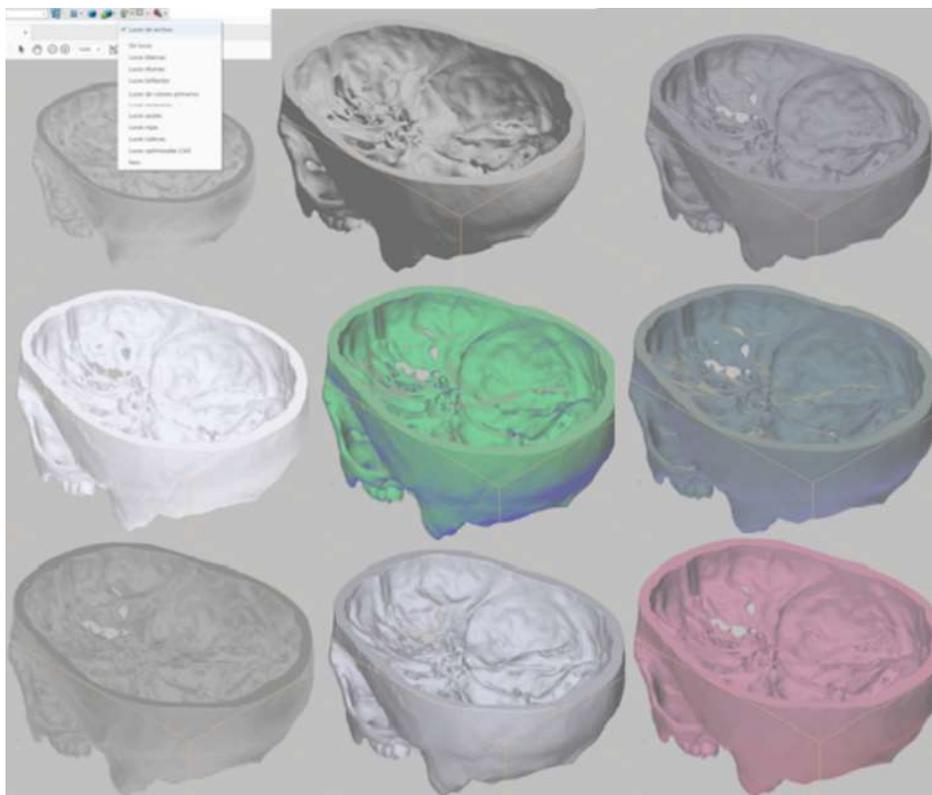


Figura: 69. Efectos de iluminación del modelo 3D.



Color de fondo

Abre el selector de colores, para rellenar el espacio que rodea al objeto. Permite seleccionar tonos básicos, y también crear colores personalizados mediante la herramienta de la derecha 3D (figura 70).

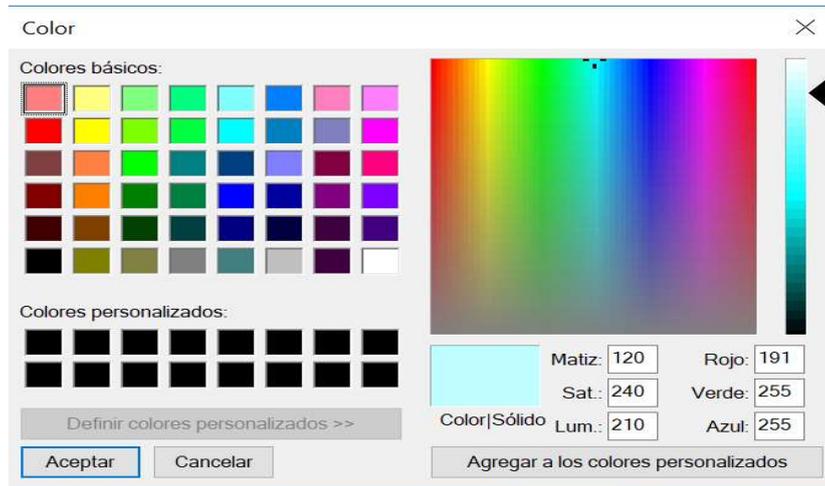


Figura: 70. Cuadro de colores de fondo. Básicos y personalizados.

 Alternar sección cruzada

Muestra y oculta las secciones cruzadas del objeto. Esto es la forma de “cortar” el modelo, o una parte, en distintos planos del espacio. Se abre un menú emergente desde donde nos permitió elegir los parámetros; ejes, inclinación... de la sección cruzada (figura 71).

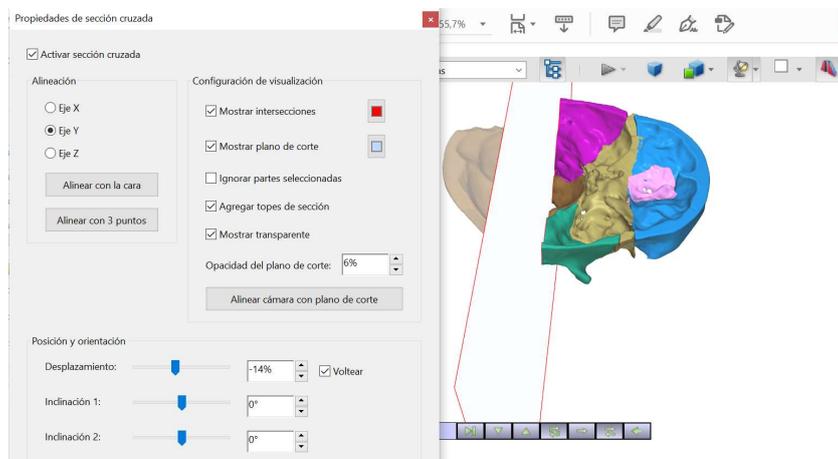


Figura: 71. Sección cruzada en el plano coronal. Propiedades de la sección cruzada.



Agregar multimedia/comentario 3D

Esta herramienta permite agregar notas o comentarios con flechas hacia cualquier parte del modelo 3D. Se movilizan al mismo tiempo que el modelo, indicando su origen en cada momento con la flecha hacia la región. Esto resulta muy útil para su uso en la enseñanza o compartir comentarios entre usuarios (figura 72).

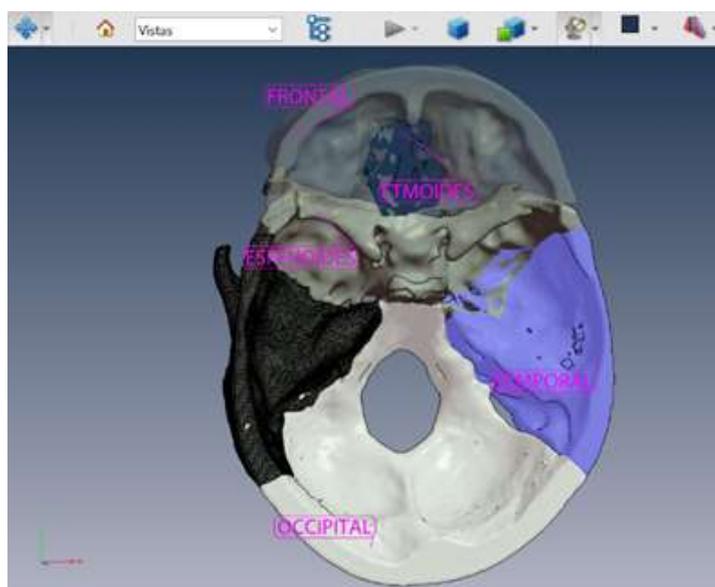


Figura: 72. Texto sobre el modelo 3D de la base del cráneo en software PDF Reader DC.

4.2. COMPONENTES DE LA BASE DEL CRÁNEO

Como se ha mencionado anteriormente, la base del cráneo es una región anatómica compleja no accesible a su evaluación directa, por lo que el uso de modelos anatómicos tridimensionales para su estudio puede ser un método efectivo y práctico.

En su conformación intervienen cinco huesos: el hueso frontal, hueso etmoides, hueso esfenoides, los huesos temporales y el hueso occipital (figura 73).



Se pueden identificar tres regiones naturalmente contorneadas cuando la base del cráneo se observa desde la vertiente superior: las fosas craneales anterior, media y posterior. Existen numerosos forámenes y canales en la base del cráneo, que transmiten estructuras neurovasculares vitales.

4.2.1. HUESOS DE LA BASE DEL CRÁNEO: CARACTERÍSTICAS, MORFOMETRÍA Y VOLUMETRÍA

Los huesos que participan de la conformación de la base del cráneo son: frontal, etmoides, esfenoides, temporal y occipital (figuras 72 y 73).

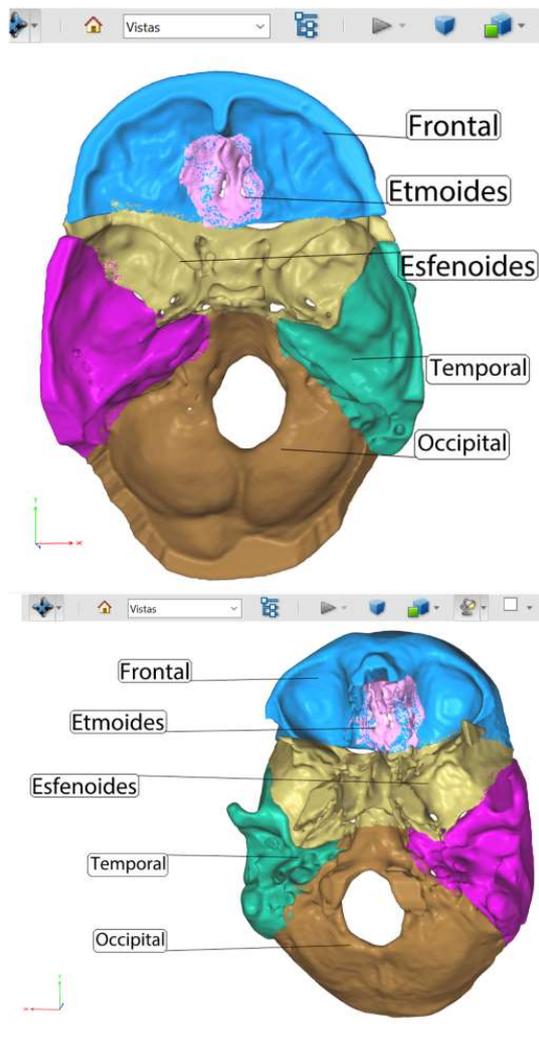


Figura: 73. Huesos de la base del cráneo. Vistas superior e inferior.



4.2.1.1. Hueso frontal

La porción del hueso frontal incluida en la base del cráneo es la porción horizontal u orbitaria, que forma el techo de la órbita. Se pueden señalar varias estructuras; entre ellas la cresta frontal en línea media anterior (figuras 74 y 75), unas impresiones digitales a ambos lados en la porción horizontal del mismo. También se señala el agujero ciego (formado junto a la porción anterior de la apófisis crista Galli del hueso etmoides). El hueso frontal sirve además como punto de inserción para la hoz del cerebro o duramadre.

Mediante la selección del resto de partes del modelo 3D de la base del cráneo, nos permite representar mejor las relaciones de vecindad y la conformación del hueso con el resto de estructuras (figura 75).

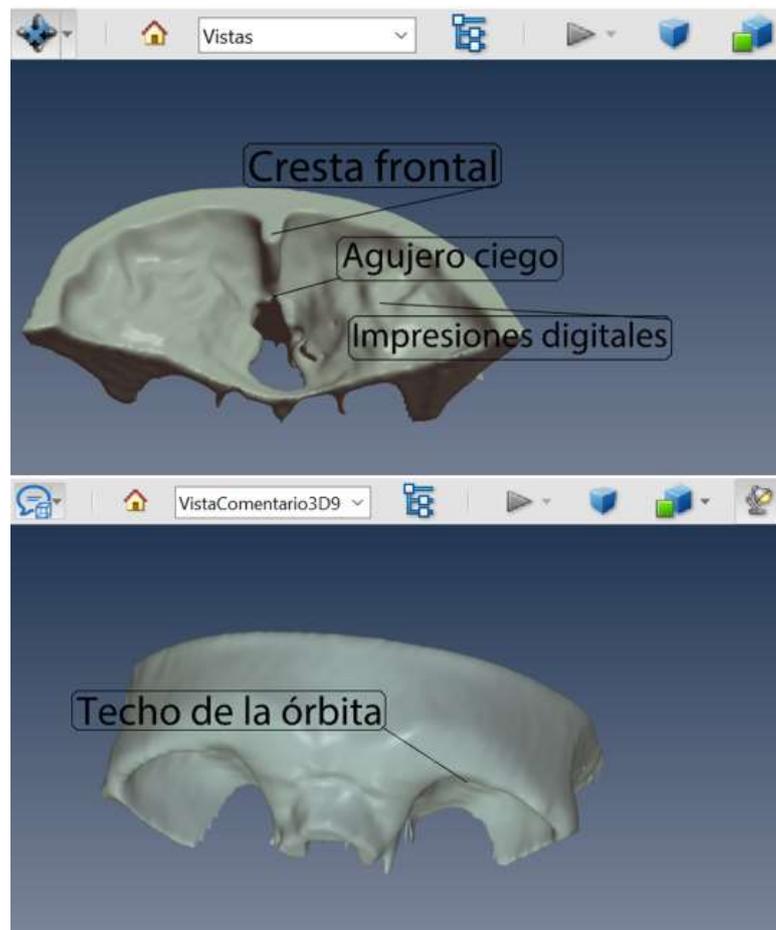


Figura: 74. Modelo PDF. Vistas anterior y superior del modelo 3D del hueso frontal.

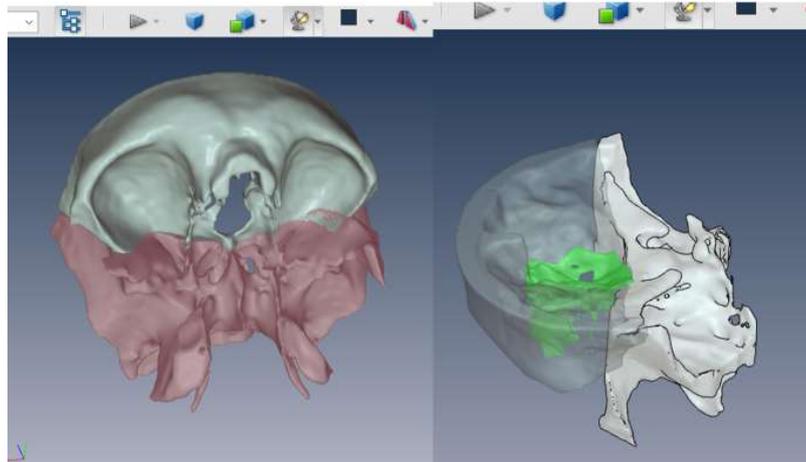


Figura: 75. Relación de vecindad del hueso frontal con el etmoides y esfenoides. Vista en programa PDF reader DC.

Estos modelos permiten realizar mediciones y cálculos, que serían imposibles con las imágenes clásicas e incluso muy complicadas con modelos anatómicos de disección. Las mediciones realizadas en este trabajo sobre los modelos tridimensionales del hueso frontal revelan un grosor de la cresta frontal de 20,9mm, un espesor mínimo del hueso frontal de 4,49mm, un grosor máximo de 8,16 milímetros, un diámetro transverso total de 105,6cm y un volumen de 49,79 cm³ (figuras 76 y 77).

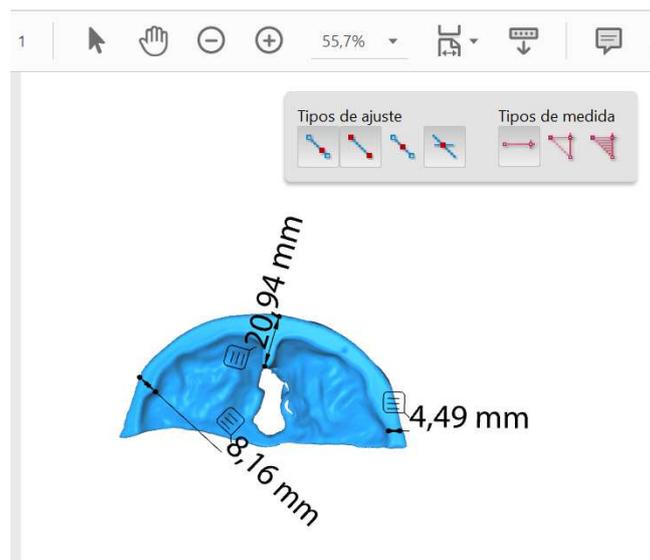


Figura: 76. Mediciones sobre modelo de hueso frontal.

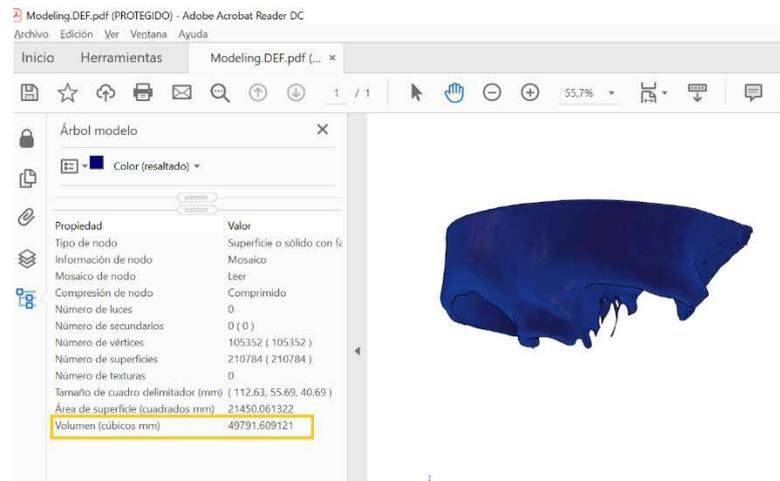


Figura: 77. Valores volumétricos del modelo del hueso frontal.

4.2.1.2. Hueso etmoides

El hueso etmoides es un hueso impar, situado en línea media, en la región anterior. Se compone de una lámina vertical, donde se sitúa la apófisis Crista Galli; una lámina horizontal (lámina cribosa del etmoides) y dos masas laterales. Mediante estos modelos se pueden representar con mayor detalle las relaciones de vecindad con el hueso frontal, pudiendo hacer transparencias para una mejor visualización (figuras 78 y 79).

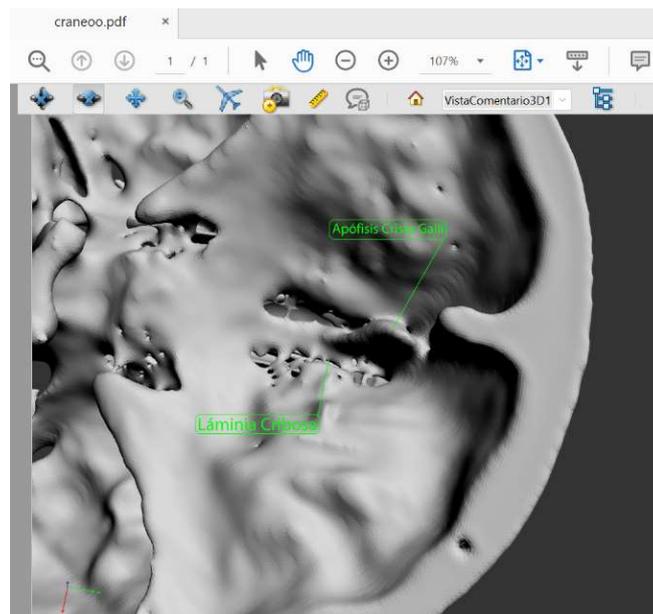


Figura: 78. Estructuras del hueso etmoides vista en modelo 3D PDF.

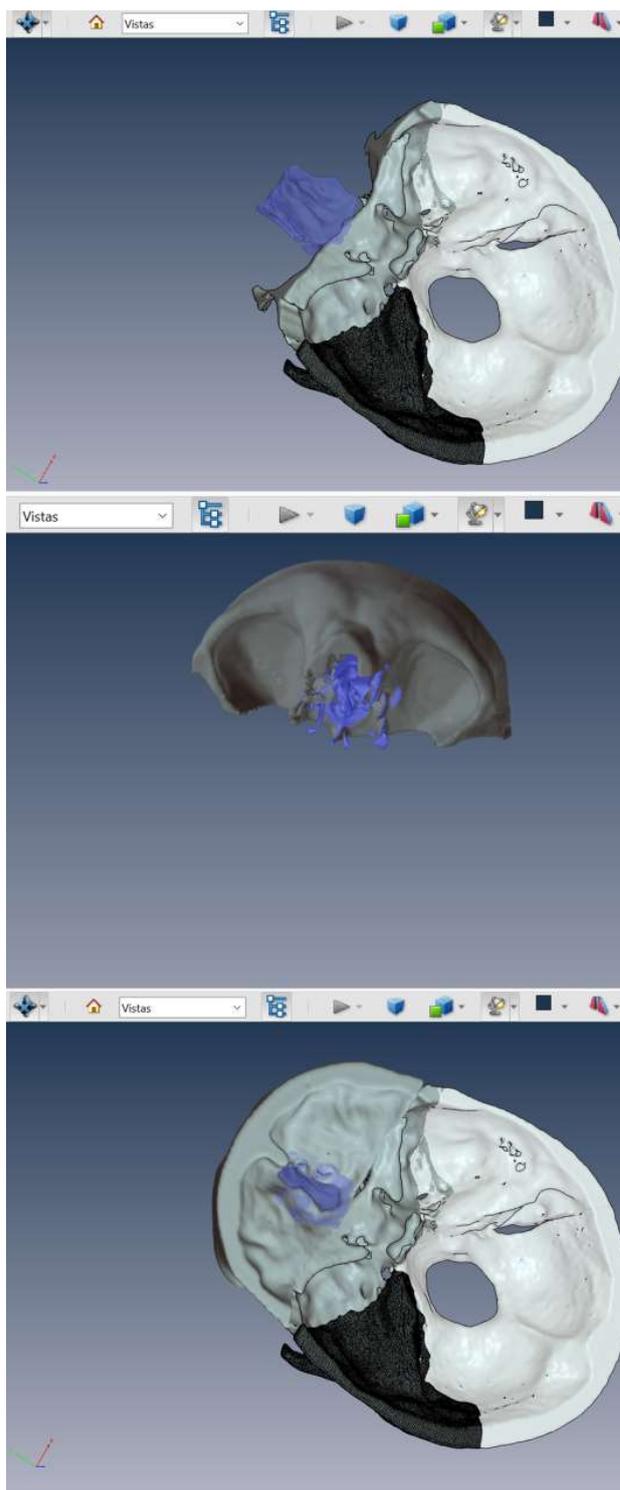


Figura: 79. Modelo del hueso etmoides.

Las dimensiones del hueso etmoides (figuras 80 y 81) obtenidas en este trabajo a través de la recogida de datos morfométricos y mediante



herramientas de segmentación objetivaron una altura de apófisis Crista Galli de 16,3mm y una longitud de 17mm. Estas mediciones se realizaron mediante con la combinación de herramientas de medición y sección cruzada en plano sagital, para asegurar una medición más precisa. Se obtiene un cálculo de volumen medio de 3,55cc (+/- 1,2cc).

También es importante señalar la posibilidad de combinación de varios modelos para valorar las relaciones de vecindad con mayor detalle, lo que facilita su comprensión (figura 79).

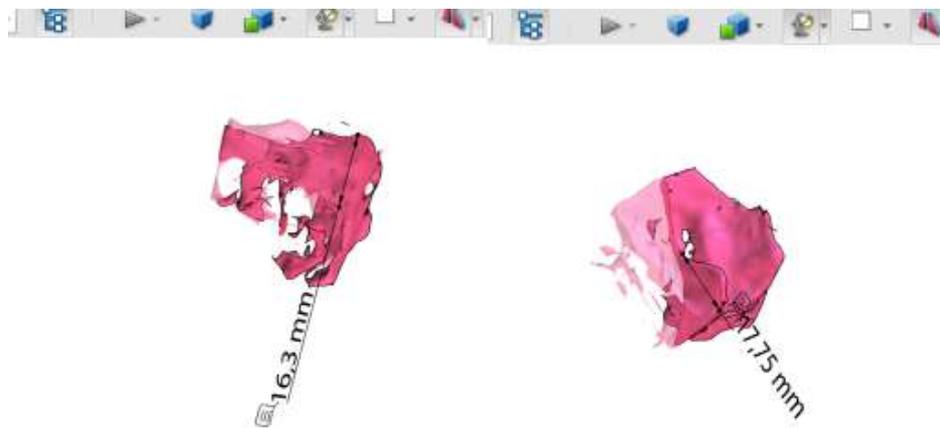


Figura: 80. Mediciones en hueso etmoides.

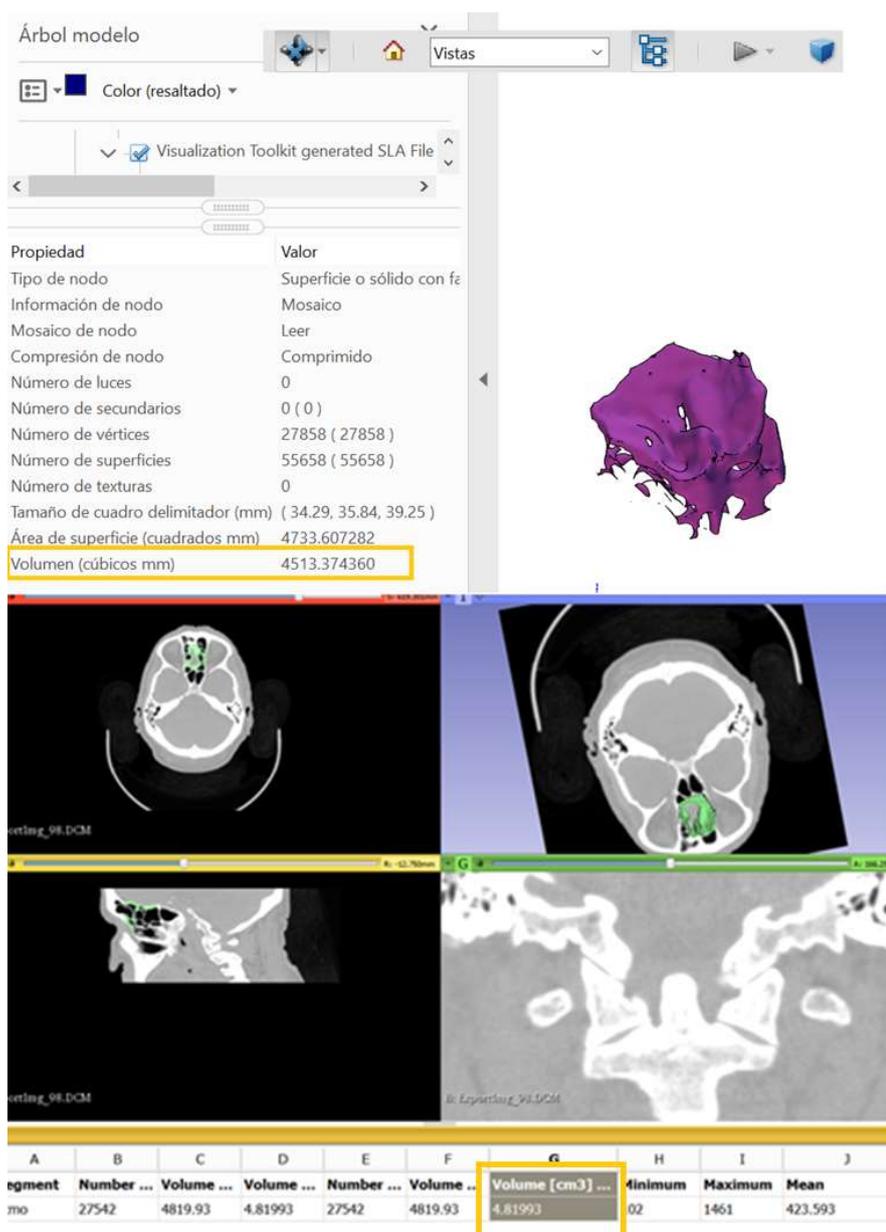


Figura: 81. Volumen hueso etmoides. Programas PDF reader y 3D Slicer. Cálculo en distintos modelos.

4.2.1.3. Hueso esfenoides

El hueso esfenoides es un hueso impar, de localización central y simétrico, que ocupa la parte anterior y media de la base del cráneo. Está situado entre la porción horizontal del hueso frontal y la porción



escamosa y petrosa del hueso temporal y la porción basilar del hueso occipital.

Se divide en cuerpo (que forma parte del clivus, junto con la porción media del hueso occipital), alas mayores (forman la parte anterior de la fosa craneal media), alas menores (forman la parte posterior de la fosa craneal anterior, que junto con el extremo del cuerpo forman las apófisis clinoides anterior) y apófisis pterigoideas, localizadas en la vista inferior (figura 82).

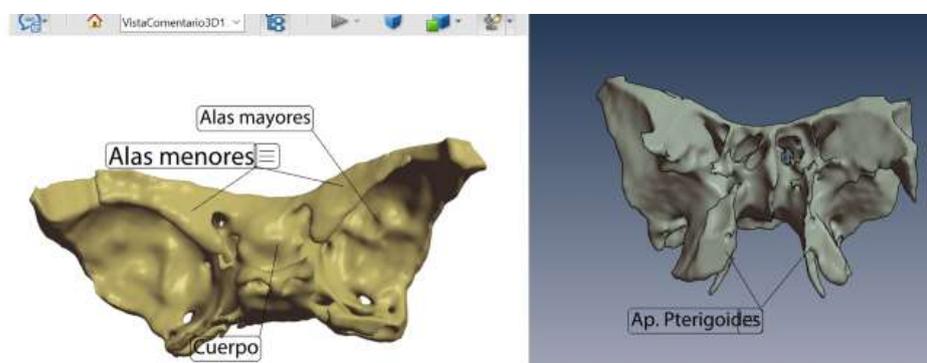


Figura: 82. Estructuras del hueso esfenoides.

Mediante el manejo de los modelos tridimensionales en el programa PDF reader, podemos visualizarlo en su posición en el cráneo (figura 83). Esto nos facilita la comprensión estructural y su relación con el resto de huesos que conforman la base del cráneo. Se puede hacer más o menos transparente para facilitar su visualización e interacción con el resto de estructuras.

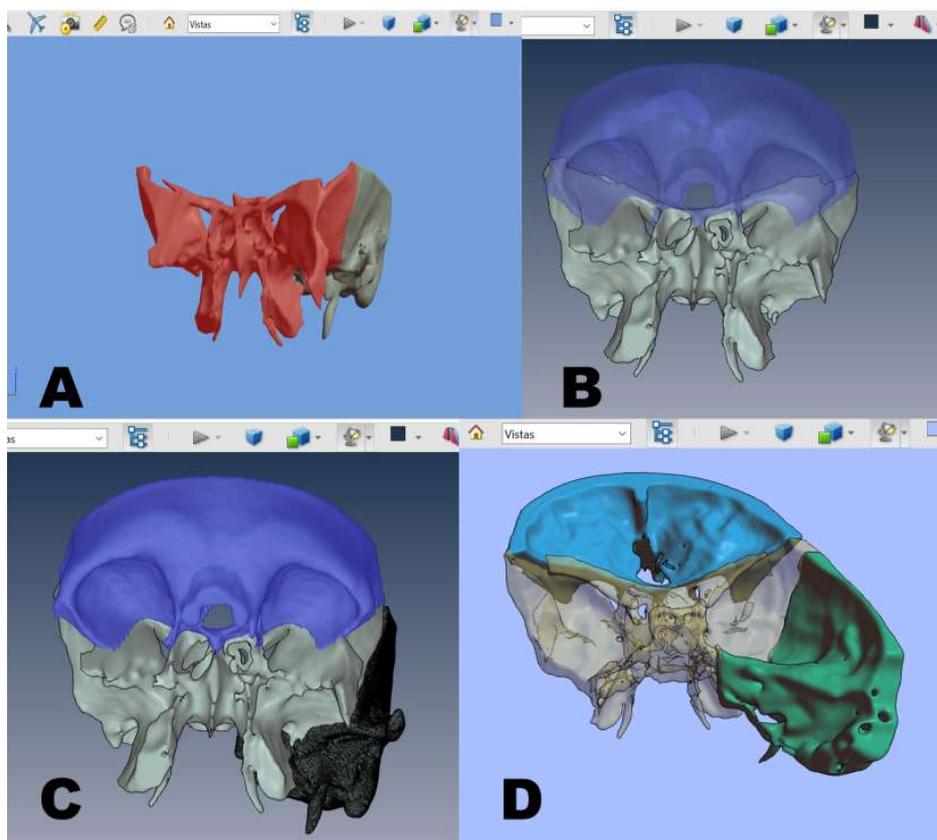


Figura: 83. Modelo del hueso esfenooides con huesos vecinos.

Con la ayuda de estos modelos, podemos realizar mediciones directas sobre el mismo o de regiones de una manera fácil y muy rápida.

De acuerdo a los datos de nuestro trabajo a través de la recogida de datos morfométricos y mediante herramientas de segmentación combinadas, con las herramientas de sección cruzada, para valorar adecuadamente los diámetros de los forámenes, obtuvimos las siguientes medidas: Agujero oval derecho de 5,59 mm, izquierdo de 5,3mm, agujero redondo mayor derecho e izquierdo de 2, 12 mm y de 2,87 mm respectivamente y agujero redondo menor derecho e izquierdo de 2,2 y 1,68 mm (figura 84). Estas medidas se obtuvieron mediante la combinación de herramientas de medición angular, sección cruzada, para ser más precisos en las mediciones. Además, el programa PDF Reader calculó un volumen del hueso esfenooides de 45,85 cm³ (figura 85).

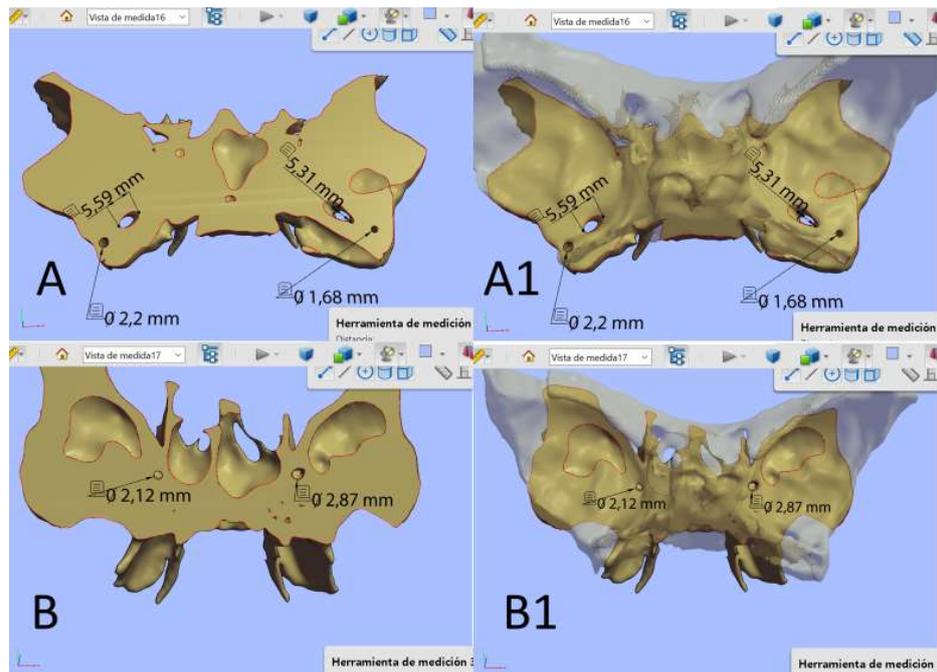


Figura: 84. Mediciones en modelo de hueso esfenoideas. A y A1: Agujeros oval y redondo menor. B y B1: Agujero redondo mayor

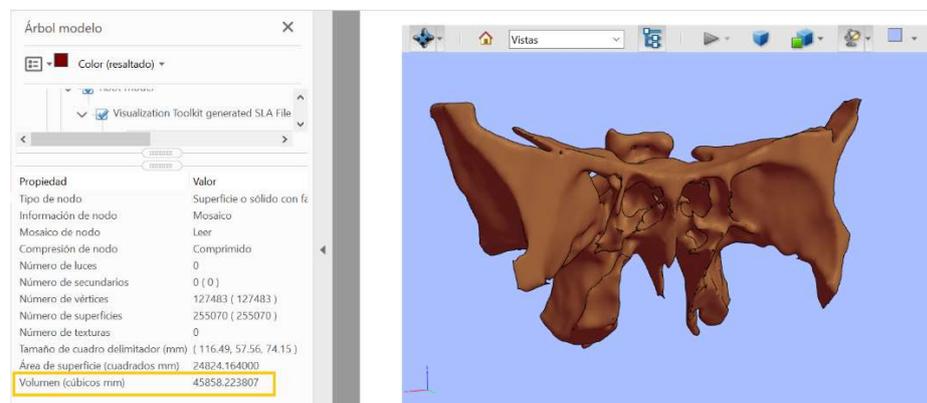


Figura: 85. Parámetros del modelo 3D del hueso esfenoideas. Volumen de 45,85 cc.

4.2.1.4. Hueso temporal

El hueso temporal contiene al órgano de la audición. Se constituye por: la porción escamosa, mastoidea, huesos timpánico y la región petrosa, también llamada peñasco. (Figuras 86 y 87).



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

- La porción escamosa en su cara exocraneal tiene la apófisis cigomática, que se articula con el hueso malar. En su cara endocraneal presenta depresiones cerebrales y surcos vasculares.
- La porción mastoidea forma parte de la base del peñasco.
- El hueso timpánico forma las paredes del conducto auditivo externo. Presenta las apófisis tubárica y vaginal.

El peñasco tiene forma de pirámide cuadrangular con eje hacia delante y hacia adentro.

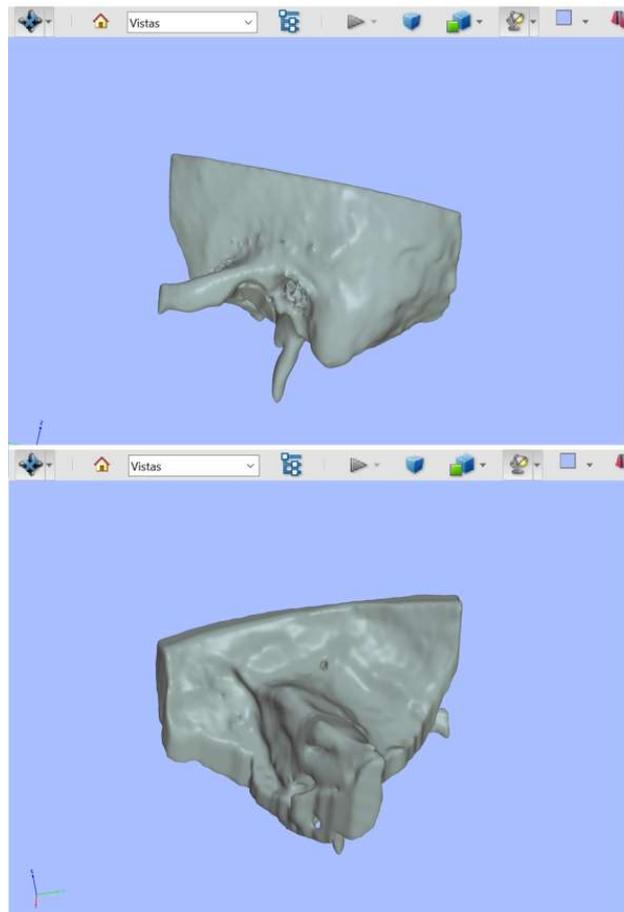


Figura: 86. Modelos de hueso temporal en programa PDF.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

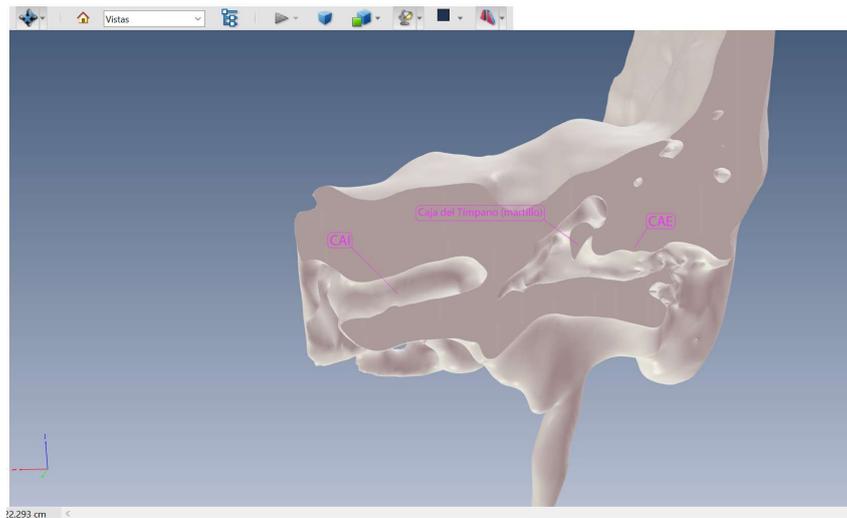


Figura: 87. Estructuras(canales) de la audición contenidas en hueso temporal. Corte coronal mediante sección cruzada del modelo 3D en PDF.

