



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE DE
VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**Propuesta de diseño e implementación de laboratorio de digitalización
patrimonial 3D para la USM**

Proyecto de título para optar al
Título de INGENIERÍA EN
FABRICACIÓN Y DISEÑO
INDUSTRIAL con Licenciatura en
Ingeniería en Fabricación y Diseño
Industrial.

Alumno:

Joaquín Ignacio Medel Fuentes.

Profesor Guía: Mario Salinas P.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta de diseño e implementación de laboratorio de digitalización patrimonial 3D para la USM.

Nombre del candidato(a): Joaquín Ignacio Medel Fuentes

Carrera / Grado: Ingeniería en Fabricación y Diseño Industrial

Campus: Universidad Técnica Federico Santa María

Departamento: Diseño y Manufactura

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Mario Salinas P. en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses

☐ 12 meses

☐ 2 años

☐ 3 años

☐ 5 años

☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 05/06/2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 05/06/2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos al profesor guía Mario Salinas P., docente de la carrera de Ingeniería en Fabricación y Diseño Industrial de la Universidad Técnica Federico Santa María, por su constante apoyo, orientación técnica y disposición durante el desarrollo de este proyecto. Sus observaciones, revisiones y acompañamiento fueron fundamentales para dar dirección, estructura y solidez a esta propuesta, permitiendo que el proyecto avanzara de manera correcta y coherente.

Asimismo, agradezco a Sergio Quiroz, director del Museo de Historia Natural de Valparaíso, y al equipo del museo, por la disposición y apoyo brindado durante la realización del levantamiento tridimensional. Su colaboración permitió validar la aplicabilidad del proyecto en un contexto real, aportando significativamente al desarrollo de esta investigación.

También quisiera agradecer a la profesora Juliet Aristizábal por su apoyo y orientación en la gestión de vínculos con instituciones y profesionales relacionados con el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. Su ayuda permitió establecer contacto con las personas adecuadas para orientar y fortalecer el enfoque del proyecto, además de contribuir mediante observaciones y correcciones relevantes durante su desarrollo.

Del mismo modo, agradezco al profesor Diego Romero por su apoyo técnico y colaboración durante los procesos de levantamiento tridimensional y procesamiento de nube de puntos. Su experiencia y conocimientos en el uso de software especializado fueron de gran ayuda para el desarrollo técnico de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de este proyecto y apoyaron su realización.

RESUMEN

El patrimonio arquitectónico enfrenta actualmente diversos riesgos asociados al deterioro, desastres naturales, intervenciones no documentadas y pérdida progresiva de información técnica. En muchos casos, las instituciones responsables de su conservación no cuentan con documentación precisa y actualizada que permita apoyar procesos de restauración, investigación o gestión patrimonial. A esto se suma la dificultad de acceder a tecnologías especializadas debido a los altos costos asociados a los levantamientos tridimensionales y a las limitaciones presupuestarias existentes en numerosas instituciones patrimoniales.

En este contexto, el presente proyecto propone el diseño e implementación de un laboratorio de digitalización patrimonial 3D al interior del Departamento de Diseño y Manufactura (DIMA) de la Universidad Técnica Federico Santa María, orientado a la generación, gestión y almacenamiento de información tridimensional de alta precisión mediante tecnologías de escaneo láser y procesamiento digital.

La propuesta considera no solo la captura de información, sino también el desarrollo de un modelo de gestión basado en la custodia de los activos digitales y el acceso bajo demanda a los modelos generados. De esta manera, se plantea un sistema capaz de reducir las barreras de acceso inicial para instituciones patrimoniales, permitiendo posteriormente la utilización de la información en procesos de restauración, documentación, investigación y difusión.

Asimismo, el proyecto incorpora aspectos técnicos, administrativos y económicos relacionados con la implementación del laboratorio, incluyendo su integración institucional, flujo operativo y modelo de sostenibilidad.

Finalmente, se concluye que la propuesta presenta viabilidad técnica y operativa, además de un alto potencial de desarrollo en el ámbito de la preservación digital del patrimonio, posicionándose como una herramienta de apoyo para la conservación y valorización de inmuebles patrimoniales.

Palabras clave: Escaneo 3D, Digitalización patrimonial, Patrimonio arquitectónico, Levantamiento tridimensional.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1.DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.1. ANTECEDENTES GENERALES.	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.....	2
2.1. PROBLEMÁTICA	2
2.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
3. ESTADO DEL ARTE.....	3
3.1. CASO DE ESTUDIO INTERNACIONAL:	3
3.2. CASO DE ESTUDIO NACIONAL CHILE:	6
3.3. CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE DOCUMENTACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO EN CHILE.....	8
4. ANÁLISIS DE LA OFERTA DE SERVICIOS DE LEVANTAMIENTO 3D EN CHILE....	10
4.1. EMPRESAS CHILENAS DEDICADAS A LEVANTAMIENTO 3D.....	10
4.2. UNIVERSIDADES CHILENAS DEDICADAS A LEVANTAMIENTO TRIDIMENSIONAL	12
5. HISTORIA, RESTAURACIONES, MODIFICACIONES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL PALACIO LYON.	13
5.1. HISTORIA DE MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE VALPARAÍSO	13
5.2. RESTAURACIONES Y MODIFICACIONES DEL PALACIO LYON	15
5.3. SITUACIÓN ESTRUCTURAL ACTUAL DEL PALACIO LYON	16
6. PLANIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO 3D EN EL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE VALPARAÍSO	18
6.1. METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO 3D CON ESCÁNER LASER TRIMBLE X7	18
6.2. PROCEDIMIENTO DE CAPTURA Y PROCESAMIENTO	19
7. LEVANTAMIENTO 3D INTEGRADO Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL EN TERRENO	21
7.1. EJECUCIÓN DEL LEVANTAMIENTO EN TERRENO.....	22
7.2. CAPTURA DE DATOS EN TERRENO CON ESCÁNER LÁSER TRIMBLE X7	23
7.3. DIGITALIZACIÓN DE DETALLE MEDIANTE ESCÁNER CREALITY RAPTOR 25	25
7.4. PROCESAMIENTO DE DATOS Y GENERACIÓN DE MODELOS	27

7.5. VALIDACIÓN DE RESULTADO MEDIANTE LA REPRODUCCIÓN FÍSICA DEL ELEMENTO DECORATIVO (LEÓN)	32
8. MODELO DE NEGOCIO DEL LABORATORIO DE DIGITALIZACIÓN PATRIMONIAL 3D	33
8.1. PROPUESTA DE VALOR	34
8.2. SEGMENTO DE CLIENTES.....	34
8.3. PROPUESTA DE SERVICIO DEL LABORATORIO DE DIGITALIZACIÓN PATRIMONIAL 3D USM	35
8.3.1 SERVICIO BASE DE CAPTURA DE INFORMACIÓN	35
8.3.2 SERVICIOS ASOCIADOS A LA INFORMACIÓN GENERADA	36
8.3.3 GESTIÓN DEL REPOSITORIO DIGITAL.....	36
8.4. ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE COSTOS DEL LEVANTAMIENTO TRIDIMENSIONAL	37
8.4.1. SUPUESTOS GENERALES DEL MODELO DE COSTO.....	37
8.4.2. COSTO ESTÁNDAR POR ESTACIÓN SEGÚN TIEMPO DE ESCANEEO.....	37
8.4.3. APLICACIÓN A CASO REAL DE LEVANTAMIENTO	37
8.4.4. COSTO TOTAL DEL LEVANTAMIENTO.....	38
8.4.5. ANÁLISIS DEL COSTO OPERATIVO.....	38
8.5. MODELO DE INGRESOS DEL LABORATORIO	38
8.5.1. CONVENIO BASE Y CUSTODIA DE INFORMACIÓN	38
8.5.2. MODELO DE SUSCRIPCIÓN PARA ALMACENAMIENTO.....	39
8.5.3. LICENCIAMIENTO Y ACCESO A LA INFORMACIÓN.....	40
8.5.4. SERVICIOS DERIVADOS.....	40
8.5.5. SUSCRIPCIONES INSTITUCIONALES	40
8.5.6. FINANCIAMIENTO EXTERNO.....	41
8.5.7. SÍNTESIS DEL MODELO DE NEGOCIO	41
9. IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD AL INTERIOR DEL DEPARTAMENTO DIMA	41
9.1. DEPENDENCIA ADMINISTRATIVA Y GOBERNANZA	41
9.2. INTEGRACIÓN INSTITUCIONAL	42
9.3. FLUJO INSTITUCIONAL DEL SERVICIO.....	42
9.4. ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	43
9.5. DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS.....	43
9.6. ROL ESTRATÉGICO DEL LABORATORIO DENTRO DEL DIMA	43
10. ESTRATEGIA LEGAL Y PROPIEDAD INTELECTUAL	44

10.1. TITULARIDAD DE LA INFORMACIÓN	44
10.2. DERECHOS DE USO Y ACCESO	44
10.3. RESTRICCIONES DE USO Y EXPLOTACIÓN.....	44
10.4. CONFIDENCIALIDAD Y RESGUARDO DE LA INFORMACIÓN	44
10.5. SISTEMA DE TARIFAS Y USO FUTURO DE LA INFORMACIÓN	45
10.6. PROTECCIÓN DEL MODELO DE NEGOCIO	45
11. ESTRATEGIA COMERCIAL	45
11.1. CLIENTES OBJETIVO	45
11.2. ARGUMENTOS DE VALOR.....	46
11.3. MODELO DE ENTRADA	46
12. BUSINESS MODEL CANVAS.....	46
13. VIABILIDAD DEL PROYECTO	47
13.1. ESTRUCTURA DE COSTOS DEL SERVICIO	47
13.2. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	47
13.3. LÓGICA DE RENTABILIDAD	47
13.4. CONDICIONES DE SOSTENIBILIDAD.....	48
13.5. PROYECCIÓN DEL MODELO	48
CONCLUSIÓN.....	49
BIBLIOGRAFIA.....	51

INTRODUCCIÓN

La conservación del patrimonio en Chile plantea desafíos significativos para la preservación cultural, particularmente en contextos expuestos a desastres naturales, deterioro ambiental y actividades humanas. En Chile, los esfuerzos por documentar edificaciones históricas han dependido en gran medida de metodologías tradicionales, como registros fotográficos, croquis y planos bidimensionales, los cuales no capturan adecuadamente la complejidad volumétrica ni la riqueza material de los bienes patrimoniales.

En contraste, el desarrollo de tecnologías de escaneo tridimensional como el escáner láser terrestre y la fotogrametría digital ha transformado los procesos de documentación patrimonial en diversos países, permitiendo generar nubes de puntos de alta resolución, modelos geométricos precisos y visualizaciones virtuales interactivas. Estas herramientas no solo optimizan el análisis estructural y la planificación de intervenciones de conservación, sino que también permiten preservar la información en formatos accesibles y reutilizables.

En este contexto, el presente trabajo se orienta al estudio y aplicación de tecnologías de digitalización tridimensional para la documentación y conservación del patrimonio arquitectónico. Para ello, se desarrolló una investigación que combinó la revisión de antecedentes nacionales e internacionales con el análisis de experiencias y capacidades existentes en Chile, permitiendo comprender el estado actual de estas tecnologías y su potencial aplicación en el ámbito patrimonial.

Como parte del proceso de investigación, se llevó a cabo un caso de estudio en el Museo de Historia Natural de Valparaíso, utilizando tecnologías de escaneo tridimensional para la captura y procesamiento de información arquitectónica y ornamental. Los resultados obtenidos permitieron evaluar la factibilidad técnica de los procedimientos empleados y sirvieron como base para la elaboración de una propuesta de implementación de un Laboratorio de Digitalización Patrimonial 3D en la Universidad Técnica Federico Santa María, considerando aspectos técnicos, operativos, administrativos y económicos.

El alcance de este proyecto se centra en el diseño de una propuesta para la implementación de dicho laboratorio, incorporando metodologías de levantamiento, procesamiento y gestión de información digital patrimonial, junto con una estructura organizacional y un modelo de funcionamiento que permitan sustentar su desarrollo futuro. La investigación incluye además la validación de los procedimientos mediante el caso de estudio realizado en el Palacio Lyon.

Por otra parte, este trabajo no contempla la implementación física definitiva del laboratorio ni la digitalización completa del inmueble analizado. Del mismo modo, no aborda procesos de restauración arquitectónica, concentrándose en establecer una propuesta viable que contribuya a futuras iniciativas de preservación digital del patrimonio.

1.DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES GENERALES.

La documentación del patrimonio en Chile ha estado históricamente basada en metodologías convencionales que, si bien han sido útiles, no permiten capturar con precisión la geometría, textura ni volumetría real de los objetos y estructuras patrimoniales. En consecuencia, el país cuenta con un inventario patrimonial que muchas veces carece de registros técnicos adecuados, dificultando su análisis, protección y restauración efectiva.

Pese a los avances tecnológicos a nivel internacional, en muchas comunas chilenas no se cuenta con escáneres láser 3D propios ni con personal capacitado para operar este tipo de tecnologías. Si bien en algunos proyectos públicos se contempla el levantamiento tridimensional como parte de las licitaciones, su ejecución muchas veces se descarta debido al alto costo que implica contratar empresas especializadas, lo que excede los presupuestos municipales disponibles. Esta situación no solo limita el acceso a tecnologías de documentación avanzada, sino que genera una dependencia externa que restringe su uso sistemático en contextos reales. Frente a este escenario, se vuelve fundamental establecer un centro académico que integre equipamiento, protocolos operativos y formación técnica especializada, permitiendo reducir la brecha existente y democratizar el acceso a herramientas de digitalización patrimonial en Chile.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.

2.1. PROBLEMÁTICA

En Chile, numerosos monumentos y bienes patrimoniales de alto valor histórico y cultural han sido afectados por desastres naturales (terremotos, inundaciones), conflictos sociales y el desgaste cotidiano, poniendo en riesgo un legado arquitectónico y artístico que define nuestra identidad colectiva. No obstante, en muchos casos de intentos de reconstrucción del patrimonio no existen planos arquitectónicos originales ni documentación técnica que registren con precisión sus dimensiones, materiales y técnicas constructivas, lo cual complica cualquier intento de reconstrucción tras un siniestro. Al carecer de información detallada sobre elevaciones, secciones y ornamentaciones, las restauraciones deben apoyarse en testimonios orales o restos fragmentarios, aumentando el riesgo de intervenciones incongruentes que desvirtúan el valor histórico de las edificaciones afectadas.

A esta problemática se suma una limitación en las instituciones encargadas de la gestión patrimonial, tales como municipios, museos y organismos culturales, las cuales en muchos casos no disponen de los recursos económicos necesarios para contratar servicios especializados de levantamiento tridimensional. Si bien estas tecnologías 3D permiten obtener registros de alta precisión, su implementación suele implicar costos elevados que exceden los presupuestos disponibles, lo que obliga a optar por métodos tradicionales de documentación menos precisos o en algunos casos, a prescindir completamente de este tipo de levantamientos.

2.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General:

Desarrollar una propuesta integral para el diseño e implementación de un laboratorio de digitalización patrimonial 3D en la Universidad Técnica Federico Santa María que permita generar réplicas digitales de alta precisión en la medición de bienes culturales, optimizando los procesos de captura, procesamiento y gestión de datos para su preservación, análisis y difusión.

