



COLECCIÓN CONOCIMIENTO CONTEMPORÁNEO

**Las ciencias sociales,  
las humanidades  
y sus expresiones artísticas  
y culturales: una tríada  
indisoluble desde  
un enfoque educativa**

Coords.

Bartolomé Pizà-Mir  
María del Mar Suárez Vilagran  
Rocío Gavilanes Pérez  
Herminia Planisi Gil  
Irina Capriles González  
Concepció Bauçà de Mirabò  
Joan Josep Matas Pastor

*Dykinson, S.L.*



Esta obra se distribuye bajo licencia

Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

La Editorial Dykinson autoriza a incluir esta obra en repositorios institucionales de acceso abierto para facilitar su difusión. Al tratarse de una obra colectiva, cada autor únicamente podrá incluir el o los capítulos de su autoría.

LAS CIENCIAS SOCIALES, LAS HUMANIDADES Y SUS EXPRESIONES ARTÍSTICAS Y CULTURALES:  
UNA TRÍADA INDISOLUBLE DESDE UN ENFOQUE EDUCATIVO

Diseño de cubierta y maquetación: Francisco Anaya Benítez

© de los textos: los autores

© de la presente edición: Dykinson S.L.

Madrid - 2024

N.º 162 de la colección Conocimiento Contemporáneo

1ª edición, 2024

ISBN: 978-84-1170-584-4

NOTA EDITORIAL: Los puntos de vista, opiniones y contenidos expresados en esta obra son de exclusiva responsabilidad de sus respectivos autores. Dichas posturas y contenidos no reflejan necesariamente los puntos de vista de Dykinson S.L, ni de los editores o coordinadores de la obra. Los autores asumen la responsabilidad total y absoluta de garantizar que todo el contenido que aportan a la obra es original, no ha sido plagiado y no infringe los derechos de autor de terceros. Es responsabilidad de los autores obtener los permisos adecuados para incluir material previamente publicado en otro lugar. Dykinson S.L no asume ninguna responsabilidad por posibles infracciones a los derechos de autor, actos de plagio u otras formas de responsabilidad relacionadas con los contenidos de la obra. En caso de disputas legales que surjan debido a dichas infracciones, los autores serán los únicos responsables.



COLECCIÓN CONOCIMIENTO CONTEMPORÁNEO

---

LAS CIENCIAS SOCIALES, LAS HUMANIDADES  
Y SUS EXPRESIONES ARTÍSTICAS Y  
CULTURALES: UNA TRÍADA INDISOLUBLE  
DESDE UN ENFOQUE EDUCATIVA

---

Coords.

BARTOLOMÉ PIZÀ-MIR  
MARÍA DEL MAR SUÁREZ VILAGRAN  
ROCÍO GAVILANES PÉREZ  
HERMINIA PLANISI GIL  
IRINA CAPRILES GONZÁLEZ  
CONCEPCIÓ BAUÇÀ DE MIRABÒ  
JOAN JOSEP MATAS PASTOR

*Dykinson, S.L.*

2024

# OPTIMIZANDO LA EDUCACIÓN. EQUILIBRIO ENTRE TRADICIÓN (MODELOS FÍSICOS) Y DIGITALIZACIÓN DEL PATRIMONIO ACADÉMICO EN LAS CARRERAS CIENTÍFICAS

---

ISABEL M. GARCÍA FERNÁNDEZ

*Universidad Complutense de Madrid*

MARÍA EUGENIA BLÁZQUEZ RODRÍGUEZ

*UDIT Universidad de Diseño y Tecnología*

*Universidad Complutense de Madrid*

MACIEJ WYSOKINSKI

*Universidad Complutense de Madrid*

## 1. INTRODUCCIÓN

El patrimonio académico, en la actualidad, se ha convertido en un área de estudio de gran relevancia en múltiples niveles educativos. Más allá de ser un mero interés histórico, su preservación y uso adecuado representan una tarea vital que moldea el presente y el futuro de la educación, la investigación y la formación en muchas disciplinas. Comprender la esencia del patrimonio académico es reconocer su profunda importancia, lo cual nos impulsa a tomar medidas proactivas para su protección y promoción. En última instancia, asegurar que el legado de los educadores y creadores que nos precedieron continúe informando e inspirando a las generaciones venideras es fundamental para el crecimiento del conocimiento y la cultura.

En este capítulo, exploraremos en detalle qué es el patrimonio académico y cuál es su función, centrándonos en su papel en la educación actual y cómo la digitalización está abriendo nuevas formas de acceso y apreciación de este valioso recurso.

Desde la Universidad Complutense de Madrid llevamos trabajando más de diez años en el estudio y la utilización del patrimonio académico como herramienta de aprendizaje en diferentes etapas educativas (García et al. 2017). Como ya se ha recogido en varias publicaciones, este patrimonio cumple con tres funciones fundamentales: investigación, docencia y difusión que se establecieron desde el siglo XIX en Europa y que siguen vigentes en la actualidad (García, 2018); el acercamiento a estas funciones ha sido muy diverso, teniendo en cuenta que la cuestión práctica ha sido esencial. Pasadas dos décadas del siglo XXI, reconocemos que esta etapa está caracterizada por un rápido desarrollo de la tecnología, es precisamente a través de su uso, que queremos darle un nuevo enfoque para ampliar su acceso universal y adaptar las propuestas a los nuevos medios de enseñanza, a la vez que se intenta perseguir la preservación de estos objetos.

Vamos a presentar varias propuestas en las que trabajamos con objetos de valor científico y patrimonial ofreciendo soluciones accesibles de digitalización, tanto para el profesorado como para el alumnado, de enseñanza secundaria y universitaria.

