Recepción : 23/02/2025
Aprobación : 19/06/2025

Digitalización colaborativa del patrimonio industrial minero de Lota desde una experiencia de vinculación con el medio enfocada en conservación preventiva

Collaborative digitization of Lota's mining industrial heritage from an experience of public engagement focused on preventive conservation

[1]Sebastián Ganchala Chavarría, [2]Carlos Maillet Aránguiz, [3] Camila Monsalve Concha

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el marco de un proyecto colaborativo de vinculación con el medio, cuyo objetivo se enfocó en la conservación preventiva y difusión del patrimonio industrial minero de Lota —ciudad y comuna chilena situada en la Provincia de Concepción, Región del Biobío— a través de una colección digital en línea. Este estudio abordó un flujo de trabajo colaborativo a partir de fotogrametría utilizada para replicar digitalmente la geometría y textura de elementos patrimoniales. En colaboración con una organización territorial con más de treinta años de trabajo en la región. El proceso metodológico consideró salidas a terreno con estudiantes de distintas carreras, quienes aplicaron conocimientos técnicos para generar modelos tridimensionales de los elementos utilizando escáner infrarrojo y fotografía aérea. Esta fase permitió desarrollar prácticas disciplinares y habilidades técnicas avanzadas en contextos reales. La colección digital incluyó elementos representativos de las condiciones de trabajo de los mineros, testimonio material de la explotación del carbón en Lota durante los siglos XIX y XX. Los principales hallazgos apuntan a la creación de una colección digital que contribuye de manera indirecta con la examinación técnica y conservación preventiva del patrimonio industrial minero de Lota. Además, el estudio resalta la importancia de la colaboración interdisciplinaria, evidenciando la integración de distintas áreas disciplinares y actores en el campo de la salvaguardia del patrimonio cultural.

Palabras clave

patrimonio industrial; conservación preventiva; educación superior; digitalización; vinculación con el medio

ABSTRACT

The research was developed within the framework of a collaborative project of public engagement, whose objective was focused on the preventive conservation and dissemination of the industrial mining heritage of Lota — a Chilean city and commune located in the Province of Concepción, Biobío Region— through an online digital collec-tion. This study addressed a collaborative workflow based on photogrammetry used to digitally replicate the geometry and texture of heritage elements. In collaboration with a territorial organization with more than thirty years

[1]Universidad San Sebastián, Concepción, Chile.
https://orcid.org/0000-0002-0377-236X
[2]Universidad San Sebastián, Concepción, Chile.
https://orcid.org/0009-0009-3869-016X
[3]Universidad San Sebastián, Concepción, Chile.

Autor de correspondencia: Sebastian Ganchala Chavarria.
Universidad San Sebastián, Concepción, Chile.
E-mail: sganchalac@docente.uss.cl

ISSN 2735-6078 Impresa
ISSN 2735-606X on-line
DOI: 10.29393/UR20-4DCSG30004

Ganchala Chavarría, S., Maillet Aránguiz, C., & Monsalve Concha, C. (2025). Digitalización colaborativa del patrimonio industrial minero de Lota desde una experiencia de vinculación con el medio enfocada en conservación preventiva. **URBE**. *Arquitectura, Ciudad y Territorio*, (20),67-83. **doi:10.29393/UR20-4DCSG30004**

of work in the region. The methodological process included field trips with students from different careers, who applied technical knowledge to generate three-dimensional models of the elements using infrared scanner and aerial photography. This phase allowed the development of disciplinary practices and advanced technical skills in real contexts. The digital collection included elements representative of the miner's working conditions, material testimony of the coal exploitation in Lota during the 19th and 20th centuries. The main findings point to the creation of a digital collection that indirectly contributes to the examination and preventive conservation of Lota's industrial mining heritage. In addition, the study highlights the importance of interdisciplinary colla-boration, evi-dencing the integration of different disciplinary areas and actors in the field of safeguarding cultural heritage.

Keywords
industrial heritage; preventive conser-vation; higher education; digitization; public engagement

INTRODUCCIÓN

La investigación surgió enmarcada en un proyecto de Vinculación con el Medio de la Universidad San Sebastián (USS) enfocado en la conserva-ción y difusión del patrimonio industrial minero de Lota. Su fundamento radica en la necesidad de salvaguardar y divulgar el legado de este complejo minero, considerando su relevancia histórica y su potencial de postulación a la Lista de Patrimonio Mundial de UNESCO.

Se abordaron los conceptos de conservación, patrimonio industrial y digital, analizando su evolución a partir de textos doctrinarios y cartas. Se analizaron ampliaciones conceptuales en torno a la conservación, diferenciando acciones directas e indirectas, destacando la importancia de enfoques preventivos en el ámbito digital. Asimismo, se revisaron estudios recientes sobre la aplicación de tecnologías digitales en la preservación del patrimonio, identificando avances y desafíos. Metodológicamente se desarrolló bajo un enfoque interdisciplinario y colaborativo, integrando actores académicos y locales, estableciendo una delimitación de sitios de interés, elementos muebles e inmuebles representativos, seleccionados de acuerdo con criterios técnicos y conceptuales.