Objetivo Específico:

- **Analizar el estado del arte nacional e internacional en digitalización patrimonial 3D**, identificando vacíos, recursos disponibles, oportunidades de mejora y revisando experiencias aplicadas a la conservación arquitectónica y la gestión post-desastre, con el fin de establecer referencias técnicas relevantes para el proyecto.
- **Definir el procedimiento técnico de levantamiento tridimensional**, estableciendo protocolos de captura de nubes de puntos y fotogrametría, junto con un flujo de trabajo para el procesamiento y la gestión de datos digitales, que contemple filtrado, generación de modelos y almacenamiento en formatos interoperables, asegurando precisión, calidad y disponibilidad de la información para su uso posterior.
- **Validar experimentalmente los procedimientos mediante estudios de caso**, aplicados a edificaciones u objetos patrimoniales, evaluando precisión, repetibilidad y aplicabilidad en contextos reales.
- **Identificar los requisitos técnicos y de infraestructura necesarios**, definiendo equipos, software y condiciones ambientales óptimas para garantizar precisión y continuidad operativa.
- **Diseñar un modelo de negocio para el laboratorio de digitalización patrimonial 3D**, basado en la generación y gestión de un banco de información digital, que permita su sostenibilidad en el tiempo y la prestación de servicios en función de la demanda y necesidades futuras de las instituciones.

3. ESTADO DEL ARTE.

3.1. CASO DE ESTUDIO INTERNACIONAL:

a). Documentation and the Restoration of Notre-Dame of Paris.

En abril de 2019, un incendio destruyó gran parte de la techumbre y la aguja de la Catedral de Notre-Dame de París. En este contexto, los levantamientos tridimensionales realizados previamente mediante escaneo láser adquirieron un rol relevante en el proceso de restauración. Destaca el trabajo desarrollado por Andrew Tallon, quien generó un registro digital de alta precisión del edificio antes del siniestro, el cual ha sido utilizado como referencia para comprender su geometría original y apoyar los procesos de reconstrucción (*Historian Uses Lasers to Unlock Mysteries of Notre Dame Cathedral*, 2019).



Figura 1. Antes y después de catedral Notre-Dame. Fuente: CNN Español

Aunque inicialmente se realizó como parte de proyectos de documentación patrimonial entre 2010 y 2016, los escaneos 3D se transformaron en una herramienta crucial tras el incendio. Permitieron conservar digitalmente el estado original del edificio y guiar su restauración fielmente, especialmente en zonas destruidas como la aguja y el entramado de madera medieval.

Se implementó una metodología integral de levantamiento y modelado digital que combinó múltiples técnicas complementarias. En primer lugar, se realizó un escaneo láser terrestre (TLS) sistemático del interior y exterior de la catedral, utilizando escáneres de alta precisión desde distintas posiciones para capturar la geometría del edificio con detalle milimétrico. Paralelamente, se llevaron a cabo vuelos con **drones y helicópteros equipados con cámaras de alta resolución**, lo que permitió registrar cubiertas, cornisas y elementos elevados de difícil acceso. La información recopilada fue procesada y ensamblada para formar una nube de puntos densa, compuesta por más de **50 mil millones de puntos**.(Riksantikvarieämbetet, 2022)

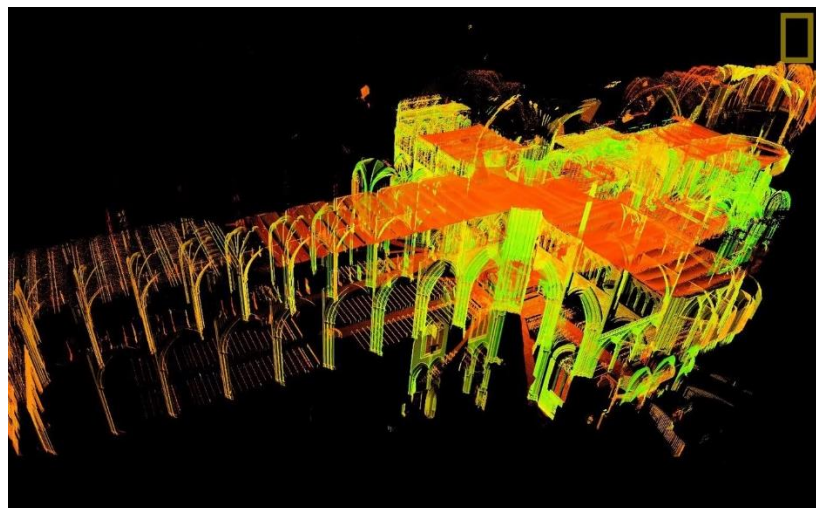


Figura 2. Nube de puntos de fachada Notre-Dame.(National Geographic, 2015).

Tras el siniestro ocurrido en abril de 2019, se requirieron aproximadamente **dos meses de trabajo intensivo para procesar, validar y adaptar los modelos 3D** ya existentes al nuevo escenario de restauración, permitiendo una rápida reacción frente a la emergencia.



Figura 3. Nube de punto detallado. Fuente: Metalocus.

Los datos tridimensionales permitieron identificar con exactitud los elementos perdidos o dañados, lo que posibilitó su reproducción fiel en el proceso de restauración.



Figura 4. Notre-Dame 2025.

El enfoque empleado también demostró que este tipo de herramientas tecnológicas mejoran la resiliencia del patrimonio frente a desastres naturales o accidentales, y abren nuevas posibilidades en la conservación preventiva, el monitoreo estructural, y el acceso al conocimiento mediante plataformas digitales. Finalmente, se concluyó que el gemelo digital de Notre-Dame se consolidó como una herramienta institucional de referencia, aplicable a futuras intervenciones y a la gestión integral del patrimonio construido.

3.2. CASO DE ESTUDIO NACIONAL CHILE:

a). Escaneo láser 3D en San Lorenzo de Tarapacá (Chile) tras el terremoto de 2005.

Este estudio analiza la aplicación del escaneo láser terrestre (3DLS) para documentar áreas patrimoniales afectadas por terremotos, utilizando como caso de estudio el pueblo de San Lorenzo de Tarapacá, en el norte de Chile. La investigación busca mostrar cómo esta tecnología puede servir para preservar y analizar edificaciones históricas en riesgo tras desastres naturales.



Figura 5. San lorenzo Tarapacá (Devilat Loustalot, 2014).

El objetivo fue demostrar que el escaneo 3D permite generar registros precisos y rápidos del estado estructural de zonas patrimoniales tras un sismo, antes de que las intervenciones de emergencia, la demolición o el deterioro alteren los restos originales. Esta documentación puede ser utilizada en la evaluación de daños, diseño de estrategias de conservación y reconstrucción respetuosa.

Durante **tres días** de trabajo en enero de 2013, **dos personas realizaron 178 escaneos terrestres desde diferentes puntos del pueblo**, incluyendo calles y algunos interiores. El escaneo se hizo con tecnología LIDAR terrestre, combinando mediciones láser con fotografía para obtener un modelo 3D denso y a color. Este modelo fue procesado, seccionado y utilizado para identificar daños estructurales (grietas, deformaciones) y evaluar el impacto del terremoto.



Figura 6. Recorrido de levantamiento desde diferentes puntos del pueblo.(Devilat Loustalot, 2014).

Para la documentación del pueblo patrimonial de San Lorenzo de Tarapacá tras el terremoto de 2005, se utilizaron tecnologías avanzadas como el escáner láser terrestre (LIDAR) de alta precisión milimétrica, complementado con captura fotográfica simultánea que permitió generar modelos tridimensionales con textura realista.

El procesamiento de los datos se realizó mediante software especializado de reconstrucción 3D, que facilitó la edición, visualización y análisis de los modelos digitales obtenidos. Además, los datos recopilados ofrecieron la posibilidad de generar modelos físicos a través de impresión 3D. La campaña de levantamiento fue ejecutada en terreno por dos personas, Bernadette Devilat y Diego Ramírez, durante tres días, con el apoyo de ScanLAB Projects, quienes facilitaron el uso del equipo de escaneo.



Figura 7. Vista superior recorrido e interior. (Devilat Loustalot, 2014)

Este breve pero intensivo trabajo demostró la capacidad de esta tecnología para registrar con alta precisión el estado post-sísmico de estructuras patrimoniales en un periodo crítico.

Los modelos generados permitieron identificar detalles como grietas, deformaciones y techos colapsados, resultando en registros útiles para procesos de evaluación, reparación, reconstrucción o réplica. Asimismo, el estudio comprobó que, en contextos de desastre, es fundamental actuar con rapidez antes de que intervenciones de emergencia o demoliciones alteren el estado original del patrimonio.

Esta experiencia evidenció que el escaneo 3D puede ser una herramienta clave dentro de estrategias de conservación más sensibles y sustentables, superando los enfoques tradicionales centrados en la réplica literal.

3.3. CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE DOCUMENTACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO EN CHILE.

a). Daño estructural y abandono de la Iglesia San Borja (Ex Catedral de Carabineros, Santiago).

La Iglesia San Borja, también conocida como Ex Catedral de Carabineros, fue saqueada e incendiada en enero de 2020, en el contexto del estallido social.



Figura 8. Iglesia San Borja antes del estallido social. (Iglesia San Francisco de Borja (Santiago), s. f.).

El ataque provocó la **destrucción del 60% de su estructura**, incluyendo zonas claves del **interior y del techo**, lo que dejó al edificio gravemente comprometido.

Como única medida de resguardo, se lograron salvar algunos vitrales históricos, aunque el inmueble permanece abandonado y en estado de deterioro severo hasta la fecha.

El **costo estimado de recuperación es indeterminado**, debido a la **magnitud del daño estructural** y al **deterioro progresivo causado por la falta de intervención o mantenimiento**.



Figura 9. Incendio y deterioro de iglesia San Borja (Gómez, 2022).

La **ausencia de modelos digitales** previos impide contar con una base de referencia para reconstruir sus componentes, obligando a levantar desde cero cada elemento perdido. **Esto incrementa sustancialmente los costos y la dificultad** de cualquier eventual proyecto de restauración.

b). Destrucción de la Iglesia de la Asunción (Santiago Centro).

La **Iglesia de la Asunción**, ubicada en el centro de Santiago, fue **saqueada en 2019** y **posteriormente incendiada en octubre de 2020**, lo que provocó la **pérdida total de su aguja, techumbre y pinturas murales**, elementos emblemáticos de su arquitectura y valor histórico.



Figura 10. («Iglesia de la Asunción (Santiago de Chile)», 2026).

Como resultado de estos eventos, **se produjo la pérdida casi total de su estructura original**, correspondiente al **siglo XIX**, dejando a la comunidad sin uno de sus referentes patrimoniales más representativos.

A pesar de que se **lograron recuperar algunas piezas menores**, la **reconstrucción del templo es altamente compleja y costosa**, debido al nivel de **destrucción** y a la **falta de registros técnicos detallados**.



Figura 11. Incendio y saqueo a Iglesia de la Asunción (Gómez, 2022).

La **ausencia de una nube de puntos 3D previa** impidió contar con un respaldo digital que facilitara una planificación más precisa de la restauración, o que al menos hubiera permitido conservar **digitalmente la imagen histórica** de este edificio patrimonial.

4. ANÁLISIS DE LA OFERTA DE SERVICIOS DE LEVANTAMIENTO 3D EN CHILE

En Chile, diversas empresas ofrecen servicios de escaneo láser 3D, fotogrametría y modelado BIM aplicados a arquitectura, construcción y patrimonio. Los entregables habituales incluyen nubes de puntos, modelos digitales interoperables (IFC, Revit), planos CAD y visualizaciones, configurando un mercado en expansión que aún presenta brechas en la atención especializada al ámbito patrimonial.

Estas compañías ofrecen servicios que abarcan desde el escaneo láser 3D hasta el modelado BIM y la generación de visualizaciones digitales. Para efectos de este análisis se seleccionaron tres empresas representativas del mercado nacional, Deep3D, GETARQ y PointCloud Chile, cuyos servicios, tecnologías y entregables se describen a continuación.

4.1. EMPRESAS CHILENAS DEDICADAS A LEVANTAMIENTO 3D

a). Empresa Deep3D:

Servicios:

- Escaneo láser 3D de edificaciones.
- Modelado BIM.
- Digitalización 3D para arquitectura e ingeniería.

Tecnología: Escáner láser terrestre de alta precisión (modelo no especificado por la empresa) + software BIM (Revit, IFC).

Sectores atendidos: Construcción, arquitectura, industria, Arqueología, patrimonio, industria audiovisual (cine y video juego), educación e investigación, ingeniería y diseño de proyectos.

Modalidad comercial: Servicios por proyecto (cotización directa).

Entregables al cliente:

- Nube de puntos en formatos E57, RCP, LAS.
- Modelos BIM en formato IFC y Revit.
- Planimetrías digitales (DWG, PDF).

Fuente: (Deep3D | Modelado BIM, Escaneo Láser y Digitalización 3D Chile., s. f.).

b). Empresa GETARQ:

Servicios:

- Escaneo láser 3D de edificaciones.
- Fotogrametría aérea con drones.
- Entrega de nubes de puntos y modelos 3D.
- Fotogrametría terrestre
- Fotografía 360

Tecnología: Escáner láser terrestre (TLS, modelo no especificado) + UAV para fotogrametría (drones) + CAD/BIM.

Sectores atendidos: Arquitectura, gestión de activos industriales.

Modalidad comercial: Cotización personalizada según superficie levantada.

Entregables al cliente:

- Nubes de puntos (datos sin procesar).
- Nube de puntos (procesados).
- Nube de puntos (procesados y fusionadas).
- Infografías métricas (Ortofotós).
- Planimetría CAD 2D As-Built.
- Modelos 3D MESH sobre nubes.
- Modelos 3D No Inteligentes.
- Modelos 3D BIM.
- Cálculos de volumen.
- Análisis de interferencias contra modelos BIM.

Fuente: (*Getarq // Preservación Digital Del Patrimonio*, s. f.).

c). Empresa PointCloud Chile:

Servicios:

- Escaneo láser 3D terrestre.
- Modelado BIM (Scan-to-BIM).
- Fotogrametría aérea con drones.
- Animación y visualización 3D para arquitectura y arqueología.

Tecnología: Escáner láser + UAV + software BIM.

Sectores atendidos: Minería, arquitectura, arqueología.

Modalidad comercial: Proyectos por encargo (cotización directa).

Entregables al cliente:

- Nube de puntos (E57, RCP).
- Modelos BIM (IFC, Revit).
- Planos CAD (DWG, DXF).
- Animaciones y recorridos virtuales.
- Visualizaciones interactivas.

Fuente: (*PointCloud - Control de calidad constructiva basada en nube de puntos*, s. f.).

Empresa	Servicios principales	Tecnología usada	Sectores atendidos	Modalidad comercial	Entregables al cliente
Deep3D	Escaneo láser 3D, modelado BIM, digitalización 3D	Escáner láser + BIM	Construcción, arquitectura, industria	Cotización por proyecto	Nube de puntos (E57, RCP, LAS). Modelos BIM (IFC, Revit). Planimetrías (DWG, PDF).
GETARQ	Escáner láser 3D, fotogrametría aérea UAV	TLS + drones	Arquitectura, activos industriales	Cotización según superficie	Nube de puntos (E57, LAS). Ortofotos (GeoTIFF, JPG). Modelos 3D e informes técnicos.
PointCloud Chile	Escaneo láser 3D, fotogrametría, modelado BIM, animación 3D	Escáner láser + UAV + BIM	Minería, arquitectura, arqueología	Cotización directa	Nube de puntos (E57, RCP). Modelos BIM (IFC, Revit). Planos CAD (DWG, DXF). Animaciones y VR.

Tabla 1. Comparación de empresas chilenas dedicadas a levantamientos tridimensionales.