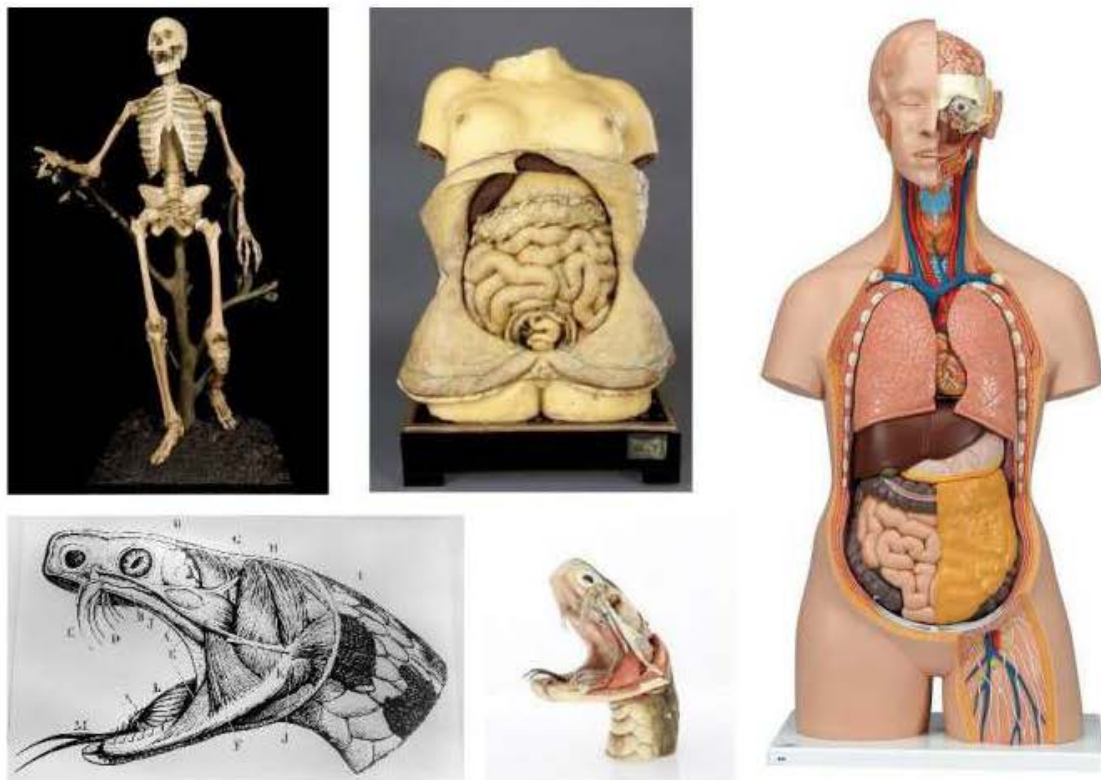
### 1.1. LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Las nuevas tecnologías proporcionan una experiencia interactiva e inmersiva. Utilizando los sentidos de la visión y el tacto, se potencia la comprensión de los contenidos con el fin de fijar los conceptos complejos, esta máxima era seguida en la propuesta de las actividades didácticas planteadas por el profesorado ya en el siglo XIX en niveles de educación secundaria y universitarios. A lo largo de esta época, se produjeron cambios significativos en la enseñanza de las ciencias naturales, influenciados por desarrollos científicos (Bernard, 1865) (Ochoa y Barahona, 2009) y reformas educativas (Ley de Instrucción Pública, 1857). En la segunda mitad del siglo XIX, Francia lideró una reforma estructural en la educación que promovió un sistema pedagógico más inclusivo y basado en la observación y experimentación, en lugar de la memorización (Durkheim, 2020). Se introdujeron objetos reales, láminas didácticas ilustradas y modelos tridimensionales fabricados en distintos materiales como herramientas de apoyo efectivas para la

transmisión del conocimiento. España adoptó el modelo educativo experimental de Francia (Sanz, F., 1985), de esta manera, se revalorizó la enseñanza de las ciencias, con un enfoque centrado en el desarrollo de la capacidad de observación de los estudiantes (Martín, 2013). Se promovió la enseñanza práctica y se crearon escuelas superiores de ciencias exactas, física y química, museos de historia natural y observatorios astronómicos.

En institutos de enseñanza secundaria, se establecieron áreas de conocimiento que incluían matemáticas, física, química y ciencias naturales. Se crearon gabinetes con colecciones de especímenes e instrumentos científicos en estos institutos, lo que fomentó el aprendizaje práctico y activo (López-Ocón et al. 2012).

**FIGURA 1.** Modelos didácticos utilizados en la enseñanza de la anatomía a lo largo de la historia; para su creación se utilizaron desde láminas hasta modelos tridimensionales: esqueletos, modelos en cera, papel maché o los más modernos fabricados en plástico.



Fuente: Museos y colecciones de la Universidad Complutense de Madrid

La necesidad de proporcionar materiales adecuados a esta práctica dio lugar a una industria muy lucrativa en Europa, sobre todo en Francia, que tomó la delantera, aunque no hay que perder de vista a países como Alemania que produjeron muchos materiales didácticos. Los objetos fabricados y los especímenes naturalizados proporcionaron una mejoría considerable de la percepción espacial y las cualidades físicas de los referentes que replicaban los modelos. Además de estos modelos a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX se promovió también lo que se denominaba como "ciencia recreativa" que alentaba a los estudiantes a fabricar sus propios objetos científicos. Durante el siglo XX los modelos en tres dimensiones siguieron utilizándose, siendo más numerosos y asequibles (Guijarro, 2018).

## 2. OBJETIVOS

Nuestro objetivo principal en esta investigación se centra en demostrar la relevancia del recurso didáctico que ofrecen las piezas científicas desmontables del patrimonio académico, teniendo en cuenta la posibilidad de interpretarlas mediante tecnología 2D y 3D dentro de la enseñanza secundaria y superior, disponibles en la actualidad. Como objetivos específicos, consideramos que mostrar la importancia del patrimonio académico en la enseñanza de las ciencias, ayuda a sensibilizar a la comunidad académica y al público en general sobre el valor del patrimonio académico en el proceso educativo de las ciencias.

Asimismo, nos proponemos recuperar las funciones y capacidades didácticas de las colecciones académicas y actualizar estas colecciones, para aprovechar como herramientas de enseñanza efectivas, brindando experiencias de aprendizaje prácticas y contextuales.

