

# Modelación tridimensional y realidad virtual: una propuesta tecnológica para la educación ambiental y geocientífica

## Three-dimensional modeling and augmented reality: a technological proposal for environmental and geoscientific education

Adrián Alejandro Gonzalez-Gutierrez<sup>1</sup>, Brayan Javier Orozco Rodriguez<sup>2</sup>, Wilder Ocampo Ochoa<sup>3</sup>, Dino Carmelo Manco-Jaraba<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero geólogo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Email: alejandro.gonzalezgeo@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0899-9671>

<sup>2</sup>Ingeniero geólogo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Email: brayan.rozco.j@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5813-7236>

<sup>3</sup>M. Sc. En Geotecnia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Email: Wilder.ocampo@uptc.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9085-6712>

<sup>4</sup>M. Sc. Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, Universidad de La Guajira. Email: dinomancojaraba@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8506-094X>. Email: dinomancojaraba@gmail.com o [dcmancoj@uniguajira.edu.co](mailto:dcmancoj@uniguajira.edu.co)

Cite this article as: A. A. Gonzalez-Gutierrez, B. J. Orozco-Rodríguez, W. Ocampo-Ochoa, D. C. Manco-Jaraba, “Modelación tridimensional y realidad virtual: una propuesta tecnológica para la educación ambiental y geocientífica”, *Prospectiva*, Vol 24, N° 1, 2026.

**Recibido: 13/06/2025 / Aceptado: 14/11/2025**

<http://doi.org/10.15665/rp.v24i1.3781>

### RESUMEN

El desarrollo educativo en las últimas décadas ha experimentado cambios significativos o sustanciales debido a la incorporación de tecnologías digitales emergentes. Esta investigación tiene como objetivo generar modelos 3D utilizando fotogrametría con el algoritmo Structure From Motion (SfM) en el software Agisoft Metashape, integrándolos en entornos de realidad aumentada y creando réplicas en impresión 3D como herramienta educativa y de investigación. Metodológicamente realizó revisión del estado del arte en las diferentes bases de datos académicas y científicas, con el fin de conocer las tendencias referentes a la fotogrametría y plataformas de realidad aumentada. Posteriormente, se tomaron muestras de rocas, minerales y fósiles para la fotogrametría de corto alcance y a su vez la fotogrametría digital. Para la generación de modelos tridimensionales se utilizó el software Agisoft Metashape Professional como herramienta especializada en procesamiento fotogramétrico orientada a la reconstrucción 3D de objetos mediante imágenes digitales. En conclusión, la generación de modelos tridimensionales a partir de fotogrametría digital utilizando el algoritmo Structure From Motion (SfM) en Agisoft Metashape demostró ser una metodología eficiente y precisa para la reconstrucción geométrica de muestras geológicas. Esta técnica permitió obtener representaciones digitales con alta fidelidad morfológica, lo que valida su aplicabilidad no solo en la documentación científica y académica, sino también como recurso pedagógico accesible y replicable en distintos entornos educativos.

**Palabras clave:** Educación geo-ambiental, fotogrametría, modelación tridimensional, realidad aumentada.

## ABSTRACT

Educational development in recent decades has undergone significant or substantial changes due to the incorporation of emerging digital technologies. This research aims to generate 3D models using photogrammetry with the Structure From Motion (SfM) algorithm in Agisoft Metashape software, integrating them into augmented reality environments and creating 3D-printed replicas as an educational and research tool. Methodologically, it reviewed the state of the art in different academic and scientific databases, in order to understand the trends regarding photogrammetry and augmented reality platforms. Subsequently, samples of rocks, minerals, and fossils were taken for short-range photogrammetry and, in turn, digital photogrammetry. For the generation of three-dimensional models, Agisoft Metashape Professional software was used as a specialized tool for photogrammetric processing oriented to the 3D reconstruction of objects using digital images. In conclusion, the generation of three-dimensional models from digital photogrammetry using the Structure From Motion (SfM) algorithm in Agisoft Metashape proved to be an efficient and accurate methodology for the geometric reconstruction of geological samples. This technique yielded digital representations with high morphological fidelity, validating its applicability not only in scientific and academic documentation but also as an accessible and replicable teaching resource in various educational settings.