4.2. UNIVERSIDADES CHILENAS DEDICADAS A LEVANTAMIENTO TRIDIMENSIONAL

En Chile, además de la oferta de empresas privadas, las universidades y centros de investigación han incorporado el escaneo láser 3D y la fotogrametría en proyectos orientados a la documentación, conservación y estudio del patrimonio cultural. Estas instituciones cumplen un rol clave en el desarrollo académico y en la generación de convenios con organismos públicos, aportando entregables técnicos que complementan la labor de las compañías del sector.

a). Centro del Patrimonio Cultural UC:

Servicios:

- Levantamiento fotogramétrico y escaneo láser 3D de edificios históricos.
- Documentación técnica de patrimonio arquitectónico y cultural.
- Generación de nubes de puntos y planimetrías digitales.

Tecnología: Escáner láser terrestre (modelo no especificado) + fotogrametría digital + software CAD/BIM.

Sectores atendidos: Patrimonio histórico, arquitectura, restauración.

Modalidad comercial: Proyectos académicos y contratos externos con instituciones culturales.

Entregables al cliente:

- Nube de puntos de alta precisión.
- Planimetrías y ortofotos digitales.
- Modelos digitales en CAD/BIM.
- Informes técnicos de levantamiento y conservación.

Fuente: (Centro UC Patrimonio Cultural, s. f.).

b). Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU):

Servicios:

- Documentación arquitectónica y arqueológica mediante escaneo 3D.
- Generación de modelos digitales para investigación y conservación.
- Aplicación de metodologías BIM en patrimonio.

Tecnología: Escáner láser terrestre + UAV para fotogrametría + software BIM/CAD.

Sectores atendidos: Patrimonio cultural, arqueología, arquitectura.

Modalidad comercial: Proyectos de investigación y convenios con organismos públicos y privados.

Entregables al cliente:

- Nube de puntos georreferenciada.
- Modelos digitales tridimensionales.
- Planimetrías técnicas y ortofotos.
- Publicaciones y repositorios académicos.

Fuente: (FAU - Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad de Chile, s. f.).

5. HISTORIA, RESTAURACIONES, MODIFICACIONES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL PALACIO LYON.

5.1. HISTORIA DE MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE VALPARAÍSO

El actual edificio que alberga al Museo de Historia Natural de Valparaíso corresponde al Palacio Lyon, construido en 1881 por encargo de Santiago Lyon Santa María y su esposa Gertrudis Pérez Izquierdo, pertenecientes a una familia acomodada de la ciudad. La obra estuvo a cargo del arquitecto y constructor Carlos von Moltke Koefoed, de origen alemán, quien introdujo en Valparaíso elementos arquitectónicos europeos característicos de la época.



Figura 12. (Museo de Historia Natural de Valparaíso | Museo Nacional de Historia Natural, s. f.)

Ubicado en la actual calle Condell, el palacio fue concebido como una residencia señorial, representativa del auge económico y cultural de la ciudad durante la segunda mitad del siglo XIX. Con una superficie de más de 2.000 m², el inmueble fue construido en ladrillo y tabiquería, destacando por sus amplios salones, ornamentación clásica y su imponente presencia dentro del casco urbano.



Figura 13. *Instituto Comercial de Valparaíso* (Re-significando el patrimonio, entrevistas a ex alumnas del Instituto Superior de Comercio | Museo de Historia Natural de Valparaíso, s.f.)

El Museo de Historia Natural de Valparaíso fue creado por el educador Eduardo de la Barra el año 1878, en dos salas del Liceo de Hombres de Valparaíso, que permitieron el desarrollo del segundo museo más antiguo de Chile y el primero regional.



Figura 14. *Calle Condell 1890* (Detalle - Fotografía Patrimonial, s.f.)

El violento terremoto que azotó a Valparaíso en 1906 y el incendio posterior que destruyó al liceo, afectó irreparablemente a las valiosas colecciones que el museo había logrado acumular. Período en que su director Carlos Porter Mosso realiza una importante labor en la gestión de nuevas colecciones, producción de ensayos en el ámbito de las ciencias, la zoología, la antropología, así como la fundación de la Revista Chilena de Historia Natural.

5.2. RESTAURACIONES Y MODIFICACIONES DEL PALACIO LYON

A lo largo de los años, el Palacio Lyon, sede del Museo de Historia Natural de Valparaíso, ha sido objeto de diversas intervenciones de restauración, tanto arquitectónicas como museográficas, motivadas por deterioros estructurales, desastres naturales, desgaste por el uso y nuevas exigencias funcionales.

Estas actuaciones han implicado problemas particulares como la falta de planimetrías originales, la necesidad de reconstruir techumbres, la elaboración de moldes ornamentales y la sustitución de elementos originales.

Primeros daños y reconstrucción (1985-1988).

- **Terremoto de 1985:** El sismo causó daños severos en el edificio, lo que obligó al cierre del museo y a una importante intervención.
- **Reapertura:** Tras un arduo trabajo de recuperación, el palacio reabrió en noviembre de 1988. En esa ocasión, se inauguraron ocho salas de exhibición permanente.

El restaurador Gerald Ojeda fue un testigo y protagonista clave en el proceso de recuperación del Palacio Lyon tras el terremoto de 1985, que causó graves daños en el edificio y sus ornamentaciones. se encargó de las labores de restauración para devolver al interior del palacio su estilo neoclásico original.



Figura 15. Esquina de palacio Lyon (Restauración patrimonial, s. f.)

En el proceso de restauración, se empleó una técnica de moldeo para replicar y sustituir las piezas ornamentales que se habían perdido o dañado irremediablemente. Este método, aunque fundamental para restaurar el aspecto visual del edificio, tiene una implicación relevante para el análisis de la autenticidad patrimonial.



Figura 16. Moldes de yeso (Restauración patrimonial, s.f.)

Restauración post-terremoto de 2010.

- **Daños estructurales:** El terremoto de 2010 afectó gravemente la estructura del edificio, lo que llevó a un nuevo cierre.
- **Obras de recuperación:** Los trabajos de restauración permitieron una reapertura parcial del museo en diciembre de 2012. Entre las mejoras, se habilitaron nuevas áreas para el público, como salas de exposición temporales, una sala de lectura, una cafetería, un auditorio y un nuevo hall central.

Renovación de 2023

- **Motivo:** En el marco del 145.º aniversario del museo y tras los daños ocasionados por el estallido social de 2019 y el deterioro durante la pandemia, se anunció una nueva fase de restauración en noviembre de 2023.
- **Trabajos realizados:** La renovación incluyó mejoras en la fachada, techumbre, eficiencia térmica y reparaciones estructurales. Además, se tomaron medidas para proteger las valiosas colecciones patrimoniales.
- **Reapertura:** El museo reabrió gradualmente sus puertas en diciembre de 2023.

5.3. SITUACIÓN ESTRUCTURAL ACTUAL DEL PALACIO LYON

El Palacio Lyon, actual sede del Museo de Historia Natural de Valparaíso, ha sido objeto de múltiples restauraciones debido a los daños ocasionados por terremotos y al desgaste propio de una edificación del siglo XIX.

Aunque las intervenciones recientes, en particular la realizada en 2023, han permitido la reapertura del inmueble, la visita realizada en septiembre de 2025 permitió constatar tanto avances en su conservación como debilidades estructurales y ornamentales que refuerzan la necesidad de contar con un levantamiento tridimensional de alta precisión.

En el acceso principal se aprecian los pisos de baldosas originales, que mantienen su valor estético pese al desgaste producido por el tránsito constante.

El hall de acceso conserva columnas y capiteles ornamentales que siguen transmitiendo la riqueza arquitectónica de la época, aunque en las uniones superiores de muros y cielos se identifican **fisuras** que evidencian tensiones estructurales acumuladas a lo largo de los años.

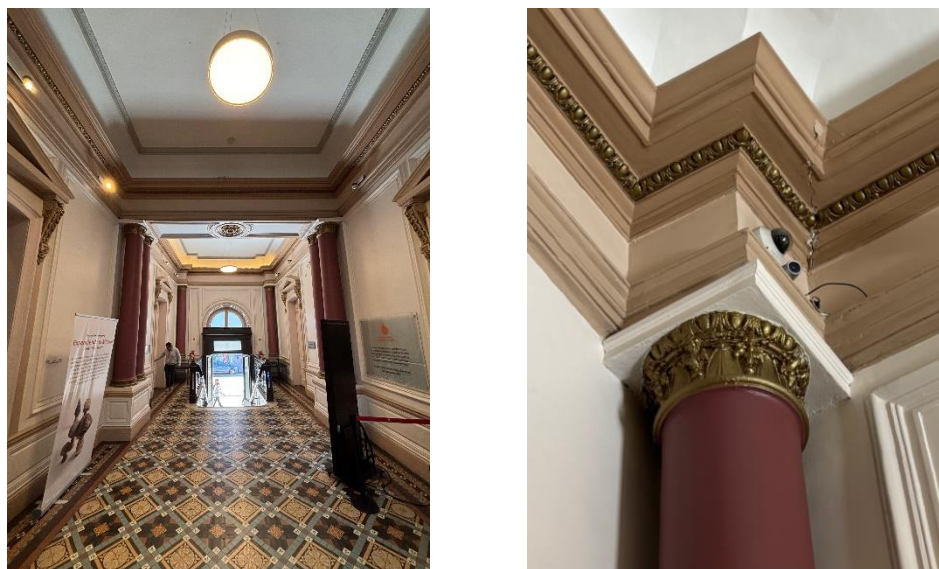


Figura 17. Hall de entrada y fisuras en uniones de muros superiores en Palacio Lyon.

Las salas laterales muestran techos con molduras neoclásicas de gran valor artístico, decoradas con relieves en yeso y aplicaciones doradas. Si bien estas piezas ornamentales aún conservan su esplendor, también presentan micro fisuras, desprendimientos parciales y repintes que dejan en evidencia intervenciones paliativas que no resuelven los problemas de fondo.

Este deterioro pone en riesgo la conservación de detalles únicos, especialmente frente a la amenaza de futuros movimientos sísmicos, lo que aumenta la posibilidad de pérdidas irreversibles

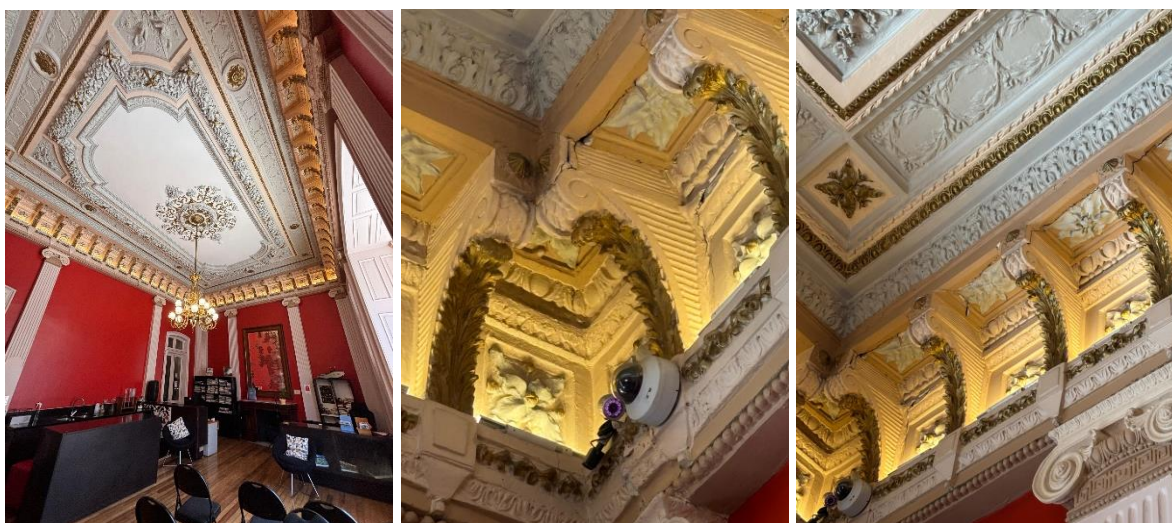


Figura 18. Sala museo lab fisuras y daños en uniones de muro.

En términos generales, el Palacio Lyon se encuentra en condiciones que permiten su uso como museo, pero persisten vulnerabilidades significativas. Las fisuras en cielos y cornisas, el desgaste de los dorados, el riesgo de desprendimientos en molduras y la exposición a la humedad ambiental constituyen factores críticos que amenazan su conservación.



Figura 19. Habitación de lectura y fisuras.

El Museo de Historia Natural de Valparaíso hoy se conserva en un estado aceptable que le permite seguir cumpliendo su función cultural y educativa. Sin embargo, las grietas visibles en algunos cielos y muros, junto con el desgaste en sus detalles ornamentales, son señales de alerta que, si bien por ahora no comprometen su uso, con el tiempo podrían poner en riesgo la autenticidad de sus espacios más valiosos.

Estas condiciones hacen aún más relevante contar con un registro tridimensional preciso, que no solo documente su estado actual, sino que también resguarde la memoria material del edificio frente a futuros daños o emergencias.

6. PLANIFICACIÓN Y METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO 3D EN EL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE VALPARAÍSO

6.1. METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO 3D CON ESCÁNER LASER TRIMBLE X7

Plano y delimitación del área de trabajo:

Para el **desarrollo del caso piloto** se utilizará el plano arquitectónico del Museo de Historia Natural de Valparaíso (Palacio Lyon) como referencia inicial de organización espacial.

El **área de estudio** corresponde a la **primera sección del edificio**, comprendida desde la entrada principal hasta el sector identificado como “acceso” en el plano. **Este tramo incluye** la sala de lectura, el laboratorio, dos salas de exhibición temporales y los espacios de circulación asociados.

La delimitación de esta zona responde a dos criterios fundamentales. En primer lugar, se trata de los **ambientes de mayor valor de acceso y recepción del público**, donde se concentra buena parte de la ornamentación arquitectónica que requiere registro de alta precisión.

En segundo lugar, trabajar sobre esta sección permite acotar el levantamiento a un área representativa pero manejable en términos de tiempos de escaneo, procesamiento y validación metodológica.



Figura 20. Plano de planta de museo de historia natural de Valparaíso.

6.2. PROCEDIMIENTO DE CAPTURA Y PROCESAMIENTO

Previo al levantamiento se realizará la calibración automática y auto nivelación del Trimble X7, lo que garantiza precisión milimétrica en cada estación.

El trabajo de campo se organizará en recorridos sucesivos por las siete estaciones planificadas, procurando mantener un solapamiento mínimo del 30 % entre nubes de puntos, lo que facilita el registro automático posterior.

Planificación de estaciones de escaneo:

Para cubrir de manera completa la primera sección del Palacio Lyon, se definieron siete estaciones de escaneo con el Trimble X7, distribuidas estratégicamente para minimizar sombras y asegurar la continuidad espacial.

Estación 1 (entrada): Registro de la fachada de acceso y transición al hall principal.

Estación 2 (laboratorio): Documentación del espacio lateral izquierdo y su conexión con el acceso.

Estación 3 (hall central): Punto clave para enlazar la entrada con las salas de exhibición y lectura.

Estación 4 (sala de lectura): Registro de muros, cielos y detalles ornamentales.

Estación 5 (sala de exhibición norte): Levantamiento de superficies verticales y ornamentos.

Estación 6 (sala de exhibición sur): Captura del espacio contiguo y sus detalles arquitectónicos.

Estación 7 (pasillo hacia baños y acceso principal a salas): Cierre de la primera etapa, asegurando continuidad con sectores posteriores del museo.

Cada estación fue definida considerando el rango operativo del escáner (**0,6 a 80 metros**) y la necesidad de capturar tanto superficies generales como detalles ornamentales. En áreas con mayor valor arquitectónico, como cielos decorados y cornisas, se emplearán configuraciones de alta densidad de puntos, mientras que en muros lisos y pasillos se utilizarán configuraciones de resolución estándar.