Por último, trabajamos en actualizar y ampliar las aplicaciones del patrimonio académico utilizando las nuevas tecnologías, especialmente en la conversión de recursos en formatos 2D y 3D. La digitalización permite una exploración más interactiva y detallada de los objetos, lo que enriquece la experiencia de aprendizaje de estudiantes y docentes.

Para alcanzar estos objetivos, es esencial contar con un plan estratégico que involucre a instituciones académicas, museos, tecnólogos, educadores y expertos en patrimonio.

En última instancia, la consecución de estos objetivos ayudará a preservar la herencia científica, enriquecer la educación en ciencias y fomentar un mayor interés en las disciplinas académicas, al tiempo que se aprovechan las ventajas de las nuevas tecnologías para un aprendizaje más efectivo y atractivo.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en esta investigación combina enfoques cuantitativos y cualitativos para abordar de manera integral y significativa la intersección entre patrimonio, pedagogía y nuevas tecnologías.

Con esta metodología se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo y sistemático en el campo de estudio. Esto se ha logrado mediante una revisión bibliográfica que abarca la historia de la educación, la pedagogía y el impacto de la tecnología en la enseñanza. Se ha investigado en profundidad también la bibliografía referente a las piezas desmontables del Dr. Auzoux, revisando artículos científicos relevantes. Además, se han realizado trabajos de campo en colaboración con la Universidad de Lille de Francia e institutos de secundaria, como el IES San Isidro de Madrid, enfocados en proyectos de innovación educativa. En esta fase se han organizado exposiciones y cursos. Una significativa ha sido la titulada *Siguiendo los pasos del Dr. Auzoux. Colecciones científico-culturales y artísticas complutenses y del IES San Isidro*, participando con ella en el programa de Innovación y formación del profesorado de enseñanza primaria y secundaria, que se puso en marcha entre la Universidad Complutense de Madrid y la Comunidad de Madrid. Los resultados fueron la realización de fichas didácticas para la aplicación práctica en las aulas de lo observado. Se contó con la participación de alrededor de 30 institutos y cerca de 50 docentes en este proceso.

Durante el curso, se realizó una aproximación a la adecuación del material didáctico y su impacto en las clases mediante conversaciones con los docentes. El material didáctico en cuestión abarca desde piezas

compactas como esqueletos, láminas descriptivas hechas en diferentes materiales (cera, yeso, plástico) hasta su digitalización. El objetivo principal del estudio fue evaluar cómo, además, las tecnologías educativas actuales proporcionan eficacia, eficiencia, accesibilidad, usabilidad, posibilidad de escalabilidad y beneficiosas basándose en consideraciones económicas.

#### 4. ELECCIÓN DE CASO DE ESTUDIO

Entre el vasto conjunto de materiales didácticos producidos en Europa durante el siglo XIX, hemos seleccionado un grupo que consideramos altamente ilustrativo y que ha recibido un merecido reconocimiento en las últimas décadas. Nos referimos a los modelos anatómicos desmontables creados por el Dr. Auzoux, que han sido públicamente conocidos desde 1825. Estos modelos se encuentran en uso en universidades e institutos de enseñanza secundaria y representan un ejemplo altamente pertinente para cumplir con nuestros objetivos (Instituto de San Isidro, ca. 1876).

Como hemos mencionado anteriormente, en la segunda mitad del siglo XIX, la pedagogía experimental irrumpió en la educación en Francia, y en España, a partir de 1857 con la Ley Moyano, se comenzó a implementar un sistema educativo inspirado en el modelo francés. En el ámbito de las ciencias, se promovió la valoración de la observación, el uso de métodos de enseñanza intuitivos, experimentales y basados en la práctica (Aragón, S., 2003). Esta transición de las dos dimensiones a la creación de modelos en tres dimensiones se aplicó en diversas disciplinas científicas, incluyendo la anatomía (Viejo, 2022).

En nuestro trabajo, hemos seleccionado modelos que asombraron a académicos y científicos de la época debido a su precisión, funcionalidad y belleza. El médico francés Louis Thomas Jérôme Auzoux fue ampliamente reconocido en su tiempo y su legado perdura hasta nuestros días debido a su contribución activa a la formación y al avance del conocimiento científico. Se puede afirmar que revolucionó la enseñanza en estas disciplinas a través del diseño y fabricación de modelos

anatómicos en tres dimensiones que se podían ensamblar y desmontar fácilmente, permitiendo el acceso a todas las partes y detalles anatómicos. Estos modelos alcanzaron un gran éxito y llegaron a constituir un patrimonio artístico y científico inigualable en muchas instituciones educativas en todo el mundo.

Sus prototipos fueron innovadores en su época debido a gran conocimiento de la anatomía; además, su inquietud por encontrar los mejores métodos le llevó a experimentar hasta elegir los materiales más adecuados y desarrollar un método de fabricación puntero; a todo ello se sumó su visión empresarial. Su objetivo principal era facilitar el aprendizaje en escuelas, universidades, hospitales y otros centros de formación. Estos modelos se convirtieron en herramientas indispensables para la enseñanza aplicada de la anatomía humana, la anatomía comparada, la veterinaria y la botánica (Degueurce, 2013). Se produjeron en serie sin comprometer su rigor científico, lo que permitió su amplia difusión y la creación de un próspero negocio que incluso vendía ejemplares fuera de Francia, en los cinco continentes.

En la Universidad Complutense de Madrid, contamos con una extensa colección de estos modelos, especialmente en el ámbito zoológico, que se encuentran distribuidos en diversas facultades. Hemos colaborado en varios proyectos multidisciplinarios con otras universidades, en particular, la Universidad de Lille, así como con institutos de enseñanza secundaria como el IES San Isidro de Madrid, ambos con importantes colecciones de modelos. El objetivo de estos proyectos ha sido profundizar en la comprensión de estos objetos patrimoniales para su uso en la enseñanza, buscar las mejores prácticas para su conservación, restauración y divulgación entre el cuerpo docente, los investigadores y el público en general (VV.AA., 2017 y 2018). Hasta la fecha, hemos organizado tres exposiciones y hemos restaurado y digitalizado muchos de los ejemplares para facilitar su acceso y uso en línea. La respuesta y participación por parte de estudiantes y profesores universitarios y de enseñanza secundaria ha sido sumamente positiva, aceptando con entusiasmo las nuevas propuestas para su utilización en clases prácticas.