**Keywords:** Geo-environmental education, photogrammetry, three-dimensional modeling, augmented reality.

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la educación en diferentes áreas como la ingeniería, ciencias ambientales y de la tierra han experimentado evoluciones significativas gracias a la incorporación de tecnologías digitales emergentes [1-11]. La modelación tridimensional (3D), realidad aumentada (RA) e impresión 3D se han convertido en herramientas valiosas para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje [12-15] la comprensión de estructuras geológicas complejas [16], macizos rocosos, fósiles, minerales, rocas, procesos geológicos y ambientales, entre otros, a través de representaciones visuales y tangibles [17], [18]. Estas tecnologías permiten simular entornos geológicos, reproducir muestras físicas y ofrecer experiencias interactivas que enriquecen la formación de estudiantes en niveles universitarios [19], [20].

La modelación 3D proporciona representaciones digitales precisas de muestras geológicas, permitiendo su análisis detallado desde múltiples perspectivas sin comprometer la integridad del material original. Al integrarse con la realidad aumentada, estas representaciones cobran una dimensión inmersiva, donde el estudiante puede interactuar en tiempo real con los modelos digitales superpuestos en su entorno físico. Esta combinación mejora significativamente la percepción espacial, pensamiento tridimensional y retención de conceptos geológicos complejos [21], [22]. Asimismo, la impresión 3D convierte los modelos digitales en réplicas físicas de alta fidelidad, lo que facilita el trabajo práctico en aulas o laboratorios, incluso en instituciones con acceso limitado a colecciones geológicas naturales [23].

La sinergia entre estas tecnologías no solo representa una innovación didáctica, sino que también contribuye a democratizar y facilitar el acceso a recursos educativos especializados y de alta calidad. La posibilidad de generar modelos geológicos accesibles, reutilizables y adaptables a diferentes niveles formativos refuerza el aprendizaje autónomo y colaborativo en el aula. Esta investigación tiene como objetivo generar modelos 3D utilizando fotogrametría con el algoritmo Structure From Motion (SfM) en el software Agisoft

Metashape, integrándolos en entornos de realidad aumentada y creando réplicas en impresión 3D como herramienta educativa y de investigación.

## **2. METODOLOGÍA**

Metodológicamente, se realizó una revisión del estado del arte en bases de datos académicas y científicas tales como: Scopus, Sciencedirect, Springer, WOS, Google Académico, Researchgate, repositorios institucionales: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Industrial de Santander, Fundación Universitaria del Área Andina y Universidad Francisco de Paula Santander a través de palabras claves (modelación 3d, fotogrametría, structure from motion (sfm), realidad aumentada, impresión 3d, agisoft metashape, educación en geociencias, muestras geológicas, visualización interactiva y réplicas físicas), con el fin de conocer las tendencias referentes a la fotogrametría y plataformas de realidad aumentada. Posteriormente, se tomaron muestras ejemplares de rocas, minerales y fósiles inalteradas para la fotogrametría de corto alcance y fotogrametría digital.

Para la generación de modelos tridimensionales se utilizó el software Agisoft Metashape Professional como herramienta especializada en procesamiento fotogramétrico orientada a la reconstrucción 3D de objetos mediante imágenes digitales. El procedimiento inició con la captura sistemática de fotografías de alta resolución apoyadas en plantillas con marcadores angulares de grados de 10° en 10° hasta cubrir los 360° de una circunferencia, esto con el fin de tener una posición más exacta de los ángulos en que se tomarán las fotografías a las muestras. Cabe resaltar que la plantilla se sitúa debajo de una base giratoria, lo que facilita el movimiento de la muestra y la cámara debe ser acomodada a la misma altura de la base giratoria. Esta configuración permite mover la base en lugar de la muestra, evitando así la pérdida de la perspectiva generada por la muestra. Posteriormente, las imágenes fueron procesadas en Metashape aplicando el algoritmo Structure from Motion (SfM), que permitió alinear las fotografías, generar una nube densa de puntos, construir la malla tridimensional y aplicar texturas fotográficas para una representación precisa del objeto [24], [25]. Esta metodología permitió obtener modelos digitales con alta fidelidad geométrica, adecuados para su visualización en entornos de realidad aumentada y la fabricación de réplicas mediante impresión 3D.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Modelos tridimensionales**