La digitalización de estos bienes se realizó mediante técnicas de foto-grametría y escaneo 3D manual, con el propósito de generar modelos digitales para su difusión y conservación. De esta manera, la investigación buscó contribuir al debate sobre la digitalización patrimonial como estrategia de conservación y difusión, planteando nuevas inquietudes sobre su impacto en las comunidades locales y su potencial educativo.

MARCO TEÓRICO

Conservación del Patrimonio Cultural Tangible

La Carta Internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios de 1964 (Carta de Venecia), proporcionada por el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), establece que "La conservación y restauración de monumentos constituye una disciplina que abarca todas las ciencias y todas las técnicas que puedan contribuir al estudio y la salvaguarda del patrimonio monumental", (ICOMOS, 1964, p. 24), lo que alude a la interdisciplinaridad e incluye toda la actividad científica y profesional que pueda ponerse al servicio del bien cultural, con el fin de salvaguardar el bien y su testimonio histórico.

El Comité de Conservación del Consejo Internacional de Museos (ICOM-CC, 1984), indica que la acción de conservación implica examinar, preservar y restaurar el patrimonio cultural. Así, la examinación evalúa la importancia documental y el estado físico del bien; la preservación, busca retardar su deterioro mediante el control ambiental y el tratamiento estructural, manteniendo al bien lo más inalterado posible y la restauración se enfoca en hacer comprensible un artefacto dañado, respetando su integridad estética e histórica.

A la vez, el ICOM-CC considera que la actividad de conservación consiste en la examinación técnica, como procedimiento para determinar la significancia de un elemento mediante documentación que lo respalde; preservación como acción para retardar o prevenir el deterioro del bien tratando su estructura o entorno; y restauración como acción para hacer entendible un artefacto deteriorado con un mínimo sacrificio hacia su integridad histórica y estética (ICOM-CC, 1984).

Posteriormente, el Documento de Nara sobre Autenticidad (1994) da un paso en la definición de conservación al plantearla como: "Todas las operaciones diseñadas para comprender una propiedad, conocer su historia y significado, asegurar la preservación de su material, y, en caso de ser necesario, su restauración y mejoramiento" (p. 181). De esta manera, se amplía el término haciendo énfasis en la preservación material del bien y la comprensión de su historia y significado. Esto refleja un cambio en el enfoque tradicional, particularmente relevante en el caso de patrimonio industrial donde el valor no reside únicamente en los valores físicos, sino también en su importancia para la identidad colectiva y la memoria histórica (Ganchala & López, 2023).

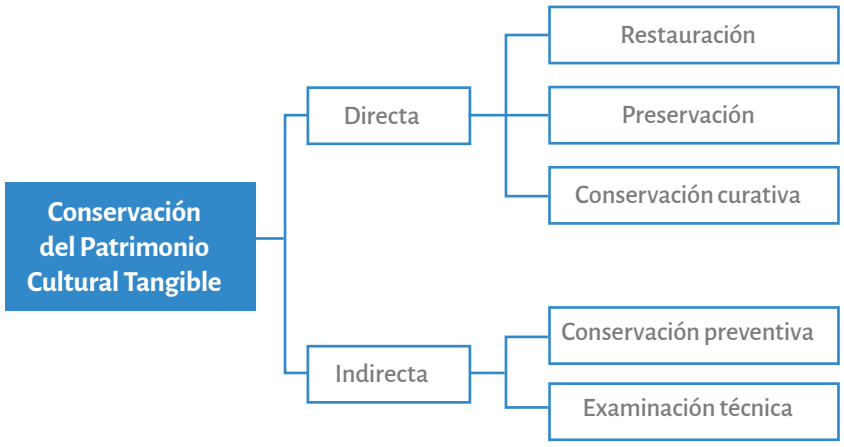
Finalmente, desde ICOM-CC (2008) se profundiza en el término y surgen nuevas variantes: conservación preventiva, conservación curativa y restauración. Primero, define conservación como "todas aquellas medidas o acciones que tengan como objetivo la salvaguarda del patri-

monio cultural tangible, asegurando su accesibilidad a generaciones presentes y futuras" (pp. 1-2). Posteriormente, se introduce el concepto de conservación preventiva, definiéndola como "todas las medidas y acciones que apuntan a evitar y minimizar futuros deterioros o pérdidas", (pp. 1-2). En este sentido, señala como ejemplos de conservación preventiva aquellas medidas y acciones de registro, almacenaje, manejo, empaque, transporte, seguridad y administración del ambiente. También se refiere a que este tipo de disposiciones son indirectas y que no interfieren con la materialidad, estructura o apariencia del bien (ICOM – CC, 2008).

La conservación curativa se comprende como aquella que aplica directamente al elemento o al conjunto de manera de contener procesos de deterioro o refuerzo de su estructura, sólo en casos en donde es posible observar condiciones que podrían afectar la integridad del bien en el corto plazo, tales como desinfección de textiles, desalinización de cerámicas, deshidratación de material arqueológico húmedo, estabilización de metales corroídos, entre otros. (ICOM – CC, 2008).

Distingue la restauración, como acción de conservación directa, hacia un elemento singular y estable, dirigido a facilitar su apreciación, comprensión y uso (ICOM , 2008). De esta manera, se confieren nuevas aristas que enriquecen la noción de conservación, haciendo visibles nuevas formas de salvaguardia, cuya síntesis se muestra en la Figura 1.

Figura 1
Mapa semántico sobre conservación patrimonial



Fuente: EIA, 2024.