## 5. DIGITALIZACIÓN DEL PATRIMONIO

El avance acelerado de las soluciones tecnológicas relacionadas con la captura de la imagen y el procesamiento gráfico computacional, notoriamente evidente en las últimas dos décadas, ha proporcionado diferentes herramientas que permiten realizar las copias virtuales de los objetos físicos con diferentes niveles de complejidad. La disponibilidad de las cámaras digitales, capaces de proporcionar una imagen de calidad aceptable a precio económico, justifica un inmenso número de programas de postproducción visual cada vez más asequibles para los usuarios no especializados. Sirvan de ejemplo las aplicaciones móviles y las plataformas en línea, destinadas a la edición de imágenes fijas y en movimiento. Además, la tendencia actual cuenta con la optimización de su funcionamiento mediante los modelos de Inteligencia Artificial, apostando por la semiautomatización y automatización de los procesos de edición. Teniendo en cuenta la popularización de los dispositivos electrónicos que permiten la reproducción de las imágenes digitales y el acceso directo a los datos mediante la conexión a Internet, una alta demanda respecto a la creación de los contenidos digitales no se limita a los sectores altamente especializados.

La posibilidad de la digitalización de los objetos físicos presenta una serie de oportunidades para alcanzar fines didácticos, aprovechando estos medios para la transmisión de conocimiento y ampliando las formas de aprendizaje. La manera más simple de digitalizar es mediante una fotografía o un vídeo. En este caso se realiza la conversión de una señal analógica en valores numéricos referentes a diferentes intensidades establecidas. A continuación, los datos de cuantificación se adscriben separadamente dentro de una rejilla cuadrículada que hace referencia a la resolución espacial, denominada mapa de bits, siguiendo el mismo patrón en un eje horizontal y vertical. Un bit es una unidad binaria mínima, mientras que el píxel, una abreviación de *Picture Element*, suele ser utilizado como el contenedor de la información mínima de la representación visual. Cada píxel contiene la información cromática codificada en tres colores primarios de la mezcla aditiva RGB (rojo, verde y azul), cuya mezcla permite representar todos los colores del espectro visible para el ojo humano. Una alta resolución espacial y la memoria

suficiente asignada a cada ráster, correspondiente al número de tonos posibles de reproducir, proporcionan una imagen detallada y de alta calidad. No obstante, el resultado en formato bidimensional está subordinado a las decisiones de composición tomadas durante la captura, lo que limita la posibilidad de cambiar el punto de vista, la perspectiva, e impide la interacción con la información codificada. Dependiendo de la disciplina y de los fines educativos, este formato puede resultar insuficiente para representar las características volumétricas del objeto examinado, dificultando la comprensión de los términos percibidos como abstractos por parte del alumnado (Izquierdo Pardo et al., 2020).

Las tecnologías recientes permiten digitalizar los objetos reales en formato tridimensional, lo que presenta cierta ventaja con respecto a las imágenes rasterizadas, aumentando la precisión en la visualización de los detalles, como las texturas, el color, la percepción espacial y otras especificaciones físicas propias del material (De la Torre Cantero et al., 2013). En el caso de la digitalización 3D, la conversión de una señal analógica en valores numéricos se traslada a las coordenadas espaciales con el propósito de representar la geometría del objeto original. Una vez recreado el modelo, cabe la posibilidad de asociar los datos relativos a la textura correspondiente a la malla, ya sea obtenidos durante el escaneo a través de los datos tricromáticos capturados (Díaz Alemán, 2021) o generados mediante un *software* especializado.

Uno de los principales beneficios de la incorporación de los modelos 3D en la enseñanza es su aspecto interactivo e inmersivo. Los objetos digitalizados se pueden girar, escalar, y, en casos más elaborados, hasta es posible incluir la opción de la descomposición del objeto, realizar una animación o incluir información semántica, referente a las partes completas del modelo o vinculándolos con otros presentes en la base de datos creada. Sirva de ejemplo la plataforma *Complete Anatomy*, ampliamente utilizada en la enseñanza de la anatomía humana. Gracias a la integración de las tecnologías basadas en la Realidad Aumentada, permite combinar elementos de los mundos físico y virtual en tiempo real. Los estudiantes pueden visualizar modelos anatómicos tridimensionales en una mesa de cirugía, reproducir animaciones realistas y utilizar herramientas virtuales de disección. La base de datos de la

aplicación cuenta con una amplia variedad de modelos anatómicos completos, ampliados con los materiales audiovisuales y vinculados entre ellos. Además, implica la colaboración entre alumnos y profesores en el modo multiusuario (Motsinger, 2020). El éxito de esta aplicación en la enseñanza demuestra su potencial para aplicar soluciones tecnológicas similares en otras disciplinas académicas, en base a las piezas didácticas digitalizadas.

Tratándose de los objetos físicos originales, pertenecientes al patrimonio académico, su uso no solo se limita a una persona, sino que, debido a su alto valor, con frecuencia cuenta con el acceso restringido a la parte del profesorado. Asimismo, no se trata de crear un sustituto virtual adecuado de los objetos reales, pero su extensión da la posibilidad de una percepción ilimitada, desbloqueando nuevos puntos de vista. Los estudiantes logran un acceso autónomo al objeto dentro y fuera del aula, y a la vez este complemento presenta una ventaja para prevenir su deterioro (Hernández-Muñoz et al., 2023; Nikonova & Biryukova, 2017).