Mediante los registros de los modelos de segmentación obtuvimos las medidas del conducto auditivo externo (CAE) derecho de 7,134mm y 9mm el izquierdo. El poro acústico derecho de 4mm y 5mm el izquierdo y con una longitud de 10mm y 13mm (derecho e izquierdo respectivamente) (Figura 89). La longitud del CAE no es posible valorarla debido a que en los modelos óseos no se representa la membrana timpánica. El volumen del hueso ocupa 40,47 y 36,9 cm³, con una media de 38,68 cm³ de media (+/-2,2cc) (figura 88).

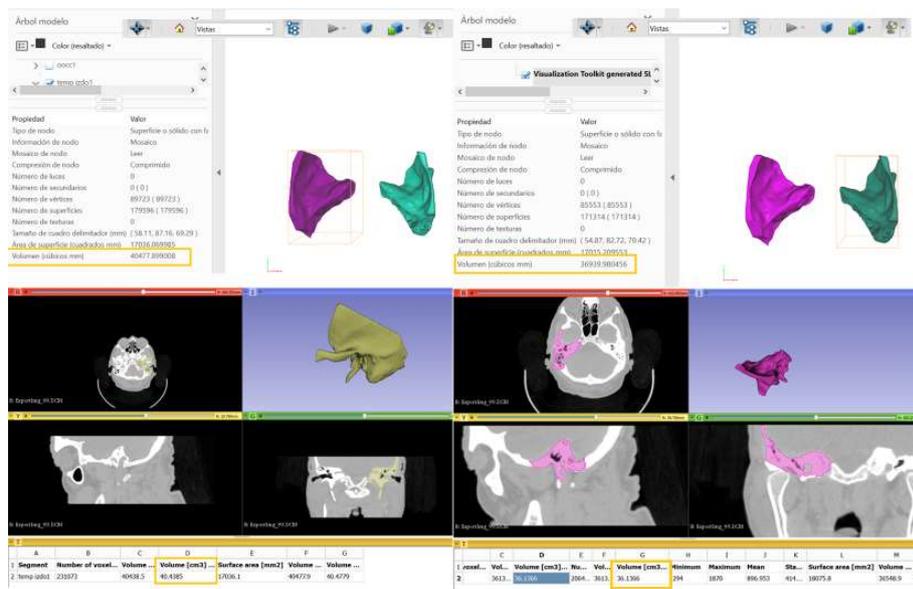


Figura: 88. Medición volumen huesos temporales mediante el programa PDF 3D y 3D slicer.

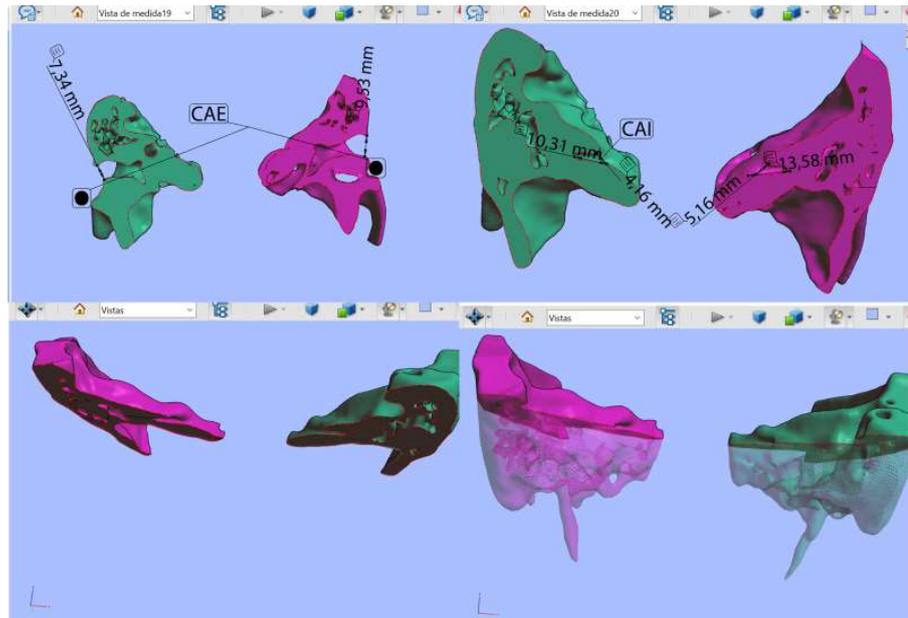


Figura: 89 Resultados medición CAE y CAI en modelos 3D de hueso temporales combinando las herramientas con la disposición e sección cruzada en el plano axial y coronal oblicuo.

4.2.1.5. Hueso occipital

El hueso occipital colabora en la formación tanto de la base como de la bóveda craneal. Tiene una gran abertura en su superficie inferior llamada Foramen magno, que une las estructuras encefálicas para formar parte de la médula espinal.

Consta de una porción basilar, en la parte anterior del agujero, una porción escamosa, en la parte posterior y dos porciones laterales o condilares, a ambos lados (figura 90).

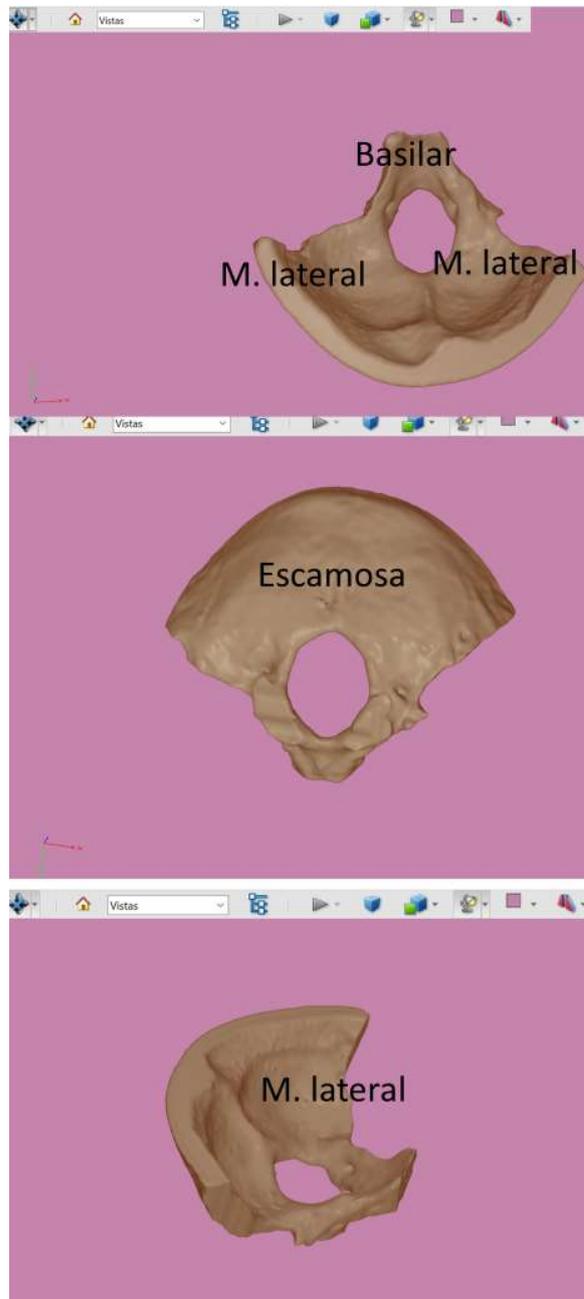


Figura: 90. Distintas vistas del modelo del hueso occipital en el programa 3D PDF.

Mediante los modelos 3D podemos visualizarlo de manera individual o incluso su relación con los huesos vecinos (figura 91).

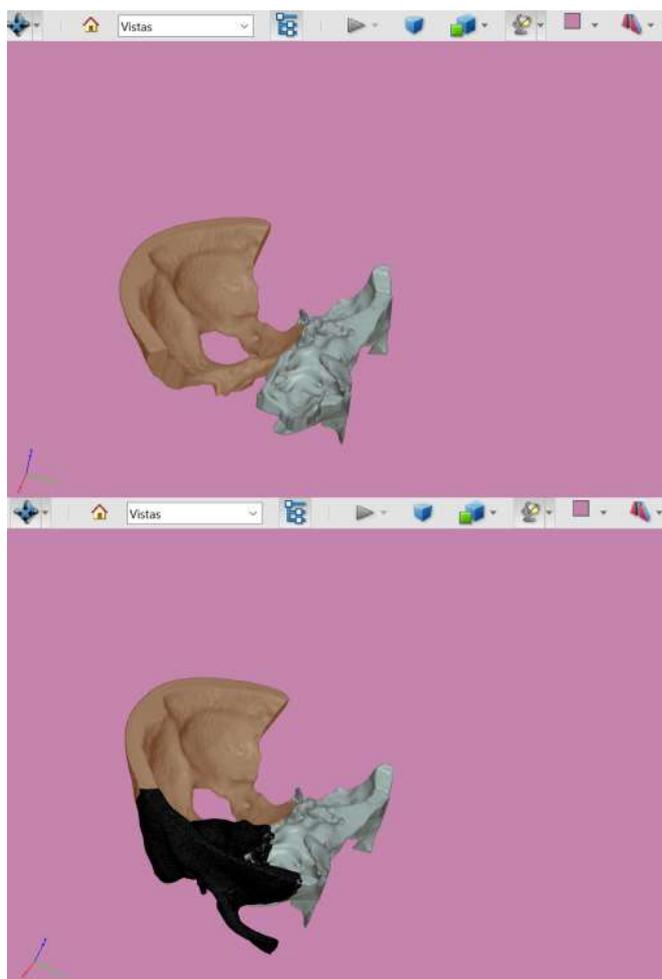


Figura: 91. Relación de huesos de la base del cráneo.

También con ayuda de estos modelos podemos obtener mediciones útiles con gran rapidez y fiabilidad. En nuestro trabajo obtenemos unos resultados de medición del agujero magno de 39 x35 mm de ejes AP x T y un cálculo de volumen del hueso occipital de 61,9cm³ (figuras 92 y 93). Se comparan los resultados obtenidos en el programa PDF Reader con el programa 3D slicer®, observando coincidencia en los valores, tanto de volumen, como el área, que resultó de 24670 mm², que equivale a 246,7 cm².

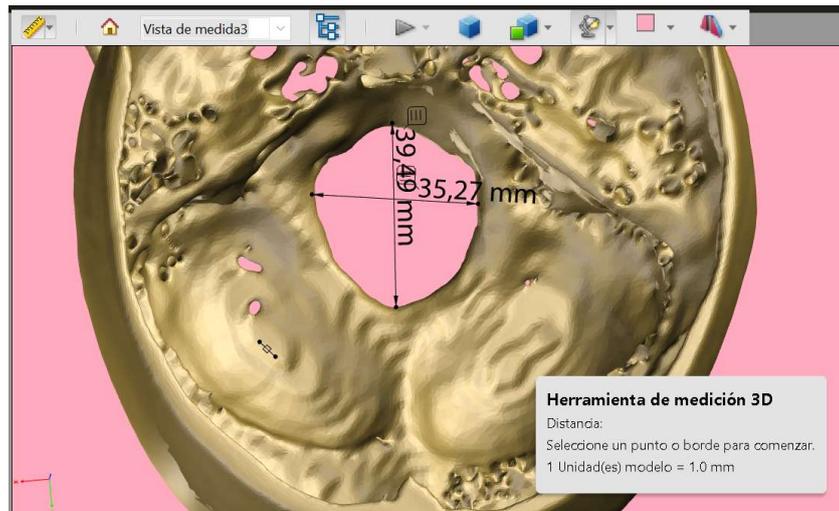


Figura: 92. Mediciones agujero Magno.

Segment	Number of voxels...	Volume [mm3]	Volume [cm3] (1)	Surface area [mm2]	Vol...
1	oocc1	0	0	0	0
3	oocc1	353698	61898.2	61.8982	24670.4

Figura: 93. Volumen H. occipital.



4.2.2. COMPOSICIÓN DE LA BASE DEL CRÁNEO

Mediante el cálculo de los volúmenes de los respectivos huesos que configuran la base del cráneo, se pudo valorar el grado de participación de los mismos en complejo total de la estructura. Se debe mencionar que únicamente se tiene en cuenta aquellas partes o secciones de los huesos que ayudan a conformar la base del cráneo, no el volumen total del hueso.

Se obtiene un volumen total del complejo de la base del cráneo de $239,46 \text{ cm}^3$.

Los volúmenes calculados de los distintos huesos son:

- Volumen del hueso Frontal (porción orbitaria u horizontal) $49,79 \text{ cm}^3$. Corresponde al 20,79 %
- Volumen del hueso etmoidal $4,5 \text{ cm}^3$. $\rightarrow 1,87 \%$
- Volumen del hueso esfenoides $45,85 \text{ cm}^3$. $\rightarrow 19,14 \%$
- Volumen del hueso temporal derecho: $36,93 \text{ cm}^3$ $\rightarrow 15,42 \%$
- Volumen del hueso temporal izquierdo $40,47 \text{ cm}^3$ $\rightarrow 16,90 \%$
- Volumen del hueso occipital $61,92 \text{ cm}^3$. $\rightarrow 25,85 \%$.

Por lo tanto, el hueso que mayor participación tiene en la conformación del complejo de la base del cráneo, según nuestros cálculos es el hueso occipital, con una participación del 25,85 %, seguido de los huesos temporales, esfenoides, frontal y, por último, como era de prever, el hueso etmoides.



4.2.3. ESTRUCTURAS Y RELACIONES DE LA BASE DEL CRÁNEO

La base del cráneo, para su estudio anatómico se puede dividir superficie interna en tres fosas: anterior, media y posterior (figura 94).

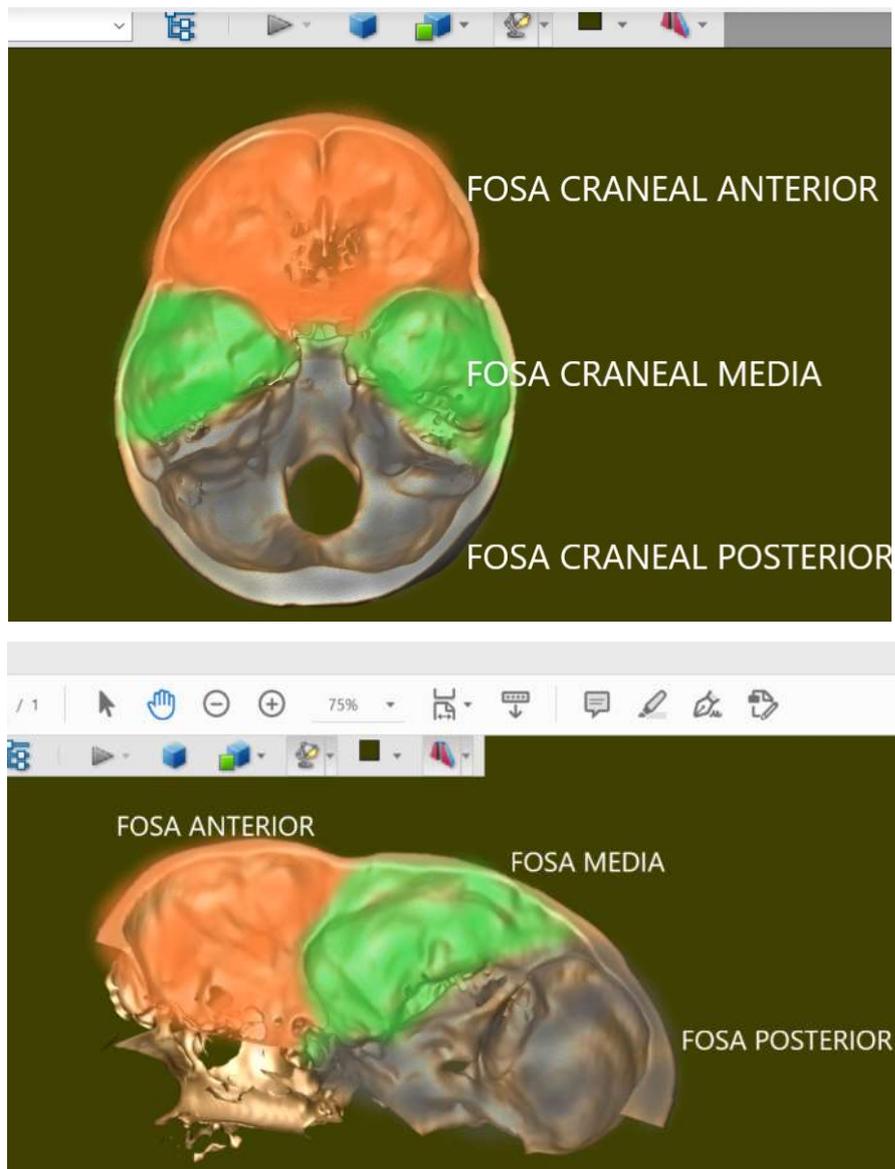


Figura: 94.. Fosas craneales de la base del cráneo.

Fosa craneal anterior:



Está formada por la parte horizontal (orbitaria) del hueso frontal, la lámina cribosa del etmoides con la apófisis crista Galli, los orificios olfatorios y el agujero etmoidal anterior. Por su parte posterior está formada por las alas menores y el yugo esfenoidal y se extiende hasta el surco prequiasmático

Las estructuras más destacadas son las siguientes: (Figura 95)

- Agujero ciego.
- Agujero etmoidal anterior
- Orificios de la lámina cribiforme
- Agujero etmoidal posterior
- Conducto óptico

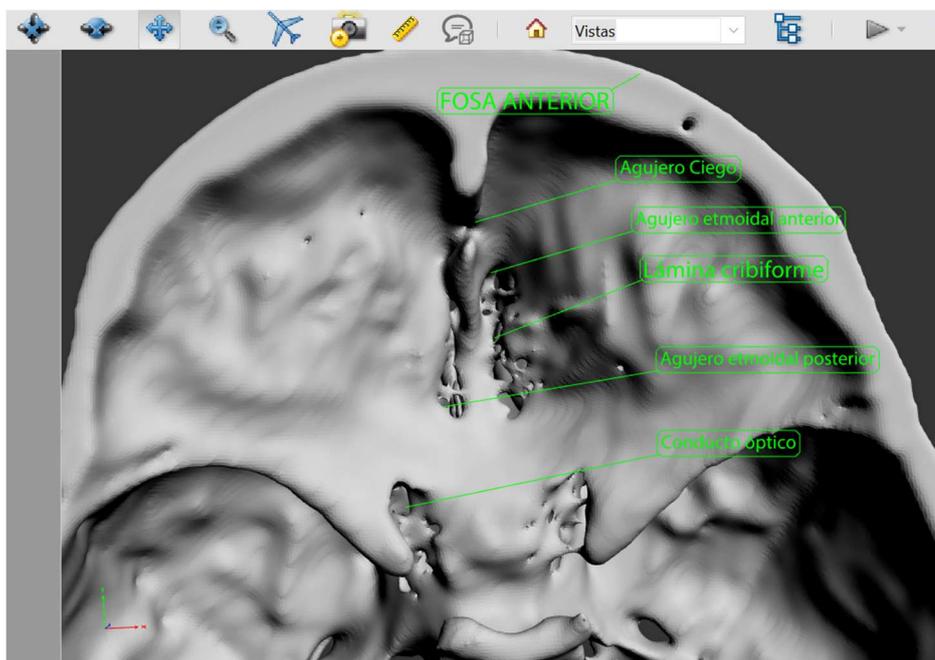


Figura: 95. Agujeros Fosa Craneal Anterior

Fosa craneal media:



La parte central de esta fosa está formada por el cuerpo del esfenoides, mientras que los laterales están formados por las alas mayores del esfenoides y las partes escamosa y petrosa de los temporales. En el centro dispone de una estructura para el alojamiento de la hipófisis. Los laterales contienen los lóbulos temporales de los hemisferios cerebrales. (Figura 95).

Tres importantes forámenes se encuentran dentro del ala mayor: redondo, oval y espinoso, situados desde anteromedial a posterolateral, respectivamente (figura 96).

- El foramen redondo se encuentra debajo de la fisura orbitaria superior. La mitad medial del ala mayor forma el borde anterior del foramen rasgado y contiene el canal vidiano en la base de las placas pterigoideas.
- Canal óptico. Está formado por el ala menor del esfenoides.
- Fisura orbitaria superior: Está delimitada medialmente por el cuerpo del esfenoides, hacia superior por el ala menor, hacia inferior por el ala mayor y hacia lateral por el hueso frontal a medida que las alas mayor y menor convergen.
- Foramen redondo: Constituye un canal de longitud variable en la base del ala esfenoidal mayor, está situado por inferior y lateral a la fisura orbital superior. El canal comunica la fosa craneal media con la fosa pterigopalatina.

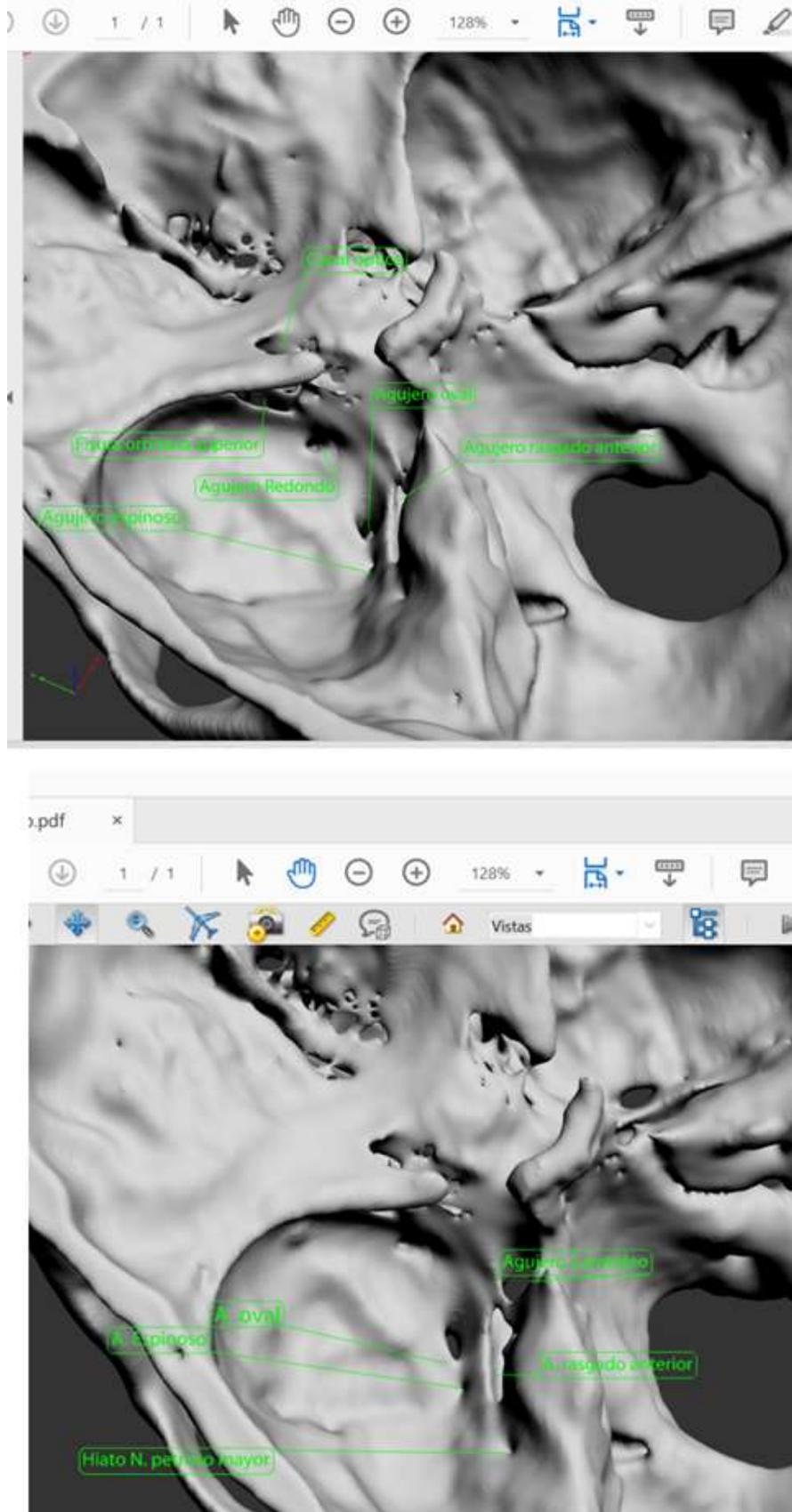
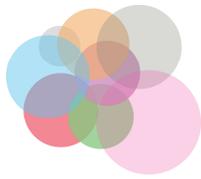


Figura: 96. Agujeros Fosa craneal Media.



Fosa craneal posterior:

La fosa craneal posterior está formada por las porciones basilar, lateral y escamosa del hueso occipital y por las partes petrosas y mastoides de los huesos temporales. También forman parte de esta fosa una pequeña parte de los ángulos mastoides de los huesos parietales, así como el dorso de la silla y la parte posterior del cuerpo del esfenoides (figura 97).

En la parte medial, la fosa craneal muestra un gran agujero, el agujero magno que comunica la cavidad cerebral con la cavidad espinal. La fosa craneal posterior contiene la parte más distal del cerebro, el puente de Varolio, el cerebelo y el bulbo raquídeo.

Las estructuras importantes que transmiten a través del foramen magno son el bulbo raquídeo, las arterias vertebrales, las arterias espinales anteriores / posteriores y el nervio espinal o accesorio (figura 97).

- Conducto auditivo interno (CAI) es un canal óseo dentro de la porción petrosa del hueso temporal que transmite los nervios y los vasos desde la fosa craneal posterior al aparato auditivo y vestibular. La apertura del CAI, el poro acústico, se encuentra dentro de la cavidad craneana, cerca de la superficie posterior del hueso temporal.
- *Foramen yugular:* El foramen yugular se localiza en el extremo posterior de la sutura petro-occipital. Anteriormente, la espina caroticoyugular separa el foramen yugular de la abertura carotídea inferior. La apariencia del foramen yugular es variable
- *Canal del hipogloso:* se localiza entre el cóndilo occipital y el tubérculo yugular y se extiende oblicuamente hacia anterior (posteromedial a anterolateral).

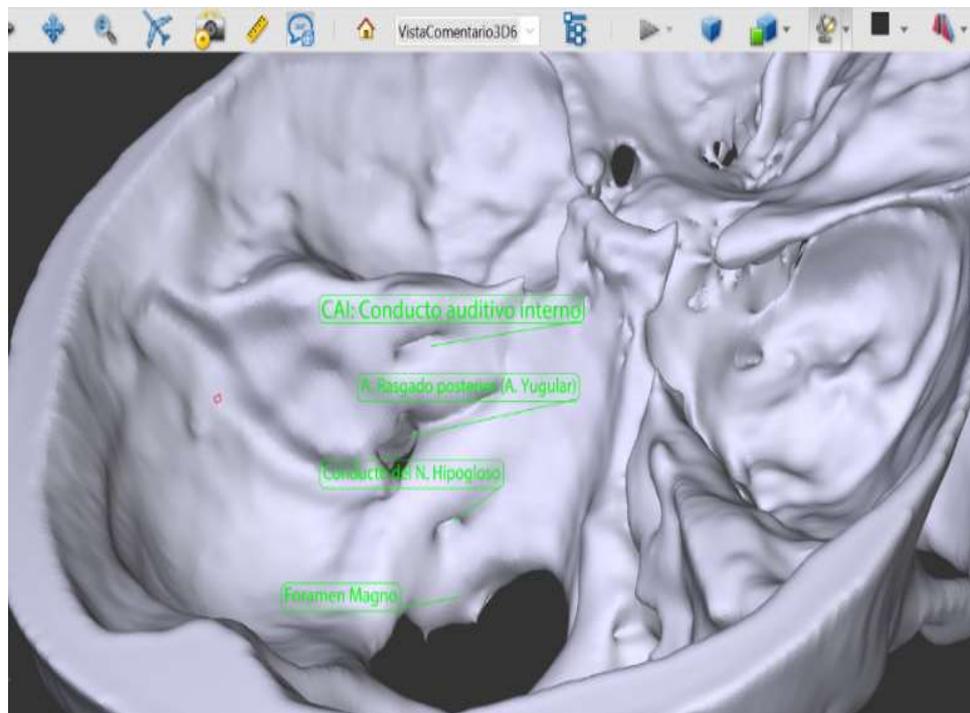


Figura: 97. Agujeros Fosa Craneal Posterior

4.3. RESUMEN DE LOS HALLAZGOS

Con los datos e imágenes obtenidas de los estudios radiológicos, y su posterior postprocesado mediante los distintos programas descritos en el apartado de “material y métodos”, se consiguen en el presente trabajo imágenes didácticas y modelos 3D. Éstos, se convierten y almacenan en formato PDF, para poder ser visualizados mediante un simple lector de documentos PDF (PDF READER) y desde cualquier computador personal.

En primer lugar, se describen las principales herramientas que consta este formato para la visualización interactiva de imágenes tridimensionales, ejemplificándolo con los modelos biomédicos conseguidos.



Utilizando los modelos construidos en formato PDF, nos servimos para realizar una descripción anatómica del complejo anatómico de la base del cráneo y de cada hueso en particular, que forman parte de la estructura, partiendo de esta novedosa herramienta didáctica.

Además de la exposición de los conceptos anatómicos generales y morfométricos, se valoraron las relaciones de vecindad de cada estructura y se realizaron mediciones y análisis de varias estructuras de interés en cada hueso, así como cálculos volumétricos que nos permitieron conocer el grado de participación de cada hueso en la composición de la base del cráneo.

CAPÍTULO V
DISCUSIÓN



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

La representación mental de la forma, los detalles y la organización de diferentes estructuras anatómicas es un paso crucial en el proceso de aprendizaje de cualquier región anatómica.

Complejos procesos informáticos aplicados en la medicina, permiten obtener múltiples datos de los órganos o regiones del estudio, que se pueden usar para la creación de nuevas formas de representación de la información en formatos novedosos. De esta manera han podido representarse estructuras que hasta ahora solo se estudiaban mediante dibujos o esquemas, como por ejemplo, los haces nerviosos (Borges, 2009; Parmar et al., 2009; Raut et al., 2012).

Los modelos tridimensionales que presentamos en este trabajo, puesto que contienen mayor información, pueden representar mayor cantidad de detalles anatómicos que los modelos tradicionales. Por ello consideramos que estas herramientas facilitan la enseñanza anatómica, acelerando el proceso y mejorando las capacidades de entendimiento (Colucci et al., 2015; Hoyek et al., 2014; Preece et al., 2013; Pujol et al., 2016; Ruisoto et al., 2012). Para ello, las imágenes y modelos 3D deben ser de calidad y ser capaces de representar de manera correcta la información y detalle de la región representada (Harrell et al., 2002).

Los recursos de formación de imágenes tridimensionales se pueden integrar de manera efectiva junto con los métodos tradicionales de dibujos y esquemas, además de modelos descriptivos, facilitando el aprendizaje de la anatomía de una manera eficiente con el fin de mejorar el proceso de enseñanza de la anatomía (Caswell et al., 2015; Ruisoto et al., 2012; Wiecha et al., 2002).



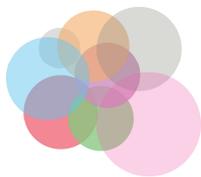
Los resultados de la búsqueda bibliográfica revelaron 19 artículos sobre herramientas que pueden considerarse como los inicios o las raíces del PDF 3D en la publicación biomédica.

Analizando los resultados, tuvimos que descartar varios artículos (n=6), porque no aportan información adecuada al objeto de la búsqueda o la información no está relacionada con el campo de las biociencias.

El resto de los artículos obtenidos (n=13) contenían información sobre la tecnología 3D PDF referida en varias vertientes, como visualización interactiva, aplicaciones clínicas, o para la enseñanza. La información mencionada se recoge en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados búsqueda PUBMED.

Article (n=13)	Journal	Year	Field	Application
The Role of Portable Documentation Format in Three-Dimensional Interactive Visualization in Maxillofacial Prosthetics.	International Journal Prosthodont.	2018	Odont	Visualization
A Novel and Freely Available Interactive 3d Model of the Internal Carotid Artery.	J M Systems	2018	Neurol	Visualization
Using Interactive 3D PDF for Exploring Complex Biomedical Data: Experiences and Solutions.	Stud Health Technol Inform	2016	Anatom	Visualization
Interactive 3D-PDF Presentations for the Simulation and Quantification of Extended Endoscopic Endonasal Surgical Approaches.	J M Systems	2015	Surgic	Clinical App
Software for browsing sectioned images of a dog body and generating a 3D model.	Anac Rec	2016	Animal	Visualization
Towards an easier creation of three-dimensional data for embedding into scholarly 3D PDF (Portable Document Format) files.	Peer J	2015	Inform	Teaching
Application and evaluation of interactive 3D PDF for presenting and sharing planning results for liver surgery in clinical routine.	PLos one	2014	Surgic	Clinical App



3D interactive model of lumbar spinal structures of anesthetic interest.	Clin anat	2015	Anest	Visualization
Simplified generation of biomedical 3D surface model data for embedding in to 3D portable document format (PDF) files for publication and education.	Plos one	2013	Educ	Teaching
Embedding 3D radiology models in portable document format.	AJR Am	2012	Radiol	Teaching
Portable document format file showing the surface models of cadaver whole body.	J Korean Med	2012	Educ	Teaching
Three-dimensional portable document format: a simple way to present 3-dimensional data in an electronic publication.	Am J Orthod Dentofacial Orthop	2011	Educ	Visualization
The interactive presentation of 3D information obtained from reconstructed datasets and 3Dplacement of single histological sections with the 3D portable document format.	Development	2011	Educ	Teaching

Sin embargo, el contenido 3D embebido directamente en un archivo PDF, se encuentra en una minoría de casos. Una razón para esto podría haber sido que las revistas no admitían la incrustación directa. Esto coincide con la experiencia de otros autores (Antonuk, 2002; Colucci et al., 2015; Newe et al., 2014; Starly et al., 2005; W. Sun et al., 2005; Tiede et al., 1990). Incluso algunas revistas modernas, versión “on line”, no son capaces (y, en algunos casos, no están dispuestas) a proporcionar la posibilidad de incrustar figuras 3D directamente en las versiones PDF de sus artículos.

Estas son posibles razones para la baja difusión del formato de documento portátil tridimensional en medicina e investigación biomédica.



Como se mencionó anteriormente, una razón podría ser que las revistas no admiten archivos PDF en 3D. Sin embargo, otra razón, y probablemente más seria, podría ser que la mayoría de los médicos y científicos no conocen esta característica. Aunque esta hipótesis no se ha investigado en este trabajo y sugerimos que debería investigarse en investigaciones futuras (probablemente mediante encuestas específicas). Esperamos que este trabajo y sus publicaciones asociadas podrían ayudar a llamar la atención sobre esta tecnología y ayudar a superar este umbral de dificultad.

Otra razón podría ser que el público objetivo potencial, aunque en principio conocen PDF 3D, no saben cómo crear PDF 3D o que no tienen las habilidades técnicas adecuadas. En nuestro trabajo, informamos los protocolos y las herramientas de software disponibles, y gratuitos. También se debe destacar que el uso de la mayoría de los protocolos o herramientas establecidas hasta la actualidad requería habilidades de programación, conocimientos técnicos avanzados y / o software comercial costoso y altamente especializado.

Una de las limitaciones que se deben mencionar respecto de la búsqueda de artículos con el software PDF 3D realizada es que es probable que no se hayan encontrado un número de artículos por no cumplir con los criterios de inclusión de la búsqueda. La razón más probable para perder resultados de la búsqueda de un artículo de este tipo podría ser que los autores desarrollaron el PDF 3D sin comunicarlo en el artículo, o que no se señaló adecuadamente en el resumen o en el texto completo disponible.

El programa PDF con estos contenidos anatómicos en 3D, además de una mejor experiencia como visión interactiva, como hemos visto en el apartado de resultados, resultan de gran utilidad para realizar mediciones y anotaciones, con una gran sencillez. De tal forma, que podemos obtener diversos parámetros, de utilidad de una forma sencilla y muy rápida como se vio a la hora de obtener diámetros y longitudes de estructuras (forámenes, apófisis...etc). También es fácil valorar el espesor máximo y mínimo de cada hueso, para estudios de puntos “fuertes” y “débiles” del complejo óseo



y explicación y predicción de posibles tipos fracturas, como se ha reflejado en la literatura (Delye et al., 2015; Z. Li et al., 2015; Libby et al., 2017; Simon & Marroig, 2015; Weinhardt et al., 2018). Destacamos la posibilidad de combinación de distintas herramientas (medición y sección parcial) para optimizar las mediciones y diámetros de, por ejemplo, las regiones centrales de los agujeros de la base del cráneo, o los conductos internos (como el CAI o CAE a nivel del hueso temporal)

También nos ha parecido una herramienta muy interesante para conocer datos volumétricos, como la superficie y volumen que ocupa cada hueso en la conformación de la base del cráneo. Mediante el uso de estos modelos 3D, se pueden obtener fácil y de una manera directa datos, complejos, muy dificultosos de calcular mediante las imágenes clásicas. De tal forma, como hemos visto, el hueso que mayor volumen aporta al complejo de la base del cráneo es el hueso occipital, y el que menos, como cabría esperar, el hueso etmoides. Estos cálculos volumétricos realizados por el software PDF READER DC, fueron comparados y refutados con los mismos análisis mediante el software 3D slicer®, (con los mismos y con modelos distintos, para valorar la posible variabilidad) obteniendo resultados parejos. Por lo tanto, estamos en disposición de afirmar que los cálculos volumétricos realizados a los modelos tridimensionales por el software PDF Reader DC, resultan fiables ya aportan resultados idénticos a otros programas utilizando el mismo modelo anatómico.

Se debe destacar que una importante ventaja que suponen estos modelos almacenados en formato PDF, es la facilidad para compartir y transmitir esta información con otros usuarios de manera ágil y rápida. Esto es muy interesante en el entorno actual, donde el trabajo generalmente se lleva a cabo por grupos de personas, que no necesariamente se encuentran juntas físicamente (cada vez más importante, como hemos visto recientemente, en la implantación del trabajo a distancia o "teletrabajo"). El propio formato entre sus características ofrece varias posibilidades para compartir el documento. Desde una invitación a usuarios, o subir el archivo a la nube, previo envío



de contraseña para mayor seguridad, o simplemente como archivo adjunto de un correo electrónico. Esto posibilita que cada usuario puede acceder a los contenidos desde el ordenador personal o cualquier otro dispositivo electrónico con capacidad de leer archivos PDF.

La posibilidad de una manipulación interactiva con los modelos 3D, alienta y motiva al usuario a explorar la imagen muy detalladamente de manera individual, posibilitando mayor conocimiento de la misma. Además de la nueva información obtenida, esta acción estimulante también puede apoyar la curiosidad y la memorización a largo plazo.