Noción de Patrimonio Digital

La Carta de Patrimonio Digital de UNESCO (2003), lo define como "recursos de conocimiento y expresión humana. Abarca recursos culturales, educativos, científicos y administrativos, así como información técnica, legal, médica y de otro tipo creada digitalmente o convertida en forma digital a partir de recursos analógicos existentes." (p. 1). Establece que incluye "textos, bases de datos, imágenes fijas y en movimiento, audio, gráficos, software y páginas web, junto a otra amplia y creciente gama de formatos. Ellos son frecuentemente efímeros y requieren de producción, mantenimiento y gestión para mantenerse (...)" (p. 1). De acuerdo con lo anterior, es importante destacar que estos recursos perecen y requieren una gestión específica respecto de su ciclo de vida como activo digital.

En la actualidad, el rápido avance de la tecnología digital, como los gráficos tridimensionales (3D) y la realidad virtual, ha implicado la emergencia de nuevos escenarios para la conservación del patrimonio que pongan en uso las herramientas digitales que permitan ampliar las posibilidades de documentación, análisis y difusión del patrimonio cultural (Addison, 2000; Addison, 2001). La digitalización del patrimonio cultural ha ido consolidándose como un campo de estudio interdisciplinario, donde la fotogrametría y el escaneo 3D emergen como herramientas fundamentales para la documentación y conservación de los bienes tangibles (et al., 2017). De esta manera, se consiguen crear modelos digitales precisos y detallados, que pueden ser utilizados para investigación, educación y difusión.

A su vez, la inteligencia artificial (IA) también está transformando la forma en que se aborda la digitalización, ofreciendo nuevas posibilidades para la segmentación de objetos y la generación de modelos 3D a partir de imágenes (Dahaghin et al., 2024; Su & Fang, 2023). Aunque su aplicación aún se encuentra en desarrollo, tiene el potencial de automatizar tareas y mejorar la eficiencia de los procesos de digitalización.

El Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio de Chile (MINCAP) lanzó en 2021 la Agenda de Cultura Digital, que identifica los objetivos a desarrollar entre los cuales establece "liderar una estrategia nacional para gestionar, organizar y presentar las colecciones patrimoniales a la ciudadanía a través del uso de herramientas, soportes y plataformas digitales", (p. 26). A su vez, la Estrategia Nacional Patrimonios Digitales 2024-2029 del MINCAP identifica cuatro ámbitos de acción clave: digitalización y creación, preservación, accesibilidad y gobernanza. Cuyo objetivo principal es fortalecer la gestión de estos para las generaciones actuales y futuras, promoviendo la democratización del acceso a la información cultural en un territorio con alta dispersión geográfica y un desarrollo generalizado en materia de conectividad (MINCAP, 2024).

Noción de Patrimonio Industrial

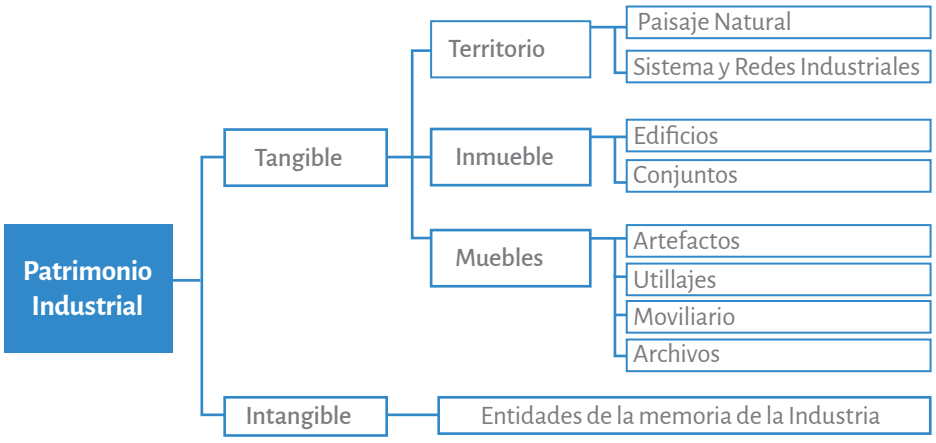
De acuerdo con el análisis realizado por los autores Ganchala & López (2023), algunos hitos clave para la comprensión del término incluyen la creación en 1978 del Comité Internacional para la Conservación del Patrimonio Industrial (TICCIH), la redacción de la Carta de Nizhny Tagil en 2003 y la redacción de los Principios de Dublín, en 2011.

En la Carta de 2003 se reconocen valores históricos, tecnológicos, sociales y científicos de elementos como edificios, maquinaria, minas, medios de transporte y sitios sociales vinculados a la industria (TICCIH, 2003). Mientras que los valores inmateriales, como las costumbres de sus comunidades asociadas, fueron incorporados en 2011.

De esta manera, el legado industrial se concibe como un conjunto compuesto tanto por activos tangibles —que abarcan paisajes, infraestructuras y objetos— como por dimensiones intangibles relacionadas con la organización laboral y el legado cultural de las comunidades (ICOMOS - TICCIH, 2011), cuya síntesis se muestra en la Figura 2.