Por consiguiente, la función educativa coincide con la restaurativa. Tratándose de la documentación referente a los objetos de patrimonio, la fotografía bidimensional requiere sacar numerosas tomas de diferentes ángulos adjuntando la información textual relevante a cada una de ellas. Además, estas anotaciones semánticas se vinculan mediante la selección de unas áreas definidas por los píxeles, lo que requiere un trabajo manual, sin posibilidad de guardar la información sobre la conexión espacial de los elementos examinados, y frecuentemente tiene forma de una leyenda que acompaña la representación gráfica. Basándose en un modelo tridimensional, las anotaciones hacen referencia a la representación real del objeto. Esto permite crear diferentes capas de información: sobre su deterioro, material o forma; presentar una evolución temporal del objeto utilizando el mismo modelo; vincular los datos de patrones definidos entre diferentes elementos y documentos colaborativos; y también, por terminar con los ejemplos, implementar las soluciones tecnológicas que permitan una detección automática, o semiautomática, de las zonas de interés (Croce et al., 2020). En caso de la restauración esta información resulta de mayor fidelidad, sobre todo cuando se monitoriza el estado de la pieza mediante los escaneados

sistemáticos. Además, disponer de un modelo 3D permite realizar una reconstrucción o modificación digital, siendo provechoso para la investigación, por ejemplo, del análisis histórico referente a las fases de creación de una obra concreta (Pieraccini et al., 2001).

Otro valor añadido respecto a la digitalización tridimensional de los objetos para los fines didácticos y/o restaurativos es la posibilidad de su reproducción física mediante la impresión 3D (Saorin et al., 2015). A través de un estudio exhaustivo, Forda y Minshalla (2019) identifican las disciplinas científicas donde el uso de esta solución tecnológica es prevalente, basándose en los datos recopilados de unas 280 publicaciones académicas sobre el tema. Como señalan los investigadores, en la educación preuniversitaria, el uso de los artefactos creados mediante la impresión 3D destaca en la impartición de las asignaturas de ciencias puras, como química, física o matemáticas. A nivel de educación superior, su uso está más extendido, tratándose sobre todo en las carreras de ingeniería, anatomía, medicina, paleontología, biología, odontología, zoología y recreación de las piezas de patrimonio para su uso en los estudios artísticos. Además, los autores mencionan que la implementación de los modelos 3D impresos es factible en casi todas las áreas de la enseñanza, dado que su uso tiene un impacto positivo a nivel de motivación y participación en la clase, y eleva el realismo gracias a la materialización de los conceptos intangibles.

La elección de una solución tecnológica óptima para la digitalización tridimensional depende de las características físicas del objeto a capturar y de los niveles de precisión requeridos para la representación del material y las superficies, en función de los distintos fines educativos. Las distintas técnicas quedan englobadas en dos categorías principales, pasiva y activa, referentes al modo de la obtención de los datos que utilizan para recrear la forma geométrica del objeto examinado.

Las herramientas de captura activa recopilan los datos emitiendo una luz visible que se proyecta sobre el objeto escaneado. Actualmente, los dos métodos más populares para captar la información de los objetos de tamaño pequeño y medio es el uso de la luz estructurada y el láser. Utilizando el escáner de la luz estructurada, la forma geométrica del objeto escaneado se reconstruye a través de diferentes patrones de luz

proyectados desde distintos ángulos. De las deformaciones capturadas en formato bidimensional por la cámara se extraen los datos numéricos correspondientes a las coordenadas tridimensionales. El funcionamiento de los escáneres 3D de láser se basa en la proyección de una franja de luz infrarroja sobre el objeto para medir la distancia entre los puntos de referencia de la superficie escaneada y la cámara, teniendo en cuenta el tiempo en que la luz tarda en viajar hasta el objeto y su regreso mediante el reflejo. Este proceso se repite en múltiples puntos para recrear una representación tridimensional de su forma, mediante una nube de puntos. Es un método apto para realizar medición geométrica a largas distancias y con un alto nivel de precisión, pero también resulta costoso.

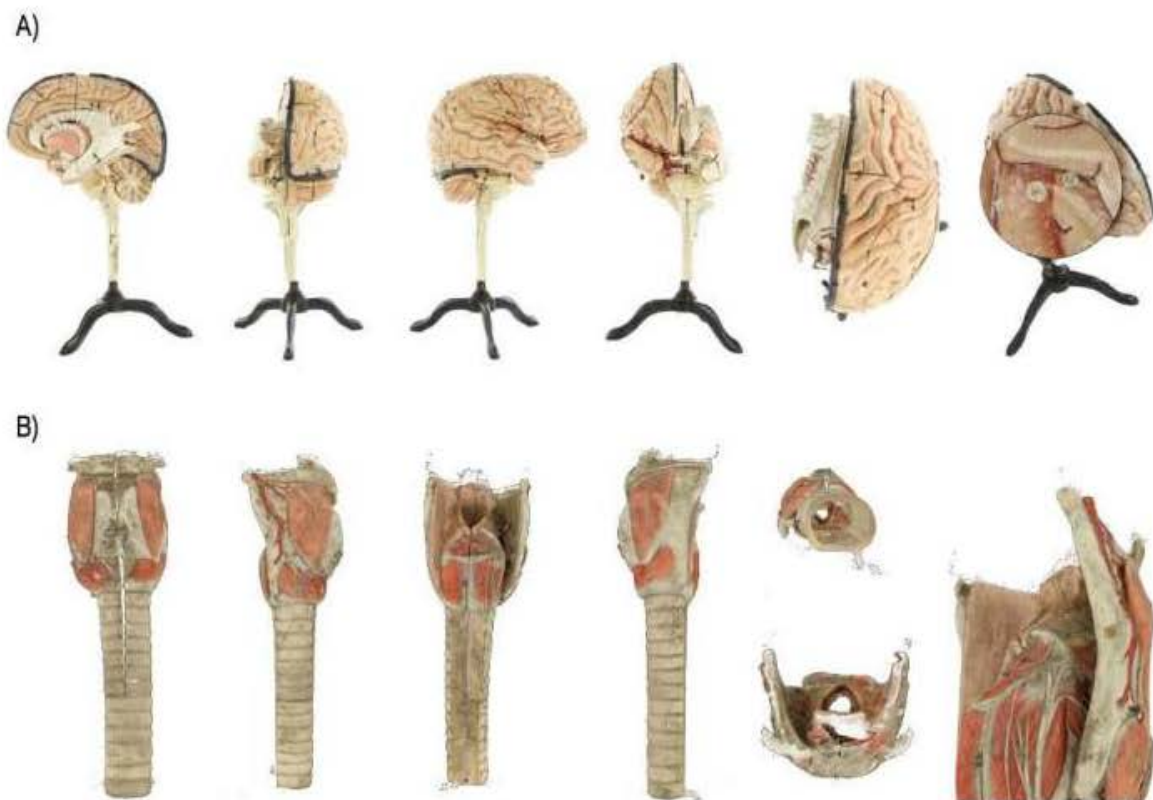
La técnica pasiva más popular, la fotogrametría, realiza el cálculo de los datos tridimensionales en base a las fotografías tomadas desde diversos ángulos de manera que permita superponerlas recreando el objeto en relación con el punto central de su perspectiva. Debido a las limitaciones técnicas y al requerimiento de las distancias relativamente cortas para realizar un escaneado, suele ser utilizada para el escaneo de los objetos de tamaño pequeño y medio.