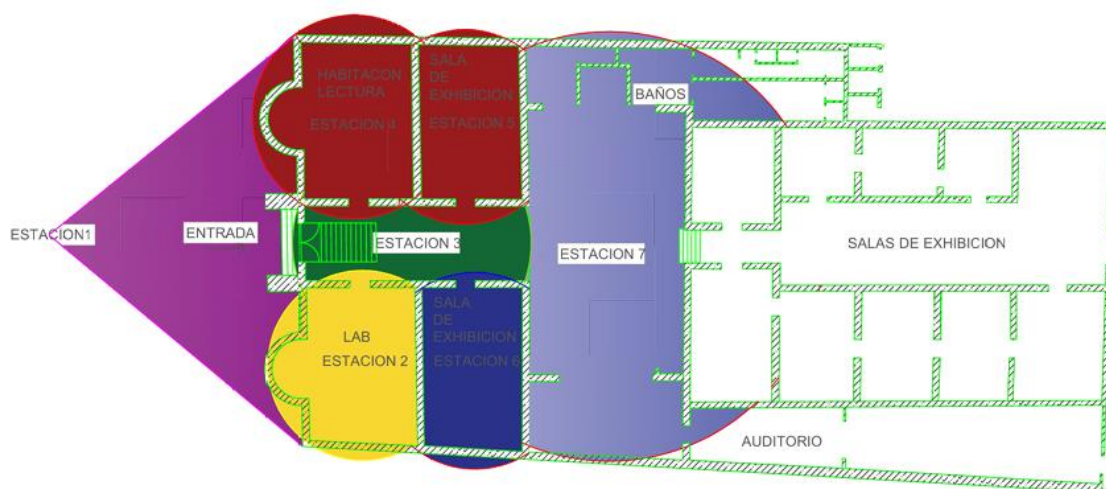


Figura 21. Plano vista de planta estaciones de escaneo.

Selección de configuraciones de escaneo según tipología de sala:

En las salas con superficies amplias y muros lisos, como las áreas de exhibición, se utilizarán configuraciones de resolución estándar (tiempos aproximados de 2 a 4 minutos por estación), mientras que en espacios con mayor valor arquitectónico y de detalle, como la sala de lectura y los cielos con molduras, se aplicará resolución alta o muy alta (tiempos de 7 a 16 minutos por estación), con el fin de obtener una densidad suficiente para conservar los detalles.

Cuando sea necesario, se complementará la captura con imágenes panorámicas para generar ortofotos y texturas aplicadas al modelo tridimensional.

Modo de escaneo	Modo de detalle	Tiempo aprox.	Espaciado de puntos a 10 m	Espaciado de puntos a 35 m	Espaciado de puntos a 50 m	Espaciado de puntos a 80 m	Cantidad máx de puntos
Standard	(rápido)	2 min	11 mm	40 mm	57 mm	91 mm	~12 millones
	(alta)	4 min	5 mm	18 mm	26 mm	—	~58 millones
	(muy alta)	7 min	4 mm	12 mm	18 mm	—	~125 millones
High Sensitivity	(baja densidad)	4 min	9 mm	33 mm	47 mm	—	~17 millones
	(alta)	7 min	6 mm	21 mm	30 mm	—	~42 millones
	(muy alta)	16 min	4 mm	13 mm	19 mm	—	~109 millones

Nota	Nota 1: Los Tiempos incluyen calibración automática y auto-nivelación.
	Nota 2: Con fotografías panorámicas, el tiempo puede aumentar entre +1 y +6 minutos, dependiendo de si se usan capturas HDR.
	Nota 3: A mayor resolución, mayor densidad de puntos, pero también mayor tiempo de captura y peso de archivo.

Tabla 2. Modos de escaneo de Trimble X7.

Estación	Ubicación	Configuración sugerida	Tiempo aprox.
Estación 1	Entrada	Standard (rápido)	2 min
Estación 2	Laboratorio (LAB)	High Sensitivity (muy alta)	16 min
Estación 3	Hall central	Standard (alta)	4 min
Estación 4	Sala de lectura	High Sensitivity (muy alta)	16 min
Estación 5	Sala de exhibición N	Standard (alta)	4 min
Estación 6	Sala de exhibición S	Standard (alta)	4 min
Estación 7	Pasillo de baños	Standard (rápido)	2 min
Total	—	—	48 min aprox.

Nota	La captura fotográfica panorámica en cada estación, el tiempo total podría aumentar entre +10 a +12 min, llegando a unos 60 min aprox. de trabajo en terreno.
------	---

Tabla 3. Tiempos estimado total para las 7 estaciones del palacio Lyon.

Procesamiento de datos:

Finalizada la captura en terreno, se procederá al procesamiento inicial de los datos, que incluye la alineación automática de las estaciones en el software Trimble Perspective, la limpieza de ruido y la validación de solapamientos.

El modelo consolidado se exportará en formatos abiertos e interoperables, tales como. **E57**, **LAS**, **RCP** y **OBJ**, los cuales permiten su integración en flujos de trabajo CAD/BIM y su preservación en repositorios digitales.

Entregables:

Se generarán entregables técnicos consistentes en la nube de puntos completa, planimetrías digitales en CAD, ortofotos y un modelo 3D texturizado.

Estos productos serán archivados en el repositorio del Laboratorio de Digitalización Patrimonial 3D de la Universidad Técnica Federico Santa María, constituyendo un registro de referencia y un respaldo digital del estado actual del Palacio Lyon.

7. LEVANTAMIENTO 3D INTEGRADO Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL EN TERRENO

Con el fin de validar la metodología propuesta, se llevó a cabo un levantamiento tridimensional en terreno en el Museo de Historia Natural de Valparaíso, utilizando una estrategia de captura integrada que combinó el escáner láser terrestre Trimble X7 para el registro de espacios arquitectónicos y un escáner de alta resolución Creality Raptor para la digitalización de elementos de menor escala y mayor nivel de detalle.

Esta aproximación permitió complementar la captura de información geométrica a distintas escalas, asegurando una representación más completa del patrimonio estudiado.

A partir de los datos obtenidos, se desarrolló un flujo de trabajo que incluyó el procesamiento de nubes de puntos, la generación de modelos digitales y la posterior reproducción física de uno de los elementos capturados mediante impresión 3D, lo que permitió evaluar la precisión, aplicabilidad y potencial del sistema en contextos reales de documentación patrimonial.

7.1. EJECUCIÓN DEL LEVANTAMIENTO EN TERRENO

El levantamiento tridimensional se ejecutó en el Museo de Historia Natural de Valparaíso, emplazado en el edificio Palacio Lyon, considerando la primera sección del inmueble previamente definida en la etapa de planificación.

Durante la jornada de trabajo en terreno, se abordó el registro de distintos espacios representativos del museo, incluyendo el hall de acceso, salas de exhibición, sala de lectura, el espacio denominado Museo Lab, la fachada frontal y la zona central del edificio. La captura se realizó mediante una estrategia progresiva, recorriendo los distintos sectores y ajustando las condiciones de escaneo en función de la complejidad geométrica de cada ambiente.

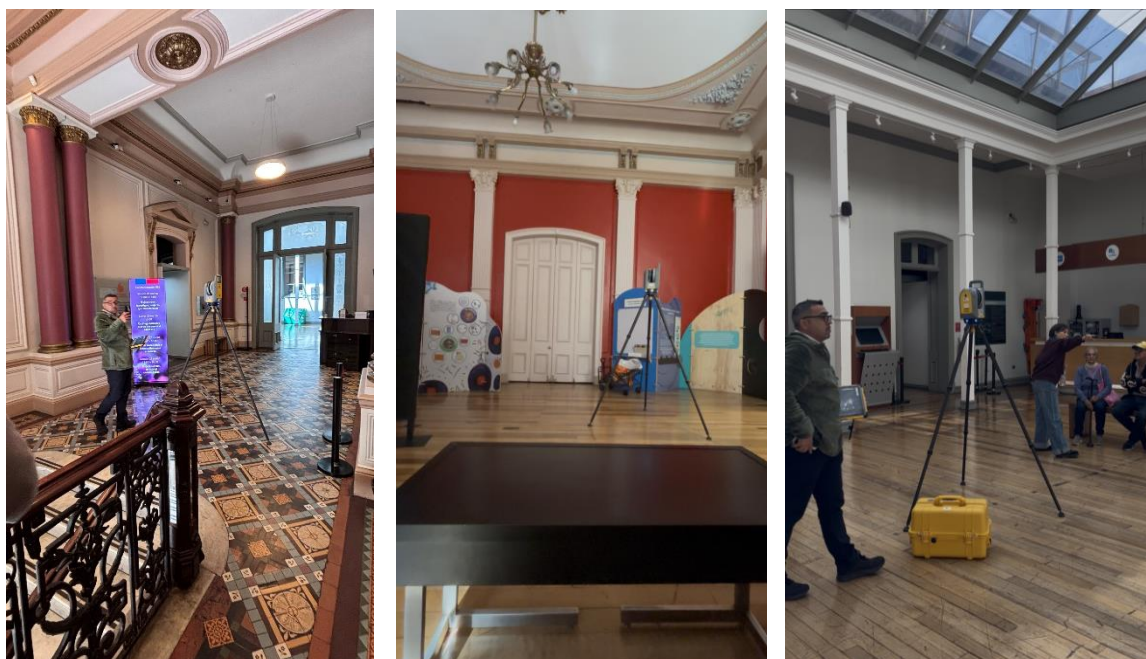


Figura 22. Escáner en Hall de entrada, habitación de lectura y Zona central.

En una primera etapa, se priorizó la digitalización de la sala Museo Lab, debido a su mayor nivel de detalle arquitectónico. Posteriormente, el levantamiento se extendió hacia el hall de acceso y espacios de circulación, donde se aplicaron configuraciones de captura más rápidas, en función de su menor complejidad. Finalmente, se abordó el registro de la fachada y la zona central del museo, completando el levantamiento de la sección definida.

Durante el proceso se realizaron múltiples estaciones de escaneo, ajustando su ubicación en función de la visibilidad del entorno, la presencia de obstáculos y la necesidad de asegurar continuidad entre las capturas. En algunos casos, fue necesario repetir escaneos para mejorar la calidad de los datos obtenidos y asegurar la cobertura completa de los espacios intervenidos.



Figura 23. Escáner a habitación Museo.

7.2. CAPTURA DE DATOS EN TERRENO CON ESCÁNER LÁSER TRIMBLE X7

El equipo fue montado sobre trípode y operado a través de su interfaz digital, realizando la auto nivelación y calibración automática previa a cada escaneo, lo que garantizó la correcta adquisición de los datos en cada estación.



Figura 24. Montado de trípode con escáner laser en punto de estación.

En la sala Museo Lab, debido a la alta complejidad geométrica y la presencia de elementos ornamentales, se realizaron tres estaciones de escaneo, priorizando la obtención de una mayor densidad de puntos. En este espacio, se utilizaron configuraciones de mayor duración, alcanzando aproximadamente **16 minutos** en las estaciones principales, con el objetivo de capturar con mayor precisión los detalles arquitectónicos presentes.

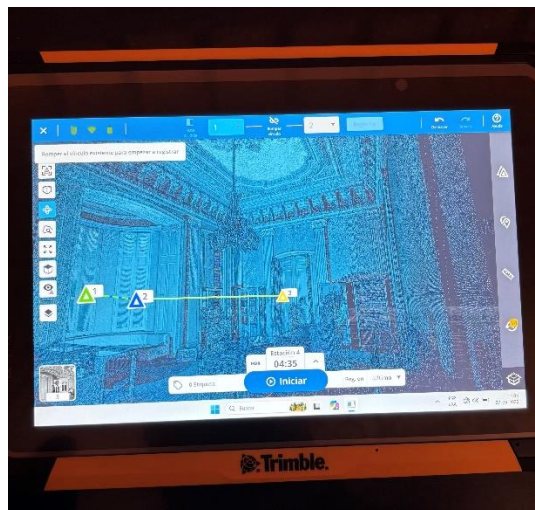


Figura 25. Visualización de nube de punto en Tablet de 3 estaciones.

Posteriormente, en el hall de acceso y espacios de circulación, se aplicaron configuraciones de escaneo más rápidas, con tiempos aproximados de entre 4 y 8 minutos por estación, considerando la menor presencia de detalles y la necesidad de optimizar el tiempo de levantamiento. En estos sectores se definieron estaciones en puntos estratégicos como el centro del hall, zonas cercanas a accesos y áreas de transición entre espacios.



Figura 26. Escáner en espacios transcurridos duración aprox 4 minutos.

Finalmente, se realizó el levantamiento de la fachada del edificio mediante estaciones ubicadas en el exterior, incluyendo una posición cercana al acceso principal y otra a mayor distancia, lo que permitió capturar la totalidad del frente arquitectónico. En este proceso, se utilizaron configuraciones de menor duración, complementadas con el registro fotográfico automático del equipo.



Figura 27. Escáner a fachada de Museo de historia natural de Valparaíso.

Durante la captura, se efectuaron revisiones en terreno para identificar posibles zonas sin información o con errores de registro. En aquellos casos, se procedió a repetir las estaciones necesarias, asegurando la continuidad y coherencia del conjunto de datos obtenido.

7.3. DIGITALIZACIÓN DE DETALLE MEDIANTE ESCÁNER CREALITY RAPTOR

Con el objetivo de complementar el levantamiento tridimensional a escala arquitectónica, se incorporó el uso de un escáner de alta resolución Creality Raptor para la digitalización de elementos de menor escala que presentan un alto nivel de detalle geométrico.

Para ello, se seleccionó como objeto de estudio un elemento ornamental presente en el interior del museo, correspondiente a una figura decorativa ubicada en una baranda (León), caracterizada por su geometría compleja y presencia de relieves finos. La elección de este objeto respondió a la necesidad de evaluar la capacidad del sistema para capturar detalles de pequeña escala y alta complejidad.



Figura 28. Visualización de león en baranda de entrada de museo de historia natural de Valparaíso.

Previo al proceso de digitalización, se realizó la instalación de marcadores de referencia sobre la superficie del objeto. Estos marcadores, consistentes en adhesivos proporcionados por el sistema de escaneo, permiten mejorar el seguimiento espacial durante la captura, facilitando la correcta alineación de los distintos barridos del escáner. Asimismo, contribuyen a mantener la coherencia geométrica del modelo generado, actuando como puntos de referencia para el posicionamiento relativo entre el objeto escaneado y el sistema de captura.

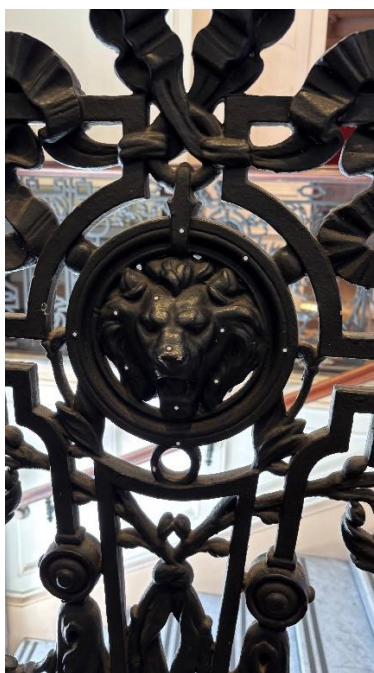


Figura 29. Instalación de adhesivos a león previo a capturar geometría.

El proceso de digitalización se realizó efectuando múltiples barridos alrededor del objeto con el fin de asegurar la cobertura completa de su superficie. Durante la captura, se controlaron variables como la distancia de escaneo, la estabilidad del equipo y las condiciones de iluminación, con el objetivo de obtener un registro preciso y continuo.