La generación de modelos tridimensionales a partir de imágenes fotográficas mediante el algoritmo Structure From Motion (SfM) permitió obtener representaciones digitales altamente detalladas de diversas muestras geológicas, permitiendo reconstruir estructuras morfológicas complejas, rasgos esenciales como texturas superficiales, volúmenes y bordes, lo cual es fundamental en el análisis litológico y paleontológico. El procesamiento de imágenes desde múltiples ángulos facilitó la reconstrucción tridimensional sin la necesidad de instrumental topográfico costoso, validando la fotogrametría de corto alcance como una alternativa precisa, accesible y replicable para el modelado digital en contextos educativos y de investigación geocientífica (Figura 1).

Durante el proceso el algoritmo SfM mostró notable capacidad para identificar puntos de coincidencia entre imágenes y reconstruir la geometría espacial de los objetos mediante nubes densas de puntos, sobre las cuales se aplicaron posteriormente técnicas de mallado y texturizado. Esta secuencia metodológica produjo modelos 3D con fidelidad morfológica, aptos para su análisis en plataformas digitales y para su integración posterior en entornos de realidad aumentada o impresión 3D (Figura 1). La calidad de los resultados obtenidos evidencia la potencialidad del uso de SfM como herramienta de apoyo en la formación geológica,

al permitir el estudio detallado de muestras sin comprometer su integridad física y ampliando las posibilidades de observación en espacios educativos no convencionales.