En los proyectos que demandan alto nivel de precisión se suelen combinar las dos técnicas, ya que las herramientas basadas en el escaneo pasivo suelen proporcionar mejor resultado referente a la creación de las mallas y la fotogrametría da un resultado más realista respecto a la representación de las texturas. No obstante, para los fines educativos raras veces se demanda una precisión tan alta como para los restaurativos. Teniendo en cuenta que la fotogrametría permite una recreación más económica, y de calidad aceptable, en nuestro proyecto optamos por este método. Además, la calidad final del modelo está vinculada a la capacidad del *software* para relacionar los datos de la captura fotográfica. Esto posibilita reutilizar la información fotogramétrica en el futuro con el fin de optimizar el resultado, a diferencia de la captura activa, cuya calidad queda fijada durante la toma y para la modificación del resultado sería necesario repetir todo el proceso (Plisson & Zotkina, 2015).

En realidad, para realizar un escaneo básico se puede utilizar una Cámara DSLR sujeta en mano, o hasta una cámara del smartphone, y

Asimismo, para digitalizar los modelos clásicos de Dr Auzoux, se utilizó el sistema automatizado *PackshotCreator*, incluyendo el brazo *PackshotSphere X*, donde se montan unas 5 cámaras para fotografiar el objeto desde diferentes ángulos, la plataforma giratoria *PackshotSpin*, que permite una rotación del objeto en el eje horizontal de 360°, y el software de sincronización *PackshotCreator*, para juntar las imágenes. De este modo fue posible realizar unas animaciones hemisféricas, sin posibilidad de visualizar la parte inferior del objeto, las esféricas, con la posibilidad visualizar una representación en 360°, guardar los resultados en el formato HTML5 y publicarlas en la página de la Université de Lille, dedicada a los modelos 3D.

**FIGURA 3.** Comparativa entre la visualización panorámica interactiva del modelo clásico de cerebro humano generada a partir de los datos fotogramétricos interpretados por el software *PackshotCreator* (A) y el modelo 3D de la laringe generado con el software *Agisoft Photoscan* (B).



Fuentes: Université de Lille. (2023). Université de Lille - Photo3D. Les Incroyables Modèles Du Docteur Auzoux: Collection de l'Université Complutense de Madrid.

<http://bit.ly/3Qfz5kc> (Consultado el 12 de octubre de 2023).

Photo3D Université de Lille. (11 de junio de 2019). Sketchfab. Larynx (Modèle Auzoux).

<http://bit.ly/3PSDfNz> (Consultado el 12 de octubre de 2023).

Es importante mencionar que este formato de salida proporciona una vista panorámica interactiva basada en imágenes 2D. Aunque esta opción fue perfectamente válida para los fines educativos, con posibilidad de ser explorada mediante los dispositivos electrónicos como los smartphones, tabletas u ordenadores portátiles, para generar una malla poligonal apta para la impresión 3D fue necesario utilizar otro *software* externo. En este caso se optó por el programa *Agisoft Photoscan*, siendo considerado como una de las mejores opciones para la interpretación de los datos fotogramétricos en cuanto a la recreación precisa de detalles que serían difíciles de modelar en postproducción (Ai et al., 2014; Reljić et al., 2019).

## 7. RESULTADOS

El presente estudio permitió identificar los métodos óptimos para la digitalización tridimensional de las piezas de patrimonio académico, garantizando una calidad adecuada para su implementación en la enseñanza secundaria y universitaria. La captura de datos referentes a la forma geométrica del objeto a través de las técnicas de fotogrametría automatizada se destaca por su eficiencia económica y su accesibilidad para usuarios no especializados en el diseño gráfico. Los modelos tridimensionales obtenidos mediante el escaneo pasivo de los modelos anatómicos de Dr. Louis Thomas Jérôme Auzoux resultaron con una representación volumétrica fiable, texturas precisas y resolución de los detalles, tanto en recreaciones 3D hemisféricas como esféricas. Estos modelos brindan la posibilidad de una difusión en línea en formato HTML5, siendo accesibles desde la mayoría de los navegadores *web* modernos y posibilitando a los usuarios interactuar con los objetos digitalizados con los dispositivos electrónicos personales, incluyendo su rotación, ampliación, reproducción de las animaciones automáticas. Aparte, su conversión posterior a los modelos 3D, mediante un software externo, los hace aptos para una impresión 3D, aunque en este caso sería necesario aplicar un refinamiento manual con respecto a la eliminación de los artefactos presentes, posibles de apreciar en la *Figura* . De esta manera el alumnado logra un acceso ilimitado para explorar las piezas de alto valor didáctico.

proceder al procesamiento de los datos obtenidos. Existen diferentes alternativas del *software* libre, asequibles para los usuarios no profesionales (Ai et al., 2014). Algunos de ellos son capaces de recrear las mallas a través de una multitud de imágenes desordenadas mediante los algoritmos de emparejamiento automático basados en la técnica SFM (*structure for motion*), como *Bundler*, lo que permite complementar los datos de las fotos de entrada con las provenientes de otras fuentes. Debido a que el resultado final del escaneo fotogramétrico está condicionado por la calidad de las imágenes introducidas, este flujo de trabajo manual puede requerir unos conocimientos técnicos avanzados respecto a la captura de las fotografías, la calibración de los focos que garantice una iluminación uniforme de la escena, puede aumentar considerablemente el tiempo del procesamiento de datos e implicar intervenciones manuales en la postproducción (Angheluta & Radvan, 2020; Pavlidis et al., 2007; Reljić et al., 2019). Por lo tanto, es recomendable apostar por un entorno de laboratorio controlado para obtener un resultado óptimo.