Comenzando por el principio, y respecto al análisis de la imagen radiológica usada como base para la elaboración de estos documentos tridimensionales, el primer gran hito fue, como se ha referido con anterioridad en el trabajo, la digitalización de la imagen médica. En torno a esto y debido al gran desarrollo en equipos de imágenes médicas no invasivas y la cantidad de empresas y fabricantes de equipos médicos, ha requerido el desarrollo de un estándar para el almacenamiento e intercambio de imágenes médicas. DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) hace que el intercambio de imágenes médicas sea más fácil e independiente del fabricante del equipo de imágenes.

DICOM es un formato estandarizado de almacenamiento y transmisión de imágenes médicas y datos entre hardware de propósito médico. DICOM permite la integración de escáneres, servidores, estaciones de trabajo, impresoras y hardware de red de múltiples proveedores.

Esto hace que el formato DICOM sea fácil de usar y que el intercambio de datos sea rápido y seguro, al tiempo que evita la posible confusión causada por múltiples archivos para el mismo estudio (Grauer et al., 2009; Mildemberger et al., 2002; Moore et al., 1994; Mustra et al., 2008).



La imagen es el núcleo de información de un fichero DICOM, pero cada fichero contiene, además de la imagen, información (metadatos) sobre el paciente (identificación demográfica y de identificación), y las características del estudio en el que se encuadra la toma de la imagen.

Tras la adquisición de cortes tomográficos, y la obtención de las imágenes radiológicas de las estructuras craneofaciales, el postproceso y la segmentación de las mismas constituye un desafío importante. Sin embargo, las últimas actualizaciones de software para máquinas CT incluyen paquetes profesionales compatibles para la creación de imágenes y modelos 3D. Este hecho ha facilitado la creación de los modelos en los últimos años y ha reducido considerablemente el tiempo necesario para crearlos (Boccardi et al., 2011; Grauer et al., 2009; Schendel & Jacobson, 2009; Wragg et al., 2019).

A partir de la serie de imágenes en formato DICOM, en nuestro trabajo intentamos métodos de postproceso completamente automáticos pero generalmente no tuvimos éxito en cuanto la calidad y realidad de los mismos, de acuerdo con los autores (Newe, 2015; Newe & Ganslandt, 2013; Phelps et al., 2012; Weinhardt et al., 2018). Para otros autores, a día de hoy, el enfoque manual para el postproceso de las imágenes, es el único método disponible para lograr segmentaciones adecuadas y precisas (Boccardi et al., 2011; J. Cong et al., 2006; Jason Cong et al., 2006). En nuestra experiencia, y de acuerdo con nuestro trabajo y publicaciones asociadas, dependiendo de los programas usados para crear estos modelos, se pueden usar algunos métodos semiautomáticos, o combinación de métodos automáticos y manuales, como la segmentación local o la interpolación entre cortes segmentados manualmente, con muy buenos y mejor eficiencia del trabajo. Así lo refieren también otras publicaciones (Newe & Ganslandt, 2013; Tesařová et al., 2018).



En los últimos años se han creado multitud programas o métodos de procesado y segmentación de las imágenes digitales, son los llamados “CADs” (Computer aided design) o diseño asistido por computadora en la traducción al castellano (Bernardini et al., 1999; Bosche & Haas, 2008; Tiede et al., 1990; Toriya & Chiyokura, 2012). Algunos de ellos están más enfocados en campos como arquitectura o ingeniería, como Concept 3D (*3D Mapping and Virtual Tour Software*, 2020; *About ARCHICAD — A 3D architectural BIM software for design & modeling*, 2020; *AutoCAD Architecture Toolset | Architectural Design Software | Autodesk*, 2020; *Cedreo: Easy 3D Home Design Software for Professionals*, 2020; *Software BIM Arquitectura - Edificius - ACCA software*, 2019; *Software de diseño 3D | Modelado 3D en la web | SketchUp*, 2020; Pickavance & Turner, 2020) y otros más en el ámbito biomédico (Fujita et al., 2008; Lucie Gaget, 2017; Starly et al., 2005; W. Sun et al., 2005; Viceconti et al., 1998).

En general son programas diseñados y orientados para realizar mallas de impresión 3D. Son de pago, salvo algunas versiones con una versión DEMO gratuita. En general no entrañan mucha dificultad en el manejo y no son muy distintos en cuanto a uso e interfaz.

En el ámbito biomédico, algunos programas se orientan más hacia el ámbito de simulación quirúrgica y otros directamente enfocados a impresión 3D de material protésico. Algunos ejemplos de programas de modelado 3D enfocados para la industria médica son: 3D-Doctor (*3D-DOCTOR, medical modeling, 3D medical imaging*, 2020), Medical Design studio («Medical Design Studio», 2005), Ossa 3D (Conceptualiz, 2019), D2P (*D2P- From DICOM-to-PRINT | Symbionix*, 2017), Blender («Blender.Org - Home of the Blender Project - Free and Open 3D Creation Software», 2020)...

Tradicionalmente, para la segmentación se ha utilizado la interfaz ósea, debido a que los softwares de modelado no representaban con precisión materiales blandos como los tejidos o la piel. Sin embargo, los softwares actuales son lo suficientemente potentes como para realizar análisis de tejidos blandos basados en imágenes de tomografía computarizada (CT), para predecir los detalles finos tridimensionales de los tejidos



blandos («3D Surface and Body Documentation in Forensic Medicine», 2003; Bibb et al., 2014; Nguyen et al., 2012; Tam, 2010).

En nuestro trabajo hemos manejado las imágenes DICOM mediante dos procedimientos, ambos se realizan de manera semiautomática, es decir, parte lo segmenta el software de manera automática, pero siempre es controlando y manejado en último lugar por el usuario de manera manual, por ejemplo, extrayendo las áreas que no interesan, así como corrigiendo zonas o errores en la segmentación automática mediante herramientas de corte.

La calidad final de los modelos depende de muchos factores, unos derivados de las características del paciente, del estudio radiológico, y en general, del proceso de postprocesado de la imagen.

Un paciente con una densidad ósea adecuada permite obtener imágenes con mejor definición, asimismo, una técnica de estudio adecuada y una máquina de calidad son fundamentales para conseguir unas imágenes base de calidad y con suficiente información para realizar los procesos posteriores.

Las diferencias se concentran en aspectos formales, tales como la diferencia de tiempo empleado en realizar un modelo de calidad, o la mayor o menor complejidad de las herramientas. También en el número de pasos necesarios para construir los modelos que requieren unos programas en relación a otros.

Por lo tanto, consideramos que no es un factor clave en la calidad del resultado final.

Con unos conocimientos y sobre todo entrenamiento adecuado, un usuario medio, pueden conseguir modelos 3D de alta calidad y fidedignos de la anatomía del paciente estudiado.

Sin embargo, denunciamos, como otros autores, por ejemplo (Newe, 2016) la todavía complejidad en la construcción de estos modelos y la necesidad por tanto, de softwares



independientes con herramientas sencillas de usar para el público en general, lo que ayudaría a la creación de PDF en 3D y su difusión.

Debido a que entre los objetivos del trabajo establecidos en la introducción se dispone la necesidad de realizar el procesamiento de las imágenes íntegramente desde un ordenador personal, sin necesidad de costosas estaciones profesionales, comenzamos el análisis del programa utilizado, una software libre y gratuito como el 3D slicer©, que permite el manejo de la imagen médica en formato DICOM y puede ser instalado y manejado desde cualquier computador cumpliendo unos requisitos mínimos del sistema, que la mayoría de ordenadores y dispositivos personales actuales cumplen.

El programa 3D Slicer® contiene numerosas herramientas para la visualización, procesamiento y análisis de la imagen radiológica. Pueden utilizarse tanto imágenes en formato DICOM, como imágenes digitales en los formatos habituales (jpeg., png., tiff., etc).

Fue desarrollado por el Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Tecnología de Massachusetts y por el Brigham and Women's Hospital, aunque su desarrollo depende principalmente a día de hoy de la Alianza Nacional para la Computación de Imagen Médica (Fedorov et al., 2012; Pieper et al., 2004).

Se trata de un programa es muy completo, que se encuentra enfocado para el tratamiento de imágenes médicas, posee multitud de herramientas, muchas veces complejas y a veces resulta poco orientativo, ya que posee infinidad de aplicaciones para el procesamiento de imágenes de TC y de RM. Además de modelado 3D, el programa dispone de herramientas para el postprocesado de la imagen funcional y cálculo analítico.

En general, para la elaboración de un modelo tridimensional anatómico, no son necesarios muchos pasos, ni muy complejos. Por tanto, no es necesario conocer el manejo de todos los módulos que dispone el programa (que por otra parte resultaría de gran dificultad para el público en general). Ya que además de modelado 3D permite



realizar otras muchas aplicaciones como tractografía con imágenes RM, o elaborar imágenes funcionales a partir de estudios radiológicos (Egger et al., 2013; Fedorov et al., 2012; Golby et al., 2011; Kikinis et al., 2014).

Con un conocimiento medio de informática y manejo en postprocesado de imagen radiológica y modelado 3D (diseño 3D CAD), es posible elaborar modelos tridimensionales de calidad y consecuentes con las imágenes radiológicas. De todas formas, no sería justo decir que es un software simple y sencillo de manejar. Existen varios tutoriales en la red, y un fórum, o comunidad para soporte, desde la propia web del programa se dispone de apoyo y tutoriales en línea, todo en lengua inglesa, que explican algunas funcionalidades del programa y las posibilidades que ofrecen sus módulos para las imágenes radiológicas.

Por otra parte, el otro programa usado en el postprocesado de las imágenes en nuestro trabajo es la aplicación “3D MODELLING”, en el portal de trabajo de IntelliSpace Portal de la empresa PHILIPS, de manejo y control de la máquina de TC. Se trata de una aplicación opcional, de uso bajo licencia y para profesionales radiólogos, ya que se encuentra dentro de un paquete opcional entre las herramientas de procesado de imagen de la máquina de TC.

Esta aplicación, tiene la ventaja, en nuestra opinión de ser más conciso y, por lo tanto, más sencillo e intuitivo en su uso. Hay que reseñar que dispone de menos herramientas y posibilidades que el 3D slicer, ya que esta aplicación está diseñada en exclusiva para el modelado de la imagen 3D.

En esta aplicación, se requieren menor cantidad de pasos para la creación de los modelos 3D, ya que tiene herramientas más específicas y dirigidas al este propósito. Además, esta aplicación permite el almacenamiento directo de salida en formato PDF, por lo que también no es necesarios ninguna conversión de formato.

En este programa también se disponen de herramientas para modificar o editar el modelo, pudiendo eliminar o añadir estructuras, pero en general, el segmentado

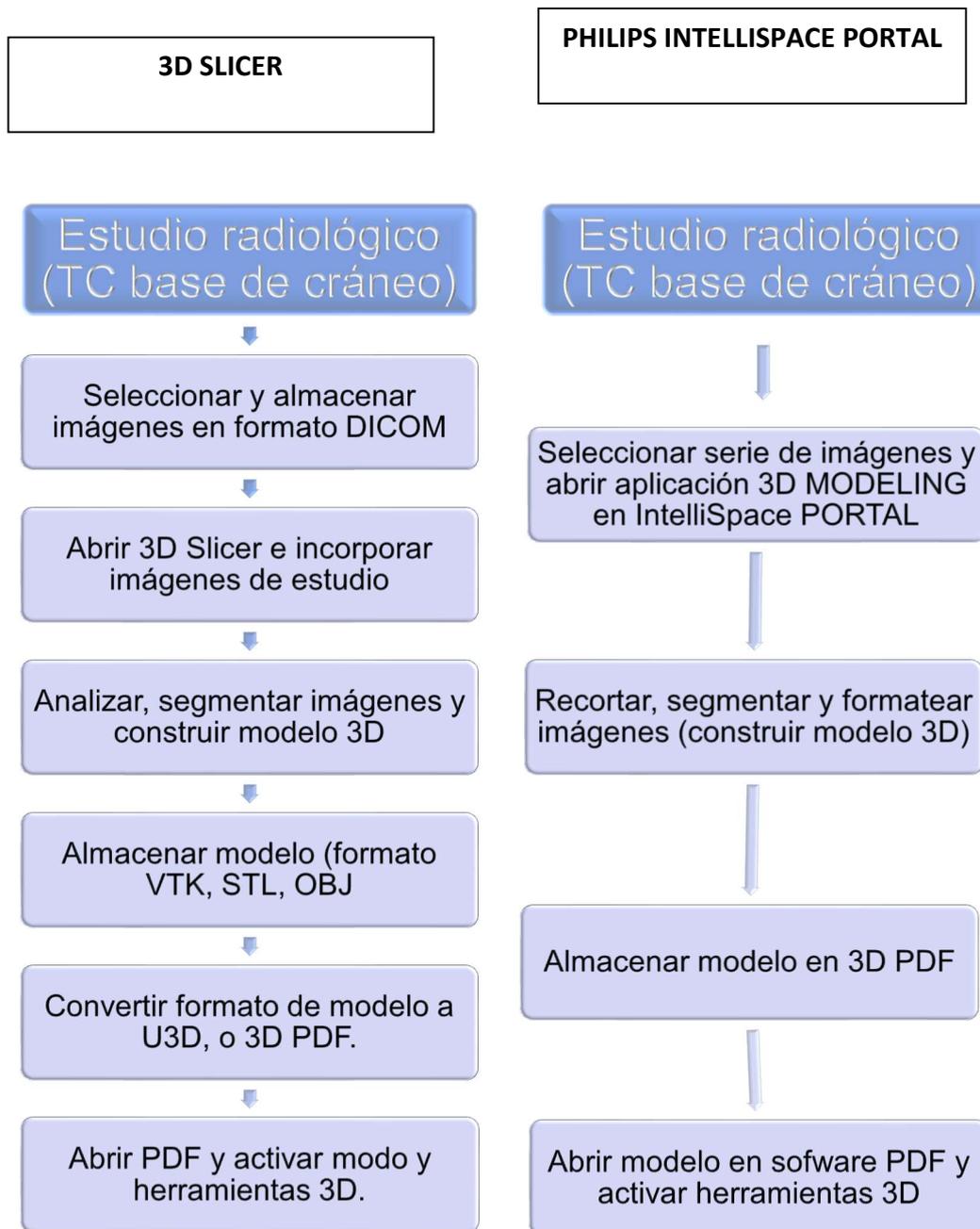
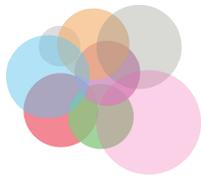


automático, ajustando bien los umbrales de los valores de intensidad generaron tejidos muy fidedignos, para la capa ósea, que es la de interés en nuestro trabajo. Esto es debido a la utilización de las imágenes radiológicas generadas en el aparato, ya que está optimizado para la elaboración con sus propias imágenes.

Por tanto, la generación de los modelos en esta aplicación puede realizarse en menor tiempo comparado con el programa 3D SLICER.

Hay que mencionar, que la calidad final del modelo no difiere en una u otra aplicación. Desde ambos softwares se obtiene modelos de gran calidad y fidedignos con la anatomía y con las imágenes radiológicas de partida.

A modo de resumen, representamos en un esquema las diferencias metodológicas entre ambos programas para construir modelos 3D en formato PDF.



Gráfica: 1. Esquema comparativo de la metodología en ambos programas de modelado 3D.



A continuación, se discuten varias utilidades, de acuerdo con otros autores, del programa PDF, con contenido tridimensional

ÁMBITO EDUCATIVO

La anatomía humana como ciencia médica básica ha sido un aspecto importante de la educación médica durante siglos y es una base relevante para todas las especialidades de atención médica (Keenan & Ben Awadh, 2019; Murakami et al., 2014; Older, 2004).

Los estudiantes, además de la identificación de estructuras de un cuerpo humano, deben desarrollar habilidades nuevas, como una comprensión tridimensional, particularmente útil en el manejo de estos modelos, ya que permite valorar con alto grado de detalle las características de alguna región, órgano o estructura compleja, así como sus relaciones de vecindad (Erolin, 2019; Khayruddeen et al., 2019; K. P. Murphy et al., 2014; Petersson et al., 2009; Phillips et al., 2012; Smith et al., 2018; Tory & Moller, 2004).

Esto se puede lograr mediante la disección supervisada de cadáveres o el examen de especímenes procesados, con el apoyo de ayudas visuales como atlas con imágenes 2D. Sin embargo, la disección de cadáveres tiene varias limitaciones, incluida la disponibilidad de muestras, el costo y la necesidad de un compromiso sustancial de tiempo (Faria et al., 2016). Conjuntamente con las técnicas de aprendizaje tradicionales, se implementa el uso de nuevas técnicas de manejo tridimensional. Se han propuesto “atlas 3D” en diversos ámbitos (de Bakker et al., 2012, 2016). Otras fórmulas, que algunos autores han denominado “disecciones digitales” se han ensayado, sin los inconvenientes de las disecciones cadavéricas tradicionales (Bangeas et al., 2019; Erolin, 2019; Miranda-Merchak et al., 2018; Mitrousias et al., 2018; Older, 2004; Richardson-Hatcher et al., 2014).



La posibilidad de una manipulación interactiva puede alentar al usuario a explorar la "imagen" muy detalladamente de manera individual. Además de la nueva información obtenida, esta acción estimulante también puede apoyar la curiosidad y la memorización a largo plazo (Caswell et al., 2015; Chen et al., 2017; Park et al., 2019; Petersson et al., 2009; Triepels et al., 2020).

CAMPO CIENTÍFICO Y PUBLICACIONES

Las fórmulas tridimensionales en biomedicina están presentes en multitud de estructuras, desde biomoléculas, secuencias proteicas y de ADN, formulaciones farmacológicas o conformaciones víricas o celulares, estudios histológicos...etc (de Boer et al., 2011; Herráez, 2006; Kumar et al., 2008; Merritt & Bacon, 1997; Vasilyev, 2010). Se pueden aplicar modelos matemáticos aplicados sobre modelos 3D de estructuras para la investigación en nuevas terapéuticas, así como mediante la bioimpresión, con materiales biocompatibles (Jia et al., 2016; Stéphanou et al., 2005).

Como se ha comentado, con la inclusión de las fórmulas tridimensionales, se dispondría de mayor información que con las fórmulas actuales. En general en los congresos, o revistas científicas, en versión "on line" no existe soporte para la interacción con la imagen 3D, así como tampoco en los modelos de envío y formularios de publicación de los artículos científicos. Últimamente esto está en proceso de cambio. En el escenario actual, la tecnología existente hoy permite manejar modelos 3D desde un simple archivo PDF, donde se puedan manipular objetos virtuales con cualidades 3D reales. Esto incrementa el realismo y la información ofrecida a los usuarios finales (Newe, 2015, 2016; Newe & Becker, 2018; Rydmark et al., 2001; van de Kamp et al., 2014).

Por último, cabe añadir en este apartado científico, que estos modelos almacenados en PDF permiten la interacción de equipos de trabajo donde cada usuario puede realizar anotaciones, mediciones, nuevas vistas o personalizar el modelo según sus preferencias, muy útil en grupos de trabajo multicéntricos o distanciados entre sí, como es tendencia



en la forma de investigación actual. Esto posibilita que cada usuario puede acceder a los contenidos desde el ordenador personal de su casa de una manera más personal y dinámica.

Además, se ha convertido en un formato estandarizado aprobado y regulado por las normas ISO, lo que confiere mayor control y confiabilidad para su uso normalizado (Newe et al., 2014; Ruthensteiner & Heß, 2008).

ÁMBITO MÉDICO

Con las imágenes médicas en 3D, los profesionales de la salud ahora pueden acceder a nuevos puntos de vista, ángulos, resoluciones y detalles que ofrecen una mejor comprensión de la parte del cuerpo en cuestión. Mediante esta técnica de visualización se pueden recrear entornos virtuales y valorar nuevos accesos y técnicas médicas para su aplicación sobre pacientes con seguridad y sin necesidad de riesgos (Boccardi et al., 2011; Lorenzo Alvarez, 2018; Usón et al., 2014). Se pueden valorar nuevos imprevistos y dificultades de técnicas novedosas.

La medicina moderna depende completamente de la visualización en 3D (Aimar et al., 2019; Hong et al., 2018; Starly et al., 2005; Udupa & Herman, 1999). Se pueden establecer diagnósticos de lesiones o fracturas óseas, como en órganos internos. Se ha establecido su uso en órganos como el hígado (Kong et al., 2016), riñones (Coll et al., 2000; Wragg et al., 2019), el sistema cardiovascular (Kaye et al., 1997; Luboz et al., 2005; Trunk et al., 2007), los pulmones (Javan et al., 2016; Kuhnigk et al., 2003; Zrimec et al., 2004), el cerebro (Giesel et al., 2009; Q.-Y. Li et al., 2006; Qiyu et al., 2005) o músculo (Tesařová et al., 2018)...

Otro punto que se ha tratado en alguna publicación, es la importancia de estos archivos para mejorar la comunicación entre los profesionales o con los pacientes (Bernhard et al., 2016; Biglino et al., 2015). La comunicación es de vital importancia para los médicos y los pacientes, sin embargo, existen desafíos en la comunicación tradicional;



como aspectos relacionados con la claridad del lenguaje, nomenclatura médica especializada, habilidades interpersonales o aquellas situaciones en la que el conocimiento compartido es altamente técnico y difícil de comunicar verbalmente o con los medios tradicionales. Estas herramientas tridimensionales como apoyo complementario, facilitan y acercan la información a los usuarios

APLICACIONES QUIRÚRGICAS

En las especialidades quirúrgicas es, si cabe donde mayor importancia tiene un amplio conocimiento de las estructuras anatómicas de los órganos y tejidos (Kong et al., 2016)

Los pasos esenciales para la planificación quirúrgica con diseño asistido por computadora son: análisis, planificación, cirugía virtual, diseño y producción de implantes, y, por último, análisis postoperatorio (Erten & Yılmaz, 2018; Markiewicz & Bell, 2011).

El primer paso del análisis es comprender el diagnóstico y desarrollar una solución y planificación adecuada. Se parte de imágenes radiológicas de TC convertidas al formato adecuado para realizar los procedimientos de modelado digital asistido por computación (CAD). Asimismo, es posible embeber imágenes 3D junto a planos seccionales de las imágenes radiológicas. De esta manera se pueden realizar mediciones lineales, angulares y volumétricas sobre las superposiciones de la anatomía normal (figura 98). Mediante el programa PDF está usando en la ortodoncia, creando modelos para posibles implantes adecuados a las características de los pacientes (figura 99).

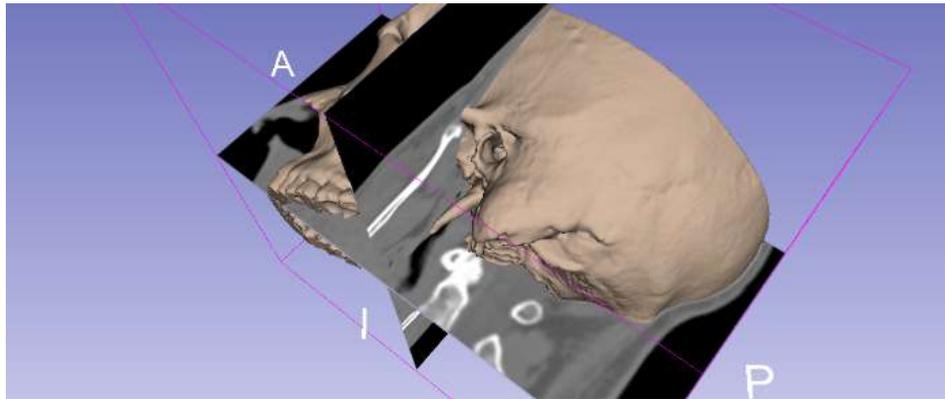
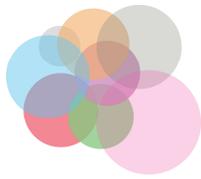


Figura: 98. Imagen 3D embebida con imágenes seccionales de TC.

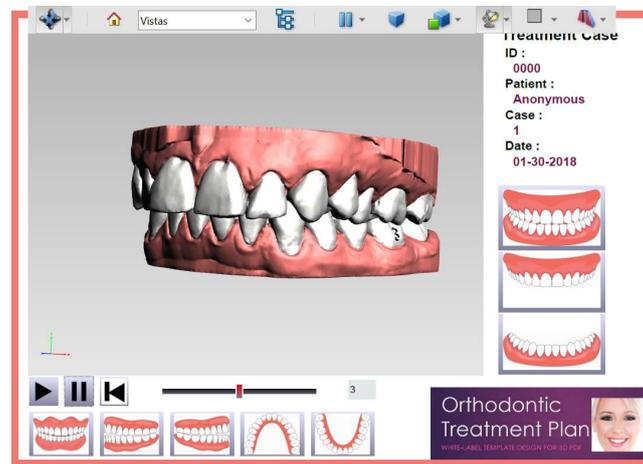


Figura: 99. Imagen PDF con modelo de ortodoncia 3D. Imagen propia, pero obtenida a partir de modelos creados en la página web: <https://www.pdf3d.com/medical-chemistry-physics-research>

Utilizando las herramientas de CAD por simulación, se pueden improvisar varios métodos y estrategias diferentes para determinar el enfoque quirúrgico más óptimo. Se pueden reconocer las posibles consecuencias imprevistas, complicaciones y problemas intraoperatorios mucho antes de realizar el procedimiento real sobre el paciente (Greenberg, 2018; Mavar-Haramija et al., 2015; S. B. Murphy et al., 1986; Schendel & Jacobson, 2009; Westermarck et al., 2005).

En general la aplicación de la tecnología 3D en planificación quirúrgica se puede resumir en las siguientes:



- -Diagnóstico. Ya que la imagen 3D permite una mejor comprensión de la anatomía.
- -Medición cuantitativa y análisis, ya que permite medición de estructuras y obtención directa de parámetros volumétricos. Permite comparar resultados con el teórico ideal (Schendel & Jacobson, 2009).
- -Simulación virtual quirúrgica. Esto ofrece la gran ventaja de poseer un número ilimitado de ensayo-error. Explorar posibles complicaciones inesperados, identificarlas y solventarlas. Una vez se alcanza la técnica o posición quirúrgica deseada, se pueden realizar nuevas mediciones y tomar estructuras desde una mejor posición. Los modelos de órganos impresos podrían convertirse en un trampolín hacia modelos inmersivos basados en ordenador que usan la realidad aumentada en la que los cirujanos usan auriculares y otras herramientas para observar y manipular representaciones tridimensionales (Newe et al., 2014; Qiu et al., 2018; Sutherland, 1986).



Figura: 100. Imagen obtenida de: "Application and Evaluation of Interactive 3D PDF for Presenting and Sharing Planning Results for Liver Surgery in Clinical Routine". Artículo citado en texto como Newe et al., 2014.

- -Fabricación de guías de abordajes quirúrgicos y plantillas. Se pueden modificar los abordajes de osteotomías teniendo en cuenta detalles anatómicos con mayor precisión (Caloss et al., 2007; Prats-Galino et al., 2015; Puigdellívol-Sánchez et al., 2011; Swennen et al., 2009).



- -Comparación de resultados postoperatorios y predicción de resultados. Mediante estas técnicas de modelado 3D es posible valorar los posibles resultados finales, antes incluso del inicio del procedimiento o la cirugía.

IMPRESIÓN 3D

Finalmente, mediante la manipulación y manejo de estos documentos, se pueden generar modelos a partir de la impresión de los mismos. Este formato permite unas propiedades de impresión adecuadas y una amplia compatibilidad con impresoras 3D del mercado, debido a que es un formato de archivo estandarizado.

La impresión 3D es un socio ideal para las imágenes médicas en 3D debido a la singularidad de cada paciente y los nuevos desafíos terapéuticos existentes. De esta manera se están empleando biomodelos “adaptados” a las características de los pacientes, un ejemplo son las prótesis, pero también los dispositivos neonatales específicos, o incluso “fabricar” tejidos artificiales para el cuidado a corto plazo (figura 101).

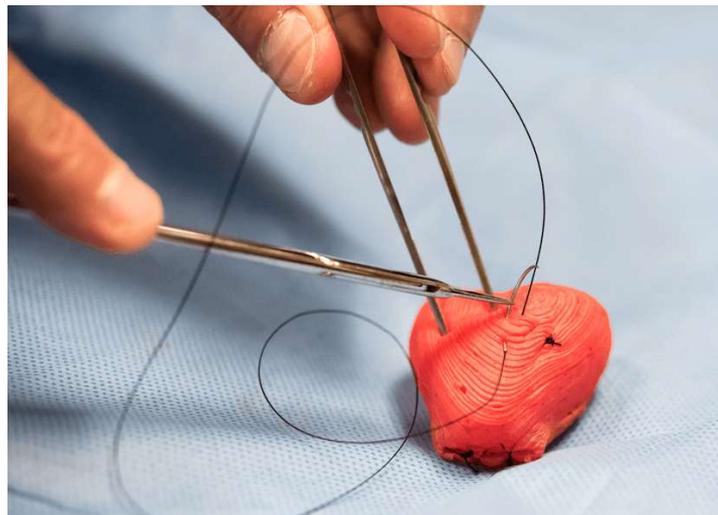


Figura: 101. Modelo de próstata impreso en 3-D. Puede equiparse con sensores de presión que permiten a los cirujanos practicar en material con una sensación real mientras ensayan los procedimientos. Sacada de: K. QIU ET AL / ADVANCED MATERIALS TECHNOLOGIES 2018



La impresión 3D permite la rápida conversión de piezas de diseño digital en objetos físicos. A diferencia de las técnicas de manufactura convencional, donde el material se remueve desde un bloque sólido (como el escultor hace con un bloque de mármol), la impresión 3D abarca varios métodos de construcción de objetos capa por capa; están basadas en las denominadas "tecnologías de procesos aditivos" (Giacomelli et al., 2018).

A partir de datos 3D, se pueden obtener modelos físicos impresos. El desafío principal con la impresión 3D sigue siendo la velocidad, y es lo que hasta ahora ha limitado su implantación. Puede tomar horas, o incluso días, crear un modelo impreso a partir de datos reales de imágenes médicas en 3D (Aimar et al., 2019).

La primera impresora 3-D se desarrolló a fines de la década de 1980 (Yasinski, 2020). Un dispositivo capaz de generar un objeto sólido tridimensional mediante la adición de material. Las impresoras 3D se basan en modelos 3D creados por ordenador CADs que le aportan la información necesaria para su creación (Goh et al., 1990).

Las distintas aplicaciones médicas de las impresiones 3D en la medicina, las cuales pueden agruparse de forma general en 3 categorías (Rengier et al., 2010; Valverde, 2017).

Modelos anatómicos

Los modelos 3D pueden emplearse con fines educativos, tanto para pacientes como para estudiantes, médicos en adiestramiento y cirujanos, y pueden jugar un papel importante en el proceso de reconstrucción de casos quirúrgicos complejos. Estos modelos también son excelentes auxiliares para entender la naturaleza del procedimiento por médicos en entrenamiento y especialistas (García-Valadez et al., 2017).

Planificación preoperatoria

La impresión 3D se ha introducido también el campo quirúrgico como una herramienta para una mejor comprensión de cualquier anomalía subyacente compleja. Esto puede mejorar y facilitar la calidad diagnóstica y ayudar en la planificación prequirúrgica. Se ha



demostrado su aplicación y beneficio en la cirugía craneofacial y maxilofacial (César-Juárez et al., 2018; D'Urso et al., 2000; Faber et al., 2006; Mavili et al., 2007; Müller et al., 2003; Poukens et al., 2003; Wagner et al., 2004). También hay estudios en cirugía ortopédica, neurocirugía, cirugía de columna, cirugía cardiovascular y cirugía abdominal, que demostraron una mejora significativa en el diagnóstico y tratamiento debido a una mejor apreciación de la estructura afectada, mayor precisión y posibilidad de una adecuada planificación previa (Armilotta et al., 2007; Bangeas et al., 2019; Giesel et al., 2009; Hiramatsu et al., 2004; Kim et al., 2008; Kohli et al., 2018; S. B. Murphy et al., 1986; Paiva et al., 2007).

Una vez con la planificación quirúrgica virtual hecha, se pueden realizar diseños para las guías de tratamiento e implantes individualizados (Kohli et al., 2018; Mavar-Haramija et al., 2015; Newe et al., 2014; Singhal et al., 2016; X. Sun et al., 2018; Yao & Lin, 2018).

Hacer una simulación quirúrgica y de las posibles complicaciones por adelantado usando modelos prototipo puede ayudar a prever complicaciones intra y postoperatorias. Se han reportado resultados en relación a una reducción del tiempo cirugía, que permite un uso más rentable de las salas (D'Urso et al., 1999; Rengier et al., 2010).

Investigación médica

La impresión 3D abre nuevas oportunidades para las actividades de investigación científica, pudiendo ayudar a elucidar los procesos fisiológicos que aún no se entienden completamente. La hemodinámica puede ser investigada, por ejemplo, mediante RM de velocidad codificada o por mediciones de flujo óptico en modelos transparentes (César-Juárez et al., 2018; de Zélicourt et al., 2005, p.).

5.1. SÍNTESIS FINAL

A modo de resumen, en este trabajo, hemos ofrecido una visión general del uso de PDF 3D en el dominio biomédico aplicado a la neurorradiología (con modelos



de la base del cráneo) con un enfoque especial en aplicaciones educativas, pero también clínicas y en el ámbito científico.

Además, planteamos la hipótesis sobre posibles barreras que podrían ser responsables de la baja difusión de PDF 3D en comunicación clínico-científica y en las ciencias biomédicas en general.

Consideramos que investigaciones futuras deberían centrarse principalmente en el desarrollo de herramientas de software que puedan ser utilizadas fácilmente por todos y sin coste. Además, consideramos que se debe investigar (por ejemplo, mediante encuestas) el grado de conocimiento del software PDF 3D en la comunidad científica, en particular en los campos biomédicos y clínicos.

Además, se necesitan manuales de instrucciones simples para las herramientas existentes y se deben difundir más. También, el uso rutinario de PDF 3D en aplicaciones clínicas y científicas debe promoverse y evaluarse aún más para otras disciplinas además de las señaladas en este trabajo. Finalmente, la investigación futura también podría considerar otros dominios además del biomédico.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Una vez concluido el trabajo de Tesis Doctoral y según los resultados obtenidos tras el análisis y manejo de los modelos tridimensionales de la base del cráneo en formato PDF, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- **Primera.** El TC fue la técnica de elección para el estudio anatomorradiológico de la base de cráneo ya que sus imágenes muestran características morfológicas de las estructuras óseas con mayor calidad que el resto de técnicas radiológicas. Además, permiten realizar las técnicas de postprocesado de manera más ágil y sencilla, puesto que en la actualidad existen aplicaciones de modelado 3D incluidas en los paquetes de software de las propias máquinas.
- **Segunda.** El resultado final del modelo tridimensional no depende del software de tratamiento de imagen médica utilizado para su construcción. No es necesario, por tanto, disponer de estaciones de trabajo ni aplicaciones profesionales o programas comerciales, para su elaboración o manipulación.
- **Tercera.** El manejo de softwares de postprocesado de imagen médica como el programa 3D Slicer®, en la segmentación e integración de sistemas de representación tridimensional de las estructuras óseas



analizadas, fue fundamental para la interpretación morfológica y espacial, al permitirnos estudiar las estructuras anatómicas en 3D de manera independiente y embebidas en secciones de imagen de tomografía computarizada; valorando así las relaciones espaciales que mantienen cada una de ellas. También ofrecen nuevas posibilidades de estudio, así como un análisis morfométrico (y volumétrico) mucho más exhaustivo y detallado.

- **Cuarta.** La visualización interactiva tridimensional de la base del cráneo en el software PDF 3D, ofrece buenas posibilidades de visión (diferentes ángulos, caras, abordajes...), y mejoró de forma sustancial la interpretación, identificación y localización de cada una de las complejas estructuras anatómicas que la componen. Permitió una identificación clara de todas las estructuras anatómicas facilitando al usuario (estudiante, residente, facultativo) una buena forma de comprensión de esta compleja región al poder visualizarla desde cualquier posición espacial. Además, la visión tridimensional facilita el diagnóstico clínico y posibilita una planificación de abordaje quirúrgico simulado.
- **Quinta.** Los avances en informática y la digitalización de la imagen radiológica han posibilitado la creación de modelos tridimensionales y su progresiva implantación en el campo biomédico. En nuestro trabajo la creación de archivos en formato pdf 3D ha sido compleja; sin embargo las herramientas de software empleadas en nuestro estudio han sido muy eficaces en la generación de modelos anatómicos tridimensionales desde secciones radiológicas seriadas.



- **Sexta.** El software PDF con contenido 3D, por su naturaleza es un programa útil para el trabajo y la interacción con modelos 3D, debido a que dispone de herramientas específicas para el tratamiento y visualización de imágenes médicas. Además, debido a su estandarización oficial ISO y su amplia distribución, posibilita la transmisión de archivos de forma rápida y ágil entre distintos usuarios a través de la red.

- **Séptima y última.** Consideramos que esta herramienta (PDF 3D) ofrece multitud de ventajas en el manejo de imágenes anatomorradiológicas. Sin embargo, es un recurso tecnológico infrautilizado tanto por docentes como por radiólogos, posiblemente por desconocimiento de este software frente a otros de mayor difusión. Por tanto, debido a las características y ventajas que ofrece, recomendamos su utilización en el ámbito médico, no sólo en docencia, sino también en la práctica clínica



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA



CAPÍTULO VII.