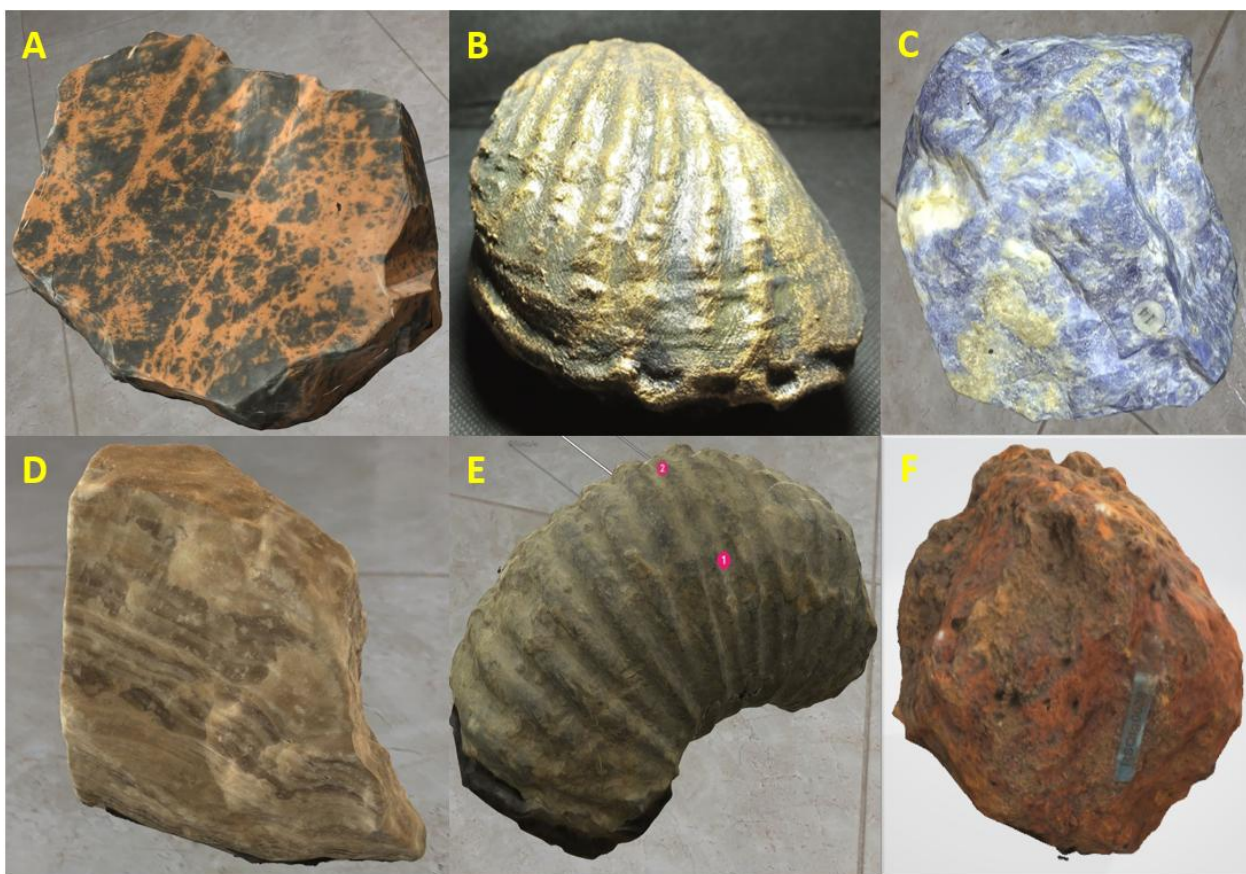


Figura 1. Modelos tridimensionales. A. Obsidiana. B. Bibalvo. C. Sodalita. D. Travertino. F. Amonita. F. Goetita.

### 3.2 Realidad aumentada

La integración de modelos tridimensionales en entornos de realidad aumentada representó un avance sustancial en el diseño de estrategias educativas orientadas al fortalecimiento del aprendizaje en ciencias geológicas y ambientales. Esta tecnología posibilitó la superposición de objetos digitales sobre el espacio físico, permitiendo la visualización dinámica de modelos geológicos complejos desde distintos ángulos y escalas (Figura 2). La eliminación de la necesidad de contacto físico con las muestras no solo redujo el riesgo de deterioro de los ejemplares, sino que también facilitó el acceso equitativo a contenidos especializados, especialmente en contextos educativos con limitaciones logísticas o geográficas. Esta modalidad de enseñanza ofreció a los estudiantes una experiencia inmersiva que favoreció la comprensión de conceptos abstractos como la estratificación, la litogénesis o la morfología fósil, al vincular de forma directa la percepción visual, el análisis espacial y la manipulación virtual del objeto de estudio.

Los resultados del estudio muestran que el uso de realidad aumentada en el aula amplía significativamente las capacidades pedagógicas tradicionales al transformar la interacción del estudiante con el contenido. La posibilidad de explorar, rotar, escalar y examinar modelos digitales de rocas, fósiles y estructuras sedimentarias promovió un aprendizaje activo y constructivo, en el cual los estudiantes no solo reciben



información, sino que también construyen su conocimiento a partir de la experiencia directa con los modelos. Esta interacción estimula el pensamiento crítico, la observación detallada y el razonamiento geológico, habilidades fundamentales para la formación en ciencias de la Tierra. Asimismo, la realidad aumentada contribuyó a una mayor apropiación del conocimiento al establecer un vínculo significativo entre el contenido científico y la realidad perceptual del estudiante, generando una experiencia formativa más motivadora, accesible y contextualizada (Figura 2).