**FIGURA 2.** Proceso del escaneo 3D automatizado mediante el sistema PackshotCreator.



Fuente: Elaboración propia

## 8. DISCUSIÓN

La discusión se ha centrado en la importancia del patrimonio académico y su digitalización para la educación y la preservación del patrimonio cultural y científico. Algunos de los temas clave son:

- Importancia del patrimonio académico. Se destaca la relevancia del patrimonio académico en la educación y la investigación, subrayando que va más allá de un interés histórico y que su preservación es vital para moldear el presente y el futuro de la educación y la cultura.
- Funciones del patrimonio académico. Las tres funciones fundamentales del patrimonio académico-investigación, docencia y difusión- originadas en el siglo XIX en Europa, siguen estando vigentes en el siglo XXI, ampliándose a todas las instituciones académicas del mundo.
- Uso de tecnología en la educación. La digitalización y las nuevas tecnologías están abriendo nuevas formas de acceso y apreciación del patrimonio académico, especialmente en la enseñanza de las ciencias.
- Desafíos y beneficios. Se detallan los desafíos y beneficios de la digitalización del patrimonio académico. Los modelos tridimensionales generados a partir del escaneo pasivo de las piezas de patrimonio académico, en este caso, los modelos clásicos de Dr. Auzoux, mostraron ser fiables en términos de representación geométrica y de textura. Asimismo, se confirma su utilidad en la enseñanza.
- Metodología de digitalización. Se presentan diferentes técnicas efectivas y asequibles para la digitalización tridimensional de piezas de patrimonio académico, incluyendo técnicas de escaneo pasivo y activo. Se enfatiza cómo la digitalización tridimensional permite una experiencia más interactiva e inmersiva. Dentro de ella se puede destacar cómo la técnica de fotogrametría automatizada se mostró eficiente desde el punto de vista económico y accesible para personas que no tienen

experiencia en diseño gráfico. Esto puede ser especialmente relevante para su implementación en entornos educativos, como la enseñanza secundaria y universitaria, donde los recursos suelen ser limitados.

- Accesibilidad en línea y experiencia del usuario. Destacamos la capacidad de acceder a estos modelos en línea en formato HTML5 desde navegadores web actuales es un aspecto importante. Puede discutirse cómo esto permite a los usuarios, incluyendo al alumnado, interactuar con los objetos digitalizados, lo que potencialmente mejora su experiencia de aprendizaje al permitirles explorar los modelos de manera interactiva.
- Impresión 3D y restauración. Se aborda la posibilidad de utilizar la impresión 3D para reproducir objetos del patrimonio académico y cómo esta tecnología se está aplicando en la educación en diversas disciplinas. Está pendiente por explorar los desafíos y ventajas de la impresión 3D en la enseñanza, el aprendizaje además de la restauración.
- Beneficios para el alumnado. Por último, podemos enfatizar cómo estos métodos permiten un acceso ilimitado para que los estudiantes exploren piezas de alto valor didáctico. Esto puede tener un impacto significativo en la forma en que se enseñan y se aprenden temas relacionados con el patrimonio académico y la anatomía. Esta línea de investigación sigue abierta a falta de la evaluación de más experiencias.

## 9. CONCLUSIONES

Las conclusiones que podemos extraer son que el patrimonio académico se presenta como un recurso de gran relevancia en la educación actual, desempeñando un papel fundamental en la investigación, docencia y difusión. Su preservación y uso adecuado son esenciales en el presente y el futuro de la educación, la investigación y la formación en diversas disciplinas.

La evolución en la enseñanza de las ciencias, particularmente en el siglo XIX, se caracteriza por un cambio de enfoque hacia la observación, la experimentación y la enseñanza práctica en lugar de la memorización. Este enfoque ha influido en la forma en que se aborda la educación científica en la actualidad.

La tecnología juega un papel crucial en la educación, y la digitalización se presenta como una herramienta poderosa para mejorar la enseñanza de las ciencias. La interactividad y la inmersión que ofrecen las tecnologías digitales pueden ayudar a los estudiantes a comprender mejor los conceptos complejos.

El caso de estudio de los modelos anatómicos desmontables creados por el Dr. Auzoux ilustra de manera efectiva la relevancia del patrimonio académico en la enseñanza de las ciencias. Estos modelos se destacan por su precisión y capacidad de manipulación, lo que los convierte en un recurso valioso.

Por último, la digitalización del patrimonio académico, especialmente en formato 3D, se presenta como una herramienta prometedora para la educación, particularmente beneficiosa para la enseñanza de las ciencias. Distintas técnicas permiten una representación muy precisa de los modelos didácticos y sus detalles, a la vez que, admite la posibilidad de interacción.

## 10. AGRADECIMIENTOS

Universidad Complutense de Madrid, Vicerrectorado de Cultura, Deporte y Extensión Universitaria, Grupo de Investigación de la UCM, Técnicas de Documentación, Conservación y Restauración del Patrimonio.

## 11. REFERENCIAS

Ai, M., Zhang, Z., Zhang, F., Hu, Q., & Zhu, Y. (2014). Tourists archive the 3D documentation of cultural heritage. *2014 22nd International Conference on Geoinformatics*, 1–4.

Angheluta, L. M., & Radvan, R. (2020). 3D Digitization of translucent materials in Cultural Heritage objects: a comparative study between laser scanning and photogrammetry. *Romanian Journal of Physics*, 96(906), 1–12.