En el caso de Lota, los elementos tangibles incluyen redes de transporte, edificios industriales e instalaciones asociadas al proceso de extracción del carbón y bienes muebles asociados a las condiciones del trabajo y la vida doméstica de las familias mineras, mientras que las prácticas y formas de vida mineras constituirían su acervo intangible (Ganchala & López, 2023).

Figura 2
Mapa semántico del patrimonio industrial



Fuente: Ganchala & López, 2023.

METODOLOGÍA

Se escogieron los sitios MH Mina Chiflón del Diablo y MH Parque Isidora Cousiño de Lota, considerando que forman parte del Conjunto Minero de Lota inscritos en la Lista Tentativa de UNESCO. A su vez, el Conjunto Minero de Lota fundamenta sus Valores Universales Excepcionales (VUE) con los criterios (ii): "atestiguar un intercambio de valores humanos considerable, durante un periodo concreto o en un área cultural del mundo determinada, en los ámbitos de la arquitectura o la tecnología, las artes monumentales, la planificación urbana o la creación de paisajes", y, criterio (iv): "ser un ejemplo eminentemente representativo de un tipo de construcción o de conjunto arquitectónico o tecnológico, o de paisaje que ilustre uno o varios periodos significativos de la historia humana" (UNESCO, 2008, p. 28), apuntando valores que superan fronteras nacionales, otorgándole relevancia para las generaciones actuales y futuras en todo el mundo (UNESCO, 2021).

Destaca un importante intercambio de conocimientos entre Chile y Europa, que impulsó un cambio profundo en tecnología, arquitectura y urbanismo en Lota. Su infraestructura basada en túneles y sistemas de transporte posibilitó la extracción submarina de carbón, integrando diversos hitos materiales y tecnológicos únicos en la región (Delegación Permanente de Chile ante la UNESCO, 2021).

Selección de elementos representativos

Los criterios de selección para la colección se basaron en dos dimensiones. En el ámbito técnico, se consideraron las capacidades de los equipos utilizados: escáner 3D infrarrojo manual marca Creality modelo CR-Scan Ferret SE y dron marca DJI modelo Mini 3 Pro, cuyas especificaciones generales se sintetizan en Tabla 1.

Tabla 1
Especificaciones generales de los dispositivos

Especificación	Escáner Creality CR-Scan Ferret SE	Dron DJI Mini 3 Pro
Tecnología/lente	Cámara dual infrarroja	(FOV): 82.1°, Apertura f/ 1.7
Distancia de trabajo	150 mm - 700 mm, 560 mm x 820 mm @700 mm (Rango de captura único)	Rango de disparo: 1 m - ∞
Precisión	Hasta 0.1 mm	- - -
Resolución Mínima/Máxima	0.16 mm	Imagen 8064x6048 (48 MP)
Resolución cámara color	1080p a 30 fps	Video 4K, 2.7K, 1080p con diferentes fps
Velocidad de escaneo/video	Hasta 30 fps	Hasta 120 fps (en 1080p)
Fuente de luz	Luz NIR (infrarroja clase 1)	Sensor CMOS 1/1.3"
Peso	105 g	248 g (masa máxima de despegue)
Dimensiones	120 x 30 x 25 mm	Desplegado (con hélices) 251x362x70mm
Formatos de salida	PLY, OBJ, STL	JPEG, DNG, MP4, MOV
Compatibilidad	Windows 10/11	iOS, Android (DJI Fly App)
Transmisión de datos	USB 3.0/2.0 Tipo C	Wifi, Bluetooth 5.2, USB Tipo C

Fuente: ElA, 2024. Según especificaciones de fabricantes DJI (2024) y Creality (2024).

El escáner permitió el levantamiento de información 3D a partir de la geometría, textura, o utilizando marcadores sobre los objetos, presentando limitaciones relativas a la reflexión, difusión y absorción de la luz presentes en su materialidad (Creality, 2024). De esta manera, quedaron excluidos preliminarmente elementos de dos dimensiones y media (2.5D) tales como pinturas, donde la textura de la superficie es parte integral de su significado (Bornstein & Keep, 2023). Igualmente, aquellos objetos con superficies translúcidas y reflectantes tales como loza policromada o cristalería. Debido a su tamaño reducido, también se desestimaron aquellas colecciones de numismática.

Una segunda dimensión contribuyó con la delimitación curatorial ajustándose a los criterios ii y iv referidos al intercambio de valores humanos en el tiempo o área cultural específica y ser ejemplo sobresaliente de tipo de construcción, conjunto o paisaje (UNESCO, 2008). De acuerdo con lo anterior, se escogieron cinco bienes muebles del Museo Histórico de Lota: Bronce de Minero del escultor francés E. Picault (Figura 3A), Genéfono de la compañía francesa SEA (Figura 3B), Metanómetro (Figura 3C) y Autorescatador Dräger de origen alemán (Figura 3D), y Lámpara de aceite Wells importado desde Inglaterra (Figura 3E).

Se seleccionaron también elementos arquitectónicos representativos tales como Faro Punta Lutrin y escultura de Ninfa Amaltea ubicados al interior del MH Parque de Lota y Pulpería ubicado en el MH Mina Chiflón del Diablo, cuyo registro se trabajó de manera exploratoria con la participación de estudiantes de Animación Digital de la USS y Técnico Nivel Superior en Computación e Informática del Centro de Formación Técnica (CFT) Lota-Arauco.