Figura 30. Visualización y captura de imagen de león en creality raptor.

Esta etapa permitió validar la integración de tecnologías de escaneo de distintas escalas dentro de un mismo flujo de trabajo, evidenciando la complementariedad entre el escaneo láser terrestre y la digitalización de alta resolución.

7.4. PROCESAMIENTO DE DATOS Y GENERACIÓN DE MODELOS

Una vez finalizada la etapa de captura en terreno, se procedió al procesamiento de los datos obtenidos tanto del escáner láser Trimble X7 como del escáner de alta resolución Creality Raptor, con el objetivo de generar modelos tridimensionales coherentes y utilizables para análisis y reproducción.

En el caso del levantamiento arquitectónico, los datos capturados mediante el Trimble X7 fueron procesados en el software Trimble Perspective, donde se realizó la alineación automática de las distintas estaciones de escaneo, integrando las capturas en una única nube de puntos continua. Posteriormente, se efectuó una etapa de limpieza de datos, eliminando ruido y puntos no deseados, con el fin de mejorar la calidad del modelo final.

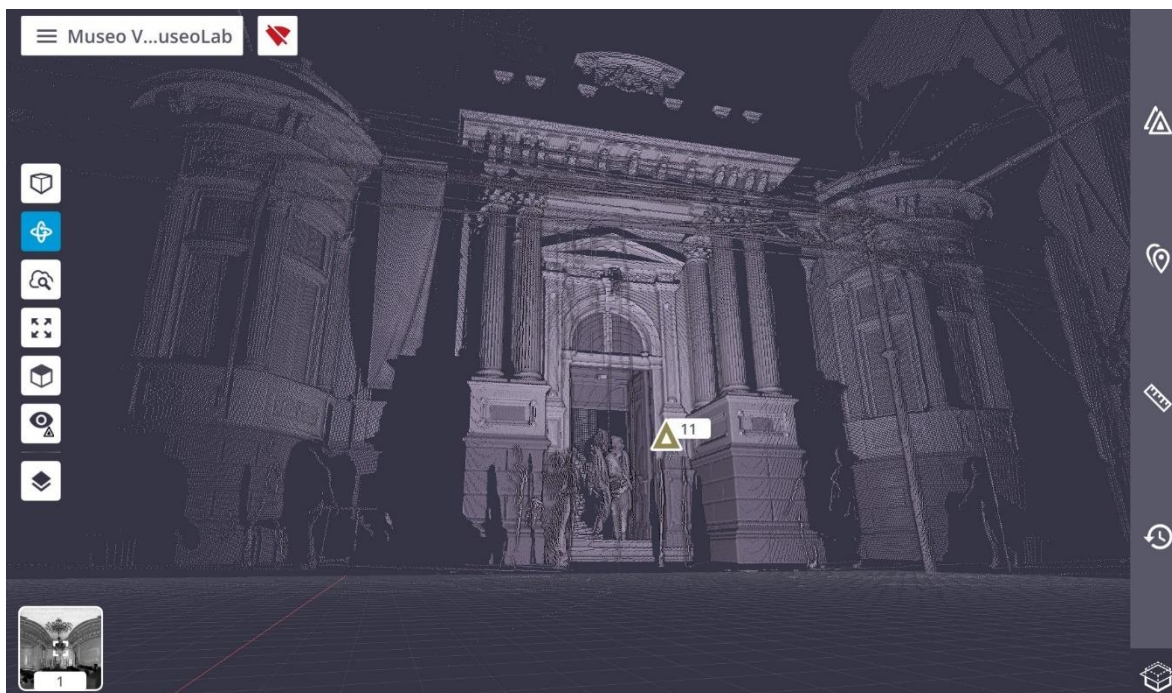


Figura 31. Nube de puntos fachada de museo correspondiente a estación 11 en Trimble perspective.

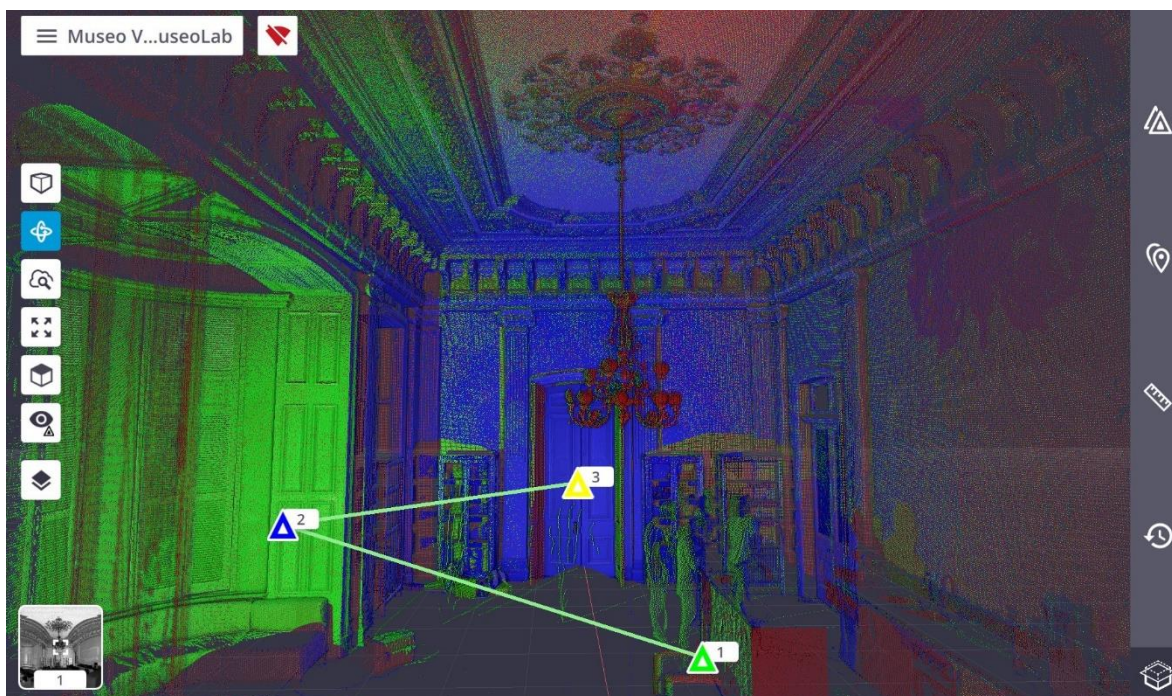


Figura 32. Nube de punto en habitación lab en museo correspondiente a 3 estaciones en Trimble perspective.

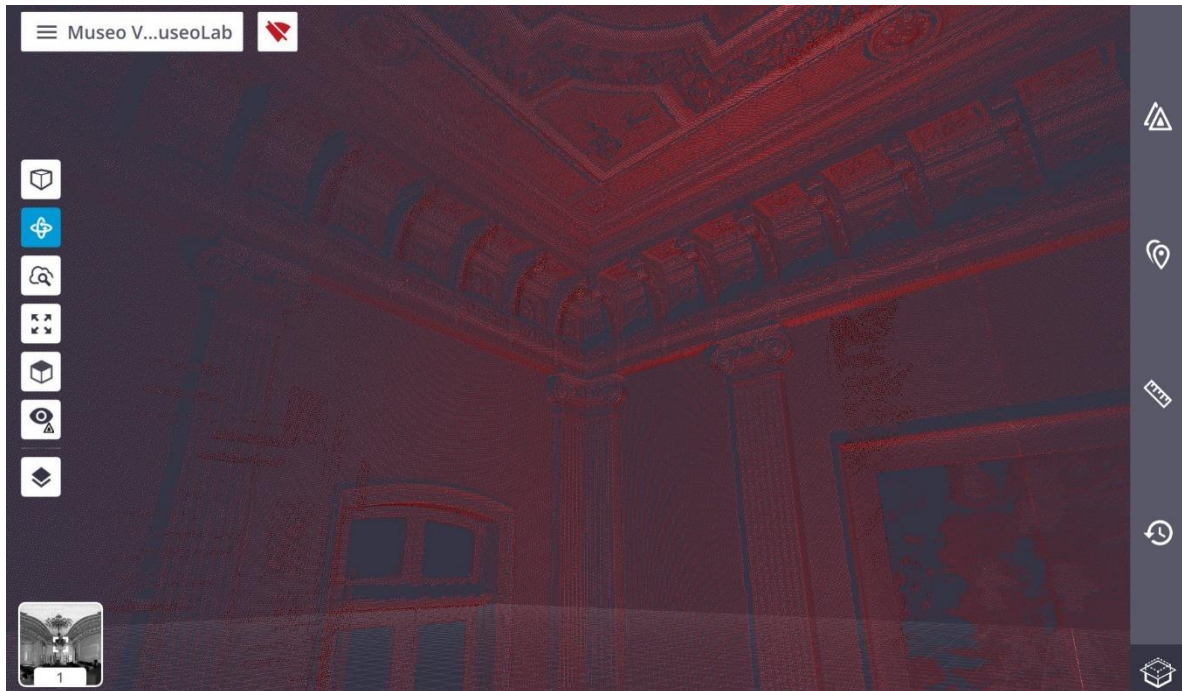


Figura 33. Nube de punto detalles en las tomas en habitación lab en Trimble perspective.

Adicionalmente, la nube de puntos fue exportada a formato interoperable para su posterior análisis en el software Autodesk ReCap, donde se trabajó específicamente sobre la sala Museo Lab, debido a su mayor nivel de detalle geométrico. En este entorno, se realizó una exploración más detallada del modelo, permitiendo la obtención de dimensiones, verificación de proporciones y análisis visual de los elementos arquitectónicos presentes.

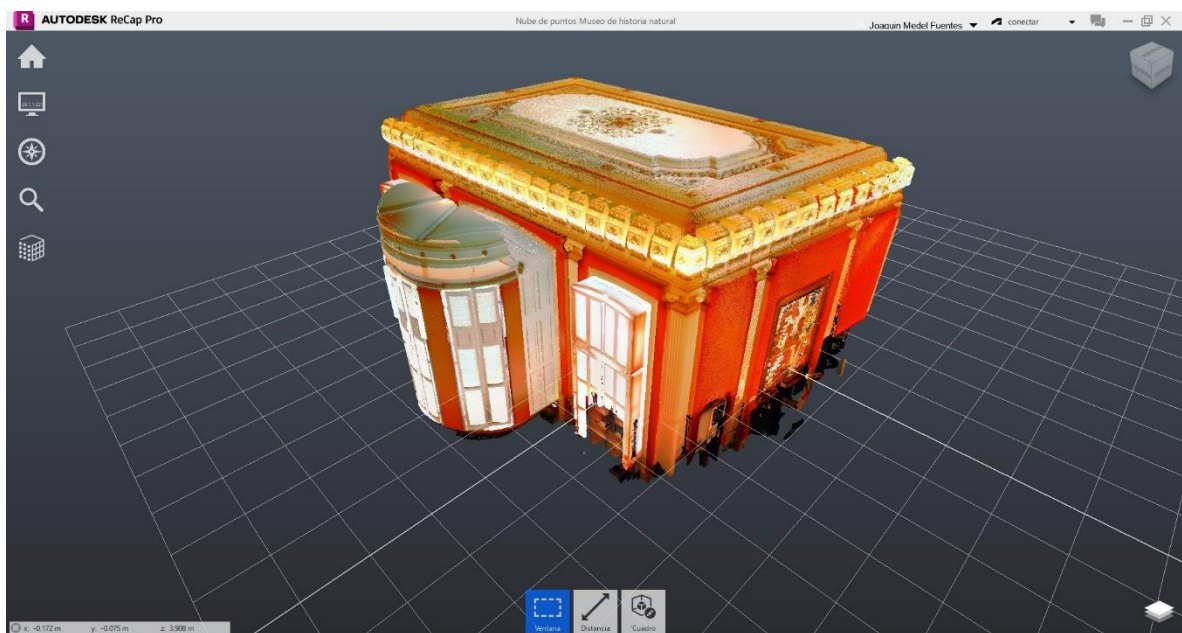


Figura 34. Nube de punto detallado en Habitación lab en programa Recap Pro.



Figura 35. Nube de punto detallado en habitación lab en programa Recap Pro.

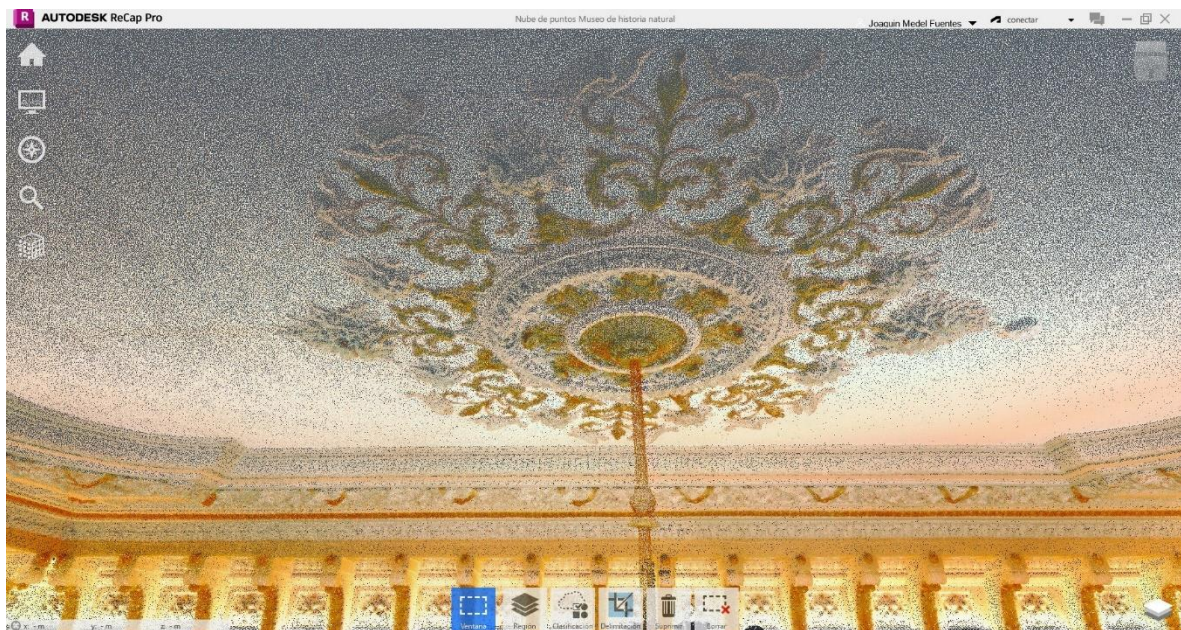


Figura 36. Nube de punto detallado en cielo habitación lab en programa Recap Pro.