BIBLIOGRAFÍA

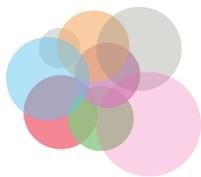
1. *3D Mapping and Virtual Tour Software*. (2020). Concept3D.
<https://www.concept3d.com/>
2. 3D Surface and Body Documentation in Forensic Medicine: 3-D/CAD Photogrammetry Merged with 3D Radiological Scanning. (2003). *Journal of Forensic Science*, 48(6), 1-10. <https://doi.org/10.1520/JFS2003118>
3. *3D-DOCTOR, medical modeling, 3D medical imaging*. (2020).
<http://www.ablesw.com/3d-doctor/3ddoctor.html>
4. *About ARCHICAD — A 3D architectural BIM software for design & modeling*. (2020). <https://www.graphisoft.com/archicad/>
5. Abrahams, J. J., & Eklund, J. A. (1995). Diagnostic radiology of the cranial base. *Clinics in Plastic Surgery*, 22(3), 373-405.
6. Abulrub, A.-H. G., Attridge, A. N., & Williams, M. A. (2011). Virtual reality in engineering education: The future of creative learning. *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 751-757.
<https://doi.org/10.1109/EDUCON.2011.5773223>
7. Aimar, A., Palermo, A., & Innocenti, B. (2019). *The Role of 3D Printing in Medical Applications: A State of the Art* [Review Article]. *Journal of Healthcare Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2019/5340616>



8. Anastakis, D. J., Hamstra, S. J., & Matsumoto, E. D. (2000). Visual-spatial abilities in surgical training. *American Journal of Surgery*, 179(6), 469-471. [https://doi.org/10.1016/s0002-9610\(00\)00397-4](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(00)00397-4)
9. Antonuk, L. E. (2002). Electronic portal imaging devices: A review and historical perspective of contemporary technologies and research. *Physics in Medicine & Biology*, 47(6), R31. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/47/6/201>
10. *Apuntes sobre Historia de la Medicina*. (2015). http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/historiamedicina/HistMed_03.html
11. Armillotta, A., Bonhoeffer, P., Dubini, G., Ferragina, S., Migliavacca, F., Sala, G., & Schievano, S. (2007). Use of rapid prototyping models in the planning of percutaneous pulmonary valved stent implantation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part H, Journal of Engineering in Medicine*, 221(4), 407-416. <https://doi.org/10.1243/09544119JEIM83>
12. Artifex Engineering. (2017, septiembre 6). *The Coming of PDF 2.0—Part 1 | Artifex*. <https://artifex.com/the-coming-of-pdf-2-0-part-1/>
13. Augusto Brazzini Arméstar, Malú Arias Schreiber, & Víctor Méniz Leiva. (1996). *Historia y Medicina: Desarrollo de la Radiología*. http://sisbib.unmsm.edu.pe/Bvrevistas/spmi/v09n1/Des_Radio.htm
14. *AutoCAD Architecture Toolset | Architectural Design Software | Autodesk*. (2020). <https://www.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets/autocad-architecture>



15. Bangeas, P., Drevelegas, K., Agorastou, C., Tzounis, L., Chorti, A., Paramythiotis, D., Michalopoulos, A., Tsoulfas, G., Papadopoulos, V. N., Exadaktylos, A., & Suri, J. S. (2019). Three-dimensional printing as an educational tool in colorectal surgery. *Frontiers in Bioscience (Elite Edition)*, 11, 29-37.
16. Bernardini, F., Bajaj, C. L., Chen, J., & Schikore, D. R. (1999). Automatic reconstruction of 3d cad models from digital scans. *International Journal of Computational Geometry & Applications*, 09(04n05), 327-369. <https://doi.org/10.1142/S0218195999000236>
17. Bernhard, J.-C., Isotani, S., Matsugasumi, T., Duddalwar, V., Hung, A. J., Suer, E., Baco, E., Satkunasivam, R., Djaladat, H., Metcalfe, C., Hu, B., Wong, K., Park, D., Nguyen, M., Hwang, D., Bazargani, S. T., de Castro Abreu, A. L., Aron, M., Ukimura, O., & Gill, I. S. (2016). Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: A useful tool for patient education. *World Journal of Urology*, 34(3), 337-345. <https://doi.org/10.1007/s00345-015-1632-2>
18. Bibb, R., Eggbeer, D., & Paterson, A. (2014). *Medical Modelling: The Application of Advanced Design and Rapid Prototyping Techniques in Medicine*. Woodhead Publishing.
19. Biglino, G., Capelli, C., Wray, J., Schievano, S., Leaver, L.-K., Khambadkone, S., Giardini, A., Derrick, G., Jones, A., & Taylor, A. M. (2015). 3D-manufactured patient-specific models of congenital heart defects for communication in clinical practice: Feasibility and acceptability. *BMJ Open*, 5(4). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-007165>



20. Blender.org—Home of the Blender project—Free and Open 3D Creation Software. (2020). *Blender.Org*. <https://www.blender.org/>
21. Boccardi, M., Ganzola, R., Bocchetta, M., Pievani, M., Redolfi, A., Bartzokis, G., Camicioli, R., Csernansky, J. G., de Leon, M. J., deToledo-Morrell, L., Killiany, R. J., Lehericy, S., Pantel, J., Pruessner, J. C., Soininen, H., Watson, C., Duchesne, S., Jack, C. R., & Frisoni, G. B. (2011). Survey of protocols for the manual segmentation of the hippocampus: Preparatory steps towards a joint EADC-ADNI harmonized protocol. *Journal of Alzheimer's Disease: JAD*, 26 Suppl 3, 61-75. <https://doi.org/10.3233/JAD-2011-0004>
22. Borges, A. (2009). Imaging of the central skull base. *Neuroimaging Clinics of North America*, 19(3), 441-468. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2009.06.001>
23. Bosche, F., & Haas, C. T. (2008). Automated retrieval of 3D CAD model objects in construction range images. *Automation in Construction*, 17(4), 499-512. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.09.001>
24. Caloss, R., Atkins, K., & Stella, J. P. (2007). Three-dimensional imaging for virtual assessment and treatment simulation in orthognathic surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 19(3), 287-309, v. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2007.04.006>
25. Caswell, F. R., Venkatesh, A., & Denison, A. R. (2015). Twelve tips for enhancing anatomy teaching and learning using radiology. *Medical Teacher*, 37(12), 1067-1071. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2015.1029896>
26. *Cedreo: Easy 3D Home Design Software for Professionals*. (2020). <https://cedreo.com/>



27. César-Juárez, Á. A., Olivos-Meza, A., Landa-Solís, C., Cárdenas-Soria, V. H., Silva-Bermúdez, P. S., Suárez Ahedo, C., Olivos Díaz, B., Ibarra-Ponce de León, J. C., César-Juárez, Á. A., Olivos-Meza, A., Landa-Solís, C., Cárdenas-Soria, V. H., Silva-Bermúdez, P. S., Suárez Ahedo, C., Olivos Díaz, B., & Ibarra-Ponce de León, J. C. (2018). Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 61(6), 43-51. <https://doi.org/10.22201.fm.24484865e.2018.61.6.07>
28. Chen, S., Pan, Z., Wu, Y., Gu, Z., Li, M., Liang, Z., Zhu, H., Yao, Y., Shui, W., Shen, Z., Zhao, J., & Pan, H. (2017). The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: A randomized controlled trail. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00647-1>
29. Chileno-Aquiño, B., & Chávez-Sevillano, M. (2015). Cambios esqueléticos cefalométricos en la base craneal post expansión rápida del maxilar. *Odontología Sanmarquina*, 17(2), 90. <https://doi.org/10.15381/os.v17i2.11053>
30. Clayton, M. (2012). Medicine: Leonardo's anatomy years. *Nature*, 484(7394), 314-316. <https://doi.org/10.1038/484314a>
31. Coll, D. M., Herts, B. R., Davros, W. J., Uzzo, R. G., & Novick, A. C. (2000). Preoperative Use of 3D Volume Rendering to Demonstrate Renal Tumors and Renal Anatomy. *RadioGraphics*, 20(2), 431-438. <https://doi.org/10.1148/radiographics.20.2.g00mc16431>
32. Colucci, P. G., Kostandy, P., Shrauner, W. R., Arleo, E., Fuortes, M., Griffin, A. S., Huang, Y.-H., Juluru, K., & Tsiouris, A. J. (2015). Development and utilization of a



- web-based application as a robust radiology teaching tool (radstax) for medical student anatomy teaching. *Academic Radiology*, 22(2), 247-255.
33. Conceptualiz. (2019). *OSSA 3D | Mobile Medical 3D Printing Software | Conceptualiz*. http://www.conceptualiz.com/products_ossa.html
34. Cong, J., Jagannathan, A., Yuchun Ma, Reinman, G., Jie Wei, & Yan Zhang. (2006). An automated design flow for 3D microarchitecture evaluation. *Asia and South Pacific Conference on Design Automation, 2006.*, 6 pp.-. <https://doi.org/10.1109/ASPDAC.2006.1594713>
35. Cong, Jason, Kursun, E., Liu, Y., Ma, Y., & Reinman, G. (2006). *3D Architecture Modeling and Exploration*. 19.
36. *D2P- From DICOM-to-PRINT | Symbionix*. (2017). <https://symbionix.com/3d-printing/d2p-from-dicom-to-print/>
37. de Bakker, B. S., de Jong, K. H., Hagoort, J., de Bree, K., Besselink, C. T., de Kanter, F. E. C., Veldhuis, T., Bais, B., Schildmeijer, R., Ruijter, J. M., Oostra, R.-J., Christoffels, V. M., & Moorman, A. F. M. (2016). An interactive three-dimensional digital atlas and quantitative database of human development. *Science (New York, N.Y.)*, 354(6315). <https://doi.org/10.1126/science.aag0053>
38. de Bakker, B. S., de Jong, K. H., Hagoort, J., Oostra, R.-J., & Moorman, A. F. M. (2012). Towards a 3-dimensional atlas of the developing human embryo: The Amsterdam experience. *Reproductive Toxicology (Elmsford, N.Y.)*, 34(2), 225-236. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2012.05.087>
39. de Boer, B. A., Soufan, A. T., Hagoort, J., Mohun, T. J., van den Hoff, M. J. B., Hasman, A., Voorbraak, F. P. J. M., Moorman, A. F. M., & Ruijter, J. M. (2011).



- The interactive presentation of 3D information obtained from reconstructed datasets and 3D placement of single histological sections with the 3D portable document format. *Development (Cambridge, England)*, 138(1), 159-167.
<https://doi.org/10.1242/dev.051086>
40. de la Hoz Rojas, L., & Lahera Fernández, E. L. (2016). La Anatomía Humana en el arte de Leonardo da Vinci. *Acta Médica del Centro*, 10(1), 75-77.
<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=64253>
41. de Zélicourt, D., Pekkan, K., Kitajima, H., Frakes, D., & Yoganathan, A. P. (2005). Single-step stereolithography of complex anatomical models for optical flow measurements. *Journal of Biomechanical Engineering*, 127(1), 204-207.
<https://doi.org/10.1115/1.1835367>
42. Delye, H., Clijmans, T., Mommaerts, M. Y., Sloten, J. V., & Goffin, J. (2015). Creating a normative database of age-specific 3D geometrical data, bone density, and bone thickness of the developing skull: A pilot study. *Journal of Neurosurgery. Pediatrics*, 16(6), 687-702.
<https://doi.org/10.3171/2015.4.PEDS1493>
43. Di Chiro, G., & Brooks, R. A. (1979). The 1979 Nobel Prize in Physiology or Medicine. *Science*, 206(4422), 1060-1062. JSTOR.
www.jstor.org/stable/1749356
44. D'Urso, P. S., Barker, T. M., Earwaker, W. J., Bruce, L. J., Atkinson, R. L., Lanigan, M. W., Arvier, J. F., & Effeney, D. J. (1999). Stereolithographic biomodelling in cranio-maxillofacial surgery: A prospective trial. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial*



- Surgery: Official Publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 27(1), 30-37. [https://doi.org/10.1016/s1010-5182\(99\)80007-9](https://doi.org/10.1016/s1010-5182(99)80007-9)
45. D'Urso, P. S., Earwaker, W. J., Barker, T. M., Redmond, M. J., Thompson, R. G., Effeney, D. J., & Tomlinson, F. H. (2000). Custom cranioplasty using stereolithography and acrylic. *British Journal of Plastic Surgery*, 53(3), 200-204. <https://doi.org/10.1054/bjps.1999.3268>
46. EcuRed contributors. (2019). *Estereoscopio—EcuRed*. Estereoscopio. <https://www.ecured.cu/Estereoscopio>
47. Edelman, R. R. (2014). The History of MR Imaging as Seen through the Pages of Radiology. *Radiology*, 273(2S), S181-S200. <https://doi.org/10.1148/radiol.14140706>
48. Edgardo García. (2016). *Historia de PDF – rgbcmyk*. <http://rgbcmyk.com.ar/es/historia-de-pdf/>
49. Egger, J., Kapur, T., Fedorov, A., Pieper, S., Miller, J. V., Veeraraghavan, H., Freisleben, B., Golby, A. J., Nimsky, C., & Kikinis, R. (2013). GBM Volumetry using the 3D Slicer Medical Image Computing Platform. *Scientific Reports*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep01364>
50. Erolin, C. (2019). Interactive 3D Digital Models for Anatomy and Medical Education. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1138, 1-16. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14227-8_1
51. Erten, O., & Yilmaz, B. N. (2018). Three-Dimensional Imaging in Orthodontics. *Turkish Journal of Orthodontics*, 31(3), 86-94. <https://doi.org/10.5152/TurkJOrthod.2018.17041>



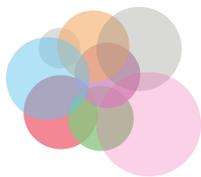
52. Eslahpazir, B. A., Goldstone, J., Allemang, M. T., Wang, J. C., & Kashyap, V. S. (2014). Principal considerations for the contemporary high-fidelity endovascular simulator design used in training and evaluation. *Journal of Vascular Surgery*, 59(4), 1154-1162. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2013.11.074>
53. Estai, M., & Bunt, S. (2016). Best teaching practices in anatomy education: A critical review. *Annals of Anatomy = Anatomischer Anzeiger: Official Organ of the Anatomische Gesellschaft*, 208, 151-157. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2016.02.010>
54. Faber, J., Berto, P. M., & Quaresma, M. (2006). Rapid prototyping as a tool for diagnosis and treatment planning for maxillary canine impaction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 129(4), 583-589. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.12.015>
55. Faria, J. W. V. de, Teixeira, M. J., Júnior, L. de M. S., Otoch, J. P., & Figueiredo, E. G. (2016). Virtual and stereoscopic anatomy: When virtual reality meets medical education. *Journal of Neurosurgery*, 125(5), 1105-1111. <https://doi.org/10.3171/2015.8.JNS141563>
56. Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J.-C., Pujol, S., Bauer, C., Jennings, D., Fennessy, F., Sonka, M., Buatti, J., Aylward, S., Miller, J. V., Pieper, S., & Kikinis, R. (2012). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic Resonance Imaging*, 30(9), 1323-1341. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>



57. Feng, H.-J., Ouyang, W., Liu, J.-H., & Liu, W.-Y. (2009). [Value of additional skull lateral static imaging in whole-body bone imaging for skull bone invasion evaluation in nasopharyngeal carcinoma patients: Comparison with CT]. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao = Journal of Southern Medical University*, 29(6), 1216-1218.
58. *Formatos de archivo admitidos en Acrobat y Reader*. (2019). https://helpx.adobe.com/es/acrobat/kb/supported-file-formats-acrobat-reader.html#main_2D_and_3D_formats__Acrobat_9_Pro_Extended__Adobe_3D_Reviewer_
59. Franco Castro. (1840). *Estereoscopia* / *IDIS*. <https://proyectoidis.org/estereoscopia/>
60. Fujita, H., Uchiyama, Y., Nakagawa, T., Fukuoka, D., Hatanaka, Y., Hara, T., Lee, G. N., Hayashi, Y., Ikedo, Y., Gao, X., & Zhou, X. (2008). Computer-aided diagnosis: The emerging of three CAD systems induced by Japanese health care needs. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 92(3), 238-248. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2008.04.003>
61. García-Valadez, L. R., Espinoza-Gutiérrez, A., Rivas-Montero, J. A., Hernández-Méndez Villamil, E., Santiago-García, A., Banegas-Ruiz, R., César-Juárez, Á. A., & Palmieri-Bouchan, R. B. (2017). Impresión de modelos 3D para fracturas de radio distal: Un estudio piloto en el Instituto Nacional de Rehabilitación. *Revista de Sanidad Militar*, 71(4), 366-373. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=73786>



62. Ghosh, S. K. (2015). Evolution of illustrations in anatomy: A study from the classical period in Europe to modern times: Evolution of Illustrations in Anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 8(2), 175-188. <https://doi.org/10.1002/ase.1479>
63. Giacomelli, C. E., Gómez, C., Mattea, F., Rojas, R., Romero, M. R., & Valenti, L. E. (2018). Impresión 3d en medicina. *Bitácora Digital*, 1(9), Article 9. <https://revistas.psi.unc.edu.ar/index.php/Bitacora/article/view/24244>
64. Giesel, F. L., Hart, A. R., Hahn, H. K., Wignall, E., Rengier, F., Talanow, R., Wilkinson, I. D., Zechmann, C. M., Weber, M.-A., Kauczor, H. U., Essig, M., & Griffiths, P. D. (2009). 3D reconstructions of the cerebral ventricles and volume quantification in children with brain malformations. *Academic Radiology*, 16(5), 610-617. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2008.11.010>
65. Goh, J. C., Ho, N. C., & Bose, K. (1990). Principles and applications of Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) technology in orthopaedics. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 19(5), 706-713.
66. Golby, A. J., Kindlmann, G., Norton, I., Yarmarkovich, A., Pieper, S., & Kikinis, R. (2011). Interactive diffusion tensor tractography visualization for neurosurgical planning. *Neurosurgery*, 68(2), 496-505. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3182061ebb>
67. Grauer, D., Cevidanes, L. S. H., & Proffit, W. R. (2009). Working with DICOM craniofacial images. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 136(3), 460-470. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.04.016>



68. Greenberg, A. M. (2018). *Digital Technologies in Craniomaxillofacial Surgery*. Springer.
69. Harnsberger R, Hudgins P, Wiggins T, & Davidson C. (2004). *Diagnostic Imaging: Head and neck*. Amirsys.
70. Harrell, W. E., Hatcher, D. C., & Bolt, R. L. (2002). In search of anatomic truth: 3-dimensional digital modeling and the future of orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 122(3), 325-330.
71. Herráez, A. (2006). Biomolecules in the computer: Jmol to the rescue. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(4), 255-261. <https://doi.org/10.1002/bmb.2006.494034042644>
72. Hiramatsu, H., Yamaguchi, H., Nimi, S., & Ono, H. (2004). [Rapid prototyping of the larynx for laryngeal frame work surgery]. *Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho*, 107(10), 949-955. <https://doi.org/10.3950/jibiinkoka.107.949>
73. Hong, N., Yang, G.-H., Lee, J., & Kim, G. (2018). 3D bioprinting and its in vivo applications. *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 106(1), 444-459. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33826>
74. Hoyek, N., Collet, C., Di Rienzo, F., De Almeida, M., & Guillot, A. (2014). Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context: Teaching Anatomy Using 3D Digital Animation. *Anatomical Sciences Education*, 7(6), 430-437. <https://doi.org/10.1002/ase.1446>



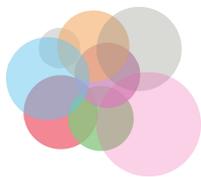
75. Hueso *Temporal—OCW-USAL.* (2010).
<http://ocw.usal.es/eduCommons/ciencias-biosanitarias/anatomia-del-aparato-locomotor/hueso-temporal>
76. Infante Contreras, C. (2019). *Fundamentos para la evaluación del crecimiento, desarrollo y función craneofacial.*
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2386>
77. *ISO 32000-1:2008—Document management—Portable document format—Part 1: PDF 1.7.* (2008). <https://www.iso.org/standard/51502.html>
78. *ISO 32000-2:2017(en), Document management—Portable document format—Part 2: PDF 2.0.* (2017). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:32000:-2:ed-1:v1:en>
79. Jang, H. W., Oh, C.-S., Choe, Y. H., & Jang, D. S. (2018). Use of dynamic images in radiology education: Movies of CT and MRI in the anatomy classroom. *Anatomical Sciences Education*, 11(6), 547-553.
<https://doi.org/10.1002/ase.1793>
80. Javan, R., Herrin, D., & Tangestanipoor, A. (2016). Understanding Spatially Complex Segmental and Branch Anatomy Using 3D Printing: Liver, Lung, Prostate, Coronary Arteries, and Circle of Willis. *Academic Radiology*, 23(9), 1183-1189. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.04.010>
81. *JavaScript for Acrobat API Reference.* (2007). 769.
82. Jia, W., Gungor-Ozkerim, P. S., Zhang, Y. S., Yue, K., Zhu, K., Liu, W., Pi, Q., Byambaa, B., Dokmeci, M. R., Shin, S. R., & Khademhosseini, A. (2016). Direct 3D



- bioprinting of perfusable vascular constructs using a blend bioink. *Biomaterials*, 106, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2016.07.038>
83. Johnson, E. O., Charchanti, A. V., & Troupis, T. G. (2012). Modernization of an anatomy class: From conceptualization to implementation. A case for integrated multimodal-multidisciplinary teaching. *Anatomical Sciences Education*, 5(6), 354-366. <https://doi.org/10.1002/ase.1296>
84. Juanes, J. A., Ruisoto, P., Prats-Galino, A., Framiñán, A., & Riesco, J. M. (2014). Computed anatomical modelling of the optic pathway and oculomotor system using magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroradiology*, 41(3), 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.neurad.2013.06.005>
85. Jyothikiran, H., Shanthara, J. R., Subbiah, P., & Thomas, M. (2014). Craniofacial imaging in orthodontics—Past present and future. *International Journal of Orthodontics (Milwaukee, Wis.)*, 25(1), 21-26.
86. Kaye, J., Metaxas, D. N., & Primiano, F. P. (1997). A 3D virtual environment for modeling mechanical cardiopulmonary interactions. En J. Troccaz, E. Grimson, & R. Mösges (Eds.), *CVRMed-MRCAS'97* (pp. 389-398). Springer. <https://doi.org/10.1007/BFb0029260>
87. Keenan, I. D., & Ben Awadh, A. (2019). Integrating 3D Visualisation Technologies in Undergraduate Anatomy Education. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1120, 39-53. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06070-1_4
88. Khayruddeen, L., Livingstone, D., & Ferguson, E. (2019). Creating a 3D Learning Tool for the Growth and Development of the Craniofacial Skeleton. En P. M. Rea



- (Ed.), *Biomedical Visualisation* (Vol. 1138, pp. 57-70). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14227-8_5
89. Kikinis, R., Pieper, S. D., & Vosburgh, K. G. (2014). 3D Slicer: A Platform for Subject-Specific Image Analysis, Visualization, and Clinical Support. En F. A. Jolesz (Ed.), *Intraoperative Imaging and Image-Guided Therapy* (pp. 277-289). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7657-3_19
90. Kim, M. S., Hansgen, A. R., Wink, O., Quaife, R. A., & Carroll, J. D. (2008). Rapid prototyping: A new tool in understanding and treating structural heart disease. *Circulation*, *117*(18), 2388-2394. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.740977>
91. Kohli, K., Wei, Z. A., Yoganathan, A. P., Oshinski, J. N., Leipsic, J., & Blanke, P. (2018). Transcatheter Mitral Valve Planning and the Neo-LVOT: Utilization of Virtual Simulation Models and 3D Printing. *Current Treatment Options in Cardiovascular Medicine*, *20*(12), 99. <https://doi.org/10.1007/s11936-018-0694-z>
92. Kong, X., Nie, L., Zhang, H., Wang, Z., Ye, Q., Tang, L., Li, J., & Huang, W. (2016). Do Three-dimensional Visualization and Three-dimensional Printing Improve Hepatic Segment Anatomy Teaching? A Randomized Controlled Study. *Journal of Surgical Education*, *73*(2), 264-269. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2015.10.002>
93. Kuhnigk, J.-M., Hahn, H., Hindennach, M., Dicken, V., Krass, S., & Peitgen, H.-O. (2003). Lung lobe segmentation by anatomy-guided 3D watershed transform. *Medical Imaging 2003: Image Processing*, *5032*, 1482-1490. <https://doi.org/10.1117/12.480321>



94. Kumar, P., Ziegler, A., Ziegler, J., Uchanska-Ziegler, B., & Ziegler, A. (2008). Grasping molecular structures through publication-integrated 3D models. *Trends in Biochemical Sciences*, 33(9), 408-412. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2008.06.004>
95. Laine, F. J., Nadel, L., & Braun, I. F. (1990). CT and MR imaging of the central skull base. Part 2. Pathologic spectrum. *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 10(5), 797-821. <https://doi.org/10.1148/radiographics.10.5.2217972>
96. Lauterbur, P. C. (1973). Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance. *Nature*, 242(5394), 190-191. <https://doi.org/10.1038/242190a0>
97. Li, Q.-Y., Zhang, S.-X., Heng, P.-A., Liu, Z.-J., Lin, Z.-F., Tan, L.-W., & Xie, Y.-M. (2006). Segmentation and three-dimension reconstruction of Chinese digitized human cerebrum. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 30(2), 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2005.12.004>
98. Li, Z., Liu, W., Zhang, J., & Hu, J. (2015). Prediction of skull fracture risk for children 0-9 months old through validated parametric finite element model and cadaver test reconstruction. *International Journal of Legal Medicine*, 129(5), 1055-1066. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1190-6>
99. Libby, J., Marghoub, A., Johnson, D., Khonsari, R. H., Fagan, M. J., & Moazen, M. (2017). Modelling human skull growth: A validated computational model. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(130). <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0202>



100. Lorenzo Alvarez, R. (2018). *Posibilidades del entorno virtual 3D Second Life en el aprendizaje de Radiología en pregrado*.
<https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/17377>
101. Luboz, V., Wu, X., Krissian, K., Westin, C.-F., Kikinis, R., Cotin, S., & Dawson, S. (2005). A Segmentation and Reconstruction Technique for 3D Vascular Structures. En J. S. Duncan & G. Gerig (Eds.), *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2005* (pp. 43-50). Springer.
https://doi.org/10.1007/11566465_6
102. Lucie Gaget. (2017). *Best 3D modeling software for the medical industry in 2020!*
3D Printing Blog: Tutorials, News, Trends and Resources | Sculpteo.
<https://www.sculpteo.com/blog/2017/11/08/top-8-of-the-best-3d-modeling-software-for-the-medical-industry/>
103. Lyons, A. S., & Petrucelli, R. J. (1987). *Medicine: An illustrated history* (Repr).
Abradale Press/Abrams.
104. Markiewicz, M. R., & Bell, R. B. (2011). The use of 3D imaging tools in facial plastic surgery. *Facial Plastic Surgery Clinics of North America*, 19(4), 655-682, ix.
<https://doi.org/10.1016/j.fsc.2011.07.009>
105. Mavar-Haramija, M., Prats-Galino, A., Méndez, J. A. J., Puigdelívoll-Sánchez, A., & de Notaris, M. (2015). Interactive 3D-PDF Presentations for the Simulation and Quantification of Extended Endoscopic Endonasal Surgical Approaches. *Journal of Medical Systems*, 39(10), 127. <https://doi.org/10.1007/s10916-015-0282-7>
106. Mavili, M. E., Canter, H. I., Saglam-Aydinatay, B., Kamaci, S., & Kocadereli, I. (2007). Use of three-dimensional medical modeling methods for precise planning



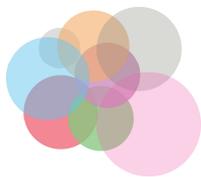
- of orthognathic surgery. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 18(4), 740-747.
<https://doi.org/10.1097/scs.0b013e318069014f>
107. Mayfield, C. H., Ohara, P. T., & O'Sullivan, P. S. (2013). Perceptions of a mobile technology on learning strategies in the anatomy laboratory. *Anatomical Sciences Education*, 6(2), 81-89. <https://doi.org/10.1002/ase.1307>
108. Medical Design Studio. (2005). *Anatontage*.
<https://www.anatontage.com/medical-design-studio/>
109. Merritt, E. A., & Bacon, D. J. (1997). Raster3D: Photorealistic molecular graphics. *Methods in Enzymology*, 277, 505-524.
110. Mildenberger, P., Eichelberg, M., & Martin, E. (2002). Introduction to the DICOM standard. *European Radiology*, 12(4), 920-927.
<https://doi.org/10.1007/s003300101100>
111. Miranda-Merchak, A., Kuschel, C., Miranda, M., Fuentes, A., Miranda-Merchak, A., Kuschel, C., Miranda, M., & Fuentes, A. (2018). Anatomía radiológica de la base de cráneo y los nervios craneales parte 1: Generalidades y base de cráneo. *Revista chilena de radiología*, 24(3), 105-111. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082018000300105>
112. Mitrousias, V., Varitimidis, S. E., Hantes, M. E., Malizos, K. N., Arvanitis, D. L., & Zibis, A. H. (2018). Anatomy learning from prosected cadaveric specimens versus three-dimensional software: A comparative study of upper limb anatomy. *Annals of Anatomy = Anatomischer Anzeiger: Official Organ of the Anatomische Gesellschaft*, 218, 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2018.02.015>



113. Moore, S. M., Beecher, D. E., & Hoffman, S. A. (1994). DICOM shareware: A public implementation of the DICOM standard. *Medical Imaging 1994: PACS: Design and Evaluation*, 2165, 772-781. <https://doi.org/10.1117/12.174371>
114. Müller, A., Krishnan, K. G., Uhl, E., & Mast, G. (2003). The application of rapid prototyping techniques in cranial reconstruction and preoperative planning in neurosurgery. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 14(6), 899-914. <https://doi.org/10.1097/00001665-200311000-00014>
115. Murakami, T., Tajika, Y., Ueno, H., Awata, S., Hirasawa, S., Sugimoto, M., Kominato, Y., Tsushima, Y., Endo, K., & Yorifuji, H. (2014). An integrated teaching method of gross anatomy and computed tomography radiology. *Anatomical Sciences Education*, 7(6), 438-449. <https://doi.org/10.1002/ase.1430>
116. Murphy, K. P., Crush, L., O'Malley, E., Daly, F. E., O'Tuathaigh, C. M. P., O'Connor, O. J., Cryan, J. F., & Maher, M. M. (2014). Medical student knowledge regarding radiology before and after a radiological anatomy module: Implications for vertical integration and self-directed learning. *Insights into Imaging*, 5(5), 629-634. <https://doi.org/10.1007/s13244-014-0346-0>
117. Murphy, S. B., Kijewski, P. K., Simon, S. R., Chandler, H. P., Griffin, P. P., Reilly, D. T., Penenberg, B. L., & Landy, M. M. (1986). Computer-aided simulation, analysis, and design in orthopedic surgery. *The Orthopedic Clinics of North America*, 17(4), 637-649.
118. Mustra, M., Delac, K., & Grgic, M. (2008). Overview of the DICOM standard. *2008 50th International Symposium ELMAR*, 1, 39-44.



119. Newe, A. (2015). Towards an easier creation of three-dimensional data for embedding into scholarly 3D PDF (Portable Document Format) files. *PeerJ*, 3, e794. <https://doi.org/10.7717/peerj.794>
120. Newe, A. (2016). Enriching scientific publications with interactive 3D PDF: An integrated toolbox for creating ready-to-publish figures. *PeerJ Computer Science*, 2, e64. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.64>
121. Newe, A., & Becker, L. (2018). A Systematic Review of the Three-dimensional Portable Document Format (3D PDF) in Clinical Communication and Biomedical Sciences: Applications, Tools, and Protocols (Preprint). *JMIR Medical Informatics*. <https://doi.org/10.2196/10295>
122. Newe, A., Becker, L., & Schenk, A. (2014). Application and evaluation of interactive 3D PDF for presenting and sharing planning results for liver surgery in clinical routine. *PloS One*, 9(12), e115697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115697>
123. Newe, A., & Ganslandt, T. (2013). Simplified generation of biomedical 3D surface model data for embedding into 3D portable document format (PDF) files for publication and education. *PloS One*, 8(11), e79004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079004>
124. Nguyen, N., Nelson, A. J., & Wilson, T. D. (2012). Computer visualizations: Factors that influence spatial anatomy comprehension. *Anatomical Sciences Education*, 5(2), 98-108. <https://doi.org/10.1002/ase.1258>
125. Older, J. (2004). Anatomy: A must for teaching the next generation. *The Surgeon*, 2(2), 79-90. [https://doi.org/10.1016/S1479-666X\(04\)80050-7](https://doi.org/10.1016/S1479-666X(04)80050-7)



126. Paiva, W. S., Amorim, R., Bezerra, D. A. F., & Masini, M. (2007). Application of the stereolithography technique in complex spine surgery. *Arquivos De Neuro-Psiquiatria*, 65(2B), 443-445. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x2007000300015>
127. Park, S., Kim, Y., Park, S., & Shin, J.-A. (2019). The impacts of three-dimensional anatomical atlas on learning anatomy. *Anatomy & Cell Biology*, 52(1), 76-81. <https://doi.org/10.5115/acb.2019.52.1.76>
128. Parmar, H., Gujar, S., Shah, G., & Mukherji, S. K. (2009). Imaging of the anterior skull base. *Neuroimaging Clinics of North America*, 19(3), 427-439. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2009.06.011>
129. PDF3D Announces 3D PDF Generation Family Version 2.7 PDF3D. (2020). https://www.pdf3d.com/pdf3d-sdk_v270_pressrelease_10may2013/
130. Pereira, J., Nájera, A., Arribas, E., & Arenas, M. (2013). *Actividades de innovación en la educación universitaria española*. Lulu.com.
131. Petersson, H., Sinkvist, D., Wang, C., & Smedby, O. (2009). Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. *Anatomical Sciences Education*, 2(2), 61-68. <https://doi.org/10.1002/ase.76>
132. Phelps, A., Naeger, D. M., & Marcovici, P. (2012). Embedding 3D radiology models in portable document format. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 199(6), 1342-1344. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.8716>
133. Phillips, A. W., Smith, S. G., Ross, C. F., & Straus, C. M. (2012). Improved Understanding of Human Anatomy through Self-guided Radiological Anatomy



- Modules. *Academic Radiology*, 19(7), 902-907.
<https://doi.org/10.1016/j.acra.2012.03.011>
134. Pickavance, M., & Turner, B. (2020). *Best architecture software of 2020: Digital design for buildings and models*. TechRadar.
<https://www.techradar.com/best/best-architecture-software>
135. Pieper, S., Halle, M., & Kikinis, R. (2004). 3D Slicer. *2004 2nd IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: Nano to Macro (IEEE Cat No. 04EX821)*, 632-635 Vol. 1. <https://doi.org/10.1109/ISBI.2004.1398617>
136. Poukens, J., Haex, J., & Riediger, D. (2003). The use of rapid prototyping in the preoperative planning of distraction osteogenesis of the cranio-maxillofacial skeleton. *Computer Aided Surgery: Official Journal of the International Society for Computer Aided Surgery*, 8(3), 146-154.
<https://doi.org/10.3109/10929080309146049>
137. Prats-Galino, A., Reina, M. A., Mavar Haramija, M., Puigdemívol-Sánchez, A., Juanes Méndez, J. A., & De Andrés, J. A. (2015). 3D interactive model of lumbar spinal structures of anesthetic interest. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*, 28(2), 205-212. <https://doi.org/10.1002/ca.22479>
138. Preece, D., Williams, S. B., Lam, R., & Weller, R. (2013). «Let's get physical»: Advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 6(4), 216-224.
<https://doi.org/10.1002/ase.1345>
139. Puigdemívol-Sánchez, A., Prats-Galino, A., Reina, M. A., Machés, F., Hernández, J. M., De Andrés, J., & van Zundert, A. (2011). Three-dimensional magnetic



- resonance image of structures enclosed in the spinal canal relevant to anesthesiologists and estimation of the lumbosacral CSF volume. *Acta Anaesthesiologica Belgica*, 62(1), 37-45.
140. Pujol, S., Baldwin, M., Nassiri, J., Kikinis, R., & Shaffer, K. (2016). Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Academic Radiology*, 23(4), 507-516. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2015.12.012>
141. Qiu, K., Zhao, Z., Haghiashtiani, G., Guo, S.-Z., He, M., Su, R., Zhu, Z., Bhuiyan, D. B., Murugan, P., Meng, F., Park, S. H., Chu, C.-C., Ogle, B. M., Saltzman, D. A., Konety, B. R., Sweet, R. M., & McAlpine, M. C. (2018). 3D Printed Organ Models with Physical Properties of Tissue and Integrated Sensors. *Advanced Materials Technologies*, 3(3), 1700235. <https://doi.org/10.1002/admt.201700235>
142. Qiyu, L., Shaoxiang, Z., Pingan, W., Zhengjin, L., Zhifu, L., Lizhi, T., & Yongming, X. (2005). Construction of digitized anatomical model and visualization of human cerebrum. *Acta Anatomica Sinica*, 36(6), 638-641. <https://europepmc.org/article/cba/604491>
143. ¿Qué es el formato PDF? Formato de documento portátil de Adobe | Adobe Acrobat DC. (2020). <https://acrobat.adobe.com/es/es/acrobat/about-adobe-pdf.html>
144. Raut, A. A., Naphade, P. S., & Chawla, A. (2012). Imaging of skull base: Pictorial essay. *Indian Journal of Radiology and Imaging*, 22(4), 305. <https://doi.org/10.4103/0971-3026.111485>



145. Rengier, F., Mehndiratta, A., von Tengg-Kobligh, H., Zechmann, C. M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H.-U., & Giesel, F. L. (2010). 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 5(4), 335-341. <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>
146. Richardson-Hatcher, A., Hazzard, M., & Ramirez-Yanez, G. (2014). The cranial nerve skywalk: A 3D tutorial of cranial nerves in a virtual platform: Cranial Nerve Skywalk. *Anatomical Sciences Education*, 7(6), 469-478. <https://doi.org/10.1002/ase.1445>
147. Röntgen, W. C. (1896). On a New Kind of Rays. *Science*, 3(59), 227-231. JSTOR. <https://www.jstor.org/stable/1623595>
148. Ruisoto, P., Juanes, J. A., Contador, I., Mayoral, P., & Prats-Galino, A. (2012). Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anatomical Sciences Education*, 5(3), 132-137. <https://doi.org/10.1002/ase.1275>
149. Ruisoto Palomera, P., Juanes Méndez, J. A., & Prats Galino, A. (2014). Enhancing neuroanatomy education using computer-based instructional material. *Computers in Human Behavior*, 31, 446-452. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.03.005>
150. Ruthensteiner, B., & Heß, M. (2008). Embedding 3D models of biological specimens in PDF publications. *Microscopy Research and Technique*, 71(11), 778-786. <https://doi.org/10.1002/jemt.20618>



151. Rydmark, M., Kling-Petersen, T., Pascher, R., & Philip, F. (2001). 3D visualization and stereographic techniques for medical research and education. *Studies in Health Technology and Informatics*, 81, 434-439.
152. Sameh M, A. (2017). *Medicine in Ancient Egypt* 1. <http://www.arabworldbooks.com/articles8.htm>
153. Sampaio, A. Z., Ferreira, M. M., Rosário, D. P., & Martins, O. P. (2010). 3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance. *Automation in Construction*, 19(7), 819-828. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.006>
154. Sarbu, N., Zufiría, L. O., Berenguer, J., Pujol, T., & Squarcia, M. (2012, mayo 24). *Anatomía y patología de la base del cráneo, estudio mediante TC y RM* [Text]. SERAM 2012 PosterNG; SERAM 2012. https://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&task=&pi=111391
155. Schendel, S. A., & Jacobson, R. (2009). Three-dimensional imaging and computer simulation for office-based surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 67(10), 2107-2114. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.04.111>
156. Simon, M. N., & Marroig, G. (2015). Landmark precision and reliability and accuracy of linear distances estimated by using 3D computed micro-tomography and the open-source TINA Manual Landmarking Tool software. *Frontiers in Zoology*, 12, 12. <https://doi.org/10.1186/s12983-015-0101-5>



157. Singh, S. P., Jain, K., & Mandla, V. R. (2014). *Image based Virtual 3D Campus modeling by using CityEngine*. 2(1), 10.
158. Singhal, A. J., Shetty, V., Bhagavan, K. R., Ragothaman, A., Shetty, V., Koneru, G., & Agarwala, M. (2016). Improved Surgery Planning Using 3-D Printing: A Case Study. *The Indian Journal of Surgery*, 78(2), 100-104.
<https://doi.org/10.1007/s12262-015-1326-4>
159. Smith, C. F., Tollemache, N., Covill, D., & Johnston, M. (2018). Take away body parts! An investigation into the use of 3D-printed anatomical models in undergraduate anatomy education. *Anatomical Sciences Education*, 11(1), 44-53. <https://doi.org/10.1002/ase.1718>
160. Sobotta, J. (2006). *Atlas de anatomía humana: Cabeza, cuello, miembro superior*. Vol. 1. Ed. Médica Panamericana.
161. Software BIM Arquitectura—Edificius—ACCA software. (2019).
<https://www.accasoftware.com/es/software-bim>
162. Software de diseño 3D | Modelado 3D en la web | SketchUp. (2020). Drupal.
<https://www.sketchup.com/es/page/pagina-de-inicio>
163. Starly, B., Fang, Z., Sun, W., Shokoufandeh, A., & Regli, W. (2005). Three-Dimensional Reconstruction for Medical-CAD Modeling. *Computer-Aided Design and Applications*, 2(1-4), 431-438.
<https://doi.org/10.1080/16864360.2005.10738392>
164. Stéphanou, A., McDougall, S. R., Anderson, A. R. A., & Chaplain, M. A. J. (2005). Mathematical modelling of flow in 2D and 3D vascular networks: Applications to anti-angiogenic and chemotherapeutic drug strategies. *Mathematical and*



- Computer Modelling*, 41(10), 1137-1156.
<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.05.008>
165. Sugand, K., Abrahams, P., & Khurana, A. (2010). The anatomy of anatomy: A review for its modernization. *Anatomical Sciences Education*, NA-NA.
<https://doi.org/10.1002/ase.139>
166. Sun, W., Starly, B., Nam, J., & Darling, A. (2005). Bio-CAD modeling and its applications in computer-aided tissue engineering. *Computer-Aided Design*, 37(11), 1097-1114. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2005.02.002>
167. Sun, X., Zhu, K., Zhang, W., Zhang, H., Hu, F., & Wang, C. (2018). Three-Dimensional Printing of a Complex Aortic Anomaly. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, 141. <https://doi.org/10.3791/58175>
168. Sutherland, C. J. (1986). Practical application of computer-generated three-dimensional reconstructions in orthopedic surgery. *The Orthopedic Clinics of North America*, 17(4), 651-656.
169. Swennen, G. R. J., Mollemans, W., & Schutyser, F. (2009). Three-dimensional treatment planning of orthognathic surgery in the era of virtual imaging. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 67(10), 2080-2092.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.06.007>
170. Taking Documents to the Next Level with PDF 2.0. (2017). *Adobe Blog*.
<https://theblog.adobe.com/taking-documents-to-the-next-level-with-pdf-2-0/>