Figura 3
Objetos patrimoniales representativos

Fuente: Fichas de registro Fundación Cepas, 2024.

Figura 4
Escaneo manual

Fuente: Archivo fotográfico Alejandro Ocaña, 2024.

Digitalización con escáner 3D y fotogrametría aérea

La digitalización de los elementos implicó el levantamiento de nube de puntos con escáner manual infrarrojo y la captura de imágenes aéreas desde múltiples ángulos con dron piloteado por operador. Para el escaneo de bienes muebles se trabajó en un espacio iluminado naturalmente por un ventanal orientado hacia el norte, que proporcionó una fuente de luz difusa y homogénea. Se posicionaron sobre una mesa para ser recorridos a una distancia constante, capturando detalles en ba-se a su geometría o textura, utilizando escáner manual conectado a computador portátil empleando el soft-ware CrealityScan para procesar las nubes de puntos obtenidas, según se muestra en la Figura 4.

La captura de imágenes aéreas se realizó mediante misiones, donde, de manera demostrativa bajo la modalidad de vuelo manual, un operador mediante vuelos orbitales capturó veinte fotografías de distintos ángulos de escultura de Amaltea (Figura 5A), Faro Punta Lutrin (Figura 5B) y

Figura 5
Fotografías aéreas

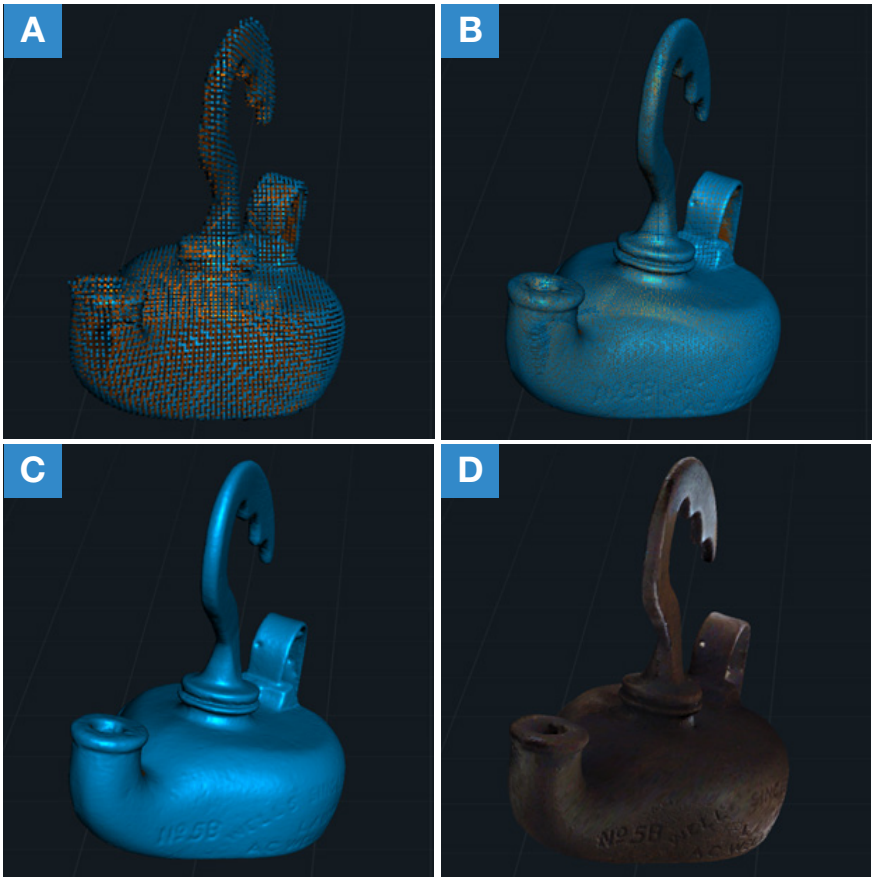
Fuente: Archivo fotográfico Bryan Olivares y Sebastián Ganchala, 2024

Pulpería (Figura 5C). Esta modalidad busca abordar distintas altitudes y perspectivas de cámara para mejorar la fidelidad general del modelo 3D resultante (Chatzistamatis et. al, 2023). Cabe señalar que en un trabajo de fotogrametría profesional se utilizan miles de fotografías de alta resolución (~50 megapíxeles) de 20 MB a 100 MB por tamaño de archivo, junto con la capacidad de cómputo necesaria para lograr modelos 3D de calidad (Ch'ng et. al, 2019).

Posprocesamiento

En cuanto a los objetos muebles, obtenidas las nubes de puntos (Figura 6A), mediante el software CrealityScan se optimizaron y combinaron las nubes incorporando la base del objeto al modelo (Figura 6B), para posteriormente generar superficie 3D (Figura 6C) y finalmente obtener la malla texturada en formato OBJ (Figura 6D).

Figura 6
Etapas del proceso de escáner 3D infrarrojo



A. Puntos sin procesar. **B.** Nube de puntos optimizada y combinada. **C.** Superficie tridimensional. **D.** Modelo texturizado.
Fuente: ElA, 2024.

Estos modelos resultantes fueron después importados a software de modelación y animación 3D Autodesk Maya, donde se corrigió su posición y orientación de manera que se ajustaran al origen (0,0,0) de los ejes X, Y, Z. Siendo la cara principal Z positivo aquella que presenta más información del objeto, el eje Y con las vistas superior e inferior y en el eje X sus lados derecho e izquierdo respectivamente.