Dimensiones en programa Recap Pro:

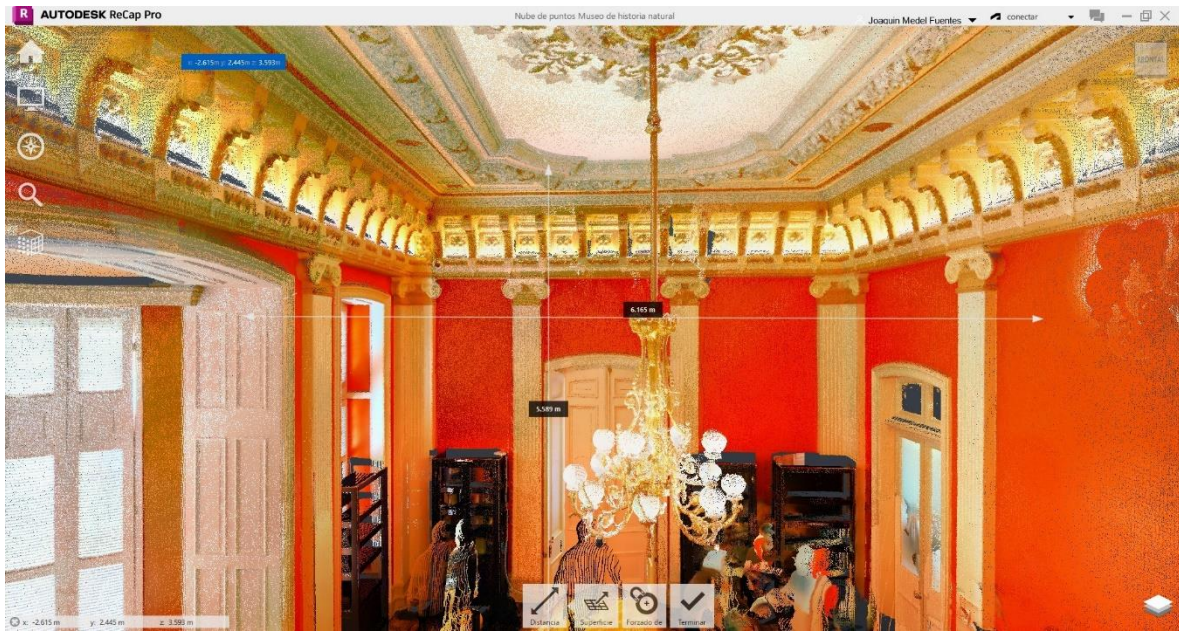


Figura 37. Dimensiones de eje x y z en habitación lab en programa Recap Pro.

Las capturas generadas desde Autodesk ReCap fueron incorporadas como material de apoyo, evidenciando la capacidad del modelo tridimensional para ser utilizado como herramienta de análisis técnico y no solo como representación visual.

En paralelo, los datos obtenidos mediante el escáner Creality Raptor fueron procesados en su software Creality Scan, donde se realizó la reconstrucción del modelo tridimensional del objeto escaneado a partir de los distintos barridos efectuados durante la captura. En esta etapa se generó un modelo sólido del león escaneado, permitiendo representar con mayor precisión la geometría del elemento digitalizado.



Figura 38.. Modelo solido de león en programa Creality scan

7.5. VALIDACIÓN DE RESULTADO MEDIANTE LA REPRODUCCIÓN FÍSICA DEL ELEMENTO DECORATIVO (LEÓN)

Con el fin de validar el proceso completo de digitalización tridimensional, se llevó a cabo la reproducción física del objeto escaneado mediante impresión 3D, utilizando el modelo generado a partir del escáner Creality Raptor.

Una vez finalizado el procesamiento del modelo tridimensional, este fue exportado en formato STL, permitiendo su utilización en entornos de fabricación digital. Posteriormente, el archivo fue importado en el software Bambu Studio, donde se configuraron los parámetros de impresión correspondientes, tales como resolución, relleno y soportes, en función de las características geométricas del modelo.

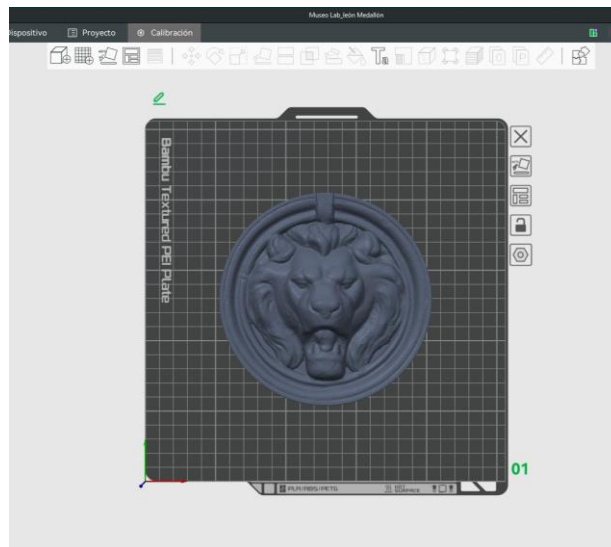


Figura 39.. Visualización en programa bambú estudios medallón de león.

El proceso de impresión se realizó utilizando una impresora 3D BambuLab P2S de tecnología FDM, alcanzando un tiempo aproximado de 3 horas y 14 minutos, con un consumo de material de 107,44 gramos. Este procedimiento permitió obtener una réplica física del objeto escaneado, manteniendo un alto nivel de detalle en relación con la geometría original.

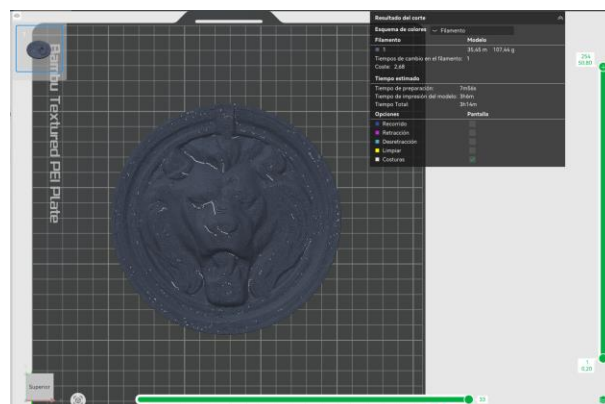


Figura 40. Proceso de laminación de la impresora bambú lab.

La pieza obtenida evidencia la capacidad del flujo de trabajo propuesto para transformar información digital en un elemento físico, permitiendo no solo la visualización del patrimonio, sino también su reproducción tangible para fines de estudio, conservación o difusión.



Figura 40. Resultado en impresión 3d.

Históricamente, la reproducción de este tipo de elementos se realizaba mediante técnicas de moldeo, las cuales implicaban procesos más complejos, tiempos prolongados y un mayor uso de recursos. En contraste, la metodología desarrollada en este estudio permite obtener una réplica física en un tiempo significativamente reducido, logrando en pocas horas un resultado preciso y fiel al objeto original.

En este sentido, la integración de tecnologías de escaneo tridimensional y fabricación aditiva demuestra ser una alternativa eficiente y viable para la documentación y preservación del patrimonio, facilitando la generación rápida de réplicas con un alto nivel de detalle.

8. MODELO DE NEGOCIO DEL LABORATORIO DE DIGITALIZACIÓN PATRIMONIAL 3D

El modelo de negocio propuesto para el laboratorio de digitalización patrimonial 3D se basa en la generación, gestión y valorización de información tridimensional de alta precisión, bajo un enfoque de banco de datos digital patrimonial.

A diferencia de los modelos tradicionales centrados en la venta directa de servicios de escaneo, esta propuesta se orienta a la acumulación estratégica de información, donde el levantamiento

tridimensional actúa como un mecanismo de captura de datos que posteriormente pueden ser utilizados en contextos de **conservación, restauración, análisis o reconstrucción**.

En este sentido, el valor del laboratorio no radica únicamente en la ejecución del levantamiento, sino en la gestión del activo digital generado, el cual se almacena, resguarda y pone a disposición bajo distintos esquemas de acceso y utilización.

Este enfoque permite establecer un modelo de negocio escalable y sostenible en el tiempo, donde la base de datos patrimonial crece progresivamente, incrementando su valor estratégico tanto para la institución como para los usuarios externos.

8.1. PROPUESTA DE VALOR

El laboratorio de digitalización patrimonial 3D ofrece la generación, gestión y resguardo de información tridimensional de alta precisión de bienes patrimoniales, permitiendo su documentación, análisis y eventual reproducción física o digital.

A diferencia de los modelos tradicionales, centrados en la venta directa del servicio de levantamiento, la presente propuesta adopta un enfoque orientado a la captura y valorización de información. En este contexto, el levantamiento tridimensional se plantea como **una etapa inicial de generación de datos**, cuyo valor **se consolida a través de su almacenamiento, gestión y uso posterior**.

Como estrategia de acceso, el laboratorio contempla **la realización del levantamiento sin costo directo para la institución solicitante**, estableciendo como condición el resguardo de la información dentro del repositorio digital institucional. Este enfoque permite reducir las barreras económicas de entrada, facilitando la generación de registros digitales en contextos donde estos procesos no se ejecutan debido a su alto costo en el mercado.

La información generada se mantiene bajo administración de la Universidad Técnica Federico Santa María, asegurando **su disponibilidad, confidencialidad y trazabilidad**. A partir de esta base de datos, las instituciones pueden acceder posteriormente a distintos servicios, tales como generación de modelos tridimensionales, extracción de información dimensional, elaboración de documentación técnica o apoyo a procesos de restauración y reconstrucción.

De esta manera, el valor del laboratorio no se limita a la ejecución del levantamiento, sino que se extiende a la gestión del activo digital en el tiempo, permitiendo su reutilización y adaptación a distintos requerimientos. Este enfoque posiciona al laboratorio como un sistema de información patrimonial, más que como un proveedor tradicional de servicios de escaneo.

8.2. SEGMENTO DE CLIENTES

El modelo de negocio del laboratorio está orientado a instituciones que gestionan, administran o intervienen bienes patrimoniales, las cuales requieren información técnica de alta precisión para su conservación, análisis o puesta en valor.

En este contexto, se identifican los siguientes segmentos principales:

a). Instituciones públicas Vinculadas al patrimonio

Corresponden a organismos estatales como ministerios, municipalidades y servicios públicos, responsables de la gestión y protección del patrimonio cultural. Estas entidades requieren información digital para procesos de restauración, levantamientos técnicos y toma de decisiones, pero en muchos casos enfrentan limitaciones presupuestarias para la contratación de servicios especializados.

b). Museos y entidades culturales

Incluye museos, fundaciones y organizaciones dedicadas a la conservación y difusión del patrimonio. Estas instituciones pueden requerir modelos digitales para documentación, exhibición, reconstrucción o desarrollo de contenido educativo.

c). Oficinas de arquitectura e ingeniería

Corresponden a profesionales y empresas que participan en proyectos de intervención, restauración o rehabilitación de edificaciones patrimoniales. En estos casos, la información generada resulta clave para el desarrollo de planos, modelado BIM y análisis técnico.

c). Instituciones académicas y centros de investigación

Incluye universidades y centros de estudio que desarrollan proyectos relacionados con patrimonio, modelamiento tridimensional o tecnologías digitales, utilizando la información generada como base para investigación o docencia.

Enfoque del segmento

A diferencia de un modelo tradicional orientado a la venta directa del servicio, el laboratorio se enfoca en instituciones que presentan una necesidad permanente de digitalización patrimonial, pero que no siempre ejecutan estos procesos debido a restricciones presupuestarias o a la falta de acceso a tecnologías especializadas.

En este contexto, el modelo propuesto permite captar estos segmentos mediante una estrategia de acceso sin costo inicial, facilitando la generación de información digital y estableciendo una base de datos que posteriormente puede ser utilizada bajo distintos esquemas de servicio. Esto posiciona al laboratorio como un aliado estratégico más que como un proveedor puntual, generando relaciones de largo plazo con las instituciones.

8.3. PROPUESTA DE SERVICIO DEL LABORATORIO DE DIGITALIZACIÓN PATRIMONIAL 3D USM

El laboratorio de digitalización patrimonial 3D ofrece un conjunto de servicios estructurados en dos niveles: un servicio base de generación de información y una serie de servicios asociados a su procesamiento, análisis y utilización.

Esta estructura permite establecer una distinción entre la captura inicial de datos y el valor generado a partir de su uso posterior, en concordancia con el modelo de negocio propuesto.

8.3.1 SERVICIO BASE DE CAPTURA DE INFORMACIÓN

El servicio base corresponde al levantamiento tridimensional mediante tecnologías de escaneo láser, permitiendo la generación de una nube de puntos de alta precisión del bien patrimonial.

Como estrategia de acceso, este servicio se realiza sin costo directo para la institución solicitante, estableciendo como condición la firma de un convenio que regula la gestión, uso y resguardo de la información generada.

Este convenio contempla:

- Custodia de la información dentro del repositorio digital institucional de la Universidad Técnica Federico Santa María.
- Derechos de uso compartido entre la institución y la universidad.
- Condiciones de acceso futuro a los datos.
- Protocolos de confidencialidad y resguardo de la información.
- Restricciones de uso, reproducción y distribución sin autorización.

La información generada será almacenada por un período inicial definido, durante el cual se garantiza su disponibilidad y resguardo bajo estándares institucionales.

8.3.2 SERVICIOS ASOCIADOS A LA INFORMACIÓN GENERADA

Una vez capturada y almacenada la información, el laboratorio ofrece una serie de servicios orientados a su utilización en distintos contextos técnicos y patrimoniales.

Estos servicios se desarrollan en función de los requerimientos específicos de cada institución.

a). Procesamiento y generación de modelos

- Procesamiento de nube de puntos.
- Generación de modelos tridimensionales.
- Desarrollo de modelos BIM patrimoniales.
- Elaboración de planimetría digital y ortofotografías.

b). Análisis técnico

- Informes de patologías y deformaciones estructurales.
- Comparación temporal de modelos.
- Apoyo a procesos de restauración.
- Simulación de escenarios estructurales o de deterioro.

c) Aplicaciones y difusión

- Recorridos virtuales
- Modelos digitales para museografía
- Material educativo y visualización patrimonial

d) Servicios especializados

- Levantamientos post-desastre
- Evaluación de daños
- Análisis comparativo con modelos previos

8.3.3 GESTIÓN DEL REPOSITORIO DIGITAL

La información generada es almacenada en un repositorio digital institucional, el cual constituye una base de datos patrimonial en constante crecimiento.

Este sistema permite:

- Resguardar información crítica ante pérdida o deterioro del bien físico
- Facilitar su reutilización en distintos proyectos
- Generar una base de datos acumulativa de valor técnico y patrimonial
- Permitir el acceso controlado a la información según requerimientos específicos

De esta manera, el laboratorio no solo actúa como proveedor de servicios, sino como gestor de información patrimonial en el tiempo.

8.4. ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE COSTOS DEL LEVANTAMIENTO TRIDIMENSIONAL

La presente sección tiene como objetivo determinar los costos asociados al proceso de levantamiento tridimensional, considerando variables como el tiempo de captura, recursos humanos, uso de equipos y costos operacionales.

A partir de este análisis, se establece una base económica que permite comprender el costo real del servicio, diferenciando entre valores teóricos estimados y costos efectivos observados en terreno.

8.4.1. SUPUESTOS GENERALES DEL MODELO DE COSTO

Para efectos del cálculo, se establecen los siguientes parámetros:

Variable	Valor
Número de operarios	3
Costo total mano de obra (jornada)	\$109.000
Costo uso de equipos (jornada)	\$38.000
Costo de traslado	\$25.000
Total costo base jornada	\$172.000

Tabla 4. Parámetros que considerar.

8.4.2. COSTO ESTÁNDAR POR ESTACIÓN SEGÚN TIEMPO DE ESCANEO

Se define el costo por estación en función del tiempo de captura, considerando una distribución proporcional del costo total de la jornada.

Formula general:

$$\text{Costo por estación} = \frac{C_{\text{jornada}}}{\text{Tiempo total}} \times \text{Tiempo de estación}$$

Tipo de escaneo	Tiempo por estación (min)	Costo estimado por estación (CLP)
Escaneo detallado	16 min	\$15.000
Escaneo estándar	4 min	\$4.000

Tabla 5. Costo total del levantamiento.

8.4.3. APLICACIÓN A CASO REAL DE LEVANTAMIENTO

El levantamiento analizado corresponde a un total de **13 estaciones**, distribuidas de la siguiente manera:

- 3 estaciones de alta precisión → 16 minutos cada una
- 10 estaciones estándar → 4 minutos cada una

Tipo de estación	Cantidad	Costo unitario	Subtotal
Escaneo detallado (16 min)	3	\$15.000	\$45.000
Escaneo estándar (4 min)	10	\$4.000	\$40.000
Total estimado por estaciones	13	—	\$85.000

Tabla 6. Costo estimado por estación (caso real).