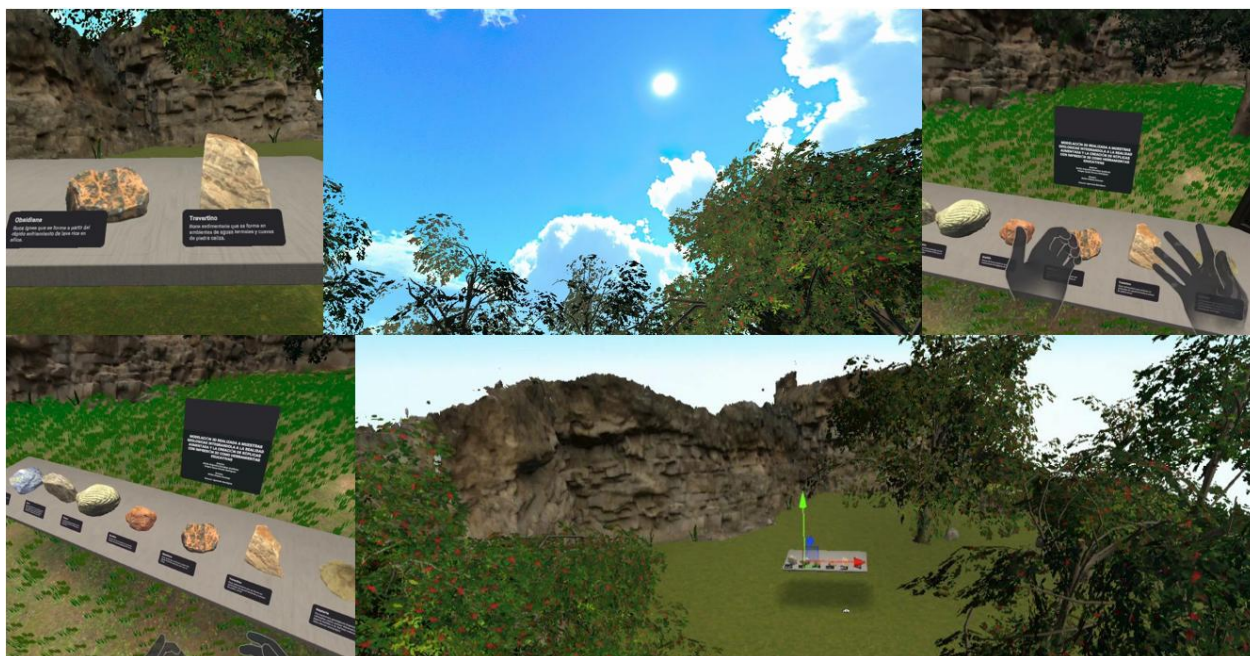


Figura 2. Realidad virtual.

### Impresión en 3D

La implementación de la impresión 3D como parte del proceso educativo en ciencias arrojó resultados significativos en términos de accesibilidad, comprensión conceptual y motivación estudiantil. A partir de los modelos digitales generados mediante fotogrametría, se elaboraron réplicas físicas con alto nivel de fidelidad morfológica. Estas piezas impresas conservaron con notable precisión los rasgos estructurales y texturales de las muestras originales, lo que permitió su uso como materiales de estudio sin comprometer el patrimonio geológico. La posibilidad de manipular réplicas tridimensionales facilitó la observación directa de aspectos que, en una muestra natural, podrían estar parcialmente ocultos o degradados por el tiempo o la manipulación (Figura 3, 4 y 5).

Los resultados evidencian que estas réplicas impresas son altamente efectivas para la enseñanza de conceptos complejos como la composición mineralógica, foliación, estratificación o la simetría fósil. Durante su aplicación en contextos académicos, los estudiantes mostraron mayor interés y comprensión cuando interactuaban con modelos físicos tridimensionales en lugar de imágenes planas o descripciones abstractas. Esta mejora en el aprendizaje se relaciona con la estimulación multisensorial que ofrecen las réplicas, al integrar dimensiones visuales, táctiles y espaciales en el proceso formativo (Adeva, 2024). Además, se observó un aumento en la participación activa, el trabajo colaborativo y el desarrollo de habilidades descriptivas y analíticas en los estudiantes.