Por su parte, las imágenes aéreas se posprocesaron junto a estudiantes, donde se trabajó a partir de un taller práctico en línea utilizando software de fotogrametría gratuito de código abierto Meshroom desarrollado por Alicevision (2021), así como también la plataforma Polycam (https://poly.cam/) para generar modelos 3D utilizando el método de Gaussian Splatting. Según los autores Reckers & Biwer (2023), el uso de estas tecnologías permite aumentar la eficiencia y precisión en las reproducciones digitales, abriendo nuevas posibilidades para la investigación y presentación de artefactos culturales. Se generó una demostración comparativa de resultados como un ejercicio de familiarización y aprendizaje experimental sobre fotogrametría aérea.

En síntesis, en el proceso de digitalización de bienes se utilizaron sensores activos para captura y métodos pasivos para el mapeo de textura, destacando los retos de combinar diferentes tecnologías generando reproducciones texturizadas en 3D de los objetos y sitios. Donde la transposición del color depende en gran medida de las condiciones de iluminación circundante, afectando así su fiabilidad respecto de su original (Ceccarelli et al., 2018).

En paralelo, se generó un texto curatorial y fichas de registro para cada uno de los objetos digitalizados. Estas fichas fueron una parte fundamental para la creación de la colección digital alojada en plataforma SketchFab, permitiendo su accesibilidad al público y facilitando su difusión. Esta plataforma ofrece más opciones de configuración y funcionalidades avanzadas en comparación con otras herramientas dedicadas al patrimonio cultural (Hernández-Muñoz, 2023).

RESULTADOS

Se elaboró un conjunto de criterios para la selección de los objetos a digitalizar. Incluyeron consideraciones técnicas (factibilidad de escaneo según geometría, materialidad y escala), conceptuales (alineación con los criterios VUE definidos por UNESCO) que permitió construir una selección de objetos muebles e inmuebles representativos.

La colección incluyó modelos 3D de bienes patrimoniales muebles, utilizando escáner infrarrojo operado por estudiantes de primer año de la carrera de Animación Digital de la USS en el Museo Histórico de Lota

administrado por Fundación Cepas, bajo condiciones de iluminación natural difusa permitiendo capturar geometría general y texturas superficiales. Los datos se procesaron con el software CrealityScan, generando mallas tridimensionales en formato OBJ, cuyos parámetros principales tales como resolución (nivel de detalle en la captura de información del modelo), sensibilidad (cantidad de puntos que se retendrán), tiempo de posprocesamiento total y problemas críticos se sintetizan en la Tabla 2.

Tabla 2
Principales parámetros de posprocesamiento

Objeto	Tiempo de posprocesamiento (min)	Resolución (mm)	Sensibilidad	Tamaño	Problemas críticos
Escultura de Minero	~45	0,3	0,8	Grande	Materialidad con pátina de bronce
Genéfono	~40	0,3	0,8	Mediano	Geometría con detalles interiores
Metanómetro	~30	0,3	0,8	Pequeño	Dispositivo con partes móviles
Autorescatador Dräger	~30	0,3	0,8	Pequeño	Superficie con óxido
Lámpara de aceite	~40	0,3	0,8	Mediano	Superficie con restos de aceite

Fuente: ElA, 2024.

Si bien el escaneo permitió capturar modelos tridimensionales funcionales para su exploración digital, las propiedades materiales de los objetos influyeron directamente en la fidelidad de éstos. Estas variaciones permiten plantear futuras líneas de estudio en torno a la estandarización de parámetros técnicos para colecciones patrimoniales con alta diversidad material y formal. En paralelo, los modelos fotogramétricos de los elementos arquitectónicos permitieron evaluar la viabilidad de los registros, utilizando software libre (Meshroom) basado en método Structure-from-Motion (SfM) y plataforma de generación automática con IA (Polycam), mediante técnica de Gaussian Splatting, con el objetivo de evaluar visualmente la calidad de las representaciones. Esta comparación fue parte de un ejercicio pedagógico exploratorio junto entre estudiantes de Animación Digital y Técnico Nivel Superior en Computación e Informática del CFT Lota-Arauco.

La documentación producida incluyó descripciones históricas, técnicas y formales para cada objeto digitalizado, desarrollado por estudiantes y docentes de Licenciatura en Arte y Conservación del Patrimonio de la USS. Esta curaduría permitió articular los modelos con su contexto histórico y social, facilitando la comprensión de su relevancia dentro del conjunto minero de Lota. Este contenido fue integrado en la plataforma de visualización Sketchfab (https://skfb.ly/psExY), junto con los modelos

3D, fortaleciendo la dimensión educativa y divulgativa de la colección. Estos hallazgos permiten establecer criterios técnicos más precisos para futuros procesos de digitalización, contribuyendo al desarrollo de protocolos estandarizados en conservación digital, a la vez que revela desafíos clave tales como la sostenibilidad a largo plazo de la colección digital, incluido su almacenamiento, gestión y accesibilidad de los datos contenidos.