8.4.4. COSTO TOTAL DEL LEVANTAMIENTO

Al costo estimado por estaciones se deben incorporar los costos operacionales asociados a la ejecución del servicio.

Concepto	Costo (CLP)
Costo por estaciones	\$85.000
Mano de obra (3 operarios)	\$109.000
Uso de equipos	\$38.000
Traslado	\$25.000
Costo total levantamiento	\$257.000

Tabla 7. Costo total del levantamiento.

8.4.5. ANÁLISIS DEL COSTO OPERATIVO.

El costo total estimado del levantamiento asciende a **\$257.000 CLP**, el cual representa el gasto real asociado a la ejecución del servicio en terreno.

Es importante señalar que este valor corresponde exclusivamente al proceso de captura de información, sin considerar servicios posteriores como procesamiento de datos, generación de modelos o análisis técnico, los cuales forman parte de etapas adicionales del modelo de negocio.

Este análisis permite establecer una base económica clara para la toma de decisiones, tanto en la definición de estrategias de financiamiento como en la estructuración del modelo de ingresos.

8.5. MODELO DE INGRESOS DEL LABORATORIO

El modelo de ingresos del laboratorio de digitalización patrimonial 3D se estructura bajo un enfoque diversificado, orientado a la valorización de la información tridimensional generada. A diferencia de modelos tradicionales centrados en el cobro directo del levantamiento, la presente propuesta considera el servicio inicial como un mecanismo de captura de datos, a partir del cual se desarrollan distintas fuentes de ingreso asociadas al acceso, uso y mantención de la información en el tiempo.

Este enfoque permite reducir las barreras de entrada para las instituciones, facilitando la generación de registros digitales, y al mismo tiempo establecer un sistema sostenible basado en servicios posteriores y relaciones de largo plazo.

8.5.1. CONVENIO BASE Y CUSTODIA DE INFORMACIÓN

El modelo contempla la ejecución del levantamiento tridimensional sin costo directo para la institución solicitante, estableciendo como condición la firma de un convenio que regula la gestión de la información generada.

Este convenio establece:

- Derechos de uso compartido entre la institución y la universidad.
- Custodia de la información en el repositorio institucional.
- Un período inicial de almacenamiento sin costo (5 años).
- Condiciones de acceso futuro a los datos.
- Tarifas preferenciales para servicios asociados.
- Restricciones de uso, reproducción y distribución sin autorización.

Este mecanismo permite facilitar el acceso al servicio y posicionar al laboratorio como un aliado estratégico en la gestión del patrimonio.

8.5.2. MODELO DE SUSCRIPCIÓN PARA ALMACENAMIENTO

Finalizado el período inicial de custodia, la institución podrá optar por mantener la información en el repositorio institucional mediante un sistema de suscripción.

Los valores asociados a este modelo se determinan en función de los costos operacionales del laboratorio, considerando como referencia el costo real de un levantamiento tridimensional, estimado en \$257.000 CLP (ver sección 8.4), además de los costos asociados a la mantención del sistema en el tiempo.

Entre los factores considerados se incluyen:

- Gestión y almacenamiento de datos digitales.
- Mantenimiento de infraestructura tecnológica.
- Disponibilidad de acceso a la información.
- Soporte técnico y administrativo.
- Renovación y depreciación de equipos.

En base a estos elementos, se establece el siguiente esquema de suscripción:

Modalidad	Duración	Costo estimado
Plan básico	1 año	\$800.000
Plan intermedio	3 años	\$1.200.000
Plan extendido	5 años	\$1.600.000

Tabla 8. Modelo de suscripción por almacenamiento.

Los valores propuestos buscan mantener un equilibrio entre accesibilidad para las instituciones y sostenibilidad del laboratorio, permitiendo cubrir costos operativos y generar recursos para la continuidad del servicio.

Este modelo evita la pérdida de información en el tiempo y asegura la continuidad operativa del sistema.

8.5.3. LICENCIAMIENTO Y ACCESO A LA INFORMACIÓN

El acceso a la información tridimensional se realiza mediante esquemas de licenciamiento, los cuales permiten a las instituciones utilizar los datos según sus necesidades específicas.

Se consideran los siguientes tipos:

- Licencia de uso temporal, orientada a proyectos específicos
- Licencia de uso permanente, para fines institucionales
- Licencia ampliada, destinada a difusión, museografía o aplicaciones digitales

El valor de estas licencias se determina en función de:

- Complejidad del modelo
- Nivel de detalle requerido
- Tipo de uso de la información

Este sistema permite monetizar el acceso a los datos sin necesidad de repetir el proceso de levantamiento.

8.5.4. SERVICIOS DERIVADOS

Los servicios derivados constituyen una de las principales fuentes de ingreso del laboratorio, permitiendo generar valor a partir de la información previamente capturada.

Entre estos servicios se incluyen:

- Elaboración de informes técnicos (patologías, deformaciones, análisis estructural).
- Desarrollo de modelos BIM patrimoniales.
- Simulación de escenarios estructurales o de deterioro.
- Reconstrucción digital de elementos patrimoniales.
- Generación de productos de difusión (recorridos virtuales, material educativo).
- Servicios de emergencia (levantamientos post-desastre y evaluación de daños).

Estos servicios permiten adaptar la información a distintos requerimientos, aumentando su valor en el tiempo.

8.5.5. SUSCRIPCIONES INSTITUCIONALES

El modelo contempla la implementación de esquemas de suscripción orientados a instituciones que gestionan múltiples bienes patrimoniales, tales como municipalidades, universidades o fundaciones.

Este tipo de servicio puede incluir:

- Levantamientos periódicos.
- Custodia prioritaria de la información.
- Acceso a modelos en distintos niveles de resolución.
- Condiciones preferenciales en servicios especializados.

Este enfoque permite generar ingresos recurrentes y establecer relaciones de largo plazo con las instituciones.

8.5.6. FINANCIAMIENTO EXTERNO

De manera complementaria, el laboratorio podrá acceder a fuentes de financiamiento externo mediante la postulación a fondos públicos y privados, orientados a la conservación del patrimonio, innovación tecnológica e investigación aplicada.

Entre estas fuentes se consideran:

- Fondos de patrimonio.
- Fondos de innovación.
- Convenios con instituciones académicas.
- Proyectos de investigación.

Este mecanismo permite diversificar las fuentes de ingreso y fortalecer la sostenibilidad del modelo.

8.5.7. SÍNTESIS DEL MODELO DE NEGOCIO

El modelo de negocio propuesto se basa en la captura, gestión y valorización de información tridimensional como un activo estratégico, permitiendo transformar un servicio tradicional en un sistema sostenible en el tiempo.

A través de la implementación de un levantamiento sin costo como mecanismo de entrada, se facilita la generación de datos que posteriormente pueden ser utilizados mediante distintos esquemas de acceso, servicios especializados y modelos de suscripción.

De esta manera, el laboratorio no solo actúa como proveedor de servicios, sino como gestor de información patrimonial, estableciendo un modelo que combina accesibilidad, sostenibilidad económica y generación de valor a largo plazo.

9. IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD AL INTERIOR DEL DEPARTAMENTO DIMA

9.1. DEPENDENCIA ADMINISTRATIVA Y GOBERNANZA

El laboratorio de digitalización patrimonial 3D se implementará como una unidad técnica adscrita al Departamento DIMA, estableciendo una dependencia administrativa directa de un(a) Coordinador(a) Académico(a), designado(a) por la jefatura del departamento.

Esta figura será responsable de la supervisión general del funcionamiento del laboratorio, asegurando la correcta articulación entre las actividades técnicas, académicas e institucionales. En particular, sus funciones principales serán:

- Supervisar la ejecución de proyectos, especialmente aquellos vinculados a entidades externas.
- Asegurar el cumplimiento del marco normativo y los lineamientos institucionales vigentes.
- Validar los informes técnicos y entregables generados por el laboratorio.
- Coordinar acciones con la Dirección de Vinculación con el Medio, fortaleciendo la relación con actores externos.
- Garantizar la trazabilidad académica de las actividades desarrolladas, asegurando su vinculación con procesos formativos y de investigación.

El laboratorio no operará como una unidad autónoma, sino como una extensión funcional del Departamento DIMA, utilizando su infraestructura, recursos y procesos administrativos. Esta integración permite asegurar respaldo institucional, coherencia organizacional y sostenibilidad operativa en el tiempo.

9.2. INTEGRACIÓN INSTITUCIONAL

Para su funcionamiento formal, el laboratorio operará en coordinación con distintas unidades de la Universidad Técnica Federico Santa María, asegurando el cumplimiento de los procedimientos administrativos, financieros y normativos.

a). Jefatura del departamento DIMA

Responsable de la aprobación de proyectos, asignación de recursos y definición de prioridades estratégicas del laboratorio, en concordancia con los lineamientos del departamento.

b). Dirección de vinculación con el medio.

Encargada de la formalización de convenios con entidades externas, emisión de cotizaciones institucionales y seguimiento de los compromisos adquiridos en el marco de los servicios prestados.

c). Oficina de transferencia y licenciamiento (OTL/DAIS).

Responsable de la gestión de contratos de asistencia técnica, incluyendo la formalización contractual, facturación y administración financiera de los servicios desarrollados por el laboratorio.

d). Administración del departamento DIMA.

Encargada de brindar apoyo en aspectos logísticos, compras menores, coordinación interna y gestión de recursos materiales necesarios para la operación del laboratorio.

9.3. FLUJO INSTITUCIONAL DEL SERVICIO

El funcionamiento del laboratorio se estructura a través de un flujo operativo que permite asegurar la correcta ejecución técnica y administrativa de los servicios ofrecidos.

Etapas	Descripción
1	Recepción de solicitud externa (municipalidades, museos, ministerios, oficinas de arquitectura, entre otros)
2	Evaluación técnica preliminar por el equipo del laboratorio
3	Validación del alcance por el/la Coordinador(a) Académico(a) del DIMA
4	Formalización del servicio mediante la Dirección de Vinculación con el Medio como Asistencia Técnica
5	Ejecución del levantamiento tridimensional en terreno
6	Almacenamiento inicial de la nube de puntos en el repositorio digital institucional de la Universidad Técnica Federico Santa María
7	Procesamiento y análisis de nube de puntos en dependencias del DIMA
8	Generación de modelos tridimensionales, ortofotografías y documentación técnica
9	Revisión académica y certificación por parte del Coordinador
10	Entrega oficial al cliente con respaldo institucional
11	Ingreso de recursos y distribución interna

Tabla 9. Flujo institucional del servicio.

El flujo descrito permite asegurar transparencia, trazabilidad de los procesos y cumplimiento de los estándares institucionales. Asimismo, la incorporación del almacenamiento de la información como etapa formal refuerza el enfoque del laboratorio como un sistema de gestión y resguardo de datos patrimoniales.

9.4. ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

El laboratorio contempla como etapa formal el almacenamiento de la información generada, la cual será resguardada en un repositorio digital institucional.

Este sistema permite:

- Garantizar la seguridad y respaldo de los datos.
- Mantener la información disponible en el tiempo.
- Controlar el acceso mediante protocolos definidos.
- Asegurar la confidencialidad de los datos.

De esta manera, el laboratorio no solo ejecuta levantamientos, sino que gestiona información patrimonial como un activo estratégico.

9.5. DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS

Una vez finalizado el proceso de prestación del servicio y realizado el ingreso de recursos, se establece una distribución interna de los ingresos generados, en concordancia con los lineamientos institucionales asociados a actividades de asistencia técnica.

Unidad	Porcentaje
Laboratorio de Digitalización 3D	65%
USM / DAIS / OTL	25%
Departamento DIMA	10%
Total	100%

Tabla 10.. Distribución de ingresos del servicio.

Esta distribución permite asegurar la sostenibilidad operativa del laboratorio, financiando directamente sus actividades, al mismo tiempo que contribuye al funcionamiento institucional y al fortalecimiento del Departamento DIMA.

9.6. ROL ESTRATÉGICO DEL LABORATORIO DENTRO DEL DIMA

La implementación del laboratorio representa una oportunidad estratégica para el Departamento DIMA, permitiendo ampliar su alcance académico, técnico y de vinculación con el entorno.

En este contexto, el laboratorio permitirá:

- Participar en proyectos de alto impacto en el ámbito patrimonial y cultural.
- Generar ingresos propios mediante servicios de asistencia técnica regulada.
- Fortalecer líneas de investigación en digitalización, modelamiento 3D y tecnologías BIM.
- Impulsar el desarrollo de proyectos de título, prácticas profesionales e innovación aplicada.
- Posicionarse como una unidad técnica de referencia en levantamiento tridimensional a nivel regional.

De esta manera, el laboratorio no solo se configura como un servicio externo, sino como una herramienta estratégica de desarrollo académico, tecnológico e institucional.

10. ESTRATEGIA LEGAL Y PROPIEDAD INTELECTUAL

El presente capítulo establece los lineamientos legales y de propiedad intelectual que regulan la gestión, uso y explotación de la información generada por el laboratorio de digitalización patrimonial 3D. Su objetivo es proteger el modelo de negocio propuesto, resguardar los intereses institucionales y asegurar el crecimiento sostenido de la base de datos como un activo estratégico.

10.1. TITULARIDAD DE LA INFORMACIÓN

La información tridimensional generada a partir de los levantamientos realizados por el laboratorio será considerada un activo digital, cuya titularidad recaerá en la Universidad Técnica Federico Santa María, pudiendo establecerse esquemas de co-titularidad según las condiciones definidas en cada convenio.

Este enfoque permite asegurar el control institucional sobre los datos, evitando su uso indebido y garantizando su disponibilidad para futuros proyectos, investigaciones o servicios.

10.2. DERECHOS DE USO Y ACCESO

Las instituciones que participen en el proceso de levantamiento tridimensional tendrán derecho preferente de acceso a la información generada, sin que ello implique la transferencia de propiedad sobre los datos.

El acceso se regulará mediante esquemas de licenciamiento, definidos en función del tipo de uso requerido, tales como:

- Uso temporal para proyectos específicos
- Uso permanente con fines institucionales
- Uso ampliado para difusión, investigación o aplicaciones digitales

Este modelo permite compatibilizar el acceso a la información con la sostenibilidad del sistema.

10.3. RESTRICCIONES DE USO Y EXPLOTACIÓN

Con el fin de proteger la integridad del modelo de negocio, se establecen las siguientes restricciones:

- Prohibición de reventa, sublicencia miento o distribución de la información sin autorización expresa
- Limitación del uso de los datos a los fines establecidos en el convenio
- Prohibición de modificación o alteración de los modelos sin validación técnica

Estas medidas buscan evitar la pérdida de control sobre los datos y resguardar su valor estratégico.

10.4. CONFIDENCIALIDAD Y RESGUARDO DE LA INFORMACIÓN

El laboratorio implementará protocolos de confidencialidad orientados a proteger la información generada, especialmente en casos donde los datos puedan tener carácter sensible o estratégico.

Estos protocolos consideran:

- Acceso controlado a la información
- Resguardo en servidores institucionales seguros

- Restricción de difusión sin autorización
- Protección frente a pérdida, alteración o uso indebido

De esta manera, se garantiza la seguridad y confiabilidad del sistema de almacenamiento.

10.5. SISTEMA DE TARIFAS Y USO FUTURO DE LA INFORMACIÓN

El convenio suscrito con las instituciones establecerá un sistema de tarifas asociado al uso futuro de la información, permitiendo regular el acceso a los datos y los servicios derivados.