171. Tam, M. D. B. S. (2010). Building virtual models by postprocessing radiology images: A guide for anatomy faculty. *Anatomical Sciences Education*, 3(5), 261-266. <https://doi.org/10.1002/ase.175>
172. *Tecnología 3D (en el cine o televisión)*. (2011). ingeniatic. <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/617-tecnología-3d-en-el-cine-o-televisión>
173. Tesařová, M., Mancini, L., Simon, A., Adameyko, I., Kaucká, M., Elewa, A., Lanzafame, G., Zhang, Y., Kalasová, D., Szarowská, B., Zikmund, T., Novotná, M., & Kaiser, J. (2018). A quantitative analysis of 3D-cell distribution in regenerating muscle-skeletal system with synchrotron X-ray computed microtomography. *Scientific Reports*, 8(1), 14145. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32459-2>
174. *The history of PDF*. (2008). How the file format and Acrobat evolved. <https://www.prepressure.com/pdf/basics/history>
175. Tiede, U., Hoehne, K. H., Bomans, M., Pommert, A., Riemer, M., & Wiebecke, G. (1990). Investigation of medical 3D-rendering algorithms. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 10(2), 41-53. <https://doi.org/10.1109/38.50672>
176. Toriya, H., & Chiyokura, H. (2012). *3D CAD: Principles and Applications* (1st ed.). Springer Publishing Company, Incorporated.
177. Tory, M., & Moller, T. (2004). Human factors in visualization research. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 10(1), 72-84. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2004.1260759>



178. Trelease, R. B., & Rosset, A. (2008). Transforming clinical imaging data for virtual reality learning objects. *Anatomical Sciences Education*, 1(2), 50-55. <https://doi.org/10.1002/ase.13>
179. Triepels, C. P. R., Smeets, C. F. A., Notten, K. J. B., Kruitwagen, R. F. P. M., Futterer, J. J., Vergeldt, T. F. M., & Van Kuijk, S. M. J. (2020). Does three-dimensional anatomy improve student understanding? *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*, 33(1), 25-33. <https://doi.org/10.1002/ca.23405>
180. Trunk, P., Mocnik, J., Trobec, R., & Gersak, B. (2007). 3D heart model for computer simulations in cardiac surgery. *Computers in Biology and Medicine*, 37(10), 1398-1403. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2006.11.003>
181. Tsafir, J., & Ohry, A. (2001). Medical illustration: From caves to cyberspace. *Health Information and Libraries Journal*, 18(2), 99-109.
182. Udupa, J. K., & Herman, G. T. (1999). *3D Imaging in Medicine, Second Edition*. CRC Press.
183. Usón, J., Cristo, A., Fernández, M., Soria, F., Morcillo, E., Suárez, M., Fernández, J. M., Rodríguez, A., & Sánchez, F. (2014). ENDOSCOPY IN HUMANS: UNA HERRAMIENTA 3D INTERACTIVA PARA LA FORMACIÓN EN ENDOSCOPIA. *Endoscopy*, 46(11), P_016. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1393748>
184. Valverde, I. (2017). Impresión tridimensional de modelos cardiacos: Aplicaciones en el campo de la educación médica, la cirugía cardiaca y el intervencionismo estructural. *Revista Española de Cardiología*, 70(4), 282-291. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2016.09.043>



185. van de Kamp, T., dos Santos Rolo, T., Vagovič, P., Baumbach, T., & Riedel, A. (2014). Three-dimensional reconstructions come to life—Interactive 3D PDF animations in functional morphology. *PloS One*, *9*(7), e102355. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102355>
186. Vasilyev, V. (2010). Towards interactive 3D graphics in chemistry publications. *Theoretical Chemistry Accounts*, *125*(3), 173-176. <https://doi.org/10.1007/s00214-009-0636-7>
187. Viceconti, M., Zannoni, C., & Pierotti, L. (1998). TRI2SOLID: An application of reverse engineering methods to the creation of CAD models of bone segments. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *56*(3), 211-220. [https://doi.org/10.1016/S0169-2607\(98\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0169-2607(98)00011-X)
188. *Visualización de modelos 3d en archivos PDF, Adobe Acrobat*. (2020). <https://helpx.adobe.com/es/acrobat/using/displaying-3d-models-pdfs.html>
189. Wagner, J. D., Baack, B., Brown, G. A., & Kelly, J. (2004). Rapid 3-dimensional prototyping for surgical repair of maxillofacial fractures: A technical note. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, *62*(7), 898-901. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2003.10.011>
190. Wang, J., Gu, D., Yu, Z., Tan, C., & Zhou, L. (2012). A framework for 3D model reconstruction in reverse engineering. *Computers & Industrial Engineering*, *63*(4), 1189-1200. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.07.009>
191. Waran, V., Narayanan, V., Karuppiah, R., Pancharatnam, D., Chandran, H., Raman, R., Rahman, Z. A. A., Owen, S. L. F., & Aziz, T. Z. (2014). Injecting Realism



- in Surgical Training-Initial Simulation Experience With Custom 3D Models. *Journal of Surgical Education*, 71(2), 193-197.
<https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.08.010>
192. Weber, A. L. (2001). History of Head and Neck Radiology: Past, Present, and Future. *Radiology*, 218(1), 15-24.
<https://doi.org/10.1148/radiology.218.1.r01ja2715>
193. Weinhardt, V., Shkarin, R., Wernet, T., Wittbrodt, J., Baumbach, T., & Loosli, F. (2018). Quantitative morphometric analysis of adult teleost fish by X-ray computed tomography. *Scientific Reports*, 8(1), 16531.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-34848-z>
194. Westermarck, A., Zachow, S., & Eppley, B. L. (2005). Three-dimensional osteotomy planning in maxillofacial surgery including soft tissue prediction. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 16(1), 100-104.
195. White, D. (2016). Craniofacial Development, Growth, and Evolution, by Murray C. Meikle, 363 pages, 207 illustrations. Bateson Publishing, Norfolk, England, 2002.: *Otolaryngology--Head and Neck Surgery*.
<https://doi.org/10.1016/j.otohns.2003.10.002>
196. Who Created the PDF? (2015, junio 18). *Adobe Blog*.
<https://theblog.adobe.com/who-created-pdf/>
197. Wiecha, J. M., Vanderschmidt, H., & Schilling, K. (2002). HEAL: An instructional design model applied to an online clerkship in family medicine. *Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges*, 77(9), 925-926.



198. Winger, K. L. (2012). Foundations of CT: The radon problem. *Radiologic Technology, 84*(2), 206-210.
199. Wragg, N. M., Burke, L., & Wilson, S. L. (2019). A critical review of current progress in 3D kidney biomanufacturing: Advances, challenges, and recommendations. *Renal Replacement Therapy, 5*(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s41100-019-0218-7>
200. Yao, F., & Lin, R. (2018). [Research progress of three-dimensional printing technology in liver surgery and hepatotoxicity evaluation]. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi = Journal of Biomedical Engineering = Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi, 35*(4), 656-660. <https://doi.org/10.7507/1001-5515.201710074>
201. Yarboro, S. R., Richter, P. H., & Kahler, D. M. (2017). The evolution of 3D imaging in orthopedic trauma care. *Der Unfallchirurg, 120*(Suppl 1), 5-9. <https://doi.org/10.1007/s00113-016-0226-9>
202. Yasinski, E. (2020). *On the Road to 3-D Printed Organs*. The Scientist Magazine®. <https://www.the-scientist.com/news-opinion/on-the-road-to-3-d-printed-organs-67187>
203. Zhang, S., Han, P., Zhang, G., Wang, R., Ge, Y., Ren, Z., Li, J., & Fu, W. (2014). Comparison of SPECT/CT, MRI and CT in diagnosis of skull base bone invasion in nasopharyngeal carcinoma. *Bio-Medical Materials and Engineering, 24*(1), 1117-1124. <https://doi.org/10.3233/BME-130911>
204. Zilverschoon, M., Vincken, K. L., & Bleys, R. L. A. W. (2017). The virtual dissecting room: Creating highly detailed anatomy models for educational purposes.



Journal of Biomedical Informatics, 65, 58-75.

<https://doi.org/10.1016/j.jbi.2016.11.005>

205.Zrimec, T., Busayarat, S., & Wilson, P. (2004). A 3D model of the human lung with

lung regions characterization. *2004 International Conference on Image*

Processing, 2004. ICIP '04., 2, 1149-1152 Vol.2.

<https://doi.org/10.1109/ICIP.2004.1419507>

CAPÍTULO VIII
ANEXO I. ARTÍCULOS PUBLICADOS



CAPÍTULO VIII. ANEXO I

ARTÍCULOS PUBLICADOS

8.1. ARTÍCULOS EN REVISTAS INCLUIDAS EN JCR

A continuación, se exponen los artículos publicados en revistas indexadas en JCR (Journal Citations Reports)

8.1.1. JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS 2017

New Generation of Three-Dimensional Tools to Learn Anatomy

Roberto D. Tabernerico Rico, Juan A. Juanes Méndez & Alberto Prats Galino

Journal of Medical Systems volume 41, Article number: 88 (2017)

Citado como:

Tabernerico Rico, R.D., Juanes Méndez, J.A. & Prats Galino, A. New Generation of Three-Dimensional Tools to Learn Anatomy. J Med Syst 41, 88 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0725-4>



Journal of Medical Systems

NEW GENERATION OF THREE-DIMENSIONAL TOOLS TO LEARN ANATOMY
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	JOMS-D-17-00044R1
Full Title:	NEW GENERATION OF THREE-DIMENSIONAL TOOLS TO LEARN ANATOMY
Article Type:	Latest Technology Trends in Health Sciences (TEEM 2016)
Section/Category:	Education & Training
Keywords:	anatomical 3D models; skull base; TC images; free software.
Corresponding Author:	Roberto D. Tabernero Rico Hospital Virgen Concha Zamora, SPAIN
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Hospital Virgen Concha
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Roberto D. Tabernero Rico
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Roberto D. Tabernero Rico Juan Antonio Juanes Méndez Alberto Prats Galino
Order of Authors Secondary Information:	
Funding Information:	
Abstract:	<p>We present a new generation tool based of interactive 3D models. This models are based on the radiological two-dimensional images by computed tomography imaging. Our article focuses on the anatomical region of the skull base. These new three-dimensional models offer a wide field of application in the learning, as they offer multiple visualization tools (rotation, scrolling, zoom...). In this way, understanding of the anatomical region is facilitated. A feature to be dismissed is that a professional workstation is not required to work with three-dimensional models, since a personal computer can be viewed and interacted with the models. Educational and clinical applications are also discussed.</p>

Powered by Editorial Manager® and ProduXion Manager® from Aries Systems Corporation



New Generation of Three-Dimensional Tools to Learn Anatomy

Roberto D. Tabernero Rico¹ · Juan A. Juanes Méndez¹ · Alberto Prats Galino¹

Received: 25 January 2017 / Accepted: 10 March 2017 / Published online: 12 April 2017
© Springer Science+Business Media New York 2017

Abstract We present a new generation tool based of interactive 3D models. This models are based on the radiological two-dimensional images by computed tomography imaging. Our article focuses on the anatomical region of the skull base. These new three-dimensional models offer a wide field of application in the learning, as they offer multiple visualization tools (rotation, scrolling, zoom...). In this way, understanding of the anatomical region is facilitated. A feature to be dismissed is that a professional workstation is not required to work with three-dimensional models, since a personal computer can be viewed and interacted with the models. Educational and clinical applications are also discussed.

Keywords Anatomical 3D models · Skull base · TC images · Free software

Introduction

Significant technological advances have been made in recent years, introducing innovative teaching and

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

✉ Roberto D. Tabernero Rico
rtabernero@gmail.com

Juan A. Juanes Méndez
jjm@usal.es

Alberto Prats Galino
aprats@uba.edu

¹ Hospital Virgen de la Concha, Zamora, Spain

learning techniques into health sciences, in particular to medicine [1, 2].

An example is radiological imaging postprocessing. With the latest technological advances in image reconstruction we can generate three-dimensional models (3D) from conventional 2D computed tomography (CT) or magnetic resonance (MR) images [3–5].

With new 3D imaging techniques, spatial perception and anatomical understanding are enhanced, since it allows interaction with the models.

This technology has enabled the development of crucial tools for teaching and learning of different disciplines, particularly in biomedical field [4, 6].

In anatomy, it is particularly important represent different anatomical structures in images, because they bring more information for appropriate understanding of the structures.

Material and methods

A literature search was performed in PubMed database of the National Library of Medicine.

The process of creating 3D models consists of several phases and depends on various software packages.

Previously the authors needed a tool chain of at least three or even four different software applications but today the number of tools can (and should) be reduced to a one or maximum of two applications.

All these steps are necessary to create the final document, but once completed, the user only need one software to open the file and interact with the model.

Images of CT (Philips, 16 detectors) skull base (Fig. 1) are obtained from database of studies conducted at the Hospital Virgen de la Concha (Zamora, Spain).

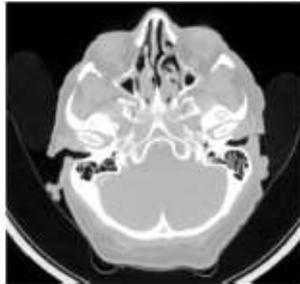


Fig. 1 Axial CT section of skull base

Interesting images are selected and stored in DICOM format. The creation of the anatomical model consist on a few steps:

Images obtained from radiological studies in DICOM format are incorporated into the 3D Slicer® software; 5.4.0-1 version, obtained free of charge from the net.

Once images are loaded, they are analyzed, reformatted and processed (segmented) to obtain representative three-dimensional models of the area of interest, in this paper, the base of the skull (Figs 2 and 3).

Finally, the three-dimensional models and the key images of anatomical region of interest are created, they are saved selecting the storage format that most interest.

Results

We get 3D models and several three-dimensional images from CT images in DICOM format.

These images have multiple viewing options, being able to be displayed superimposed on the original 2D anatomical images or as three-dimensional models (Figs.4 and 5).

Tridimensional models and images generated by this way can be imported into different formats (U3D, VTK, OBJ ...) to visualize and manage them using the tools that are present in the different free available software on the web.

These images can be processed on any personal computer. This represents an important advance because it allows any user to process and to format radiologic CT images without the necessity of a professional workstation.

Using these models interaction is allowed, offering several visualization and management tools that facilitate the work and comprehension of anatomical region of the study area (Fig. 6).

These models created can be opened from several software packages (free or paid), allowing their transformation and interaction with the software tools available (Fig. 7). For example, measurements can be made and can be used as patterns for other projects.

Discussion

These 3D models provide a better understanding of complex anatomical regions. The use of these techniques can be extended to different fields, whether in clinical, educational and investigation field.

For the educational field, mental representation of the shape and organization of various anatomical structures is a crucial step in the process of learning, particularly in

Fig 2 Screenshot 3D Slicer program

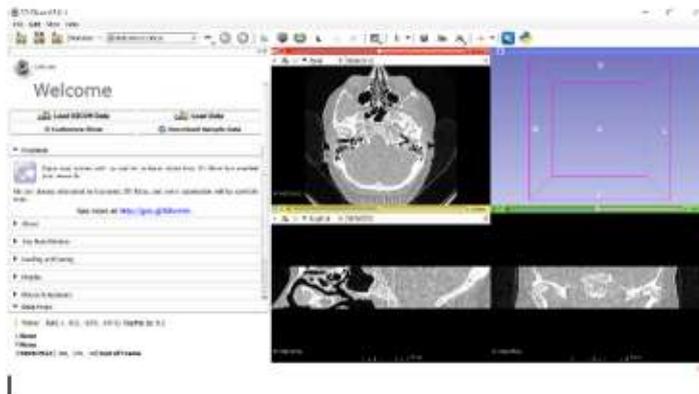
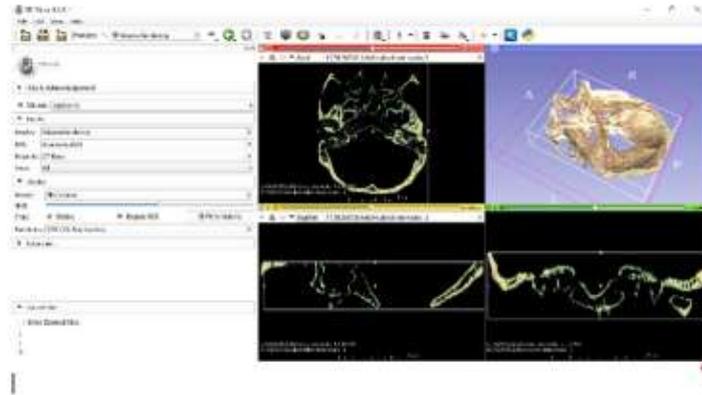




Fig. 3 Screenshot 3D Slicer program. Segmentation images



anatomy. Three-dimensional models can represent more anatomical details than traditional models.

Therefore, we consider, along with other authors, that these tools are useful for anatomical education because they accelerate and facilitate the process of understanding, improving teaching [2, 7–11].

The resources of three-dimensional imaging can be integrated efficiently with traditional methods of drawings and descriptive schemes in order to improve the teaching of anatomy [12, 13].

Another important advantage involving these models is the ability to share and transmit this information with

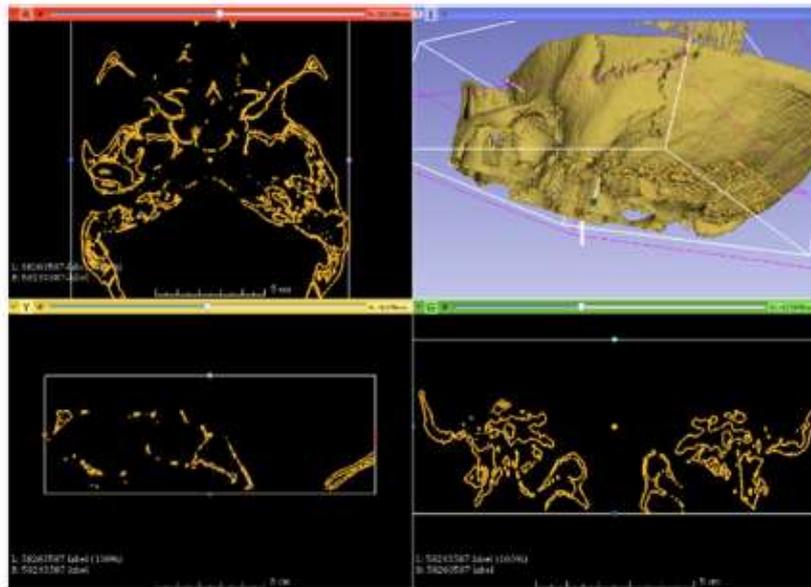


Fig. 4 3D model and postprocessed images



Fig. 5 Screenshot 3D Slicer program

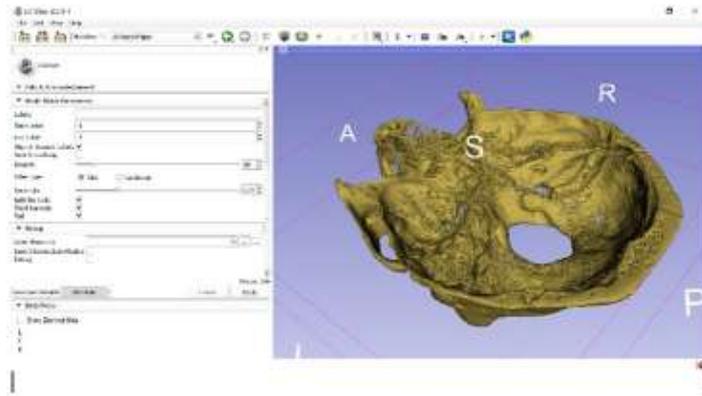


Fig. 6 PDF Program interface with model created

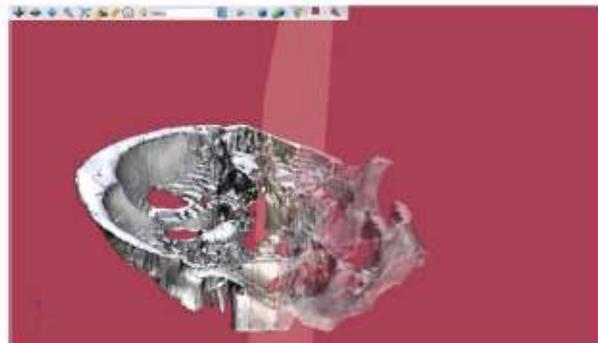
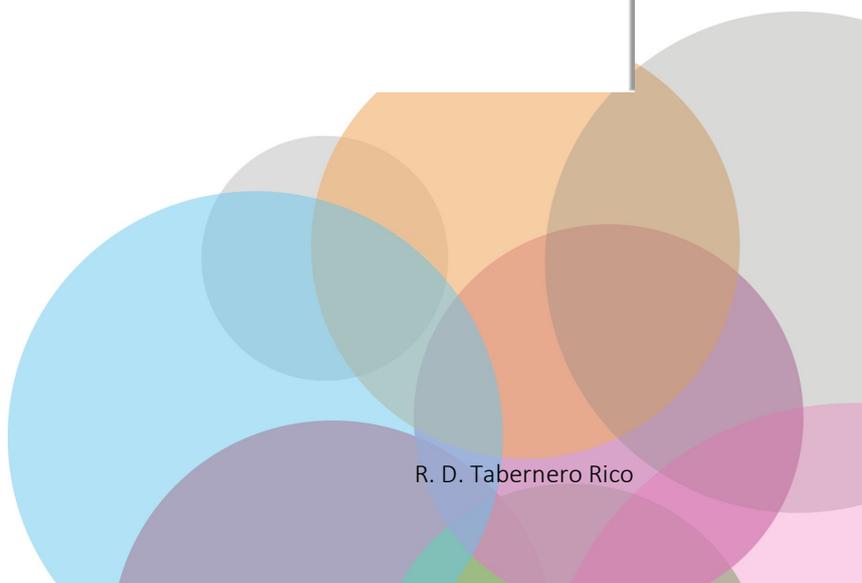
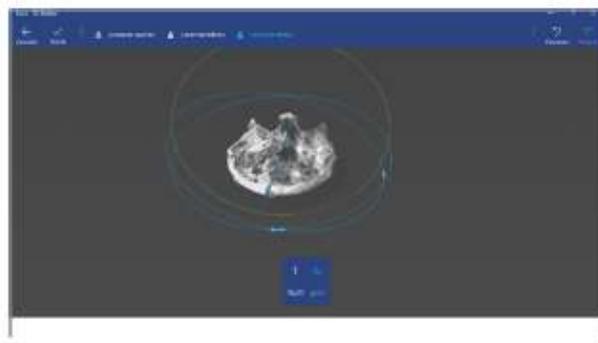


Fig. 7 3D builder Program interface with model created





other users quickly, without complex software packages or payment ones. This allows each user to access content from his/her personal computer.

Regarding the clinical or investigation field, 3D models is also important as a tool for training clinical or surgeons, because they need several trials to learn the essential procedures and gain experience [14, 15].

In addition, it is also important that with the same model you can work from several programs. This allows to use the different tools for interaction with the models.

Conclusions

This 3D models provide more information than conventional ones. Therefore, we consider that these tools are useful for anatomical teaching.

3D images could accelerate the learning process, and facilitating the capacities of understanding.

This models can be managed from any personal computer without expensive professional workstations.

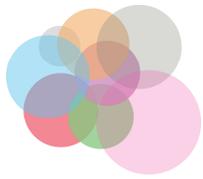
Compliance with Ethical Standards

Ethical Statement This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

Conflict of Interest The author declare that they have no conflict of interest.

References

- Ruisoto Palomera, P., Juanes Méndez, J. A., and Pmts Galino, A., Enhancing neuroanatomy education using computer-based instructional material. *Comput. Hum. Behav.* [Internet]. 31:446–52, 2014 [citado 23 de enero de 2017]. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563213000940>.
- Ruisoto, P., Juanes, J. A., Contador, I., Mayoral, P., and Pmts-Galino, A., Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anat. Sci. Educ.* [Internet]. mayo de 2012 [citado 27 de junio de 2016];5(3): 132–7. Disponible en: doi: 10.1016/j.chb.2013.03.005.
- Newe, A., and Ganslandt, T., Simplified Generation of Biomedical 3D Surface Model Data for Embedding into 3D Portable Document Format (PDF) Files for Publication and Education. *PLoS ONE* [Internet]. 8(11):e79004, 2013 [citado 1 de noviembre de 2015]. Disponible en: doi:10.1371/journal.pone.0079004.
- Preece, D., Williams, S.B., Lam, R., and Weller, R., «Let's get physical»: Advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anat Sci Educ* 6(4):216–224, 2013.
- Tam, M.D.B.S., Building virtual models by postprocessing radiology images: A guide for anatomy faculty. *Anat Sci Educ* 3(5):261–266, 2010.
- Nguyen, N., Nelson, A.J., and Wilson, T.D., Computer visualization: Factors that influence spatial anatomy comprehension. *Anat Sci Educ* 5(2):98–108, 2012.
- Murakami, T., Tajika, Y., Ueno, H., Awata, S., Hirasawa, S., Sugimoto, M., et al. An integrated teaching method of gross anatomy and computed tomography radiology. *Anat Sci Educ* 7(6): 438–449, 2014.
- Hoyek, N., Collet, C., Di Rienzo, F., De Almeida, M., and Guillot, A., Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context. *American Association of Anatomists* 7:430–437, 2014. doi:10.1002/ase.1446.
- Ghosh, S. K., Evolution of illustrations in anatomy: A study from the classical period in Europe to modern times. *American Association of Anatomists*, 8: 175–188, 2015 doi:10.1002/ase.1479.
- Murphy, K. P., Crush, L., O'Malley, E., Daly, F. E., O'Tuathigh, C. M. P., O'Connor, O. J., et al. Medical student knowledge regarding radiology before and after a radiological anatomy module: Implications for vertical integration and self-directed learning. *Insights into Imaging* [Internet]. 5(5):629–34, 2014 [citado 23 de enero de 2017]. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s13244-014-0346-0>.
- Pujol, S., Baldwin, M., Nassiri, J., Kákinis, R., and Shaffer, K., Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Acad. Radiol.* [Internet]. 23(4):507–16, 2016 [citado 24 de junio de 2016]. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1076633216000167>.
- Wiecha, J.M., Vanderschmidt, H., and Schilling, K., HEAL: An instructional design model applied to an online clerkship in family medicine. *Acad Med*. 77(9):925–926, 2002.
- Carwell, F. R., Venkatesh, A., and Demison, A. R., Twelve tips for enhancing anatomy teaching and learning using radiology. *Med. Teach.* [Internet]. 2 de diciembre de 2015;37(12):1067–71. Disponible en: doi:10.3109/0142159X.2015.1029896.
- Waran, V., Narayanan, V., Karuppiash, R., Pancharatnam, D., Chandran, H., Raman, R., et al., Injecting Realism in Surgical Training—Initial Simulation Experience With Custom 3D Models. *J. Surg. Educ.* [Internet]. 71(2):193–7, 2014 [citado 23 de enero de 2017]. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1931720413002195>.
- Eslahpazir, B. A., Goldstone, J., Allemang, M. T., Wang, J. C., and Kashyap, V. S., Principal considerations for the contemporary high-fidelity endovascular simulator design used in training and evaluation. *J. Vasc. Surg.* [Internet]. 59(4):1154–62, 2014 [citado 23 de enero de 2017]. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0741521413021691>.



8.1.2. JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS. 2019

Application of PDF Software with 3D Functionalities in Radiological Models of the Skull Base: Characteristics, Experience and Solutions

Roberto D. Tabernero Rico, Juan Antonio Juanes Méndez & Alberto Prats-Galino

Journal of Medical Systems volume 43, Article number: 103 (2019)

Citado como:

Tabernero Rico, R.D., Juanes Méndez, J.A. & Prats-Galino, A. Application of PDF Software with 3D Functionalities in Radiological Models of the Skull Base: Characteristics, Experience and Solutions. J Med Syst 43, 103 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1233-5>.



Journal of Medical Systems

APPLICATION OF PDF SOFTWARE WITH 3D FUNCTIONALITIES IN RADIOLOGICAL MODELS OF THE SKULL BASE: CHARACTERISTICS, EXPERIENCIE AND SOLUTIONS
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	JOMS-D-19-00080R1
Full Title:	APPLICATION OF PDF SOFTWARE WITH 3D FUNCTIONALITIES IN RADIOLOGICAL MODELS OF THE SKULL BASE: CHARACTERISTICS, EXPERIENCIE AND SOLUTIONS
Article Type:	SI:Technological Innovations in Biomedical Training and Practice(TEEM 2018)
Section/Category:	Education & Training
Keywords:	3D PDF; three-dimensional images; interactive visualization; skull base
Corresponding Author:	Roberto D. Tabernero Rico Hospital Virgen Concha Zamora, SPAIN
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Hospital Virgen Concha
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Roberto D. Tabernero Rico
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Roberto D. Tabernero Rico Juan Antonio Juanes Méndez Alberto Prats-Galino
Order of Authors Secondary Information:	
Funding Information:	
Abstract:	<p>A widely known alternative for reading and exchanging digital files is the PDF file, by Adobe. This type of file has become the most used for the electronic exchange of files. It is platform-independent, suitable for the exchange of medical data in electronic academic publication. PDF can support additional resources such image, media, even, three-dimensional surface mesh models.</p> <p>A three-dimensional model of the base of the skull is generated from computed tomography images to provide an overview of the PDF file format, with emphasis on biomedical images.</p> <p>Three-dimensional representation in PDF files offers many advantages, as these images have more information than two-dimensional images, therefore, we consider this tool (3D PDF) a good alternative for the visualization, interaction and distribution of 3D content.</p>



Journal of Medical Systems (2019) 43:103
https://doi.org/10.1007/s10916-019-1233-5

EDUCATION & TRAINING



Application of PDF Software with 3D Functionalities in Radiological Models of the Skull Base: Characteristics, Experience and Solutions

Roberto D. Tabernerico Rico¹ · Juan Antonio Juanes Méndez² · Alberto Prats-Galino³

Received: 20 January 2019 / Accepted: 27 February 2019
© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019

Abstract

A widely known alternative for reading and exchanging digital files is the PDF file, by Adobe. This type of file has become the most used for the electronic exchange of files. It is platform-independent, suitable for the exchange of medical data in electronic academic publication. PDF can support additional resources such as image, media, even, three-dimensional surface mesh models. A three-dimensional model of the base of the skull is generated from computed tomography images to provide an overview of the PDF file format, with emphasis on biomedical images. Three-dimensional representation in PDF files offers many advantages, as these images have more information than two-dimensional images, therefore, we consider this tool (3D PDF) a good alternative for the visualization, interaction and distribution of 3D content.

Keywords 3D PDF · Tridimensional images · Interactive visualization · Skull base

Introduction

In the biomedical sphere, three-dimensional (3D) formulas are ubiquitous. However, data are usually presented in a two-dimensional form, or 3D models are projected in a two-dimensional (2.5D) plane. It entails an inherent loss of the information contained. The main reason is a technical problem [1]. Portable Document Format (PDF) is the most commonly used file format for the exchange of electronic documents [2]. It allows documents to be read while keeping their accuracy regardless of the device or operating system used to create the document [3]. It is the standard file format for communicating biomedical information over the Internet and for electronic

academic publications [4]. It is platform-independent, suitable for the exchange of medical data.

However, the PDF file format offers more features. PDF can support additional resources (e.g. text, images or media) and open them easily with the free Acrobat Reader software. They also offer the possibility of being signed electronically [3, 5]. The latest versions of Adobe's PDF format allow the incorporation of three-dimensional (3D) surface mesh models, thus allowing an interactive visualization (e.g., zoom, panorama, rotation and component selection) of these objects with qualified reading software [5–7].

The first software capable of supporting 3D models was Adobe Reader 7. However, the software that really enabled more efficient use to work with 3D models in PDF Acrobat 8 was launched in early 2006. This version provides tools for importing and converting. Of many 3D formats and a 3D editor [3].

PDF has become an international ISO standard and is the electronic standard for most private and business documents. Therefore, we consider it useful to make an exhibition where the main functionalities offered by the PDF format with 3D content are discussed, taking as an example a radiological model of the skull base.

History:

The PDF file format started off on the dream of a paperless office, as the pet project of one of Adobe's founders, John Warnock. Initially it was an internal project in the company

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

✉ Roberto D. Tabernerico Rico
rtaberneror@gmail.com

Juan Antonio Juanes Méndez
jjjm@usal.es

¹ Hospital Virgen Concha, Complejo Asistencial de Zamora, Zamora, Spain

² VisualMed System Group, University of Salamanca, Salamanca, Spain

³ Laboratory of Surgical NeuroAnatomy, Faculty of Medicine, University of Barcelona, Barcelona, Spain

Published online: 15 March 2019





to create a file format so documents could be spread throughout the company and displayed on any computer using any operating system. Initially it was called the "Camelot project", which later became the Acrobat software [1–3].

The first time Adobe actually talked about this technology was at a Seybold conference in San Jose in 1991. At that time, it was referred to as 'IPS' which stood for 'Interchange PostScript.'

The PDF software has been developed by Adobe, incorporating improvements and add-ons in each of the updated versions.

Version 1.0 of PDF was announced at Comdex Fall in 1992. The tools to create and view PDF-files, Acrobat, were released in 1993. Acrobat 2 (November 1994) supported the new PDF 1.1 file format which added support for external links, notes... etc. Acrobat 2.1 added multimedia support with the possibility of adding audio or video data to a PDF document. PDF 1.2 was the first version of PDF that was really usable in a prepress environment. The release of a plug-in to view PDF files in the Netscape browser increased the popularity of PDF file on the booming Internet. The next version, Acrobat 4, (4.0) contained quite a lot of bugs that limited the usefulness of the software for prepress purposes. By the time Acrobat 4.05 was released, it could hardly be disputed that PDF had become an accepted file format for information exchange. More than 100 million copies of Acrobat Reader had been downloaded from the web. PDF 1.4 and Acrobat 5 appeared in May 2001. The file format itself had not changed that much. It was made easier to create PDF-files that could adapt themselves to the device they will be used upon, for the emerging market of ebooks, since it allows PDF files to be repurposed so they can be used on a wider variety of systems.

Acrobat 6 (2003) and PDF 1.5 bring along a number of new features, that were not implemented in their entirety. In 2005 Adobe started shipping Acrobat 7. It offered support for a new PDF flavor; PDF 1.6 that can be used as a kind of 'container' file format by offering the possibility to embed files into a PDF. The major new feature is the ability to embed 3D data. PDF 1.7 was the most 'unexciting' PDF-version to ever be released, it contained improved support for commenting and security. Support for 3D also got improved, with the possibility to add comments to 3D-objects and more elaborate control over 3D animations [2]. One interesting development with PDF 1.7 is the fact that it became an official ISO-standard (ISO 32000-1:2008) in January 2008 [4].

Adobe Acrobat 8, (available in October 2006), introduced one interesting new feature: instead of using PDF 1.7 as its default file format, it sticks to PDF 1.6. It has also become easier to save documents as an older PDF version.

Since the ISO-organization now controls the PDF-standard, Adobe couldn't introduce a new PDF 1.8 file format with the release of Acrobat 9 (June 2008). However, the PDF file format is pretty flexible however and it allows for

the use of extensions. This, can be used to embed geospatial data in a PDF file, something that is useful for maps.

The latest PDF project is PDF 2.0 released in 2018. This is the first major update in PDF post-Adobe. It is a refinement of the PDF format. Enhances document security, increased accessibility and allows a superior experience for managing and displaying graphically rich media: 3D, video, geospatial and printing. An important difference compared to previous versions of PDF, as ISO owns the copyright, the PDF 2.0 can not be freely downloaded [5–7].

Methodology

Instruments

A systematic search of the literature is carried out in the scientific database PUBMED. It is carried out by entering the words "Portable Document Format, 3D PDF" to find articles that apply 3D PDF technology for visualization purposes in the field of biomedical sciences.

Since PDF is a carrier for presenting data, rather than a research topic in itself, we selected the search for those articles that use PDF as a visualization medium.

It was limited to articles published after 2004, since, as mentioned above, 3D PDF was not available before 2005.

Several results ($n=6$) should be discarded because there is no useful information or they are not related to the field of biosciences.

The rest of the articles obtained ($n=13$) are analyzed to assess the applications in which they have used the PDF software with 3D functionalities.

Based on CT images (machine: CT Philips Brilliance, 40 detectors), three-dimensional models are made.

The study protocol used is the so-called "boulders", with a cut thickness of 1 mm, and a pitch increase of 0,75. Parameters of the X-ray tube of 410 mA and 120 kV with collimation of $2 \times 0,5$ mm and FOV of 200 mm are used. The studies have an average radiation dose of 432,4 mGy*cm. (Figs. 1 and 2).

The images are obtained from radiologic studies stored in the PACS archive of Radiology Department at the "Hospital Virgen de la Concha" (Zamora, Spain). Therefore, consent of the subjects of the studies is not necessary.

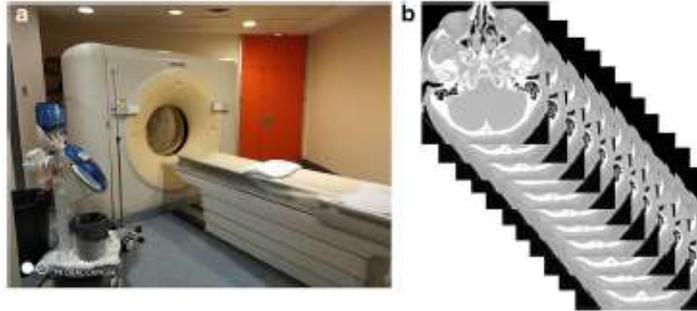
In this text we work with the PDF version of Acrobat reader DC version (15.016.20045).

Design and procedure

A three-dimensional model of the base of the skull is generated from computed tomography images obtained from studies carried out at the "Hospital Virgen de la Concha" (Zamora, Spain).



Fig. 1 a CT Philips Brilliance, 40 detectors, Hospital Virgen de la Concha. b DICOM images of CT



The images are processed in the PHILIPS IntelliSpace PORTAL © workstation, obtaining 3D surface models in 3D-PDF format.

Anatomical parts that are not to be included in the model are eliminated with the cutting tools. Afterwards, the regions of interest are selected (this is done automatically or manually depending on the definition of the images) and a surface mesh is created. They are then saved in the format of interest, in our case in 3D-PDF.

This model is used to show the functionalities of the 3D-PDF file format to show the anatomical models of biomedical use.

In our work, we handle the model created with Adobe Acrobat Document Cloud (version 2019.010.20064), free standard downloaded from the network, from the Adobe company website: "<https://get.adobe.com/es/reader/>".