Otro resultado destacado fue la contribución de la impresión 3D a la equidad educativa. En instituciones sin acceso a colecciones geológicas físicas o ubicadas en regiones donde la exploración de campo es limitada, las réplicas ofrecieron una alternativa didáctica de alta calidad. La posibilidad de replicar y distribuir modelos idénticos entre distintos grupos o instituciones garantiza una experiencia educativa más uniforme, superando desigualdades en el acceso a materiales didácticos (Tomorrow Bio, 2023; Stratasy, 2023). Esta tecnología, por tanto, se consolida como un instrumento que no solo enriquece la enseñanza, sino que también democratiza el conocimiento geocientífico y fortalece procesos formativos más inclusivos.



Figura 3. Réplica dientes de sable smilodon.

Finalmente, desde la perspectiva de la investigación formativa, la impresión 3D abrió nuevas oportunidades para desarrollar proyectos experimentales y de validación. Las réplicas permitieron el diseño de actividades prácticas orientadas al análisis morfológico, la comparación estratigráfica y la clasificación litológica sin riesgo de dañar los especímenes originales. Además, su uso en actividades de extensión, museos escolares o ferias científicas fortaleció los procesos de divulgación del conocimiento, permitiendo una comunicación más clara y atractiva entre la comunidad académica y la sociedad (Marchante, 2024; Neyra-Orellano et al., 2021). En conjunto, los resultados alcanzados demuestran que la impresión 3D no solo cumple un papel complementario en el aula, sino que se proyecta como una herramienta transformadora para la educación y la investigación en ciencias de la Tierra.

La figura 4 representa el cráneo de un *Parasaurolophus* ejemplar joven. El *Parasaurolophus* fue un dinosaurio ornitópodo y hadrosáurido conocido por su distintiva cresta tubular que se extendía desde su cabeza, este herbívoro gregario vivió en pantanos y bosques durante el periodo Cretáceo Superior (76.5-73 millones de años) la cresta se utilizaba para la respiración, emisión de sonidos y comunicación dentro de la manada, un espécimen adulto alcanzaba la longitud de 10 metros, una altura de 4 metros y un peso de 2.7 toneladas, vivía en manadas.





Figura 4. Réplica Cráneo Parasaurolophus Ejemplar joven.

La figura 5 representa el diente de Otodus Megalodón. El Megalodón fue depredador que domino los océanos durante aproximadamente 20 millones de años antes de su extinción, conocido por sus enormes dientes triangulares, alcanzado longitudes de 22 metros y su dieta era de presas grandes como las orcas [26].



Figura 5. Réplica Diente De Otodus Megalodón.

#### 4. CONCLUSIONES

La generación de modelos tridimensionales a partir de fotogrametría digital utilizando el algoritmo Structure From Motion (SfM) en Agisoft Metashape demostró ser una metodología eficiente y precisa para la reconstrucción geométrica de muestras geológicas. Esta técnica permitió obtener representaciones digitales con alta fidelidad morfológica, lo que valida su aplicabilidad no solo en la documentación científica y académica, sino también como recurso pedagógico accesible y replicable en distintos entornos educativos. La calidad y realismo de los modelos obtenidos reflejan el potencial del SfM como una herramienta robusta para la enseñanza de conceptos estructurales, morfométricos y litológicos en geociencias.

La integración de los modelos tridimensionales en entornos de realidad aumentada robusteció la comprensión espacial de los objetos geológicos por parte de los estudiantes, facilitando una experiencia educativa interactiva, inmersiva y altamente visual. Esta tecnología no solo complementa las estrategias de enseñanza tradicionales, sino que transforma la dinámica del aprendizaje al permitir que los usuarios interactúen con el contenido de forma activa y contextualizada. En este sentido, la fortaleciendo la enseñanza práctica, la observación analítica y el trabajo colaborativo en el aula y la apropiación significativa del conocimiento geocientífico, especialmente en contextos donde el acceso a muestras reales es limitado.