DISCUSIÓN

El enfoque de interdisciplinariedad inherente en el campo de la conservación destaca las técnicas tradicionales y los enfoques innovadores necesarios para salvaguardar el testimonio histórico y material de los bienes culturales. Este enfoque es especialmente relevante en el caso del patrimonio industrial de Lota, donde los valores históricos, tecnológicos y sociales se entrelazan con la identidad colectiva y la memoria histórica que existe arraigada a su territorio.

En el campo de la conservación patrimonial, la digitalización emerge como una acción indirecta de conservación preventiva y examinación técnica, puesto que no interfiere en la materialidad del objeto y contribuye a su protección mediante la documentación de su estado actual, previniendo futuros deterioros o pérdidas, en consonancia con los postulados de ICOM sobre esta materia. A partir de lo anterior, el proceso de digitalización podría considerarse un estudio minucioso de alteraciones, deterioros y otras modificaciones, permitiendo un registro detallado sin intervenir en los valores materiales del bien. En este mismo sentido, cabe señalar que el modelo digital resultante no busca reemplazar al objeto físico, sino que constituye un registro digital que preserva información esencial y detallada sobre su condición o estado de conservación en un momento determinado.

Asimismo, el surgimiento de ampliaciones conceptuales que introducen la noción de accesibilidad dentro de la conservación refleja la necesidad de adaptar estrategias de salvaguardia a las dinámicas culturales contemporáneas. Reforzando la importancia de integrar herramientas digitales no solo como medios de preservación, sino como plataformas para resignificar y conectar las comunidades con su legado cultural en un entorno globalizado.

Por su parte, la Carta de Patrimonio Digital de la UNESCO (2003) y la Agenda Cultural Digital del MINCAP (2024) destacan la importancia de estrategias de gestión específicas para el ciclo de vida de los activos digitales, enfatizando su preservación, accesibilidad y gobernanza. De esta manera, la investigación subraya los desafíos técnicos y éticos que plantea la conservación digital, particularmente en términos de fidelidad, representatividad y gobernanza de los datos generados.

Desde una dimensión pedagógica, la investigación propició el desarrollo de habilidades técnicas y reflexivas entre estudiantes, quienes enfrentaron desafíos reales en procesos de digitalización patrimonial. Esta experiencia, enmarcada en la educación patrimonial activa, fortaleció la vinculación entre saberes técnicos y la comprensión crítica del patrimonio cultural, posicionando la práctica digital como herramienta formativa interdisciplinaria.

De esta manera, el estudio plantea una base para futuras exploraciones sobre cómo integrar procesos de digitalización en experiencias de educación. Asimismo, invita a reflexionar sobre la sostenibilidad de las colecciones digitales a largo plazo.

CONCLUSIONES

Los hallazgos de esta investigación evidencian la evolución conceptual que experimenta el campo deontológico de la conservación patrimonial en el contexto de la digitalización, demostrando cómo la integración de tecnologías emergentes amplía las estrategias de preservación y difusión del patrimonio cultural. Esta investigación subraya el potencial de los proyectos colaborativos e interdisciplinarios que aprovechan las tecnologías digitales para la conservación preventiva y la difusión del patrimonio industrial minero. La creación de una colección digital en línea, lograda mediante escaneo 3D y una participación activa de estudiantes y organizaciones locales, ha proporcionado un apoyo indirecto a la con-servación del importante legado industrial de Lota. Respondiendo ante la estrategia nacional de patrimonio digital propuesta por el MINCAP.

Sin embargo, el proyecto también ha puesto de manifiesto los principales retos inherentes a las iniciativas de patrimonio digital. Entre ellos, la complejidad de la gestión de datos a largo plazo, la necesidad de estrategias de preservación sólidas para combatir la obsolescencia tecnológica y la importancia de garantizar una participación genuina y significativa de la comunidad.

La investigación futura debería centrarse en perfeccionar las metodologías de participación comunitaria, abordar las consideraciones éticas que rodean a las representaciones digitales del patrimonio cultural y explorar enfoques innovadores para garantizar la accesi-bilidad y la sostenibilidad de las colecciones digitalizadas.

AGRADECIMIENTOS

Vicerrectoría de Vinculación con el Medio (VcM), Universidad San Sebastián Sede Concepción, Chile. Financiamiento: Fondos de Vicerrectoría de Vinculación con el Medio (VcM), Universidad San Sebastián (Proyecto ID 3399/2024)"

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Addison, A.C. (2000). Emerging Trends in Virtual Heritage. IEEE Multimedia 7(2), 22-25. https://doi.org/10.1109/93.848421

Addison, A. C. (2001). Virtual heritage - Technology in the Service of Culture. Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage (VAST '01), 343-354. https://doi.org/10.1145/584993.585055

Ballestrem, A., von Imhoff, H.C., McMillan, E., & Perrot, P.N. (1984). The conservator-restorer: A draft definition of the profession. International Journal of Museum Management and Curatorship, 3(1), 1984, 75-78, https://doi.org/10.1016/0260-4779(84)90032-3

Bornstein, D., & Keep, T. J. (2023). New Dimensions in Conservation Imaging: Combining Photogrammetry and Photometric Stereo for 3D Documentation of Heritage Artefacts. AICCM Bulletin, 44(11), 1–15. https://doi.org/10.1080/10344233.2023.2288467

Ceccarelli, S., Guarneri, M., Ferri de Collibus, M., Francucci, M., Ciaffi, M., & Danielis, A. (2018). Laser Scanners for High-Quality 3D and IR Imaging in Cultural Heritage Monitoring and Documentation. Journal of Imaging, 4(11), 130. https://doi.org/10.3390/jimaging4110130