Results

Bibliographic search

The bibliographic search in the PUBMED database when entering the words "3D PDF Portable Document Format" had



Fig. 2 Screenshot of Portal IntelliSpace Philips, creating 3D model

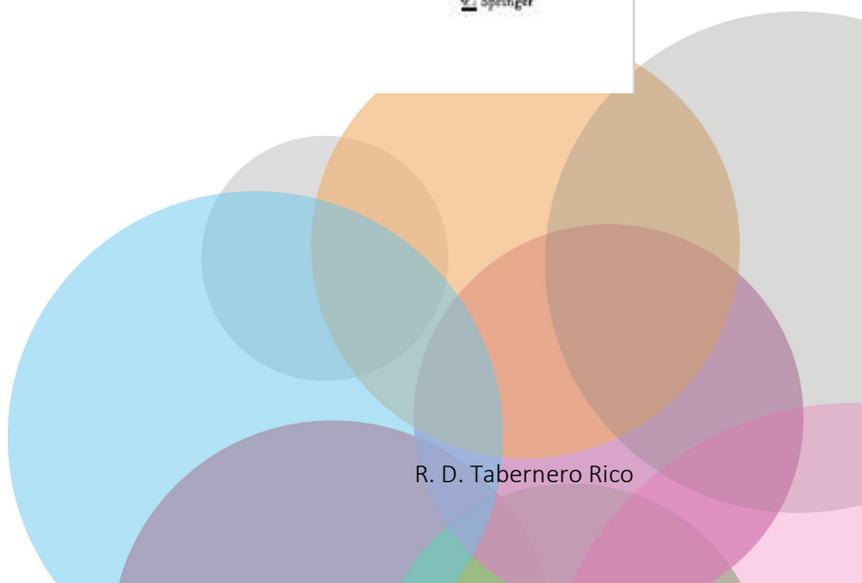




Table 1 Results from PubMed Database

Article (n = 13)	Journal	Year	Field	Application
The Role of Portable Documentation Format in Three-Dimensional Interactive Visualization in Maxillofacial Prosthetics.	International Journal Prosthodont.	2018	Odont	Visualization
A Novel and Freely Available Interactive 3d Model of the Internal Carotid Artery.	J M Systems	2018	Neurol	Visualization
Using Interactive 3D PDF for Exploring Complex Biomedical Data: Experiences and Solutions.	Stud Health Technol Inform	2016	Anatom	Visualization
Interactive 3D-PDF Presentations for the Simulation and Quantification of Extended Endoscopic Endonasal Surgical Approaches.	J M Systems	2015	Surgic	Clinical App
Software for browsing sectioned images of a dog body and generating a 3D model.	Anac Rec	2016	Animal	Visualization
Towards an easier creation of three-dimensional data for embedding into scholarly 3D PDF (Portable Document Format) files.	PeerJ	2015	Inform	Teaching
Application and evaluation of interactive 3D PDF for presenting and sharing planning results for liver surgery in clinical routine.	PLoS one	2014	Surgic	Clinical App
3D interactive model of lumbar spinal structures of anesthetic interest.	Clin anat	2015	Anest	Visualization
Simplified generation of biomedical 3D surface model data for embedding in to 3D portable document format (PDF) files for publication and education.	Plos one	2013	Educ	Teaching
Embedding 3D radiology models in portable document format.	AJR Am	2012	Radiol	Teaching
Portable document format file showing the surface models of cadaver whole body.	J Korean Med	2012	Educ	Teaching
Three-dimensional portable document format: a simple way to present 3-dimensional data in an electronic publication.	Am J Orthod Dentofacial Orthop	2011	Educ	Visualization
The interactive presentation of 3D information obtained from reconstructed datasets and 3D placement of single histological sections with the 3D portable document format.	Development	2011	Educ	Teaching

19 results. The temporary filter was applied from 2004 to 2018.

Several results (n = 6) should be discarded because there is no useful information or they are not related to the field of biosciences.

The rest of the articles obtained (n = 13) contained information on 3D PDF technology in the field of research (Table 1; Fig. 3).

Most of the results are related to teaching (n = 7). Results were also obtained for the demonstration of the 3D PDF tool

in data visualization (n = 4) and for use in clinical applications (n = 2).

The functionality of the 3D PDF model

In the initial view of the PDF document, an interface of the projected 3D model is displayed as a two-dimensional view image (2.5-dimensional image) (Fig. 4).

By selecting the model with the mouse pointer, the model is selected for the different functions.

Fig. 3 Graphic results bibliography search

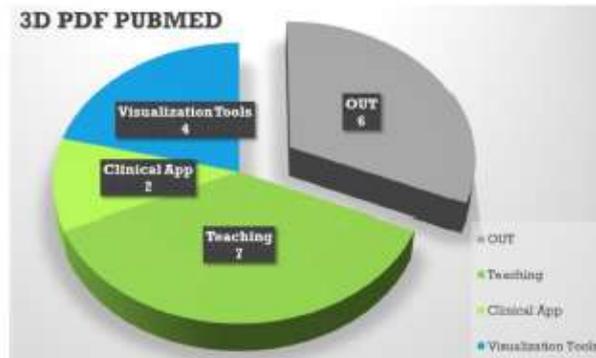
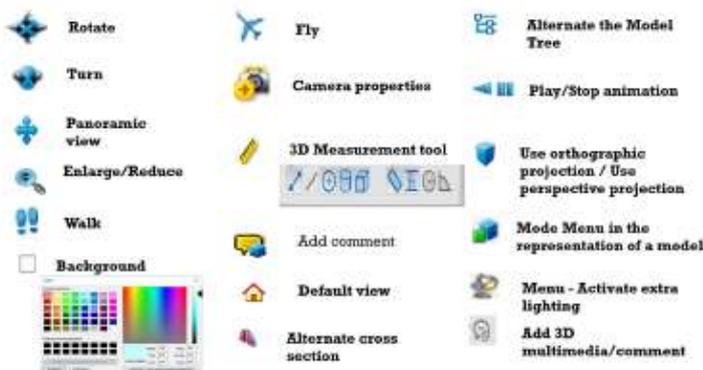




Fig. 4 3D toolbar buttons



Once the 3D content is enabled, a 3D toolbar opens and the animation is played (if the model we are using has this one).

The PDF file allows you to customize the basic functions, according to the preferences of each user. It is possible to hide or incorporate buttons of common use according to the interests of the user [8, 9].

The 3D toolbar allows you to manage the different functions to interact with the surface model.

With the different tools included in the toolbar, you can enlarge a part of the model, rotate it, navigate... The model tree allows you to hide or isolate parts, or make parts transparent.

3D navigation tools

The PDF has a series of tools to work with the models (Fig. 5).

Rotate the 3D model, move a 3D model, panoramic view, zoom, walk on models, surface flight function, set camera

properties; to define camera angle, alignment and other properties that define the lens through which a 3D model is viewed.

In addition, it allows measurements to be made on the 3D model. Different units and types of measurements can be configured; distances, angles, etc.

Controls in the 3D toolbar

Default view It recovers the zoom, panoramic, rotation and projection mode of the 3D model (Figs. 6 and 7).

View menu This second part of the toolbar offers the possibility to make changes to the appearance of the model.

The Play/Stop animation alternates the perspective viewing and orthographic projection of the 3D object, provides different appearances of the model, outlines the content, activates additional lighting (it provides a drop-down list of the various lighting effects available to improve the illumination of the 3D object).

Fig. 5 Screenshot of a model with a measure and annotation





Fig. 6 Screenshot of a model with a cross-section plane in sagittal plane

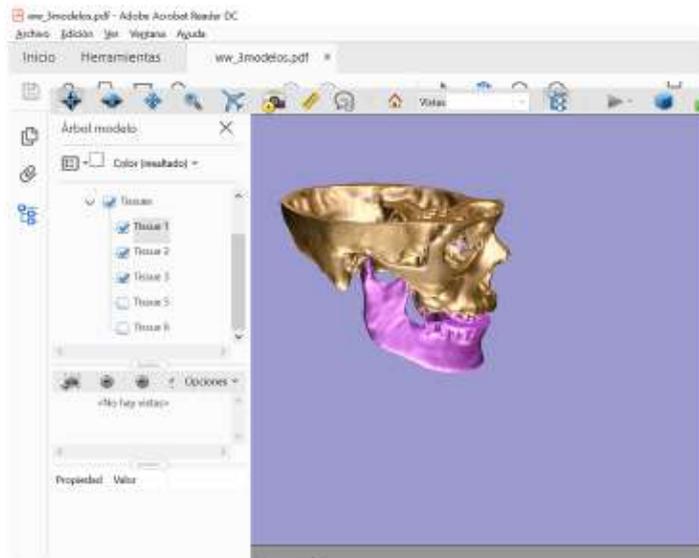


Fig. 7 Multiple model parts visualizations in the PDF program



Change the background colour, cross section (it shows/hides the cross planes of the object. A pop-up menu opens and you can choose the parameters and the axis of the cross-section).

Add multimedia content / 3D comments (it allows you to add notes or comments with arrows pointing to any part of the 3D model).

Some tools are more useful in a biomedical environment, others for teaching (such as annotations), some available tools would be of interest in the clinical field and for planning (such as measurement functions). Other functions have almost no use in the biomedical field, such as the function of flying or walking. This tool is considered especially useful for architectural models [6].

Discussion

Three-dimensional representation in PDF files offers many advantages, as these images have more information than two-dimensional images. This information can never be presented in classic 2D images and therefore there is an inherent loss of information in these images [9, 10].

3D PDF offers an interactive visualization of the image, allowing its manipulation to highlight the features that most interest users.

These 3D files can be managed from any personal computer containing a qualified Adobe reader (version 7 or higher) that can be obtained free of charge, without expensive software packages [11, 12].

This mode of presentation is also useful in multiple biomedical areas, as we can accurately represent structures such as a complex anatomical region, orthopaedic templates, chemical formula structures, etc.) [9, 12–17].

In the scientific field, the representation of information by means of the 3D PDF tool could increase the information presented in courses and congresses, as it offers the possibility of manipulating virtual objects with real 3D qualities. This would increase realism and improve the experience offered to users [11, 12, 18].

The possibility of interactive manipulation offered by 3D PDF can encourage the user to “explore the image” in great detail individually. In addition to the new information obtained, this stimulating action can also increase curiosity and help long-term memorization [11, 15, 19].

Another important interesting feature offered by the PDF software since its inception in the first versions is the ability to make prints with great security and accuracy. The latest versions with 3D models also share this important feature (depending on the compatibility and 3D printer material). There are a lot of examples regarding this feature. For surgical planning, medical-surgical training,

generation of orthopaedic prostheses and other uses of printed models [13, 20, 21].

Conclusions

A PDF document with inserted 3D objects (3D PDF) offers the possibility of interactive visualization, more dynamic and with greater detail than in a 2D image.

This work describes the experience of using PDF files with 3D images, as a means to study and exchange digital information (biomedical models) in a fast and secure way.

We consider this tool (3D PDF) a good alternative for the visualization, interaction and distribution of 3D content, since it offers the known advantages of the classic PDF files that have made this file format a reference, incorporating new advantages and tools for the interaction and exchange of 3D models in a safe way.

3D PDF offers a good alternative to share files with 3D structures through small workgroups, or even in the scientific community, in a digital format.

Compliance with ethical standards

Human and animal rights This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

Conflict of interest The author declare that they have no conflict of interest.

References

1. Who Created the PDF? Adobe Blog, 2015 [cited 2018 Dec 29]. Available from: <https://theblog.adobe.com/who-created-pdf/>
2. The history of PDF | How the file format and Acrobat evolved. [cited 2018 Dec 27]. Available from: <https://www.pressware.com/pdf/basic/history>
3. History of PDF – rgbemylk. [cited 2018 Dec 29]. Available from: <http://rgbemylk.com.ar/en/history-of-pdf/>
4. 14:00-17:00. ISO 32000-1:2008. ISO. [cited 2018 Dec 29]. Available from: <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/05/15/51502.html>
5. 14:00-17:00. ISO 32000-2:2017. ISO. [cited 2018 Dec 27]. Available from: <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/06/35/63534.html>
6. Taking Documents to the Next Level with PDF 2.0. Adobe Blog, 2017 [cited 2018 Dec 29]. Available from: <https://theblog.adobe.com/taking-documents-to-the-next-level-with-pdf-2-0/>
7. The Coming of PDF 2.0 - Part 1 | Artifex. [cited 2018 Dec 29]. Available from: <https://artifex.com/the-coming-of-pdf-2-0-part-1/>
8. Bangeas, P., Drevelegas, K., Agorastou, C., Trounits, L., Choni, A., Paramythiotis, D. et al., Three-dimensional printing as an educational tool in colorectal surgery. *Front Biosci Elite Ed.* 11:29–37, 2019.
9. Ruthensteiner, B., Heß, M., Embedding 3D models of biological specimens in PDF publications. *Microsc Res Tech.* 71(11): 778–86.



- Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jemt.20618>
10. Toy, M., Moller, T., Human factors in visualization research. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* [cited 2018 Nov 29]; 10(1):72–84, 2004. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1260759/>
 11. Newe, A., and Becker, L., Using Interactive 3D PDF for Exploring Complex Biomedical Data: Experiences and Solutions. *Stud Health Technol Inform.* 228:740–744, 2016.
 12. Newe, A., and Ganslandt, T., Simplified generation of biomedical 3D surface model data for embedding into 3D portable document format (PDF) files for publication and education. *PLoS One* 8(11): e79004, 2013.
 13. Phelps, A., Naeger, D. M., and Marzovici, P., Embedding 3D radiology models in portable document format. *AJR Am. J. Roentgenol.* 199(6):1342–1344, 2012.
 14. Kumar, P., Ziegler, A., Ziegler, J., Uchanaka-Ziegler, B., and Ziegler, A., Grasping molecular structures through publication-integrated 3D models. *Trends Biochem Sci.* [cited 2018 Dec 3]; 33(9):408–12, 2008. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0968000408001473>
 15. Merritt, E. A., and Bacon, D. J., Raster3D: photorealistic molecular graphics. *Methods Enzymol.* 277:505–524, 1997.
 16. Hernández, A., Biomolecules in the computer: Jmol to the rescue. *Biochem Mol Biol Educ.* 34(4):255–61, 2006. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bmb.2006.494034042644>
 17. Murphy, S. B., Kijewski, P. K., Simon, S. R., Chandler, H. P., Griffin, P. P., Reilly, D. T. et al., Computer-aided simulation, analysis, and design in orthopedic surgery. *Orthop Clin North Am.* 17(4):637–649, 1986.
 18. Rydmark, M., Kling-Petersen, T., Pascher, R., and Philip, F., 3D visualization and stereographic techniques for medical research and education. *Stud Health Technol Inform.* 81:434–439, 2001.
 19. Kohli, K., Wei, Z. A., Yogannathan, A. P., Oshinski, J. N., Leipsic, J., and Blanke, P., Transcatheter Mitral Valve Planning and the Non-LVOT: Utilization of Virtual Simulation Models and 3D Printing. *Curr Treat Options Cardiovasc Med.* 20(12):99, 2018.
 20. Sun, X., Zhu, K., Zhang, W., Zhang, H., Hu, F., and Wang, C., Three-Dimensional Printing of a Complex Aortic Anomaly. *J Vis Exp JoVE.* (141), 2018.
 21. Singhal, A. J., Shetty, V., Bhagavan, K. R., Ragothaman, A., Shetty, V., Koneru, G. et al., Improved Surgery Planning Using 3-D Printing: a Case Study. *Indian J Surg.* 78(2):100–104, 2016.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



8.2. ARTÍCULO EN REVISTAS INDEXADAS NO JCR

8.2.1. ARTÍCULO EN REVISTA NUEVO HOSPITAL

ISSN:1578-7516

Publicado en junio 2017; Vol. XIII Nº 2 NUEVO HOSP. (Versión digital)

Citado como:

Tabernerico RD, Juanes Méndez JA, Prats Galino A. Modelos 3D interactivos de la base de cráneo. ¿Son útiles para el aprendizaje de la anatomía? Nuevo Hosp. 2017 junio; XIII (2): 14-8.

Modelos 3D interactivos de la base de cráneo. ¿Son útiles para el aprendizaje de la anatomía?

Roberto Domingo Tabernerico*, Juan Antonio Juanes Méndez**, Alberto Prats Galino***.

*Licenciado Especialista. Radiodiagnóstico. Hospital Virgen de la Concha. Zamora. (España).

**Doctor en Medicina y cirugía. Profesor titular USAL. Departamento de Anatomía e Histología Humanas. Salamanca. (España).

***Doctor en Medicina y cirugía. Profesor representante del grupo de Anatomía Virtual y Simulación de la UBA. Barcelona. (España).



Modelos 3D interactivos de la base de cráneo. ¿Son útiles para el aprendizaje de la anatomía?

Roberto Domingo Tabernero Rico*, Juan Antonio Juanes Méndez**, Alberto Prats Galino***.

**Licenciado Especialista. Radiodiagnóstico. Hospital Virgen de la Concha. Zamora. (España).*

***Doctor en Medicina y cirugía. Profesor titular USAL. Departamento de Anatomía e Histología Humanas. Salamanca. (España).*

****Doctor en Medicina y cirugía. Profesor representante del grupo de Anatomía Virtual y Simulación de la UBA. Barcelona. (España).*

Correspondencia: Roberto Domingo Tabernero Rico: rtaberneror@gmail.com

RESUMEN

Introducción y objetivos: La comprensión tridimensional de la anatomía es esencial para la formación. Hasta el momento las herramientas didácticas empleadas son bidimensionales (atlas). Con las nuevas técnicas de imágenes en 3D, se mejora la percepción espacial y la comprensión anatómica.

Material y métodos: Se realiza una búsqueda bibliográfica en la base de datos MedLine. Se generan modelos tridimensionales de la base del cráneo a partir de imágenes radiológicas de tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM). Este proceso es llevado a cabo en diferentes etapas

Resultados: Se generan modelos 3D incluidos en un documento PDF en los que se permite la interacción, para su mejor visualización.

Conclusiones: Las imágenes 3D aportan más información que las convencionales. Por ello consideramos que estas herramientas resultan útiles para la enseñanza anatómica, acelerando el proceso y facilitando las capacidades de entendimiento.

PALABRAS CLAVE

Modelos anatómicos, base del cráneo, 3D PDF, software.

INTRODUCCIÓN

La anatomía es un componente esencial de la educación médica, ya que es fundamental para el diagnóstico preciso de órganos y sistemas humanos [1].

Dentro de la anatomía, cobra una especial importancia la representación en imágenes las diferentes estructuras anatómicas otorgando mayor información para la adecuada comprensión de las estructuras (fig.1) [2].

Los últimos avances en el postprocesado de la imagen radiológica han hecho posible la generación de modelos tridimensionales (3D) a partir de imágenes radiológicas en 2D [3].

Con las nuevas técnicas de imágenes en 3D que presentamos, la percepción espacial y la comprensión anatómica se mejoran, puesto que se permite interactuar con los modelos.

Todo ello, hace posible el desarrollo de nuevos contenidos educativos a partir de modelos visuales complejos que se podrían introducir como material didáctico complementario [4].

Estos novedosos modelos, junto a las herramientas didácticas clásicas facilitarían la comprensión y mejorarían el aprendizaje anatómico de regiones anatómicas complejas [5, 9].

Nos proponemos crear modelos tridimensionales de la base del cráneo a partir de imágenes radiológicas simples para poder interactuar con ellos en diferentes programas de libre acceso y sin la necesidad de estaciones de trabajo profesionales. De



manera que cualquier persona puede tener a su disposición estas herramientas [1,3,7].

ORIGINAL

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realiza una búsqueda bibliográfica en la base de datos PubMed (US National Library of Medicine, National Institutes of Health)

Se crean modelos 3D de la base del cráneo a partir de imágenes de MR y CT obtenidas de máquinas: RM General Electric Medical Care de 1,5 Tesla, y de TC (Philips, 40 detectores), a partir de estudios realizados en el Hospital Virgen de la Concha (Zamora, España), durante el año 2016.

Se seleccionan la serie de imágenes de interés y se almacenan en formato DICOM para posteriormente trabajar con ellas.

La creación del modelo anatómico se compone de una serie de pasos:

1 Incorporación al software:

Las imágenes obtenidas de los estudios radiológicos en formato DICOM se incorporan al software 3D slicer© versión 5.4.0-1 obtenido de manera gratuita de la red (fig.2).

2 Segmentación de las imágenes.

Una vez cargadas las imágenes, son analizadas, reformateadas y transformadas (segmentadas) para obtener modelos tridimensionales representativos del área de interés, en el presente trabajo, de la base del cráneo.

3 Almacenaje de los modelos.

Una vez creados los modelos tridimensionales y las imágenes clave de la región anatómica de interés, se guardan eligiendo el formato de almacenamiento que más interese (fig.3) [10].

RESULTADOS.

Se obtienen varias imágenes tridimensionales y modelos 3D a partir de las imágenes de RM y TC en formato DICOM (figs. 4 y 5), pudiendo ser procesadas en cualquier ordenador personal.

Esto supone un avance, ya que permite a cualquier usuario procesar y formatear imágenes radiológicas de RM y TC sin la necesidad de una estación de trabajo profesional.

Estas imágenes tienen múltiples opciones de visualización, pudiéndose visualizar en superposición a las imágenes 2D anatómicas originales o como modelos tridimensionales.

Los modelos tridimensionales y las imágenes generadas se pueden importar en diferentes formatos (USD, VTK, OBJ...) para visualizarlos y manejarlos a partir de las herramientas que disponen los diferentes programas disponibles en la web, de libre acceso.

Mediante estos modelos se permite la interacción ofreciendo una serie de herramientas útiles de visualización y manejo que facilitan el trabajo y la comprensión de la región anatómica del área de estudio (fig.6).

DISCURSIÓN Y CONCLUSIONES

Los modelos tridimensionales pueden representar mayor cantidad de detalles anatómicos que los modelos tradicionales. Por ello consideramos, junto con otros autores que estas herramientas resultan útiles para la enseñanza anatómica, acelerando el proceso y mejorando y facilitando las capacidades de entendimiento [1,5-7,11].

Los recursos formativos a partir de imágenes tridimensionales podrían integrarse de manera efectiva junto con los métodos tradicionales de dibujos y esquemas, además de modelos descriptivos, facilitando el aprendizaje de la anatomía de una manera eficiente con el fin de mejorar el proceso de enseñanza de la anatomía [4,8,11].

Otra importante ventaja que suponen estos modelos es la facilidad para compartir y transmitir esta información con otros usuarios de manera ágil y rápida sin necesidad de paquetes de software complejos o de pago. Esto posibilita que cada usuario pueda acceder a los contenidos desde el ordenador personal de su casa.

Se ha demostrado en varios estudios la viabilidad y los beneficios del desarrollo de modelos de enseñanza innovadoras como modelos tridimensionales, similares a los que presentamos en el estudio [1,6,7,11].



BIBLIOGRAFÍA

1. Pujol S, Baldwin M, Nassiri J, Kikiris R, Shaffer K. Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Acad Radiol*. 2016 Apr;23(4):507-16.
2. Ghosh SK. Evolution of illustrations in anatomy: A study from the classical period in Europe to modern times: Evolution of Illustrations in Anatomy. *Anat Sci Educ*. 2015 Mar;8(2):175-88.
3. Tam MDBS. Building virtual models by postprocessing radiology images: A guide for anatomy faculty. *Anat Sci Educ*. 2010 Sep 8;3(5):261-6.
4. Wiecha JM, Vanderschmidt H, Schilling K. HEAL: an instructional design model applied to an online clerkship in family medicine. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2002 Sep;77(9):925-6.
5. Colucci PG, Kostandy P, Shrauner WR, Arleo E, Fuortes M, Griffin AS, et al. Development and utilization of a web-based application as a robust radiology teaching tool (radstax) for medical student anatomy teaching. *Acad Radiol*. 2015 Feb;22(2):247-55.
6. Hoyek N, Collet C, Di Rienzo F, De Almeida M, Guillot A. Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context: Teaching Anatomy Using 3D Digital Animation. *Anat Sci Educ*. 2014 Nov 12;7(6):430-7.
7. Preece D, Williams SB, Lam R, Weller R. "Let's get physical": advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anat Sci Educ*. 2013 Aug;6(4):216-24.
8. Caswell FR, Venkatesh A, Denison AR. Twelve tips for enhancing anatomy teaching and learning using radiology. *Med Teach*. 2015 Dec 2;37(12):1067-71.
9. Richardson-Hatcher A, Hazzard M, Ramirez-Yanez G. The cranial nerve skywalk: A 3D tutorial of cranial nerves in a virtual platform: Cranial Nerve Skywalk. *Anat Sci Educ*. 2014 Nov 12;7(6):469-78.
10. Neue A. Towards an easier creation of three-dimensional data for embedding into scholarly 3D PDF (Portable Document Format) files. *PeerJ*. 2015 Mar 3;3:e794.
11. Ruisoto P, Juanes JA, Contador I, Mayoral P, Prats-Galino A. Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anat Sci Educ*. 2012 May;5(3):132-7.



TABLAS Y FIGURAS



Fig 1. Corte axial y sagital de TC de base de cráneo

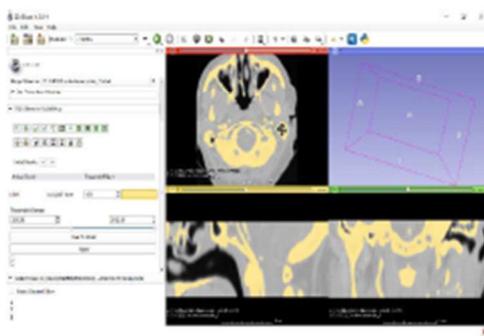


Fig 2. Captura de pantalla programa 3D Slicer.

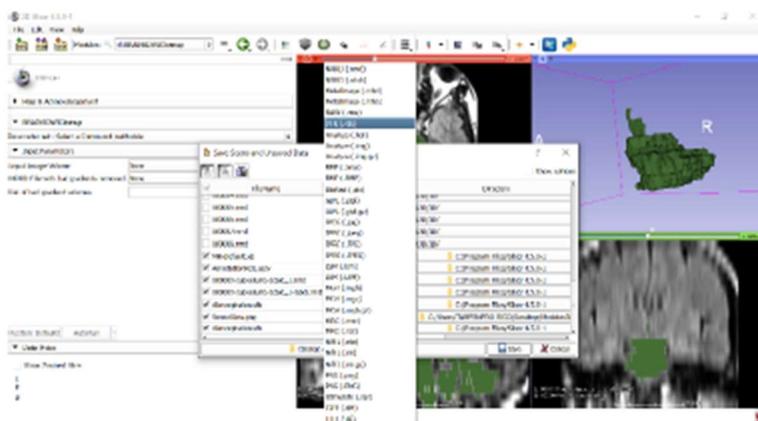


Fig 3. Captura de pantalla 3D slicer. Formatos de destino.

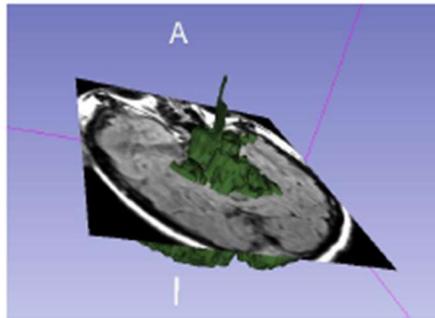


Fig 4. Modelo 3D, superpuesto a corte de RM axial

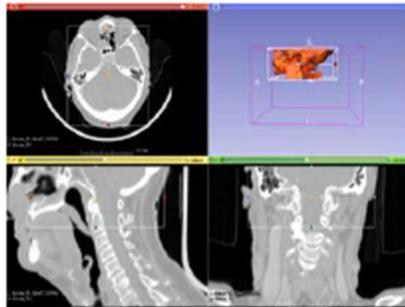


Fig 5. Captura de pantalla de modelo de base de craneo con imágenes originales de TAC

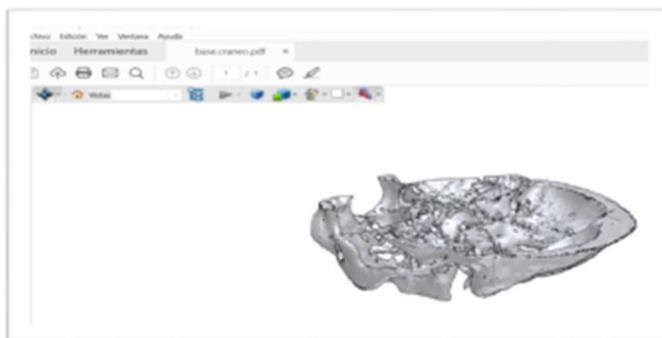


Fig 6. Interfaz de programa PDF con el modelo creado

CAPÍTULO IX
ANEXO II OTRAS PUBLICACIONES



CAPÍTULO IX

ANEXO II OTRAS PUBLICACIONES

9.1. PUBLICACIONES EN CONGRESOS

9.1.1. ARTÍCULO TEEM 14

TEEM (Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality)

Comunicación oral expuesta en Salamanca. Noviembre 2014.

Acta publicada revista ACM Digital Library.

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF 3D-PDF DOCUMENTS TO REPRESENT
MODELS AND TRIDIMENSIONAL IMAGES IN MEDICINE.



Possibilities of Application of 3D-PDF Documents to Represent Models and Tridimensional Images in Medicine

Roberto D. Tabernerico Rico
Hospital Virgen Concha
Zamora, Spain
0034 65 021 08 76
rtaberneror@gmail.com

Juan A. Juanes Méndez
VisualMed System Group
University of Salamanca, Spain
0034 92 329 45 47
jajm@usal.es

Marija Mavar-Haramija
Laboratory of Surgical NeuroAnatomy
Faculty of Medicine
University of Barcelona, Spain
0034 93 402 19 05
marija.mavar@ub.edu

Miguel A. Reina Perticone
Department of Clinical Medical
Sciences and Applied Molecular Medicine
Institute, CEU. Madrid, Spain
34 91 7089900
miguelangel.reinaperticone@ceu.es.

Alberto Prats-Galino
Laboratory of Surgical NeuroAnatomy
Faculty of Medicine
University of Barcelona, Spain
0034 93 402 19 05
aprats@ub.edu

ABSTRACT

We present an interactive 3D visualization tool based on the conventional two-dimensional images. In this study we used a 3D lumbar spine model reconstructed from 2D magnetic resonance imaging and imported it into an interactive PDF document. This tool could have a wide field of application; both undergraduate studies to understand in a more graphically the anatomy of certain parts of body, such as for graduate studies, useful for both medical and surgical specialties and those in which the understanding of complex anatomical regions is required.

Categories and Subject Descriptors

J3 [Computer Applications]: Life and Medical Sciences – health, medical information systems.

General Terms

Design, Standardization, Theory.

Keywords

PDF-3D, anatomical models, lumbar spine, visualization tool.

1. INTRODUCTION

The latest technological advances in radiological imaging postprocessing have enabled the generation of three-dimensional models (3D) from conventional 2D images. [1]. This technology has enabled the development of crucial tools for teaching and learning of different disciplines [2], particularly in biomedical field; allowing, for example, to introduce students to the use of complex anatomical models, both graduate and postgraduate studies [3-4].

In medicine, these tools could be used in many specialties (surgical and nonsurgical) and to allow safest learning and training of interventional techniques in training professionals who require a thorough understanding of an anatomical region, thus avoiding potential risks to patients [5].

With the new techniques of 3D images representing, spatial perception and anatomical understanding [5] are improved, and it makes possible to develop educational content from complex visual models, embedding in simple portable storage documents or PDF (6,7). This is a format for storing digital documents independent of hardware or software platforms that allows the user to manipulate the models just by using a program (Adobe Reader), which is freely available, and thus avoiding the need for costly and complex 3D displays on the market (6,8).

The aim of our study would determine the current status of the tool, update and enhance these documents, creating an anatomical model of the human lumbar spine. It is intended to extend its functionality from simple visualization of a 3D model to various forms of interaction with the model dynamically, so as to allow visualize at any spatial position, applying rotational movements, zoom, translation, etc. may apply additional transparencies of different 3D models for valuing its immediate neighbourly relations more easily. It also aims to evaluate this tool as a tool for planning possible surgical approaches for interventional techniques.

2. METHODOLOGY

A literature search was performed in MedLine database of the National Library of Medicine.

The process of creating 3D PDF consists of several phases and depends on various software packages.

Previously the authors needed a tool chain of at least three or even four [9] different software applications and up to 22 individual steps to create the PDF document.

Today the number of tools can (and should) be reduced to a maximum of two applications: one for data generation 3D scene and one to generate the final PDF [7].

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

TEEM '14, October 01 - 03 2014, Salamanca, Spain.
Copyright is held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM
ACM 978-1-4503-2896-8/14/10...\$15.00.
<http://dx.doi.org/10.1145/2669711.2669878>



Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality – TEEM'14

All these steps are necessary to create the final document, but once completed, the user only need Adobe Reader (version 10 or higher) to open the file and interact with the model.

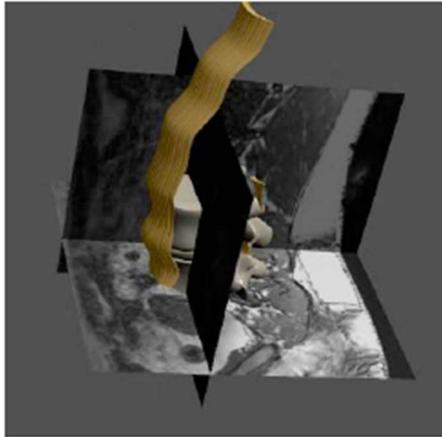


Fig 1. Pictures 3D PDF program lumbar spine obtained in the study.

2.1 Data

Several MR images of lumbar spine of a human are used.

2.2 Creation of 3D anatomical model.

Surface models derived from the our collection have been used. These have been registered with MR images using the scan program and viewing images Amira 5.4.0 ©.

2.3 Embedding a PDF Document.

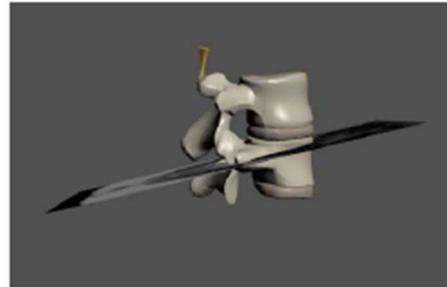
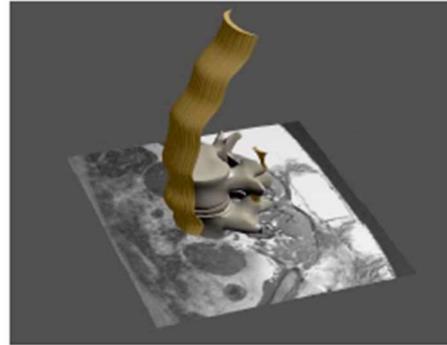
Once the 3D model is ready is imported into a PDF file, which is managed by a set of JavaScript functions that allow users to interact with the model and thereby modify the 3D viewing area [10].

3. RESULTS.

The final result is a PDF file containing three-dimensional models of the anatomy, in our project, of the lumbar spine.

The final user can visualize the anatomy of interest only with the Adobe Reader program (version 10 or higher) it can interact with the model and review the predefined slides. This program (Adobe Reader) is a free disposition one, thus avoiding the need for expensive and complex software in existing remarketing here is a menu with tools to manipulate 3D images on the three planes of space. You can perform actions such as zoom, 360° rotation, translation, and showing and hiding structures as shown in the next images. The three-dimensional visualization of an anatomical region provides a better idea of it and the anatomical relationship of the structures that make up the model. Through this model the relationships of vertebral bodies and the posterior elements (pedicles and Print) with intervertebral discs are evaluated, and can also evaluate the spinal canal and intervertebral foramina in a normal pattern, but also in case of models with pathology (spinal stenosis, herniated discs), and also learn more about existing

anatomical variants in the region of interest. So using these models as a reference, we could evaluate o it is possible to evaluate possible surgical approaches for interventional techniques (either, root blockages in anesthesia) or fixation of several vertebral elements in block (in traumatology).





Possibilities of application of 3D-PDF documents to represent models and tridimensional images in medicine

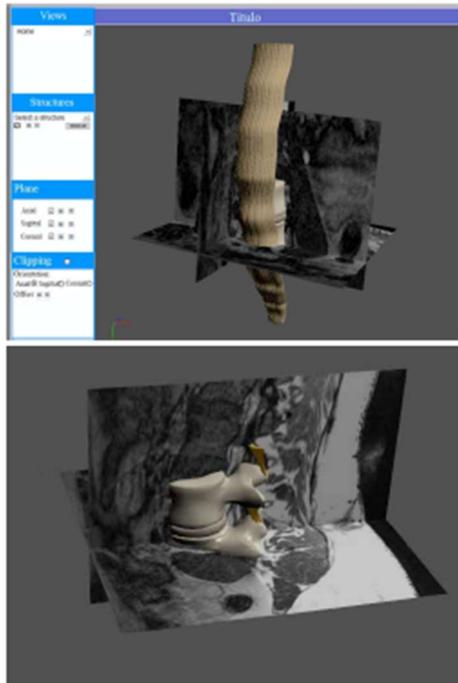


Fig 2. Pictures 3D PDF and the menu program with different tools.

4. DISCUSSION.

These 3D models provide a better understanding of complex anatomical regions [1]. The use of these techniques can be extended to different fields, whether in clinical, educational and investigation field.

4.1 Teaching field.

Visualization of anatomical structures in three dimensions presents obvious advantages compared to current learning techniques, since several studies have revealed the importance of spatial visualization to assimilate better and faster the anatomical structures [2-4].

This would be interesting on several levels, for teaching undergraduates, medical students, nursing... until post-graduate teaching in those disciplines in which it is necessary to know in detail a certain anatomical region (eg in radiology, surgery, anaesthesia, rehabilitation...).

4.2 Clinical setting.

An important field of application is suggested in the proper planning of various pathways for safe approach, proposing an individualized surgery, depending on the patient anatomy.

In addition, it is also important as a tool for training surgeons in training because they need several trials to learn the essential procedures and gain experience.

Use of these models for surgical simulation allows students to practice these procedures repeatedly in a secure environment until they can master it. As a result, the learning curve would be shortened, and could be standardized teaching techniques and evaluation of these students (3).

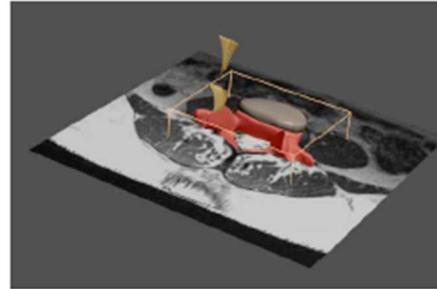


Fig 3. Viewing the intervertebral disc and interspinous ligaments. Possible evaluation paths posterior approach.

4.3. Scope of the investigation.

Finally, many of the data processed in medicine are 3D by nature: the molecules, or macroscopic and microscopic structures. Traditional ways to represent them in 2D, have an inherent loss of information. Any 2D image, illustration, descriptive text or 3D data can be described more accurately and in all its extension as a 3D representation, therefore we suggest that this information should be represented in 3D models.

5. ACKNOWLEDGEMENTS.

To the PhD programme: Education in the Knowledge Society. Especially to Dr. Juan A. Juanes, of the University of Salamanca and Alberto Prats, University of Barcelona.

6. REFERENCES

- [1] Ruisoto P, Juanes JA, Contador I, Mayoral P, Prats-Galino A. Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anat Sci Educ.* 2012 Jun;5(3):132-7.
- [2] Hoyek N, Collet C, Di Rienzo F, De Almeida M, Guillot A. Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context. *Anat Sci Educ.* 2014 Mar 27;
- [3] Waran V, Narayanan V, Karuppiah R, Pancharatnam D, Chandran H, Raman R, et al. Injecting Realism in Surgical Training-Initial Simulation Experience With Custom 3D Models. *J Surg Educ.* 2014 Apr;71(2):193-7.
- [4] Eshahpazir BA, Goldstone J, Allemang MT, Wang JC, Kashyap VS. Principal considerations for the contemporary high-fidelity endovascular simulator design used in training and evaluation. *J Vasc Surg.* 2014 Apr;59(4):1154-62.
- [5] Richardson-Hatcher A, Hazzard M, Ramirez-Yanez G. The cranial nerve skywalk: A 3D tutorial of cranial nerves in a virtual platform. *Anat Sci Educ.* 2014 Mar 27;



Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality – TEEM'14

- [6] Ruthensteiner B, Heß M. Embedding 3D models of biological specimens in PDF publications. *Microsc Res Tech.* 2008 Nov;71(11):778–86.
- [7] Neue A, Ganslandt T. Simplified generation of biomedical 3D surface model data for embedding into 3D portable document format (PDF) files for publication and education. *PLoS One.* 2013;8(11):e79004.
- [8] Shin DS, Chung MS, Park JS, Park HS, Lee S, Moon YL, et al. Portable Document Format File Showing the Surface Models of Cadaver Whole Body. *J Korean Med Sci.* 2012;27(8):849.
- [9] Phelps A, Naeger DM, Marcovici P. Embedding 3D Radiology Models in Portable Document Format. *Am J Roentgenol.* 2012 Dec;199(6):1342–4.
- [10] Adobe Systems, Inc. JavaScript™ for Acrobat® API Reference. http://www.adobe.com/content/dam/Adobe/en/devnet/acrobat/pdfs/js_api_reference.pdf. 2007.