La creación de réplicas físicas mediante impresión 3D a partir de los modelos digitales generados mostró un alto valor didáctico y formativo. Estas réplicas permitieron la manipulación directa de muestras representativas, fortaleciendo la enseñanza práctica, la observación analítica y el trabajo colaborativo en el aula. Además, su aplicación en entornos con restricciones geográficas o de infraestructura ofreció una solución tangible para democratizar el acceso al conocimiento científico. La articulación entre modelación digital, visualización aumentada e impresión tridimensional constituye, por tanto, una estrategia integral e innovadora que potencia la educación ambiental y geocientífica, y abre nuevas posibilidades para la investigación interdisciplinaria y la divulgación científica.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] R. G. Vera, “Horizonte de la educación bibliotecológica en línea,” *Investig. Bibl. Arch. Bibl. e Inf.*, vol. 29, no. 67, pp. 7–15, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibbai.2016.02.034>.
- [2] D. Avello-Sáez, N. Lucero-González, and I. Villagrán, “Desarrollo de una declaración de uso de inteligencia artificial con una perspectiva de integridad académica en educación médica y ciencias de la salud,” *Rev. Médica Clínica Las Condes*, vol. 35, no. 5, pp. 412–420, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2024.06.003>.
- [3] W. Yan, C. Yang, P. Shen, and W.-H. Zhou, “Efficient probabilistic tunneling of large geological model (LGM) for underground digital twin,” *Eng. Geol.*, vol. 350, p. 107996, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2025.107996>.
- [4] M. Wang, J. Zhu, H. Gu, J. Zhang, D. Wu, and P. Wang, “Optimizing experiential learning in science education: The role of two-tier testing in digital game-based learning,” *Entertain. Comput.*, vol. 54, p. 100960, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2025.100960>.
- [5] H. Gong, D. Su, S. Zeng, and X. Chen, “Advancements in digital twin modeling for underground spaces and lightweight geometric modeling technologies,” *Autom. Constr.*, vol. 165, p. 105578,



2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105578>.

- [6] D. Fonseca, N. Martí, E. Redondo, I. Navarro, and A. Sánchez, “Relationship between student profile, tool use, participation, and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models,” *Comput. Human Behav.*, vol. 31, pp. 434–445, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.03.006>.
- [7] F. Alvarado-Neves, L. Ailleres, L. Grose, A. R. Cruden, and R. Armit, “Using 3D models to test geological hypotheses for sill complex geometries: Application to Jurassic dolerite intrusions, Tasmania,” *J. Struct. Geol.*, vol. 197, no. April 2024, p. 105420, 2025, doi: [10.1016/j.jsg.2025.105420](https://doi.org/10.1016/j.jsg.2025.105420).
- [8] A. Ren, L. Wu, J. Xu, Y. Xing, Q. Qiu, and Z. Xie, “A deep learning method for 3D geological modeling using ET4DD with offset-attention mechanism,” *Comput. Geosci.*, vol. 200, no. June 2024, p. 105929, 2025, doi: [10.1016/j.cageo.2025.105929](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2025.105929).
- [9] R. Castro-Padilla, C. Jiménez-Peñaranda, E. Rojas-Martínez, D. Manco-Jaraba, and F. Lascarro-Navarro, “Amenaza y vulnerabilidad por inundación del Brazo de Mompóx (Río Magdalena), corregimiento de Cantera, Bolívar, Colombia,” *Prospectiva*, vol. 19, no. 2, pp. 1–11, 2021, doi: <https://doi.org/10.15665/rp.v19i2.2712>.
- [10] V. Ortiz-Maestre, C. Polo-Mendoza, D. Giraes-Puerta, and D. Manco-Jaraba, “Análisis de susceptibilidad por movimientos en masa implementando el método Mora-Vahrson modificado para el corregimiento de Chemesquemena (Cesar, Colombia),” *Tecnura*, vol. 27, no. 77, pp. 1–21, 2022, doi: <https://doi.org/10.14483/22487638.19951>.
- [11] L. Lascarro-Navarro, J. Delgado-Rodriguez, E. Rojas-Martinez, F. Lascarro-Navarro, and D. Manco-Jaraba, “Aplicación del método estadístico discriminante en la zonificación de susceptibilidad a procesos de remoción en masa , municipio de Pueblo Bello , Cesar ( Colombia ),” *Prospectiva*, vol. 22, no. 1, pp. 56–70, 2024, doi: <https://doi.org/10.15665/rp.v22i1.3269>.
- [12] J. Grodotzki, B. T. Müller, and A. E. Tekkaya, “Introducing a general-purpose augmented reality platform for the use in engineering education,” *Adv. Ind. Manuf. Eng.*, vol. 6, p. 100116, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aime.2023.100116>.
- [13] C. M. Rebello, G. F. Deiró, H. K. Knuutila, L. C. de S. Moreira, and I. B. R. Nogueira, “Augmented reality for chemical engineering education,” *Educ. Chem. Eng.*, vol. 47, pp. 30–44, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2024.04.001>.
- [14] O. Rivero, A. Dólera, M. García-Bustos, X. Eguilleor-Carmona, A. M. Mateo-Pellitero, and J. F. Ruiz-López, “Seeing is believing: An Augmented Reality application for Palaeolithic rock art,” *J. Cult. Herit.*, vol. 69, pp. 67–77, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.07.007>.
- [15] B. Marques, B. S. Santos, and P. Dias, “Ten years of immersive education: Overview of a Virtual and Augmented Reality course at postgraduate level,” *Comput. Graph.*, vol. 124, p. 104088, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2024.104088>.
- [16] M. J. Smith, J.-C. Otto, A. B. Moore, C. H. Grohmann, J. Hillier, and M. Geilhausen, “1.13 - Geovisualization,” J. (Jack) F. B. T.-T. on G. (Second E. Shroder, Ed., Oxford: Academic Press, 2022, pp. 319–361. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00147-4>.