Chatzistamatis, S., Kiourti, C., Koukounouri, A. E., Paxinou, S., Skordili, C. L., Louizidis, C., Athanasiadis, I., & Kotsopoulos, S. (2023): Photogrammetry in architectural education: deploying aerial and terrestrial means. International Archives Photogrammetry, Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-1/W2-2023, 261–267. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-261-2023

Ch'ng, E., Cai, S., Zhang, T. E., & Leow, F.-T. (2019). Crowdsourcing 3D cultural heritage: best practice for mass photogrammetry. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 9(1), 24–42. https://doi.org/10.1108/jchmsd-03-2018-0018

Creality. (2024). Manual de usuario escáner CR-Scan Ferret 3D. https://wiki.creality.com/en/3d-scanner/cr-scan-ferret/manual

Dahaghin, M., Castillo, M., Riahidehkordi, K., Toso, M., & Del Bue, A. (2024). Gaussian Heritage: 3D Digitization of Cultural Heritage with Integrated Object Segmentation. arXiv preprint arXiv:2409.19039v1. https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.19039

Delegación Permanente de Chile ante la UNESCO. (2021). Conjunto minero de Lota. https://whc.unesco.org/?cid=326&l=en&id=6498&&&action=doc

DJI. (2024). Manual de Usuario DJI Mini 3 Pro (v1.6) [Manual] https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_3_Pro/UM/20240105/2/DJI_Mini_3_Pro_User_Manual_v1.6_EN.pdf

Ganchala, S., & López-Meza, M. I. (2023). Análisis de la participación de la comunidad local en el proceso de valoración del patrimonio industrial minero de Lota (1997-2021). Arquitecturas del sur, 41(63), 86–103. https://doi.org/10.22320/07196466.2023.41.063.05

Hernández-Muñoz, Ó. (2023). Analysis of Digitized 3D Models Published by Archaeological Museums. Heritage, 6(5), 3885-3902. https://doi.org/10.3390/heritage6050206

ICOM-CC (2008). Terminology to characterize the conservation of tangible cultural heritage. Resolution adopted by the ICOM-CC, 15th Triennial Conference, New Delhi. https://www.icom-cc.org/dlfile.aspx?file=https://www.icom-cc.org/docs/content/ICOM-CC-Resolution-on-Terminology-English.pdf

ICOMOS. (1964). Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios (Carta de Venecia 1964). En Consejo de Monumentos Nacionales de Chile (Comp.), "Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales, Segunda Serie N° 111" (pp. 23-27). Santiago, Chile: Consejo de Monumentos Nacionales. https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/articles-55372_doc_pdf.pdf

ICOMOS. (1994). Documento de Nara sobre autenticidad. En Consejo de Monumentos Nacionales de Chile (Comp.), "Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales, Segunda Serie N° 111" (pp. 179-182). Santiago, Chile: Consejo de Monumentos Nacionales. https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/articles-55372_doc_pdf.pdf

ICOMOS – TICCIH. (2011). Principios conjuntos de ICOMOS – TICCIH para la conservación de sitios, estructuras, áreas y paisajes de patrimonio industrial. http://www.ticcih.es/wp-content/uploads/2012/03/GA2011_ICOMOS_TICCIH_joint_principles_EN_FR_final_20120110.pdf

Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. (2021). Agenda de Cultura Digital. https://www.cultura.gob.cl/culturadigital/wp-content/uploads/si tes/59/2021/05/agendaculturaldigital.pdf

Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. (2024). Estrategia Nacional Patrimonios Digitales 2024-2029. https://www.cultura.gob.cl/wp-content/uploads/2024/04/estrategia-nacional-de-patrimonios-digitales.pdf

Reckers, S., & Biwer, S. (2024). Exploring the Boundaries of Digitalization of Cultural Heritage: Opportunities, Challenges and Future Directions. INFORMATIK 2024. https://doi.org/10.18420/inf2024_77

Su, L., & Fang, M. (2023). Research on the Status and Strategies of Digital Conservation in Chongqing Industrial Heritage Agglomeration. Academic Journal of Humanities & Social Sciences, 6(3), 109-113. https://doi.org/10.25236/AJHSS.2023.060317

TICCIH. (2003). Carta de Nizhny Tagil sobre el patrimonio industrial. https://ge-iic.com/files/Cartasydocumentos/Carta_de_Nizhny_Tagil.pdf

UNESCO. (1972). Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural. Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. https://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf

UNESCO. (2003). Charter on the preservation of the Digital Heritage. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529.locale=es

UNESCO. (2008). Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial. https://whc.unesco.org/document/189666

UNESCO. (2021). Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial. Comité del Patrimonio Mundial de la UNESCO. https://whc.unesco.org/document/189666

Verroken,T., Lemmens, B., & Mestdagh, R. (2017). Using 3D Digitization in the Preservation of Industrial and Agricultural Heritage. Archiving Conference, 1(1), 49-54. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2017.1.0.49

Todos los contenidos de la **Revista URBE. *Arquitectura, Ciudad y Territorio*,** se publican bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional y pueden ser usados gratuitamente, dando los créditos a los autores y a la revista, como lo establece la licencia