9.1.2. **ARTÍCULO TEEM 16**

TEEM (Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality)

Comunicación oral expuesta en Salamanca. Noviembre 2016.

Acta de congresos, publicados en la Biblioteca Digital de ACM como un volumen en su Serie de Actas de Conferencias Internacionales con ISBN e indexación en SCOPUS.

CREATING INTERACTIVE 3D MODELS OF THE SKULL BASE FOR
LEARNING ANATOMY



Creating interactive 3D models of the skull base for learning anatomy

Roberto D. Taberner Rico
Hospital Virgen Concha
Complejo Asistencial de Zamora
Zamora, Spain
rtaberneror@gmail.com

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

Alberto Prats-Galino
Laboratory of Surgical
NeuroAnatomy
Faculty of Medicine
University of Barcelona, Spain
aprats@ub.edu

ABSTRACT

This study presents several images and models of three-dimensional (3D) visualization of the skull base using radiological images by tomography computed (CT) and resonance magnetic images (fMR) of skull base. First, 3D anatomical models were generated of the images in DICOM format of skull base using free software. The use of these interaction models is allowed, providing useful visualization tools (translation, rotation and zooming of the 3D models) and management that facilitate the work and understanding of the anatomical region of the study area. All these things can be done on a personal computer without the requirement of a professional workstation. Educational and clinical applications are also discussed.

CCS Concepts

Software and its engineering—Software notations and tools—General programming languages—Language features—Classes and objects

Keywords

Anatomical models; skull base; 3D PDF; free software.

1. INTRODUCTION

Anatomy is an essential component of medical education, because it is essential for the accurate diagnosis of human organs and systems pathology [1].

In anatomy, it is particularly important representation of different anatomical structures in images giving more information for appropriate understanding of the structures. [2].

Recent development in radiological image post processing has made possible to generate three-dimensional models (3D) from radiological images in 2D [3].

With new 3D imaging techniques presented, spatial perception and anatomical understanding are enhanced, since it allows interaction with the models.

All this makes possible development of new educational content from complex visual models that could be introduced as

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

TEEM'16, November 02-04, 2016, Salamanca, Spain

© 2016 ACM. ISBN 978-1-4503-4747-1/16/11...\$13.00

DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3012430.3012561>

supplementary teaching materials [4].

These new models, together with classical teaching tools, will facilitate understanding and will improve learning complex anatomical regions [5-9].

In this study we intend to create three-dimensional models of skull base from simple radiological images to interact with them in different free access programs without requiring professional workstations. By this way anyone can have these tools available [1,3,7].

2. METHODOLOGY

A bibliographical research was performed in PubMed (US National Library of Medicine, National Institutes of Health)

3D models were built from radiological images (MR and CT images).

2.1. Data

MR (General Electrics Medical Care 1.5 Tesla) and CT (Philips, 64 detectors) skull base images (see Figure 1) are obtained from studies conducted at the Hospital Virgen de la Concha (Zamora, Spain).

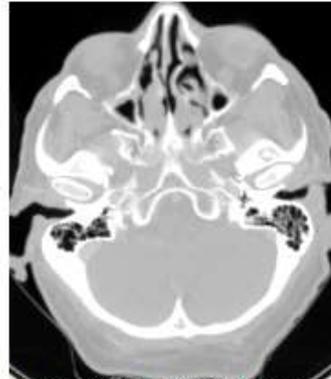


Figure 1. Axial CT section of skull base

Interesting images series are selected and stored in DICOM format.

2.2 Creation of 3D anatomical model

The creation of the anatomical model consists on a series of steps:



2.2.1 Transposition software

Images obtained from radiological studies in DICOM format are incorporated into the 3D Slicer software, 5.4.0-1 version, obtained free of charge from the net.

2.2.2 Segmentation of images

Once images are loaded, they are analyzed, reformatted and processed (segmented) to obtain representative three-dimensional models of the area of interest, in this paper, the base of the skull (see Figure 2).

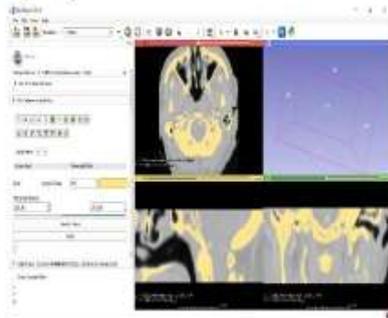


Figure 2. Screenshot 3D Slicer program

2.2.3 Storage models

Once the three-dimensional models and the key images of anatomical region of interest are created, they are saved selecting the storage format that most interest (see Figure 3) [10].

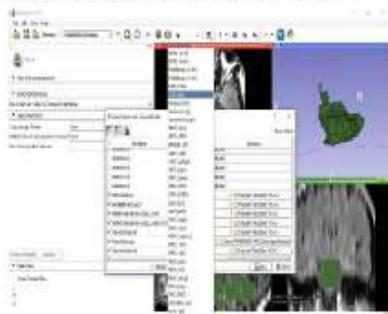


Figure 3. Screenshot 3D Slicer program. Storage formats

3. RESULTS

Several three-dimensional images and 3D models are obtained from MR and CT images in DICOM format.

These images can be processed on any personal computer. This represents an advance because it allows any user to process and to format radiologic MRI and CT images without the necessity of a professional workstation.

These images have multiple viewing options, being able to be displayed superimposed on the original 3D anatomical images or as three-dimensional models (see Figures 4, 5 and 6).

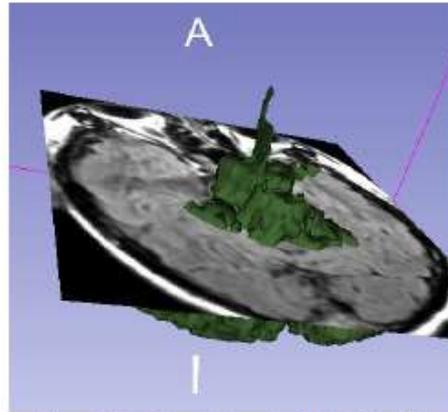


Figure 4. 3D model superimposed on MRI axial section

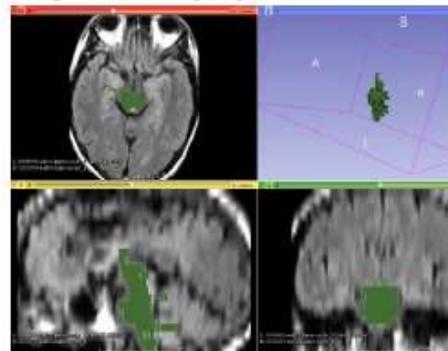


Figure 5. Screenshot 3D Slicer program

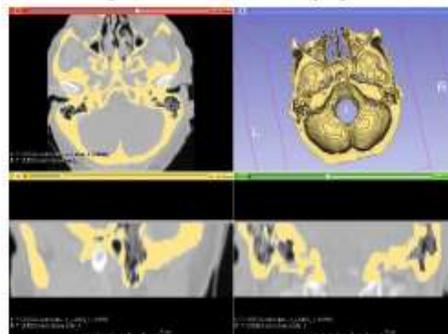


Figure 6. Screenshot segmentation model of the skull base, with original CT images



Creating interactive 3D models of the skull base for learning anatomy

Tridimensional models and images generated by this way can be imported into different formats (USD, VTK, OBJ...) to visualize and manage them using the tools that are present in the different free available software on the web.

Using these models interaction is allowed, offering several visualization and management tools that facilitate the work and comprehension of anatomical region of the study area (see Figure 7).

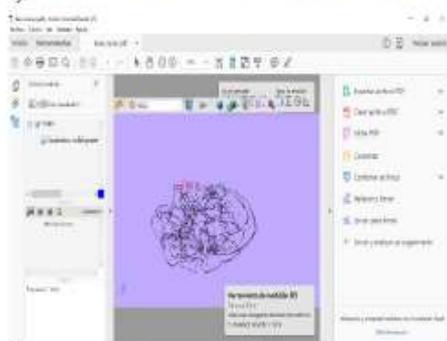


Figure 7. PDF Program interface with model created

These created models can be opened from several software packages (free or paid), allowing their transformation and interaction with the software tools available (see figure 8). For example, measurements can be made and can be used as patterns for other projects.

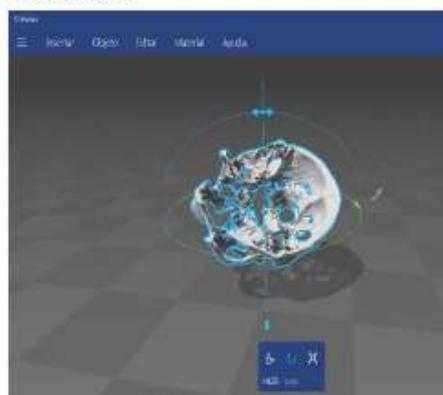


Figure 8. 3D builder interface

4. DISCUSSION

Mental representation of the shape and organization of various anatomical structures is a crucial step in the process of learning anatomy.

Three-dimensional models can represent more anatomical details than traditional models.

Therefore, we consider, along with other authors, that these tools are useful for anatomical education because they accelerate the process and facilitate the ability of understanding, improving teaching [1,5-7,11].

The resources of three-dimensional imaging can be integrated efficiently with traditional methods of drawings and descriptive schemes in order to improve the teaching of anatomy [4,8,11].

Another important advantage involving these models is the ability to share and transmit this information with other users nimbly and quickly, without complex software packages or payment ones. This allows each user to access content from his/her home PC.

In addition, it is also important that with the same model you can work from several programs. It allows to use different tools that the programs have for interaction with the models.

It has been shown in several studies the feasibility and benefits of developing innovative teaching models as three-dimensional models, similar to those presented in the study [1,6,7,11].

In conclusion, these models provide other perspectives that together with conventional tools optimize learning.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

This research work is made within University of Salamanca PhD Programme on Education in the Knowledge Society scope. With a special mention to the group of advanced medical visualization.

6. REFERENCES

- [1] Pujol, S., Baldwin, M., Nassiri, J., Kikinis, R., and Shaffer, K., 2016. Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Academic Radiology* 23, 4, 507-516. DOI= <http://dx.doi.org/10.1016/j.acra.2015.12.012>.
- [2] Ghosh, S.K., 2015. Evolution of illustrations in anatomy: a study from the classical period in Europe to modern times. *Anatomical Sciences Education* 8, 2, 175-188. DOI= <http://dx.doi.org/10.1002/ase.1479>.
- [3] Tam, M.D., 2010. Building virtual models by postprocessing radiology images: A guide for anatomy faculty. *Anatomical Sciences Education* 3, 5, 261-266. DOI= <http://dx.doi.org/10.1002/ase.175>.
- [4] Wiecha, J.M., Vanderschmidt, H., and Schilling, K., 2002. HEAL: An instructional design model applied to an online clerkship in family medicine. *Academic Medicine* 77, 9, 925-926.
- [5] Colucci, P.G., Kostandy, P., Shrauner, W.R., Arleo, E., Fuortes, M., Griffin, A.S., Huang, Y.-H., Juhuru, K., and Tsouris, A.J., 2015. Development and Utilization of a Web-Based Application as a Robust Radiology Teaching Tool (RadStat) for Medical Student Anatomy Teaching. *Academic Radiology* 22, 2, 247-255. DOI= <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.acra.2014.09.014>.
- [6] Hoyek, N., Collet, C., Di Rienzo, F., De Almeida, M., and Guillot, A., 2014. Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context: Teaching Anatomy Using 3D Digital Animation. *Anatomical Sciences Education* 7, 6, 430-437. DOI= <http://dx.doi.org/10.1002/ase.1446>.



Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality – TEEM'16

- [7] Preece, D., Williams, S.B., Lam, R., and Weller, R., 2013. "Let's get physical": advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anatomical Sciences Education* 6, 4, 216-224. DOI= <http://dx.doi.org/10.1002/ase.1345>.
- [8] Caswell, F.R., Venkatesh, A., and Denison, A.R., 2015. Twelve tips for enhancing anatomy teaching and learning using radiology. *Medical Teacher* 37, 12, 1067-1071. DOI= <http://dx.doi.org/10.3109/0142159X.2015.1029896>.
- [9] Richardson-Hatcher, A., Hazzard, M., and Ramirez-Yanez, G., 2014. The cranial nerve skywalk: A 3D tutorial of cranial nerves in a virtual platform. *Anatomical Sciences Education* 7, 6, 469-478. DOI= <http://dx.doi.org/10.1002/ase.1445>.
- [10] Neue, A., 2015. Towards an easier creation of three-dimensional data for embedding into scholarly 3D PDF (Portable Document Format) files. *PeerJ* 3, e794. DOI= <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.794>.
- [11] Ruisoto, P., Juanes, J.A., Contador, I., Mayoral, P., and A., P.-G., 2012. Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anatomical Sciences Education* 5, 3, 132-137. DOI= <http://dx.doi.org/10.1002/ase.1275>.



9.1.3. **ARTÍCULO TEEM 18**

TEEM (Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality)

Comunicación oral expuesta en Salamanca. Octubre 2018.

Acta de congresos, publicados en la Biblioteca Digital de ACM como un volumen en su Serie de Actas de Conferencias Internacionales con ISBN e indexación en SCOPUS.

Use of 3D PDF (portable document format) in radiological models:

Tools and Applications



Use of 3D PDF (portable document format) in radiological models: Tools and Applications

Roberto D. Tabernero Rico
Hospital Virgen Concha
Complejo Asistencial de Zamora
Zamora, Spain
rtaberneror@gmail.com

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

Alberto Prats-Galino
Laboratory of Surgical NeuroAnatomy
Faculty of Medicine
University of Barcelona, Spain
aprats@ub.edu

ABSTRACT

PDF is a standard file format to present and exchange documents reliably, independent of the software, hardware or operating system. Therefore, it is very useful and is widely used for the communication of information through the Internet and for the electronic academic publication. The PDF allows embedding 3D objects in the latest versions, and although this technology has great potential for the communication of these data, today is not a tool widely used by the scientific community or biomedical research. The objective of this review is to provide an overview of the tools offered by the PDF software regarding the visualization of three-dimensional models, especially for biomedical images of three-dimensional models generated from radiological images.

CCS CONCEPTS

• Software and its engineering → Software configuration management and version control systems

KEYWORDS

3D PDF, biomedical, interactive, visualization.

ACM Reference format:

R-D. Tabernero-Rico, J. A. Juanes and A. Prats-Galino. 2018. Use of 3D PDF (portable document format) in radiological models: Tools and Applications. In *Proceedings of the 6th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2018)* (Salamanca, Spain, October 24-26, 2018), F. J. García-Peñalvo Ed. ACM, New York, NY, USA, 6 pages. <https://doi.org/10.1145/3284179.3284239>.

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

TEEM'18, October 24-26, 2018, Salamanca, Spain
© 2018 ACM. ISBN 978-1-4503-6518-5. \$15.00
<http://dx.doi.org/10.1145/3284179.3284239>

1 INTRODUCTION

The best known and most used data format for the exchange of electronic documents is probably the Portable Document Format (PDF).

This type of files allows you to display documents in a reliable manner while preserving its accuracy. It is carried out regardless of the software, device, or operating system that has been used to create or display the information. In addition, the PDF file format is able to gather all the necessary resources (for example, texts, images or media)[1,2].

Open access to the application has led to the PDFs files are the file format most widely used for the exchange of electronic documents.

In nearly all computers there is a software with the ability to read PDFs. Most Internet browsers and email clients have a PDF processor.

However, the PDF offers more features than many people know. PDF files can contain links and buttons, form fields, audio, video, and business logic. It is also possible to sign them electronically and to open them easily with the free Acrobat Reader DC software.

Although technically it is available since 2005, a standard feature even less known of PDF is the possibility of incorporating three-dimensional models (3D) that allows the interactive visualization (for example, zoom, panorama, rotation and selection of components) of those objects with a qualified reader software [3].

1.1 Historical overview

The PDF file format was invented by Dr John Warnock, co-founder of Adobe, in 1991, with his "Camelot Project" which gave way to digital format. The aim was to ensure that everybody could capture documents from any application and send the electronic version of these documents to wherever they wanted to, as well as viewing and printing them from any device. In 1992, the Camelot Project had already become in PDF [1].

1.2 Development

The PDF software has been developed by Adobe up to version 1.7. Today it is an open and official standard recognized by the International Organization for Standardization (ISO), such as ISO 32000-2:2017[4].



Use of 3D PDF (portable document format) in radiological models: Tools and Applications

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

2.2 3D PDF Model

It is generated a three-dimensional model of the skull base from CT images (Philips, 64 detectors) obtained from studies carried out in the "Hospital Virgen de la Concha" (Zamora, Spain), with the study protocol "rocks" with a cut 1mm thick. This model is used as an example to show the different tools and utilities available in the 3D PDF software, as well as its utility for visualization of anatomical images in biomedical sciences, in particular in medicine.

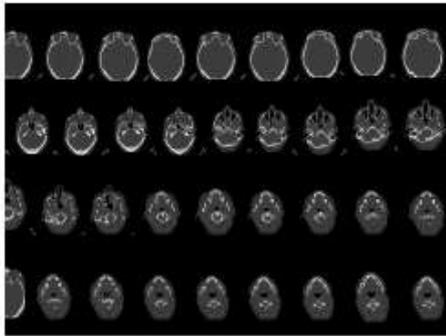


Figure 1: radiological cuts of CT used for the generation of the 3D models

3 RESULTS

3.1 Search result

19 results were obtained in the search with the words "3D PDF portable document format" in the PUBMED database using the temporary filter from the year 2004 to 2018.

Three articles are dismissed because they do not contain useful information about the use or view of 3D PDF and other 3 articles that are not related to the biosciences field.

The rest of articles (13) 3D technology was really applied to the creation, viewing, or exposure of research results.

The fields of application of the articles were in teaching (7 articles), use in clinical applications (2 articles) and demonstration of visualization tool (4 articles).

3.2 3D PDF documents management

3.2.1 Opening of the Document.

When loading or opening a 3D model is initially displayed the interface of the PDF file as a two-dimensional preview image. When you click the 3D model with the mouse pointer tool or select, the model is enabled (or activated).

When you open a PDF with 3D content, it appears a yellow bar at the top with the message: "The 3D content has been disabled. Enable this feature if you trust the document."



Figure 2: dialog box to enable 3D content

To enable 3D content in the document you must click the Options button, and then choose the appropriate option:

- Consider this trusted document only once if we want to see it only once.
- Consider this trusted document always

To enable the 3D content permanently:

- Go to *Edit > Preferences > 3D and multimedia*, and then check the *Enable the 3D content playback*.

Once enabled 3D content, a 3D toolbar is opened and the animation is played (if the model that we handle has one).



Figure 3: 3D toolbar

3.2.2 Use of document.

Management of the 3D toolbar

The 3D toolbar will be in the top area by clicking on the 3D model. In this way, the 3D model is activated in order to interact with it.

You can use the 3D toolbar to reduce and enlarge the object, rotate it and get a panoramic view.

The Model Tree allows to hide or isolate parts, or to make the parts transparent.

A 3D model is manipulated by selecting and dragging various 3D navigation tools.



TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

R. Tabernero et al.

A) 3D navigation tools

The PDF has a number of tools in order to work with the models. They are in the top bar and it is possible to hide or to incorporate some of them depending on the user's interests.

Rotate

This tool allows you to rotate 3D objects on the screen. The movement of the object depends on the initial view and its direction.

Turn

It turns a 3D model in parallel in relation to two fixed axes of the 3D model, the X-axis, and the Z-axis.

Panoramic view

It allows you to move the model only in a vertical or horizontal direction.

Enlarge/Reduce

It zooms in or out the objects that are part of the scene when you drag vertically.

 **Walk**

This tool is considered especially useful for architectural models, except for biomedical models [2]. If you drag it vertically, it will move forward or backwards in the scene; in both cases, it will maintain a constant elevation level. It allows you to change the scrolling speed from the menu → Preferences → Tools → Walk.

Fly

It allows you to browse a model while maintaining the orientation of the surface.

Camera properties

It allows you to set the camera angle, alignment, and other properties that define the lens through which a 3D model is seen.

3D Measurement tool

It measures the sizes of parts and distances in the 3D model. It offers a measurement in different units and different types of measures; distances, angles, etc...



Figure 4: Table of measurement tools

Add comment.

It allows you to add notes or comments on the model or any of its parts.

B) View controls on the 3D toolbar

Default view

It gets back the zoom, panoramic, rotation and the default projection mode of the 3D model.

Note: The above tools can be used by pressing certain commands on the keyboard, in a direct way.

A) Views menu

This second part of the toolbar offers the possibility to make changes in the appearance of the model.

Alternate the Model Tree

It opens and hides the Model Tree.

Play/Stop animation

It plays or pauses animations triggered by JavaScript

 **Use orthographic projection/Use perspective projection**

It alternates displaying perspective and orthographic projection of the 3D object.

Mode Menu in the representation of a model

It determines the different appearances of outline or fill the 3D model.

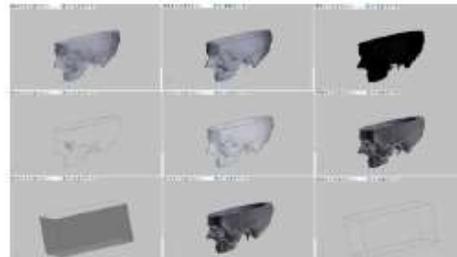


Figure 5: Visualization of the model in the PDF program



Use of 3D PDF (portable document format) in radiological models: Tools and Applications

TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

Menu - Activate extra lighting

It provides a drop-down list of the various lighting effects available to improve the lighting of the 3D object.

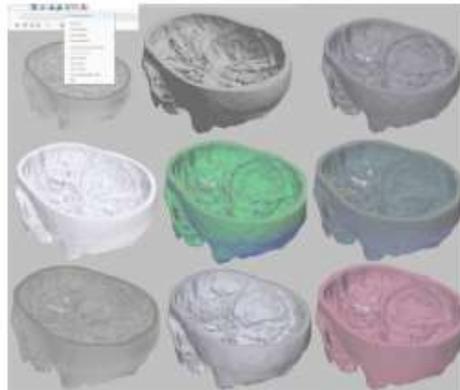


Figure 6: Examples of lighting of the 3D model offered by the PDF program

Background colour

It opens the colour picker, for the space surrounding the 3D object.



Figure 7: colour chart to change the background of the document.

Alternate cross section

It shows and hides cross-sections of the object. A pop-up menu is opened and you can choose parameters and axis of the cross-section.

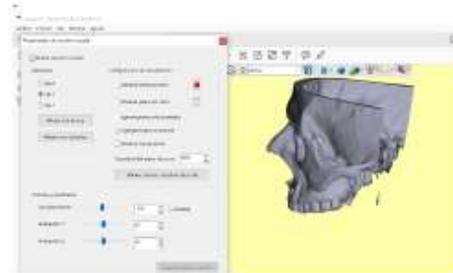


Figure 8: Screenshot of a model with a coronal section

Add 3D multimedia/comment

It allows you to add notes or comments with arrows pointing to any part of the 3D model. This is very useful in teaching or when sharing comments among users.

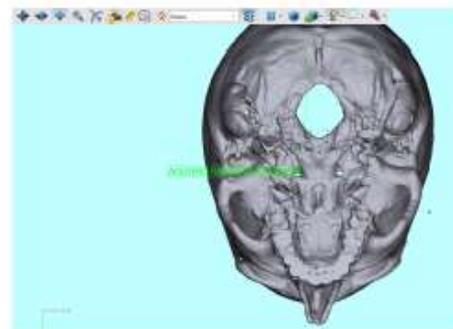


Figure 9: Example of comment on the model

3.3 Biomedical Utilities

The 3D objects can be viewed and exchanged between different platforms (for example, computers with different operating systems).

A very relevant use case is the exchange of medical biological data, for example, the interactive display of human anatomy for medical students from models generated with radiological images [6-11].

It has also been established its use as a guide for planning the individualized surgery [12,13].



TEEM 2018, October 2018, Salamanca, Spain

R. Tabernero et al.

4 DISCUSSION

The three-dimensional representation of anatomical structures offers greater possibilities and advantages, as it provides more information on 3D models than the two-dimensional images.

This mode of presentation of information offers many advantages in different biomedical areas because we can accurately represent complex structures, such as certain molecules, anatomic models, structures of chemical formulas, etc.

We believe that in the scientific field, the current format of a poster used in many courses or conferences could be improved by adding 3D models where we can manipulate virtual objects with real 3D qualities. This would increase the realism and the information offered to end users [8,14].

The possibility of an interactive manipulation may encourage the user to explore the "image" in great detail individually. In addition to the new information obtained, this stimulating action may also increase the curiosity and memorization in the long term.

5 CONCLUSIONS

A PDF document with 3D objects inserted (3D PDF) has a high potential, much greater than documents with 2D-images.

This work describes how to use the PDF as a means for exchanging and preserving digital information (biomedical models) in a safe manner.

This exchange may develop among few people (for example, a doctor and a patient, or certain colleagues). But it also offers a high potential value to distribute 3D structures through the scientific community thanks to the incorporation of 3D objects or demonstrations in posters or scientific publications [7,14].

Therefore, we believe along with other authors, that this tool offers many advantages and we consider it to be an underutilized tool today [8,14-16]. In such a way, we strongly advise its use and progressive introduction in the bioscience field.

ACKNOWLEDGMENTS

This work has been possible by the PhD program: Training in the knowledge society. Especially the group of advanced medical visualization.

REFERENCES

- [1] ¿Qué es el formato PDF? Formato de documento portátil de Adobe | Adobe Acrobat DC [Internet]. [cited 2018 Jun 8]. Available from: <https://acrobat.adobe.com/es/es/acrobat/about-adobe-pdf.html>
- [2] Visualización de modelos 3d en archivos PDF, Adobe Acrobat [Internet]. [cited 2018 Jun 8]. Available from: <https://helpx.adobe.com/es/acrobat/using/displaying-3d-models-pdf.html>
- [3] PDFSD Announces 3D PDF Generation Family Version 2.1/PDFSD [Internet]. [cited 2018 Jun 8]. Available from: https://www.pdfsd.com/pdf3d-vtk_v210_pressrelease_10may2018/
- [4] ISO 32000-2:2017 - Document management - Portable document format - Part 2: PDF 2.0 [Internet]. [cited 2018 Jun 8]. Available from: <https://www.iso.org/standard/69334.html>
- [5] Formatos de archivo admitidos en Acrobat y Reader [Internet]. [cited 2018 Jun 8]. Available from: https://helpx.adobe.com/es/acrobat/kb/supported-file-formats-acrobat-reader.html#main_2D_and_3D_formats_Acrobat_9_Pro_Extended_Adobe_3D_Review
- [6] Phillips A, Nanger DM, Marcovici P. Embedding 3D radiology models in portable document format. *AJR Am J Roentgenol*. 2012 Dec;199(6):1342-4.
- [7] Ruthensteiner B, Hoff M. Embedding 3D models of biological specimens in PDF publications. *Microscopy Research and Technique* [Internet]. 71(11):778-86. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jemt.20618>
- [8] News A, Gamalant T. Simplified generation of biomedical 3D surface model data for embedding into 3D portable document format (PDF) files for publication and education. *PLoS ONE*. 2013;8(11):e79004.
- [9] Carwell FR, Venkatesh A, Denison AR. Twelve tips for enhancing anatomy teaching and learning using radiology. *Med Teach*. 2015;37(12):1057-71.
- [10] Pajol S, Baldwin M, Nassiri J, Kikinis R, Shaffer K. Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Academic Radiology* [Internet]. 2016 Apr [cited 2016 Jun 24];23(4):507-16. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S107663216030167>
- [11] News A, Becker L. Using Interactive 3D PDF for Exploring Complex Biomedical Data: Experiences and Solutions. *Stud Health Technol Inform*. 2018;228:740-4.
- [12] Mavar-Haranzija M, Prata-Galino A, Méndez JA, Puigdelvalls-Sánchez A, de Notaris M. Interactive 3D-PDF Presentations for the Simulation and Quantification of Extended Endoscopic Endonasal Surgical Approaches. *J Med Syst*. 2015 Oct;39(10):127.
- [13] Application and Evaluation of Interactive 3D PDF for Presenting and Sharing Planning Results for Liver Surgery in Clinical Routine [Internet]. [cited 2018 Jun 8]. Available from: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0115697>
- [14] News A, Becker L. A Systematic Review of the Three-dimensional Portable Document Format (3D PDF) in Clinical Communication and Biomedical Sciences: Applications, Tools, and Protocols (Preprint). *JMIR Medical Informatics* [Internet]. 2018 Mar 5 [cited 2018 Jun 8]. Available from: <http://preprints.jmir.org/preprint/10295/accepted>
- [15] Ruizoto P, Juanes JA, Contador I, Mayoral P, Prata-Galino A. Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anat Sci Educ*. 2012 Jun;5(3):132-7.
- [16] Preece D, Williams SH, Lam B, Weller B. 'Let's get physical': advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anat Sci Educ*. 2013 Aug;6(4):216-24.



9.1.4. ARTÍCULO TEEM 19

TEEM (Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality)

Comunicación oral expuesta en León. Octubre 2019.

Acta de congresos, publicados en la Biblioteca Digital de ACM como un volumen en su Serie de Actas de Conferencias Internacionales con ISBN e indexación en SCOPUS.

Taking advantage of 3D technology in health sciences: 3D PDF.



Taking advantage of 3D technology in health sciences: 3D PDF.

Roberto D. Tabernero Rico
Hospital Virgen Concha
Complejo Asistencial de Zamora
Zamora, Spain
rtaberneror@gmail.com

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

Alberto Prats-Galino
Laboratory of Surgical
Neuroanatomy
University of Barcelona
Barcelona, Spain
apratsl@ub.edu

Sonia F. Pozo González
Hospital Virgen Concha
Complejo Asistencial de Zamora
Zamora, Spain
sfpozog@gmail.com

ABSTRACT

We pretend show the possibilities of use and handling of three-dimensional biomedical models (3D) stored in PDF (portable document format). It is used in the maxillofacial region.

Many free and paid programs are available for the creation of 3D models. Currently, the latest versions of the computed tomography (CT) machines software include compatible packages for image creation as well as 3D models.

These documents offer a wide range of application in the health sciences, as they combine the advantages offered by three-dimensional images, with the ease and widespread implementation of the PDF format.

In the healthcare work environment, it offers the possibility of pre-surgical planning, prostheses and treatments personalized to the characteristics of each patient.

All this is further enhanced by the use of PDF, as it is currently a well-known application standard used by society. It offers a multitude of visualization tools for the use of the model; it allows

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

TEEM'19, October 16–18, 2019, León, Spain
© 2019 Association for Computing Machinery.
ACM ISBN 978-1-4503-7191-9/19/10...\$15.00
<https://doi.org/10.1145/3362789.3362812>

interaction (movement, rotation, zoom...) and handling that facilitate the work.

In addition, these 3D models in PDF are compatible and easily made by 3D printing, being able to obtain reproductions of anatomical parts in great detail, without the need for dissections or biological remains.

CCS CONCEPTS

- Human-centered computing~Visualization design and evaluation methods

KEYWORDS

3D PDF, tridimensional imaging, radiological models, health science.

ACM Reference format:

Roberto D. Tabernero Rico, Juan A. Juanes Méndez, Alberto Prats Galino and Sonia F. Pozo González. 2019. Taking advantage of 3D technology in health sciences: 3D PDF. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2019)* (León, Spain, October 16–18, 2019). ACM, New York, NY, USA, 5 pages. <https://doi.org/10.1145/3362789.3362812>

1 Introduction

Medical imaging has come a long way from the early days of CT scanners and mammography devices. With 3D medical imaging, healthcare professionals can now access new angles, resolutions and details that offer an all-around better understanding of the



TEEM 2019, October 2019, León, Spain

RD. Tabernero et al.

body part in question. Modern medicine is completely dependent on 3D visualization.

Three-dimensional formulas are now prevailing over traditional two-dimensional images in a multitude of fields, including biomedical since, as has been evaluated in a multitude of researches, structures are represented in greater detail and in a more accurate manner [1-3].

In the health sciences, in particular in biomedical field, three-dimensional (3D) formulas are represented in a multitude of structures, such as pharmacological chemistry molecules, orthopaedic templates, biomechanical and anatomical structures, prostheses, brain mapping and tractography [4].

However, the data have generally been represented in a two-dimensional format, or by projecting 3D images onto a two-dimensional (2.5D) plane. This brings with it an inherent loss of visual information. The main reasons for this are technical problems and lack of experience in handling 3D formulas [1,3]. The Portable Document Format (PDF) is the most widely used file format for exchanging electronic documents today. It allows reading documents while keeping their original accuracy, regardless of the device or operating system used to create or read the document.

Portable document format (PDF) is the standard file format for the communication of biomedical information over the Internet and for electronic academic publications.

Today, the latest versions of Adobe PDF offer more features, little known to the general public. PDF can support additional resources (for example, text, images, multimedia files...). They also offer the possibility of being signed electronically [5].

In the latest versions of Adobe's PDF, it is possible to incorporate three-dimensional (3D) surface net models, thus allowing an interactive visualization.

2 Methodology

The three-dimensional technology used in the work is based on two-dimensional CT images of the maxillofacial region.

Images are generated from radiological studies, by computed tomography (Philips Brilliance, 40 detectors) obtained from diagnostic tests conducted at the "Hospital Virgen de la Concha" (Zamora, Spain).

The CT study protocol used at Zamora Hospital contains the following parameters: 1mm cut thickness, 0.75 pitch increase. Values of 410 mA and 120 kilovolts with collimation of 2x0.5mm and a FOV of 200mm are used for the X-ray tube. The studies have an average radiation dose of 432,4mGy*cm



Figure 1: CT Philips Brilliance, 40 detectors. Hospital Virgen de la Concha.

There are currently several methods for creating models. From free or paid software packages, as well as complex programs for users with high knowledge in 3D modelling with various construction and reformatting processes.

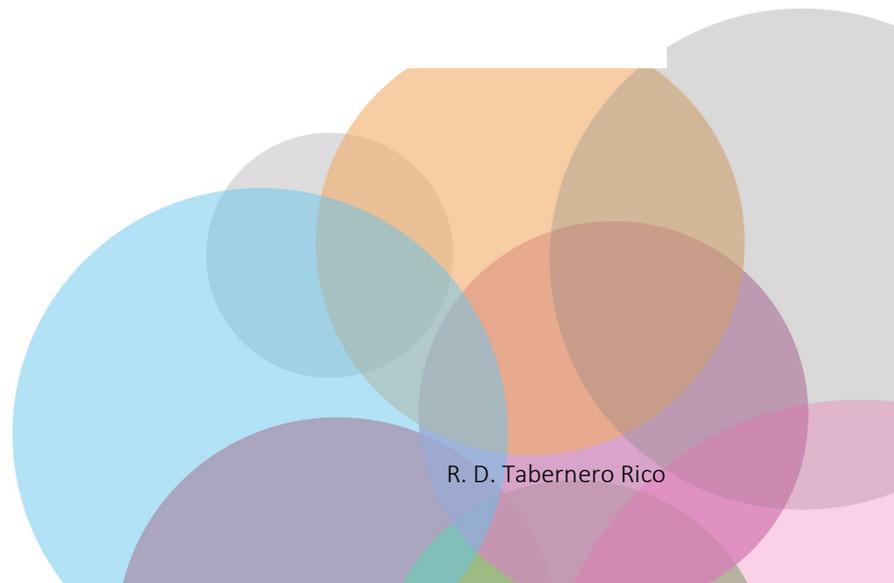
The latest software updates for CT machines include compatible packages for image creation and 3D models. This fact has facilitated the creation of the models in recent years and has considerably reduced the time taken to create them [6,7].

In our work, the models have been created with software package included in the CT machine (InterliSpace Portal, by Philips®).

Consist to include the CT images directly into the PHILIPS® IntelliSpace PORTAL workstation and process them directly by obtaining 3D surface models in 3D PDF.



Figure 2: Screenshot of Portal IntelliSpace Philips, creating 3D model.





TEEM 2019, October 2019, León, Spain

RD. Tabernero et al.

In our work, we handle the models created with Adobe Acrobat Document Cloud (version 2019.010.20064), a free standard downloaded from the web, from the Adobe company website: <https://get.adobe.com/es/reader/>.

3 Results

Three-dimensional models are generated and stored in Portable document format for later handling by means of the tools that the PDF allows.

In this case we use CT images of the maxillofacial region, but it is extensible to others locations, depending on radiological images used.

Adobe PDF software has a number of tools for working with models. You can use the 3D navigation toolbar to reduce and enlarge the model, zoom in on an area of interest, or zoom out to see the whole model. It is also possible to move in all directions, rotate it and obtain a panoramic view. This is done in an agile and dynamic way by clicking with the pointer on the model.

The first PDF software version capable of supporting 3D models was Adobe Reader 7, but actually, the software that really enabled more efficient use to work with 3D models in PDF Acrobat 8 was launched in early 2006. This version provides tools for importing and converting. Of many 3D formats and a 3D editor [8].

The latest version of PDF software includes tools to convert and edit 3D models, including conversion with a multitude of 3D formats [5].



Figure 3: Caption PDF 3D model.

The Tree Model allows you to hide or isolate regions of the model, or make some of them transparent.

It also allows you to define the camera angle, alignment, and other properties that define the lens through which the 3D model is viewed.

A very relevant case of use is the exchange of medical biological data, e.g., interactive visualization of human anatomy for students from models generated with radiological images [9-14].

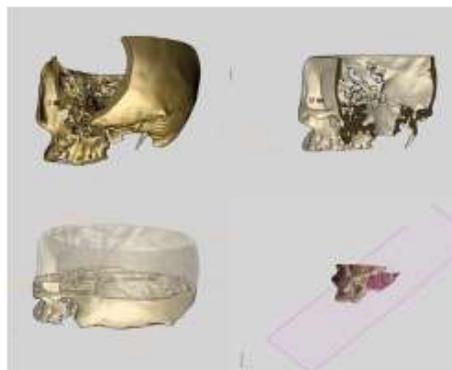


Figure 4: Cross-section X, Y, Z, oblique plane in PDF 3D model.

Enormous usefulness of these models is that their use has been established to facilitate individualized therapeutics, through the use of these models as "moulds" for the creation of dental or maxillofacial prosthesis models with the exact dimensions for each patient. It has created the possibility of having exact prostheses to the patient in the operating room. With the use of digital technique you can obtain images of patients in 3D, you can do virtual operations on images of patients. In this way it is achieved precise prior planning for intervention and safe use of new surgical approaches [15-17].



TEEM 2019, October 2019, León, Spain

RD. Tabernero et al.

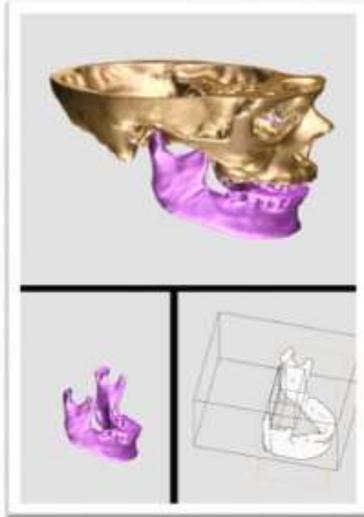


Figure 5: Models created by PDF 3D.

A possibility currently in high demand is the possibility of three-dimensional printing of these models, thanks to the versatility and great compatibility of Adobe PDF software with most printing devices; therefore, this function is greatly facilitated.

Three-dimensional models can represent more anatomical details than traditional models.

4 Discussion

The acceleration of digital technology has enabled increase accuracy, standardization, and efficiency. Computation make image gathering more efficient and shorten image acquisition times. This was made possible with evolutions in software, as well as an important increase in networking speed.

The digitalization of the medical image has made it possible to integrate the radiological images in various previously unexplored formats, and allows us to carry out different procedures with new tools that we have at our disposal.