- Aragón, S. (2003). Las colecciones zoológicas, un útil pedagógico irremplazable, *Revista de Museología*, 27-28, pp 54-60.
- Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Éditions Garnier-Flammarion.
- Croce, V., Caroti, G., De Luca, L., Piemonte, A., & Véron, P. (2020). International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLIII-B2-2020. In N. Pappadimitriou, C. Mallet, F. Lafarge, F. Remondino, I. Toschi, & T. Fuse (Eds.), *Semantic annotations on heritage models: 2D/3D approaches and future research challenges* (pp. 829–836). Copernicus Publication.
- De la Torre Cantero, J., Martín-Dorta, N., Saorín Pérez, J. L., Carbonell Carrera, C., & Contero González, M. (2013). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. *Revista de Educación a Distancia*, 37, 1–17.
- Degueurce, Ch. (2013). The anatomical models of Dr Auzoux, an industrial success in the service of veterinary medicine. *Bulletin de la Société française d'histoire de la médecine et des sciences vétérinaires*. Vol.13. pp. 7-33. <http://bit.ly/48TGk8Q>
- Díaz Alemán, M. D. (2021). Modelado 3D de precisión en procesos de digitalización de escultura construida. *AusArt Journal for Research in Art*, 9(2), 113–125.
- Durkheim, E (2020). *Historia de la educación y de las doctrinas pedagógicas. La evolución pedagógica en Francia*. Editorial Morata.
- Forda, S., & Minshalla, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131–150.
- García, I., Mayo, L. y Gómez, MJ (2017). Breathing new life into dormant academic heritage in Spanish universities and secondary schools, *UMAC Journal*, 9, 60-69.
- García Fernández, I. M. (2018). Museos universitarios en Europa. Retos e iniciativas. *Cuadernos de Arte de la Universidad de Granada*, 49, pp. 11-32.
- Guijarro, V. (2018). *Artefactos y acción educativa*. Editorial Dykinson.
- Hernández-Muñoz, Ó., Sánchez Ortiz, A., & Matía Martín, P. (2019). Anatomía animal. Técnicas digitales para la reconstrucción escultórica de la apariencia original de un modelo de cera del siglo XIX. *Intervención*, 19, 64–76.
- Hernández-Muñoz, Ó., Sterp Moga, E., & Sánchez-Ortiz, A. (2023). Estrategias innovadoras mediante escáner de luz estructurada para la digitalización en situaciones complejas de modelos anatómicos didácticos. *Ge-Conservacion*, 23(1), 53–64.
- Instituto de San Isidro. (ca. 1876). *Cursos académicos de 1858 á 1875*. Madrid. Colección de memorias.

- Izquierdo Pardo, J. M., Pardo Gómez, M. E., & Izquierdo Lao, J. M. (2020). Modelos digitales 3D en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias médicas. *MEDISAN*, 24(5).
- Ley de Instrucción pública autorizada por el Gobierno para que rija desde su publicación en la Península é Islas adyacentes, lo que se cita. *Gaceta de Madrid* núm. 1710, de 10 de septiembre de 1857. Ministerio de Fomento. BOE-A-1857-9551.
- López-Ocón, L., Aragón, S. y Pedrezuela, M. (2012). *Ciencia, educación y patrimonio en los institutos históricos de Madrid (1837-1936)*. Madrid. Ceimes, CSIC y Comunidad de Madrid.
- Martín Villa, R. (2013). Aspectos de la enseñanza de las ciencias naturales en el Instituto San Isidro y de su gabinete de historia natural, en *El Instituto de San Isidro: Saber y patrimonio: apuntes para una historia* (Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas), 75-102.
- Nikonova, A. A., & Biryukova, M. V. (2017). The Role of Digital Technologies in the Preservation of Cultural Heritage. *Muzeológia a Kultúrne Dedičstvo*, 5(1), 169–173.
- Ochoa C. Y Barahona, A. (2009). El debate entre Cuvier y Geoffrey, y el origen de la Homología y la analogía, *Revista Ludus Vitalis*, vol.VII, núm. 32, Edita Centro de Estudios Filosóficos, Universidad Autónoma Islas Baleares. pp.37-54.
- Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., & Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8, 93–98.
- Pieraccini, M., Guidi, G., & Atzeni, C. (2001). 3D digitizing of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 2, 63–70.
- Plisson, H., & Zotkina, L. V. (2015). From 2D to 3D at macro- and microscopic scale in rock art studies. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 2, 102–119.
- Reljić, I., Dunder, I., & Seljan, S. (2019). Photogrammetric 3D Scanning of Physical Objects: Tools and Workflow. *TEM Journal*, 8(2), 383–388.
- Rizzolo L. J y Stewart W.B (2006). Should we continue teaching anatomy by dissection when...? *The Anatomical Record*. 289B, pp.215–218  
<http://bit.ly/46uRleZ>
- Sanz, F. (1985). *La segunda enseñanza oficial en el siglo XIX*. Ministerio de Educación y Ciencia. Dirección General de Enseñanzas Medias.
- Saorin, J. L., De la Torre Cantero, J., Melian, D., Meier, C., & Rivero Trujillo, D. (2015). Blokify: Juego de modelado e impresión 3D en tableta digital para el aprendizaje de vistas normalizadas y perspectiva. *Digital Education Review*, 27, 105–121.

- Université de Lille. (2023, September 15). *Université de Lille - Photo3D. Les Incroyables Modèles Du Docteur Auzoux: Collection de l'Université Complutense de Madrid*. <http://bit.ly/48Q9aqp>
- Viejo, F. (2022). Los modelos anatómicos en la enseñanza de la anatomía humana. En *Los increíbles modelos del Dr. Auzoux*. Ediciones Complutense, pp. 48-55.
- VV.AA. (2017). *Patrimonio académico como herramienta para el desarrollo de futuras carreras científicas*. <http://bit.ly/3QgLxQv>
- VV.AA. (2018). *Patrimonio académico como herramienta para el desarrollo de futuras carreras científicas* <http://bit.ly/3Qfebld>