- [17] Q. Zhang, S. Yu, J. Yu, Y. Li, Z. Zhu, and H. Xu, “Investigations on the failure processes of tunnel models containing weak layers based on A novel tunnel-layer 3D printing technology and DEM,” *Theor. Appl. Fract. Mech.*, vol. 138, p. 104968, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2025.104968>.
- [18] Q. Zhang, S. Yu, J. Yu, Y. Li, H. Xu, and Q. Huang, “Investigating the interaction mechanisms between fissures and layers of SCB specimens using a novel layer 3D printing technology and DEM,” *Theor. Appl. Fract. Mech.*, p. 105044, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2025.105044>.
- [19] Escuela Britanica de Artes Creativas y tecnología, “¿Qué es el modelado 3D y cómo funciona?” Accessed: Jun. 10, 2025. [Online]. Available: <https://ebac.mx/blog/que-es-el-modelado-3d>
- [20] P. Sáez-Martínez, “¿Qué es la Realidad Aumentada?” Accessed: Jun. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.onirix.com/es/aprende-sobre-ra/que-es-la-realidad-aumentada/>
- [21] J. Saorín, J. Torre-Cantero, C. Meier, D. Melián, C. Ruiz, and A. Bonnet, “Creación, visualización e impresión 3D de colecciones online de modelos educativos tridimensionales con tecnologías de bajo coste. Caso práctico del patrimonio fósil marino de Canarias,” *Educ. Knowl. Soc.*, vol. 17, no. 3, pp. 89–108, 2016.
- [22] E. Rua-Ramirez, F. Jimenez-Diaz, G. Gutierrez-Arias, and N. Villamizar, “Impresión 3D como herramienta didáctica para la enseñanza de algunos conceptos de ingeniería y diseño,” *Ingeniería*, vol. 23, no. 1, pp. 70–83, 2018, doi: 10.14483/23448393.12248.
- [23] R. Adeva, “En qué consiste la impresión 3D y cómo funciona.” Accessed: Jun. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>
- [24] M. Montoya-Ramírez, “Generación de modelos 3D de muestras de roca con Structure from Motion,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2021.
- [25] Agisoft, “Discover intelligent photogrammetry with Metashape.” Accessed: Jun. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.agisoft.com/>
- [26] M. Marshall, “Cómo era el megalodón, el megatiburón prehistórico que dominó los océanos durante 20 millones de años.” Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/articles/c4nr4z7r7llyo>