For a long time, it has been possible to perform three-dimensional reconstructions from radiological images from CT machines, but it was not possible to manage them. Only "photographs" of them could be made, such as images attached to the bidimensional images made.

Since the last decade, updates in the software allow the use and management of three-dimensional images, with various tools of each software, even now, the latest new software allows their

storage in other formats: -obj, -u3D, -vtk ..., or the PDF format, which interests this work.

The three-dimensional models in PDF are a useful means increasingly used in the maxillofacial field, both in a teaching use, precise transmission of information, as well as to program and perform new techniques and approaches in maxillofacial surgery. The features and security of the PDF for exchanging and preserving digital information (biomedical models) in a reliable manner also stand out [10,13,14].

Until a few years ago, three-dimensional technology was only used for exceptional cases in biomedicine, either in famous personalities, or in specific cases or with special peculiarities, for example, in anatomical deformities, joint pathology, congenital anomalies, accidents or limb amputations... These works have been used for presentations in international publications, and as advertising methods.

Currently, 3D technology allows to capture images at multiple angles and display tissues at varying depths rather than a single set of images.

It is being implemented in its daily use, thus improving clinical care, providing new visions to use novel surgical approaches or even in the relationship with colleagues or patients, transmitting information in a more explicit and clearer way [12].

Now 3D technology is daily use in health sciences, in medicine in particular; in anatomical models, virtual surgical planning, patient-specific surgical guides, instrumentation, implants...

A new step forward in technology known as cinematic rendering can help to study complex regions of the body, such as a heart. The technology produces photorealistic images by merging 3D CT or 3D MRI scans with volumetric visualization as well as other computer-generated imagery technology. Cinematic rendering allows healthcare professionals to see much more of the texture of the anatomy.

Likewise, in the scientific community, the current poster format used in many courses or congresses could be improved by adding 3D technology to the scenario where virtual objects with real 3D qualities can be handled. This would increase the realism and information offered to end users [6,14].

This form of visualization and interactive manipulation of the image generates greater interest in the user and allows him to "explore" the image in great detail. In addition to the new information obtained, greater motivation increases long-term memorization [11,18].

5 Conclusions

Images with 3D technology represent better and in greater detail those structures and complexes that require study. Thus, 3D technology provides a better understanding of anatomical regions.

These 3D techniques have the ability to share and transmit this information with other users nimbly and quickly, without complex software packages or payment ones.

The three-dimensional models in Adobe PDF combine the advantages of a three-dimensional visualization [4,3,10], with the advantages of presenting the handling of a PDF document, to



TEEM 2019, October 2019, León, Spain

RD. Tabernero et al.

which we are accustomed since it is the most used file format for the exchange of files over the internet [5,10].

The medical image with 3D technology is being taken as a starting point for various futures works. Cinematic rendering produces photorealistic images by merging 3D CT or 3D MRI scans with volumetric visualization. And there are several strategies for the combination of 3D medical images and artificial intelligence, still under development.

ACKNOWLEDGMENTS

To the PhD program: Education in the knowledge society.

F. J. García-Peñalvo. 2015. Engineering contributions to a Knowledge Society multicultural perspective. IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA) 10, 1, 17-18. DOI:10.1109/RITA.2015.2391371.

F. J. García-Peñalvo. 2014. Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar. Education in the Knowledge Society 15, 1, 4-9.

F. J. García-Peñalvo, A. García-Holgado, and M. S. Ramírez-Montoya. 2018. The PhD Corner: TEEM 2018 Doctoral Consortium. In TEEM'18 Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (Salamanca, Spain, October 24th-26th, 2018), F.J. García-Peñalvo Ed. ACM, New York, NY, USA, 979-983. DOI:10.1145/3284179.3284343.

REFERENCES

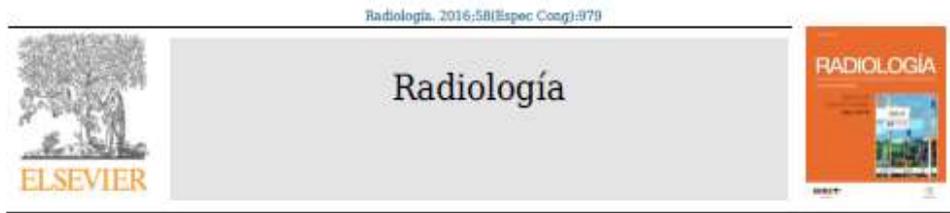
[1] Jyothikiran H, Shanithara JL, Subhash F, Thomas M. Craniofacial imaging in orthodontics—past present and future. *Int J Orthod Milwaukee Wis*. 2014;25(1):21-6.
[2] Yasboro SR, Richter PH, Kahler DM. The evolution of 3D imaging in orthopedic trauma care. *Unfallchirurg*. 2017 Dec;126(Suppl 1):5-9.

[3] Erten O, Yılmaz BM. Three-Dimensional Imaging in Orthodontics. *Turk J Orthod*. 2018 Sep;31(3):88-94.
[4] Kumar P, Ziegler A, Ziegler J, Uchanska-Ziegler B, Ziegler A. Grasping molecular structures through publication-integrated 3D models. *Trends Biochem Sci [Internet]*. 2008 Sep [cited 2018 Dec 3];33(9):618-12. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0968090408001473>
[5] Taking Documents to the Next Level with PDF 2.0 [Internet]. Adobe Blog. 2017 [cited 2019 Apr 9]. Available from: <https://theblog.adobe.com/taking-documents-to-the-next-level-with-pdf-2-0/>
[6] Grasse D, Cavallone LSH, Proffitt WR. Working with DICOM craniofacial images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop [Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod]*. 2009 Sep;136(3):460-70.
[7] Schendel SA, Jacobson B. Three-dimensional imaging and computer simulation for office-based surgery. *J Oral Maxillofac Surg [Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg]*. 2009 Oct;67(10):2107-14.
[8] History of PDF - rgbemk [Internet]. [cited 2018 Dec 29]. Available from: <http://rgbemk.com.au/en/history-of-pdf/>
[9] Phelps A, Naeger DM, Marcovici P. Embedding 3D radiology models in portable document format. *AJR Am J Roentgenol*. 2012 Dec;199(6):1342-4.
[10] Euzhenotomez B, Hoff M. Embedding 3D models of biological specimens in PDF publications. *Microsc Res Tech [Internet]*. 2013;77(7):778-86. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jemt.22618>
[11] News A, Ganshardt T. Simplified generation of biomedical 3D surface model data for embedding into 3D portable document format (PDF) files for publication and education. *PLoS One*. 2015;8(11):e016004.
[12] Carroll FR, Venkatesh A, Demireu AR. Twelve tips for enhancing anatomy teaching and learning using radiology. *Med Teach*. 2015;37(12):1067-71.
[13] Pujol S, Baldwin M, Nassiri J, Kikitar R, Shaffer K. Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Acad Radiol [Internet]*. 2016 Apr [cited 2016 Jun 24];23(4):507-16. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1076633216000167>
[14] News A, Becker L. Using Interactive 3D PDF for Exploring Complex Biomedical Data: Experiences and Solutions. *Stud Health Technol Inform*. 2016;228:740-4.
[15] Application and Evaluation of Interactive 3D PDF for Presenting and Sharing Planning Results for Liver Surgery in Clinical Routine [Internet]. [cited 2018 Jun 8]. Available from: <http://journal.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0115697>
[16] Markiewicz MR, Bell RB. The use of 3D imaging tools in facial plastic surgery. *Facial Plast Surg Clin N Am*. 2011 Nov;19(4):655-682. in:
[17] Westermarck A, Zachow S, Eppley BL. Three-dimensional osteotomy planning in maxillofacial surgery including soft tissue prediction. *J Craniofac Surg*. 2005 Jan;14(1):100-4.
[18] Rydhmark M, Kling-Petersen T, Pascher K, Philip F. 3D visualization and stereographic techniques for medical research and education. *Stud Health Technol Inform*. 2001;81:436-9.



9.1.5. ARTÍCULO EN CONGRESO SERAM 2016.

PRESENTACIÓN ELECTRÓNICA EDUCATIVA.



0 - APLICACIÓN DE DOCUMENTOS PDF-3D PARA REPRESENTAR IMÁGENES TRIDIMENSIONALES EN (NEURO)RADIOLOGÍA

R.D. Tabernero Rico¹, J.A. Juanes Méndez² y A. Prats Galino³

¹Hospital Virgen de la Concha, Zamora, España. ²Universidad de Salamanca, Salamanca, España. ³Universidad de Barcelona, Barcelona, España.

Resumen

Objetivo docente: Mejorar la visualización y comprensión de estructuras anatómicas complejas mediante las imágenes 3D. Obtener herramientas útiles para la correcta percepción espacial de regiones anatómicas.

Revisión del tema: La creación de documentos PDF con imágenes en 3D se compone de varias fases y depende de diferentes paquetes de software. El número de herramientas puede reducirse a dos aplicaciones: para la generación de datos de la escena 3D y para generar el PDF final. El resultado final es un archivo en formato PDF con modelos tridimensionales de la región anatómica de interés (en nuestro trabajo de la columna lumbar). El usuario podrá visualizar la región anatómica de interés únicamente con el programa Adobe Reader (versión 10 o superior) que le permite interactuar con el modelo y manipular las imágenes 3D en los tres planos del espacio.

Conclusiones: Los modelos 3D son una herramienta útil para el entendimiento de regiones anatómicas complejas. Estas técnicas pueden ser aplicadas en varios ramas; en ámbito clínico, educativo y de investigación. Las imágenes 3D proporcionan una mayor cantidad de datos y con mayor precisión que las imágenes convencionales bidimensionales.

See front matter © 2016 Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados



APLICACIÓN DE DOCUMENTOS PDF-3D PARA REPRESENTAR IMÁGENES TRIDIMENSIONALES EN (NEURO)RADIOLOGÍA.

Tipo: Presentación Electrónica Educativa

Autores: Roberto D. Tabernero Rico, Juan A. Juanes Méndez, Alberto Prats Galino

Objetivos Docentes

Los objetivos que nos planteamos a la realización del presente trabajo:

Mejorar la visualización y comprensión de estructuras anatómicas complejas mediante imágenes en tres dimensiones.

Obtención de herramientas útiles para la percepción espacial de regiones anatómicas complejas.

Revisión del tema

La creación de documentos en formato PDF con imágenes en tres dimensiones se compone de varias fases y son necesarios diferentes paquetes de software.

El número de herramientas puede reducirse principalmente a dos aplicaciones:

- para la generación de datos de la escena 3D.
- para generar el documento PDF final.

A partir de imágenes de RM de un estudio de columna lumbar y modelos de superficie (de la universidad de Barcelona), se registran en el programa de análisis de imágenes Amira 5.4.0.

Una vez el modelo 3D esté listo, se importa en un archivo PDF, con un conjunto de funciones JavaScript que permiten al usuario final interactuar con el modelo y de ese modo modificar su visualización en el área 3D.

El resultado es un documento en forma PDF con modelos tridimensionales de la región anatómica de interés (columna lumbar en nuestro estudio).

El usuario podrá visualizar la región anatómica de interés únicamente con el programa Adobe Reader (versión 10 o superior).



También podrá interactuar con el modelos y manipular las imágenes 3D en los diferentes planos de espacio realizando herramientas de zoom, rotación, sustracción de estructuras...

Imágenes en esta sección:

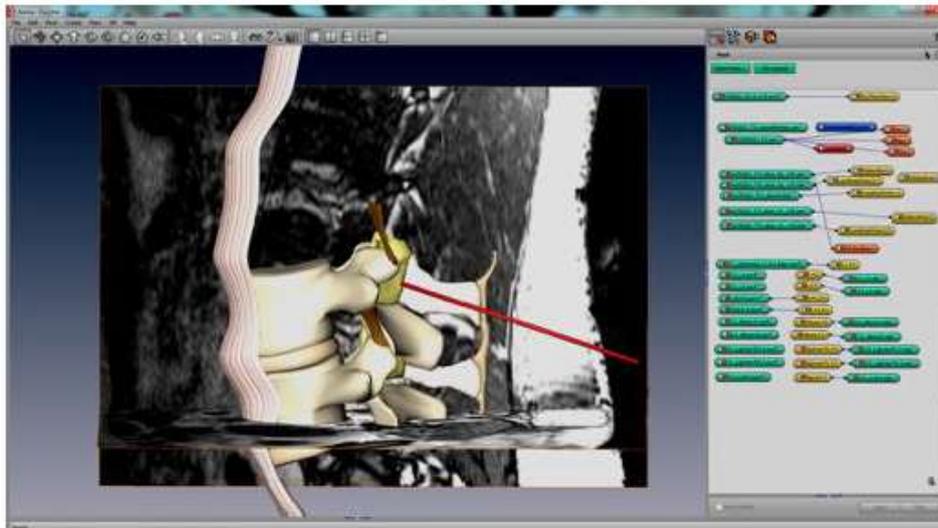


Fig. 1: Captura de pantalla

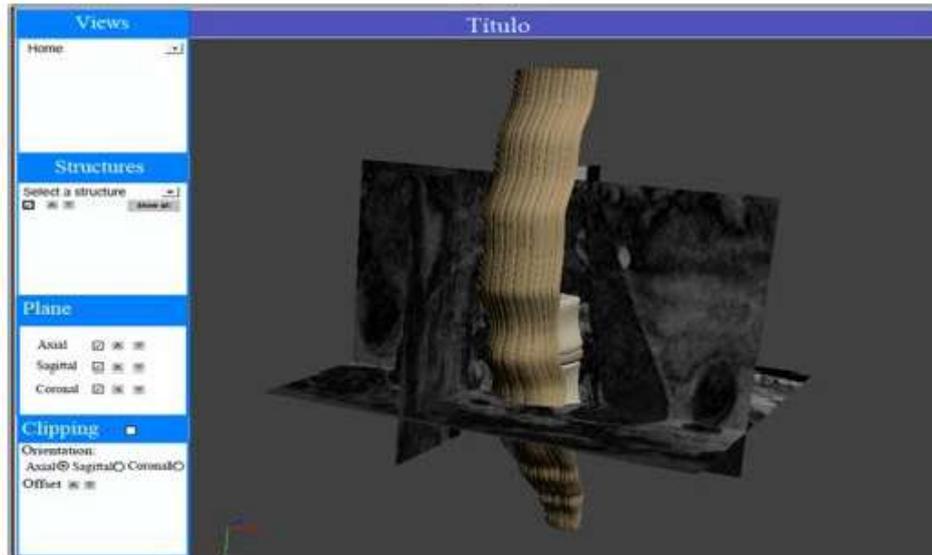


Fig. 2: Captura de pantalla.

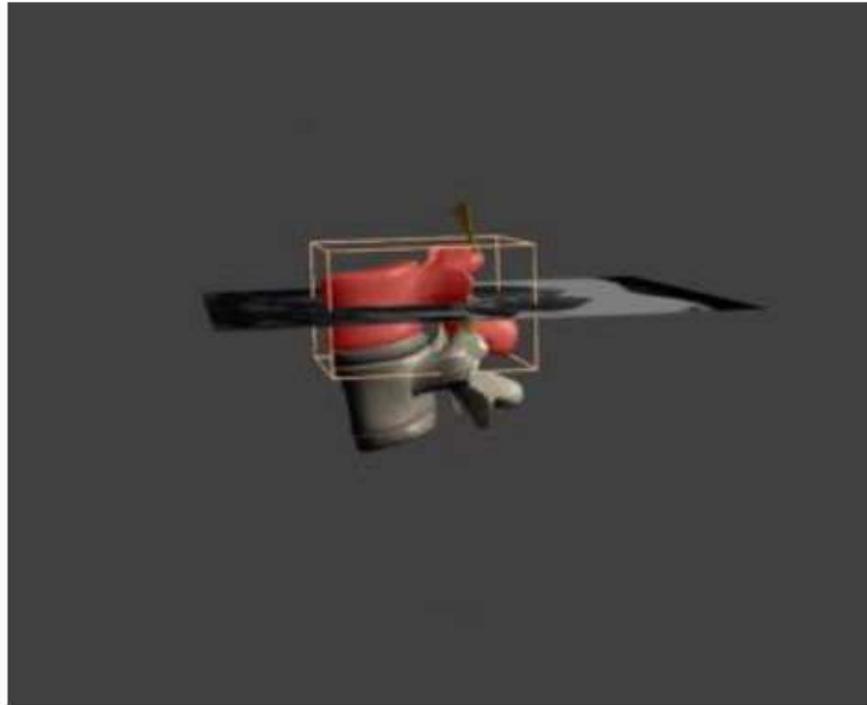


Fig. 3: Captura de pantalla. Programa PDF.

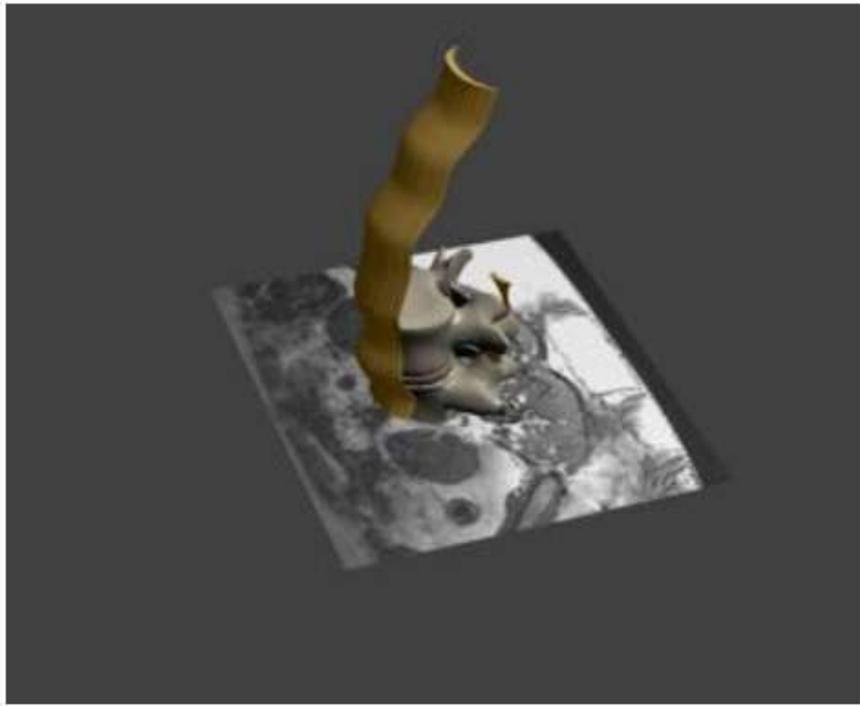


Fig. 4: Captura de pantalla. Ejemplo visión 3D

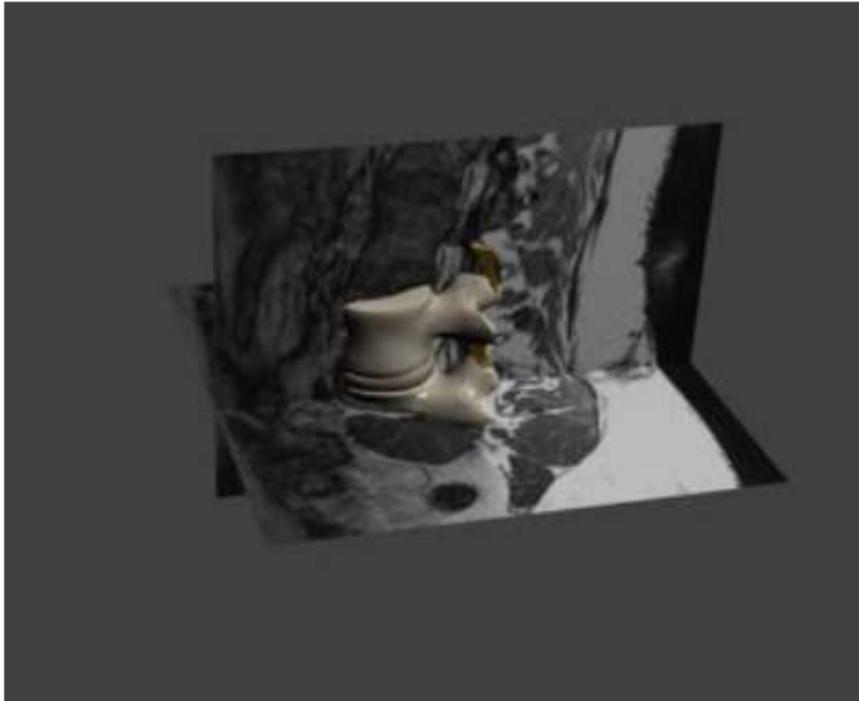


Fig. 5: Visión tridimensional.

Conclusiones

Los modelos 3D son una herramienta útil para mejorar el entendimiento de regiones anatómicas complejas.

Proporcionan una mayor cantidad de datos y con mayor precisión que las imágenes bidimensionales convencionales.

Se prevee un amplio campo de aplicación en diferentes ramas de la ciencia.

Imágenes en esta sección:

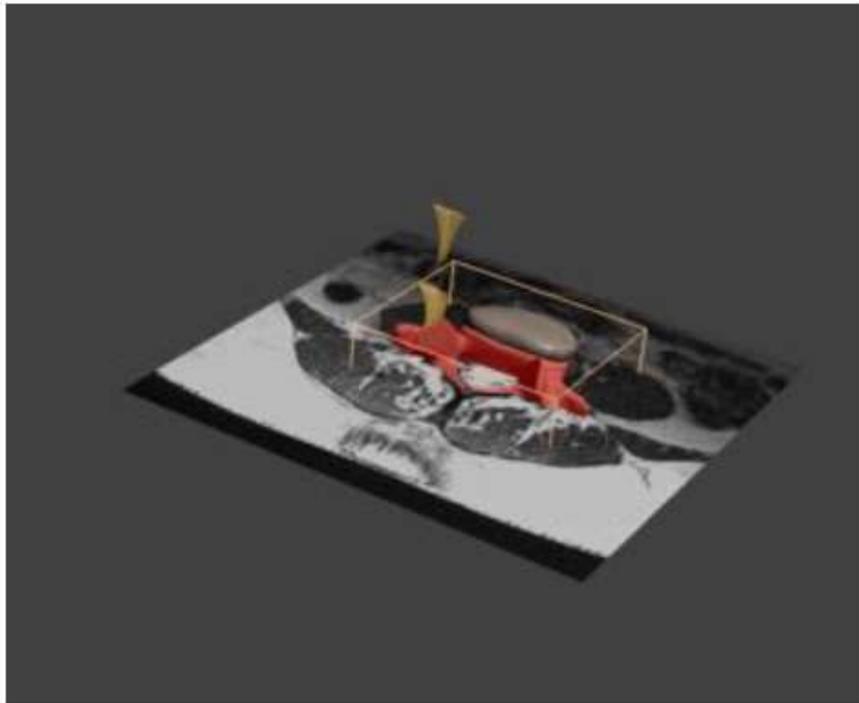


Fig. 6: PDF. Visión 3D

Bibliografía / Referencias

Newe A, Ganslandt T. Simplified generation of biomedical 3D surface model data for embedding into 3D portable document format (PDF) files for publication and education. *PloS One*. 2013;8(11):e79004.

Ruisoto P, Juanes JA, Contador I, Mayoral P, Prats-Galino A. Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anat Sci Educ*. 2012 Jun;5(3):132–7.

Richardson-Hatcher A, Hazzard M, Ramirez-Yanez G. The cranial nerve skywalk: A 3D tutorial of cranial nerves in a virtual platform. *Anat Sci Educ*. 2014 Mar 27;

Ruthensteiner B, Heß M. Embedding 3D models of biological specimens in PDF publications. *Microsc Res Tech*. 2008 Nov;71(11):778–86.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



9.1.6. ARTÍCULO EN CONGRESO SERAM 2018.

Presentación electrónica científica.

Comunicación oral. Recogida en la revista RADIOLOGÍA de la sociedad científica SERAM (Sociedad Española de Radiología Médica)

Radiología. 2018;60(Espec Cong):93

HERRAMIENTAS TRIDIMENSIONALES ÚTILES PARA EL POSPROCESADO DE LAS IMÁGENES RADIOLÓGICAS

R.D. Tabernero Rico¹, J.A. Juanes Méndez² y A. Prats Galino³

¹Hospital Virgen de la Concha, Zamora, España. ²Universidad de Salamanca, Salamanca, España. ³Universidad de Barcelona, Barcelona, España.



Radiología



HERRAMIENTAS TRIDIMENSIONALES ÚTILES PARA EL POSPROCESADO DE LAS IMÁGENES RADIOLÓGICAS

R.D. Tabernero Rico¹, J.A. Juanes Méndez² y A. Prats Galino³

¹Hospital Virgen de la Concha, Zamora, España. ²Universidad de Salamanca, Salamanca, España. ³Universidad de Barcelona, Barcelona, España.

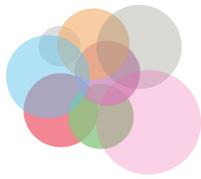
Resumen

Objetivos: Conocer el estado actual de las herramientas 3D. Demostrar la utilidad en la formación, de los modelos tridimensionales generados a partir del posprocesado de las imágenes radiológicas.

Material y métodos: Se generan modelos tridimensionales, en nuestro trabajo de la base del cráneo, a partir de imágenes radiológicas de tomografía computarizada multidetector (TCMD) y resonancia magnética (RM) obtenidas en nuestro centro. Este proceso se lleva a cabo mediante el posprocesado de las imágenes radiológicas convencionales.

Resultados: Las imágenes tridimensionales cada vez se están implantando más como herramientas complementarias en varios campos audiovisuales, tanto de la enseñanza como del diagnóstico médico (endoscopias virtuales...). En el presente trabajo, generamos imágenes tridimensionales y modelos 3D que se pueden exportar a cualquier ordenador personal para ser incluidos en documentos (PDF) en los que se permite la interacción, para su mejor visualización. Hay que resaltar que para todos estos procesos y su posterior uso no son necesarias estaciones de trabajo profesionales.

Conclusiones: Las imágenes 3D aportan mayor información que las imágenes convencionales. Por ello consideramos que estas herramientas resultan útiles para la enseñanza anatómica, y también en diagnóstico, acelerando el proceso de visualización y facilitando las capacidades de entendimiento. Otra ventaja de estos modelos es la facilidad para compartir y transmitir la información con otros usuarios; alumnos, docentes, colegas... permitiendo que cada usuario pueda interactuar con el documento original con el fin de facilitar el trabajo de enseñanza y análisis.



9.1.7. PRESENTACIÓN EDUCATIVA EN CONGRESO CENORA.

Modalidad póster electrónico educativo.

CENORA (Centro Norte Radiología). Asociación de radiología de la región centro-norte de España.



El Comité Organizador certifica que

D./D^{as}. Roberto Domingo Tabernero Rico, Méndez Juan Juanes, Galino Alberto Prats

han presentado una comunicación tipo poster en el
IX Congreso de la CENORA,
celebrado en Palencia los días 6 y 7 de octubre de 2017, con el título
HERRAMIENTAS TRIDIMENSIONALES ÚTILES EN RADIOLOGÍA

Y para que así conste, se expide el siguiente certificado en Palencia,
a 7 de octubre de 2017.

Dra. Blanca E. Viñuela Rueda.
Presidenta del IX Congreso de la CENORA



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO



HERRAMIENTAS TRIDIMENSIONALES ÚTILES EN RADIOLOGÍA

Roberto D. Tabernero Rico. LEA Radiodiagnóstico
HVC Zamora.

Juan Antonio Juanes Méndez. Grupo VisualMED.
Universidad de Salamanca.

Alberto Prats Galino. Laboratorio Anatomía.
Universidad de Barcelona.

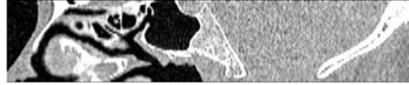


Objetivos

- Conocer el estado actual de las herramientas 3D en radiodiagnóstico.
- Demostrar la utilidad de los modelos tridimensionales generados a partir del postprocesado de las imágenes radiológicas.



Material y métodos



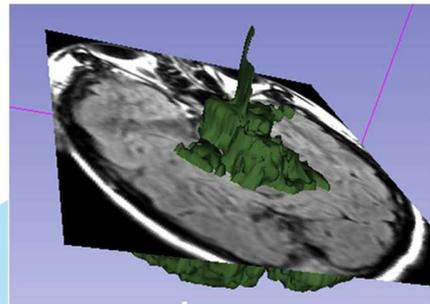
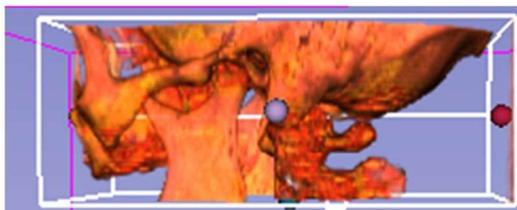
- Se generan modelos tridimensionales (base del cráneo) a partir de imágenes radiológicas de tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM).
 - Se obtienen imágenes de RM General Electrics Medical Care de 1,5 Tesla, y de TC (Philips, 64 detectores) de la base del cráneo a partir de estudios realizados en el Hospital Virgen de la Concha (Zamora, España)
- Este proceso se lleva a cabo mediante el postprocesado de las imágenes radiológicas convencionales.
 - Se seleccionan la serie de imágenes de interés y se almacenan en formato DICOM.

Las imágenes se incorporan al software convertidor 3D slicer© y son analizadas, reformateadas y transformadas para obtener modelos tridimensionales representativos del área de interés



Resultados

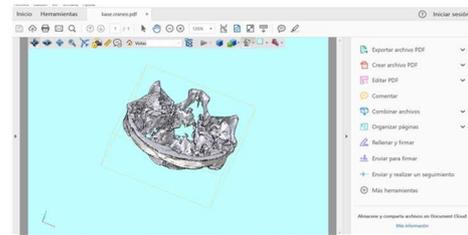
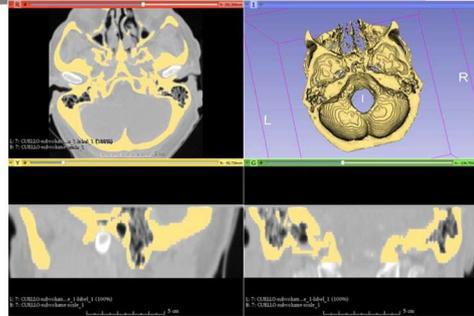
- Las imágenes tridimensionales cada vez se están implantando más como herramientas complementarias en varios campos audiovisuales, tanto de la enseñanza como del diagnóstico médico (endoscopias virtuales, salas quirúrgicas 3D...).





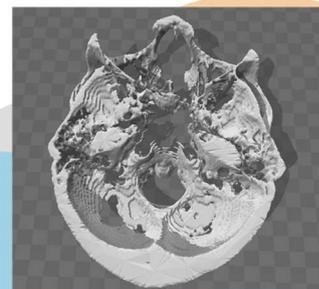
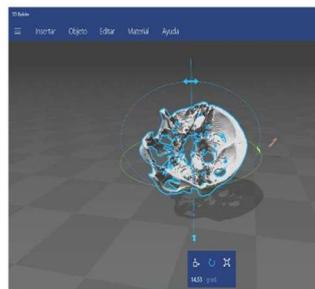
Resultados

- Se generan modelos e imágenes tridimensionales, que posteriormente son incluidos en un documento PDF en los que se permite la interacción, para su mejor visualización.
- Estos modelos pueden ser procesadas en cualquier ordenador personal sin la necesidad de una estación de trabajo profesional.



Resultados

- Mediante estos modelos se permite la interacción ofreciendo una serie de herramientas útiles de visualización y manejo que facilitan el trabajo y la comprensión de la región anatómica del área de estudio.





Conclusiones

- Las imágenes 3D aportan mayor información que las imágenes convencionales. Por ello consideramos que estas herramientas resultan útiles para la enseñanza anatómica, y también en diagnóstico, acelerando el proceso de visualización y facilitando las capacidades de entendimiento.
- Otra ventaja de estos modelos es la facilidad para compartir y transmitir la información con otros usuarios, alumnos docentes, colegas... permitiendo que cada usuario pueda interactuar con el documento original con el fin de facilitar el trabajo de enseñanza y análisis.



Bibliografía

- Tam MDBS. Building virtual models by postprocessing radiology images: A guide for anatomy faculty. *Anat Sci Educ.* 8 de septiembre de 2010;3(5):261-6.
- Hoyek N, Collet C, Di Rienzo F, De Almeida M, Guillot A. Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context: Teaching Anatomy Using 3D Digital Animation. *Anat Sci Educ.* 12 de noviembre de 2014;7(6):430-7.
- Preece D, Williams SB, Lam R, Weller R. «Let's get physical»: advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anat Sci Educ.* agosto de 2013;6(4):216-24.
- Pujol S, Baldwin M, Nassiri J, Kikinis R, Shaffer K. Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Acad Radiol.* abril de 2016;23(4):507-16.
- Newe, A. 2015. Towards an easier creation of three-dimensional data for embedding into scholarly 3D PDF (Portable Document Format) files. *PeerJ.* Mar 3;3:e794.
- Ruisoto, P., Juanes, JA., Contador, I., Mayoral, P., and Prats-Galino, A. 2012. Experimental evidence for improved neuroimaging interpretation using three-dimensional graphic models. *Anat Sci Educ.* May;5(3):132-7.

Declaración de conflicto de intereses si lo hubiera



9.1.8. PRESENTACIÓN CNIEM

Póster presencial educativo en 2º congreso CNIEM (Congresso Nacional de Investigaçã em Educaçã Médica).

Portugal. Noviembre 2016, bajo el título: Nuevas herramientas tridimensionales para el aprendizaje de la anatomía humana



4



Comunicações formato Poster – Sessão P1 | Currículo e Metodologias

P1.11

Nuevas herramientas tridimensionales para el aprendizaje de la anatomía humana

Roberto Domingo Tabernero Rico¹, Juan Antonio Juanes Méndez², Alberto Prats Galino³

¹ Hospital Virgen Concha. Complejo Asistencial de Zamora. Zamora, España

² Grupo VisualMed System. Universidad de Salamanca, Salamanca, España

³ Laboratorio de neuroanatomía. Facultad de medicina. Universidad de Barcelona, España

Background: La comprensión tridimensional de la anatomía es esencial para la formación de los estudiantes (1). Hasta el momento las herramientas didácticas empleadas son bidimensionales (atlas). Únicamente se conseguían modelos con la utilización de cadáveres para la disección. Con esta idea, se diseñó una herramienta con modelos 3D creados a partir de imágenes radiológicas. Esto ha sido posible gracias al desarrollo tecnológico en el postprocesado de las imágenes radiológicas (2).

Objetivos: Conocer el estado actual de las herramientas 3D. - Demostrar la utilidad de los modelos tridimensionales en el aprendizaje de las biociencias, en particular la anatomía.

Métodos: Se realiza una búsqueda bibliográfica en la base de datos MedLine. A continuación se generan modelos tridimensionales de la base del cráneo a partir de imágenes radiológicas de tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM). Este proceso se lleva a cabo en diferentes etapas.

Resultados: Las imágenes tridimensionales cada vez se están implantando más como herramientas complementarias en la enseñanza de biociencias. Se generan modelos 3D incluidos en un documento PDF en los que se permite la interacción, para su mejor visualización.

Conclusiones: Las imágenes 3D aportan más información que las convencionales. Por ello consideramos que estas herramientas resultan útiles para la enseñanza anatómica, acelerando el proceso y facilitando las capacidades de entendimiento (3–6). Otra ventaja de estos modelos es la facilidad para compartir y transmitir la información con otros usuarios permitiendo que cada usuario pueda modificar y ampliar el documento original con el fin de crear una herramienta de enseñanza personalizada.



PROGRAMA DE DOCTORADO

FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO




Roberto Domínguez Tabernero, PhD, Hospital Virgen-Ciudad, Comisión Asesora de Tecnología, Tecnología, Prof. Dr. Emilio (robertodominguez@usal.es)

BACKGROUND

La anatomía es un componente esencial de la educación médica, ya que es fundamental para el diagnóstico preciso de órganos y sistemas humanos.

La comprensión tridimensional de la anatomía es esencial para la formación de los estudiantes [1]. Hasta el momento las herramientas didácticas empleadas en la formación son bidimensionales (libros, atlas...). Únicamente la representación en tres dimensiones se consigue usando cadáveres para la disección.

Con esta idea, se diseña una herramienta con modelos 3D creados a partir de imágenes radiológicas. Esto ha sido posible gracias al desarrollo tecnológico en el postprocesado de las imágenes radiológicas [2].

OBJETIVOS

Conocer el estado actual de las herramientas 3D en la formación anatómica.

Demostrar la utilidad de los modelos tridimensionales en el aprendizaje de las biociencias, en particular la anatomía.

MÉTODOS

Se realiza una búsqueda bibliográfica en la base de datos MedLine.

A continuación se generan modelos tridimensionales de la base del cráneo a partir de imágenes radiológicas de tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM). Este proceso se lleva a cabo en diferentes etapas.

- 1. Se obtienen imágenes de RM General Electric Medical Care de 1.5 Tesla, y de TC (Philips, 64 detectores) de la base del cráneo a partir de estudios realizados en el Hospital Virgen de la Cándida (Zamora, España).
- 2. Se seleccionan la serie de imágenes de interés y se almacenan en formato DICOM para posteriormente trabajar con ellas.
- 3. Las imágenes obtenidas de los estudios radiológicos son formateo DICOM se incorporan al software 3D slicer® versión 3.4.0-1 obtenido de manera gratuita de la red.
- 4. Una vez cargadas las imágenes, son analizadas, reformateadas y transformadas para obtener modelos tridimensionales representativos del área de interés.

RESULTADOS

Se generan modelos e imágenes tridimensionales, que posteriormente son incluidos en un documento PDF en las que se permite la interacción, para su mejor visualización.

Estos modelos pueden ser procesados en cualquier ordenador personal sin la necesidad de una estación de trabajo profesional.

Mediante estos modelos se permite la interacción ofreciendo una serie de herramientas útiles de visualización y manejo que facilitan el trabajo y la comprensión de la región anatómica del área de estudio.

Las imágenes tridimensionales cada vez se están implantando más como herramientas complementarias en la enseñanza de biociencias.

CONCLUSIONES

Las imágenes 3D aportan más información que las convencionales. Por ello consideramos que estas herramientas resultan útiles para la enseñanza anatómica, acelerando el proceso y facilitando las capacidades de entendimiento [3-6].

Estos novedosos recursos de formación tridimensional se pueden integrar de manera efectiva junto con los métodos tradicionales de dibujos y esquemas, facilitando el aprendizaje de la anatomía de una manera eficiente con el fin de mejorar el proceso de enseñanza de la anatomía.

Otro ventaja de estos modelos es la facilidad para compartir y transmitir la información con otros usuarios permitiendo que cada usuario pueda modificar y compilar el documento original con el fin de crear una herramienta de enseñanza personalizada.

BIBLIOGRAFIA

1. Marjanska L, Taha T, Linn K, Avants B, Haynor D, Sussner W, et al. An integrated workflow method of gray-matter and white-matter brain MRI segmentation. *IEEE Trans Med Imaging* 2011; 30(12):2142-54.
2. Tom MARS. Building virtual reality by postprocessing radiology images. A guide for anatomy faculty. *Anat Sci Educ* 2014; 8(1):1-16.
3. Hayes M, Collier C, Di Biase F, De Almeida M, Collier A. White-matter of three-dimensional digital cadaver: 3D modeling. *PLoS ONE* 2015; 10(12):e0182516.
4. Prasad D, Williams SB, Lee K, White A, Hight, and physiological characteristics of a physical model over 3D computer models and techniques in learning imaging anatomy. *Anat Sci Educ* 2015; 9(1):1-14.
5. Papp S, Redman M, Hayes M, Hayes M, Hayes M, Hayes M. 3D Modeling techniques to enhance teaching of difficult anatomical concepts. *Anat Sci Educ* 2015; 9(1):1-14.
6. Collier M, Prasad D, Sussner W, Avants B, Haynor D, Gifford JG, et al. Development and utilization of a web-based 3D visualization tool for radiology teaching. *IEEE Trans Med Imaging* 2014; 33(12):2374-85.