Este sistema considerará variables como:

- Tipo de licencia solicitada
- Complejidad del modelo
- Nivel de detalle requerido
- Finalidad de uso

La definición de estas tarifas permite asegurar la sostenibilidad económica del laboratorio y la valorización de la información generada.

10.6. PROTECCIÓN DEL MODELO DE NEGOCIO

La implementación de estos lineamientos legales permite resguardar el modelo de negocio del laboratorio, evitando su replicación no autorizada y asegurando que la información generada se consolide como un activo estratégico institucional.

De esta manera, el sistema no solo protege los datos, sino que también fortalece la posición del laboratorio como entidad referente en digitalización patrimonial.

11. ESTRATEGIA COMERCIAL

La estrategia comercial del laboratorio de digitalización patrimonial 3D se orienta a la vinculación directa con instituciones responsables de la gestión, conservación y difusión del patrimonio, mediante un modelo de entrada de bajo costo y alto valor percibido.

El enfoque propuesto busca facilitar el acceso al servicio, posicionando al laboratorio como un aliado estratégico, más que como un proveedor tradicional.

11.1. CLIENTES OBJETIVO

El laboratorio dirige su propuesta a instituciones que gestionan o resguardan inmuebles patrimoniales, entre las que se incluyen:

- Municipalidades.
- Diócesis y congregaciones religiosas.
- Universidades.
- Museos.
- Fundaciones patrimoniales.
- Propietarios privados de inmuebles patrimoniales.

Estos actores comparten la necesidad de contar con información técnica confiable para la conservación, intervención y difusión de sus activos.

11.2. ARGUMENTOS DE VALOR

La estrategia de posicionamiento del laboratorio se sustenta en la comunicación de beneficios concretos asociados al servicio, destacando:

- “Digitalizamos hoy para restaurar mañana”
- “Tu patrimonio queda protegido incluso ante desastres”
- “Acceso bajo demanda sin costos de almacenamiento”
- “Cumplimos estándares internacionales de documentación patrimonial”

Estos argumentos permiten transmitir de manera clara el valor del modelo, facilitando su comprensión y adopción por parte de las instituciones.

11.3. MODELO DE ENTRADA

El acceso al servicio se basa en un modelo de entrada que elimina las principales barreras de vinculación inicial, permitiendo establecer relaciones de colaboración desde las primeras etapas.

Este modelo considera:

- Ejecución del levantamiento tridimensional sin costo inicial.
- Formalización mediante un convenio de colaboración.
- Entrega de un informe básico como resultado inicial.

Este enfoque permite demostrar el valor del servicio de manera concreta, facilitando la generación de relaciones sostenidas en el tiempo.

12. BUSINESS MODEL CANVAS

El modelo de negocio del laboratorio de digitalización patrimonial 3D puede ser representado mediante la herramienta *Business Model Canvas*, la cual permite sintetizar de manera estructurada los principales componentes del sistema propuesto.

Esta herramienta facilita la comprensión integral del modelo, permitiendo visualizar la relación entre la propuesta de valor, los segmentos de clientes, las fuentes de ingreso y la estructura operativa del laboratorio.

SOCIOS CLAVE	ACTIVIDADES CLAVE	PROPUESTA DE VALOR
Municipalidades	Levantamiento 3D en terreno	Levantamiento tridimensional sin costo inicial
Diócesis y congregaciones religiosas	Procesamiento de nube de puntos	Custodia segura de la información
Museos y fundaciones	Modelamiento 3D	Acceso a modelos bajo demanda
Empresas de restauración	Generación de productos técnicos	Servicios derivados especializados
Instituciones públicas y culturales	Gestión de base de datos	Respaldo digital del patrimonio

RECURSOS CLAVE	RELACIÓN CON CLIENTES	CANALES
Equipos de escaneo 3D	Convenios de colaboración	Reuniones institucionales
Software especializado	Relación de largo plazo	Vinculación con el medio
Infraestructura del Departamento DIMA	Atención personalizada	Redes académicas
Soporte institucional (USM)	Acceso a información bajo solicitud	Presentaciones institucionales
Equipo técnico especializado	-	-

SEGMENTOS DE CLIENTES	ESTRUCTURA DE COSTOS	FUENTES DE INGRESOS
Municipalidades	Recursos humanos (operarios y profesionales)	Licencias de uso de modelos 3D
Diócesis y entidades religiosas	Uso y mantención de equipos	Servicios derivados
Universidades	Software y procesamiento	Suscripciones institucionales
Museos	Almacenamiento de datos	Informes técnicos especializados
Fundaciones patrimoniales	Transporte y logística	Modelos BIM patrimoniales
Propietarios privados	-	Servicios de emergencia

Tabla 11. Modelo de negocio del laboratorio de digitalización patrimonial 3D.

Síntesis del modelo

El modelo presentado permite evidenciar la coherencia entre los distintos componentes del sistema, integrando la propuesta de valor, los mecanismos de generación de ingresos y la estructura operativa del laboratorio.

De esta manera, el Business Model Canvas sintetiza el funcionamiento del laboratorio como un sistema articulado, orientado a la generación de valor en el ámbito de la digitalización patrimonial.

13. VIABILIDAD DEL PROYECTO

La viabilidad del laboratorio se evalúa en función de la relación entre el costo de ejecución de los levantamientos y la capacidad del modelo para generar ingresos a partir del uso posterior de la información.

A diferencia de un servicio tradicional, el costo se concentra en la captura inicial, mientras que los ingresos se distribuyen en el tiempo, asociados al acceso y utilización del activo digital.

13.1. ESTRUCTURA DE COSTOS DEL SERVICIO

Se considera un caso tipo de levantamiento compuesto por 13 estaciones:

- 3 estaciones de mayor complejidad: 16 minutos cada una
- 10 estaciones estándar: 4 minutos cada una

El proceso es ejecutado por 3 operarios, incorporando costos de equipos y traslado.

Concepto	Valor (CLP)
Mano de obra (3 operarios)	109.000
Uso de equipos	38.000
Transporte y logística	25.000
Costo total estimado	172.000

Tabla 12. Costos estimados por levantamiento.

13.2. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

El costo del levantamiento puede ser recuperado mediante la comercialización de servicios asociados al mismo activo digital.

Por ejemplo:

- 1 licencia de uso → recuperación parcial o total.
- 1 informe técnico o modelo BIM → recuperación total y generación de margen.
- Uso en múltiples servicios → incremento progresivo de ingresos.

Esto permite que un único levantamiento genere más de una fuente de retorno.

13.3. LÓGICA DE RENTABILIDAD

El modelo presenta una lógica de rentabilidad basada en:

- Costo inicial único por activo

- Múltiples instancias de monetización
- Ingresos distribuidos en el tiempo

A medida que aumenta el uso del modelo digital, el costo inicial pierde relevancia frente al ingreso acumulado.

13.4. CONDICIONES DE SOSTENIBILIDAD

- El modelo es sostenible bajo las siguientes condiciones:
- Generación constante de nuevos levantamientos
- Demanda efectiva de acceso a la información
- Desarrollo de servicios derivados de mayor valor
- Establecimiento de relaciones institucionales de largo plazo

13.5. PROYECCIÓN DEL MODELO

El crecimiento del laboratorio implica la acumulación de activos digitales, lo que incrementa la probabilidad de generación de ingresos futuros.

Esto permite escalar el modelo sin necesidad de aumentar proporcionalmente los costos operativos, mejorando su eficiencia en el tiempo.

CONCLUSIÓN

El objetivo general de esta investigación fue desarrollar una propuesta integral para el diseño e implementación de un Laboratorio de Digitalización Patrimonial 3D en la Universidad Técnica Federico Santa María. A partir de los resultados obtenidos, se concluye que dicho objetivo fue alcanzado satisfactoriamente, desarrollándose una propuesta que integra aspectos técnicos, operativos, administrativos, legales y económicos necesarios para su funcionamiento. La propuesta permite establecer una base sólida para la incorporación de tecnologías de digitalización tridimensional aplicadas a la documentación, conservación y gestión del patrimonio cultural.

Respecto al primer objetivo específico, orientado al análisis del estado del arte nacional e internacional, este fue cumplido mediante la revisión de experiencias, metodologías y tecnologías utilizadas en distintos proyectos de digitalización patrimonial. El análisis permitió identificar el creciente uso de herramientas de captura tridimensional en procesos de conservación y restauración, así como reconocer la existencia de brechas en la disponibilidad de documentación digital patrimonial en Chile. Asimismo, se identificaron oportunidades para que instituciones académicas participen activamente en la generación y gestión de este tipo de información.

En relación con el segundo objetivo específico, correspondiente a la definición de procedimientos técnicos de levantamiento y procesamiento digital, fue posible establecer un flujo de trabajo para la captura, procesamiento, gestión y almacenamiento de información tridimensional. La metodología propuesta considera la adquisición de datos mediante tecnologías de escaneo 3D, su posterior procesamiento mediante software especializado y la generación de modelos digitales aptos para distintos usos. Esto permite disponer de información precisa, organizada y reutilizable para futuras aplicaciones patrimoniales.

El tercer objetivo específico, enfocado en la validación experimental de los procedimientos propuestos, fue alcanzado mediante el desarrollo del caso de estudio realizado en el Museo de Historia Natural de Valparaíso. La aplicación práctica de las tecnologías de digitalización permitió comprobar la factibilidad de los procedimientos definidos y obtener modelos digitales representativos de elementos patrimoniales reales. Los resultados obtenidos demostraron que estas herramientas son capaces de capturar información geométrica con un alto nivel de detalle, contribuyendo a la generación de registros digitales confiables para conservación e investigación.

Respecto al cuarto objetivo específico, se identificaron los requerimientos técnicos y de infraestructura necesarios para la implementación del laboratorio. Este análisis permitió definir los equipos de captura, software de procesamiento, capacidades de almacenamiento y condiciones operativas requeridas para asegurar la continuidad y calidad de los procesos. La información obtenida constituye una base relevante para la futura materialización de la propuesta al interior de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Finalmente, el quinto objetivo específico fue cumplido mediante el diseño de un modelo de negocio basado en la generación, gestión y valorización de información digital patrimonial. La propuesta considera mecanismos de almacenamiento seguro, acceso bajo demanda y prestación de servicios especializados, permitiendo proyectar una operación sostenible en el tiempo. Asimismo, se identificaron oportunidades de colaboración con instituciones patrimoniales, organismos públicos y entidades académicas interesadas en la preservación y gestión digital del patrimonio.

De manera integradora, los resultados obtenidos permiten concluir que la implementación de un Laboratorio de Digitalización Patrimonial 3D en la Universidad Técnica Federico Santa María constituye una propuesta técnicamente viable y con potencial para transformarse en una plataforma de apoyo a la conservación, documentación y gestión del patrimonio arquitectónico. La combinación de tecnologías de captura tridimensional, metodologías de procesamiento digital y estrategias de

gestión de información permite generar registros precisos y duraderos, aportando valor tanto a instituciones patrimoniales como a futuros proyectos de investigación, restauración y difusión cultural.

Como proyección futura, se recomienda avanzar hacia la implementación gradual de la propuesta, incorporando nuevos casos de estudio que permitan ampliar la experiencia adquirida y fortalecer los procedimientos definidos. Asimismo, se sugiere explorar aplicaciones complementarias relacionadas con modelado BIM patrimonial, recorridos virtuales, monitoreo digital de inmuebles y otras tecnologías emergentes que contribuyan a fortalecer la preservación y puesta en valor del patrimonio cultural.

BIBLIOGRAFIA.

Centro UC Patrimonio Cultural. (s. f.). CENPUC. Recuperado 8 de abril de 2026, de <https://centropatrimonio.uc.cl/>

Deep3D | Modelado BIM, Escaneo Láser y Digitalización 3D Chile. (s. f.). DEEP3D. Recuperado 7 de abril de 2026, de <https://deep3d.cl/>

Detalle—Fotografía Patrimonial. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2026, de <https://www.fotografiapatrimonial.cl/Fotografía/Detalle/18123>

Devilat Loustalot, B. (2014). 3D Laser Scanning of Heritage Areas after Earthquakes: San Lorenzo de Tarapacá, Chile. *Opticon* 1826, 16, 1-4. <https://doi.org/10.5334/opt.cc>

El antes y después de la catedral Notre Dame en París: La reconstrucción tras el incendio. (2024, abril 15). CNN. <https://cnnespanol.cnn.com/2024/04/15/notre-dame-catedral-antes-despues-paris-incendio-reconstruccion-orix>

El papel de la tecnología en la reconstrucción de Notre-Dame de Paris | METALOCUS. (2019, abril 27). <https://www.metalocus.es/es/noticias/el-papel-de-la-tecnologia-en-la-reconstruccion-de-notre-dame-de-paris>

FAU - Facultad de Arquitectura y Urbanismo—Universidad de Chile. (s. f.). Recuperado 8 de abril de 2026, de <https://fau.uchile.cl/>

Getarq // Preservación digital del patrimonio. (s. f.). Recuperado 8 de abril de 2026, de <https://www.getarq.com/>

Gómez, A. (2022, octubre 16). *Daño patrimonial: Una reparación pendiente*. La Tercera. <https://www.latercera.com/la-tercera-domingo/noticia/dano-patrimonial-una-reparacion-pendiente/U5AKO6XN5VHOXJ7OUIF6YZIND4/>

Historian uses lasers to unlock mysteries of Notre Dame Cathedral. (2019, abril 16). Adventure. <https://www.nationalgeographic.com/adventure/article/150622-andrew-tallon-notre-dame-cathedral-laser-scan-art-history-medieval-gothic>

Iglesia de la Asunción (Santiago de Chile). (2026). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Iglesia_de_la_Asunci%C3%B3n_\(Santiago_de_Chile\)&oldid=171937539](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Iglesia_de_la_Asunci%C3%B3n_(Santiago_de_Chile)&oldid=171937539)

Iglesia San Francisco de Borja (Santiago). (s. f.). Tripadvisor. Recuperado 7 de abril de 2026, de https://www.tripadvisor.cl/Attraction_Review-g294305-d5324695-Reviews-Iglesia_San_Francisco_de_Borja-Santiago_Santiago_Metropolitan_Region.html

Museo de Historia Natural de Valparaíso | Museo Nacional de Historia Natural. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2026, de <https://www.mnhn.gob.cl/espacios/museo-de-historia-natural-de-valparaiso-0>

National Geographic. (2015, junio 23). *Laser Scanning Reveals Cathedral's Mysteries | National Geographic* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=jAi29udFMKw>

Notre-Dame de Paris 2025 re-opened by Boris Alexander. (s. f.). PBase. Recuperado 7 de abril de 2026, de https://pbase.com/borisalex/notre_dame_paris_2025

PointCloud—Control de calidad constructiva basada en nube de puntos. (s. f.). Recuperado 8 de abril de 2026, de <https://www.pointcloud.cl/>

Re-significando el patrimonio, entrevistas a ex alumnas del Instituto Superior de Comercio | Museo de Historia Natural de Valparaíso. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2026, de <https://www.mhmv.gob.cl/noticias/re-significando-el-patrimonio-entrevistas-ex-alumnas-del-instituto-superior-de-comercio>

Restauración patrimonial: Rescatando las tradiciones de un oficio único | Museo de Historia Natural de Valparaíso. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2026, de <https://www.mhmv.gob.cl/noticias/restauracion-patrimonial-rescatando-las-tradiciones-de-un-oficio-unico>

Riksantikvarieämbetet. (2022, noviembre 28). *Documentación 3D y la restauración de Notre-Dame de París* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=1HW70bmc8Y4>