

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

**“Integración de BIM y Blockchain (Neuroledger) para la certificación
de cambios en proyectos de construcción”**

Carlos Francisco Mulchi Venegas

2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN

**Integración De BIM y Blockchain (Neuroledger) para la Certificación de cambios en
proyectos de construcción**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

Alumno: Carlos Francisco Mulchi Venegas

Profesor Guía: Reinaldo Roberto Valdebenito Oñate

Fecha: 08/06/2026



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: Integración de BIM y Blockchain para la certificación digital de cambios en proyectos de construcción

Nombre del candidato(a): Carlos Francisco Mulchi Venegas

Carrera / Grado: Ingeniería en construcción

Campus: Concepcion **Departamento:** Construcción

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Reinaldo Roberto Valdebenito Oñate, 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: 08-01-2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 08/01/2026

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.

Índice

1.- Introducción	6
2.- Antecedentes Generales.....	7
3.- Problemática	8
4.- Justificación del proyecto	9
5.- Objetivos del Proyecto.....	11
5.1.- Objetivo General	11
5.2.- Objetivos Específicos	11
6.-Marco Teórico	12
6.1.- Building Information Modeling (BIM).....	12
6.2.- Blockchain	12
6.4.- Formato BIMXML	13
7.- Marco Normativo	14
7.1.- Ley N°19.799 Documentos Electrónicos y Firma Electrónica.....	14
7.2.- Ley N°19 628 Protección De La Vida Privada y Datos Personales.....	14
7.3.- Norma ISO 19650 Organización y Digitalización de la Información en la construcción	14
7.4.- Plan BIM Chile 2020 Estrategia Nacional de Digitalización	15
8.- Metodología del Proyecto	15
8.1.- Enfoque Metodológico	15
8.2.- Etapa De desarrollo	16
8.3.- Resultados Esperados	17
9.- Software A Utilizar.....	17
9.1.- Autodesk Revit.....	17
9.3.- BIMXML.....	18
9.4.- NeuroLedger	18
9.5.- LegalLab.....	18
9.6.- NeuroAccess	18
10.1. Contexto y Objetivo del Diagnóstico	20
.....	21
10.3.-Metodología del Diagnóstico	21
10.4.-Evidencia Técnica del Modelo según ISO 19650	22
10.4.1.-Información del Proyecto – Resultado: ✓ Cumple.....	22
10.4.3.- Vínculos entre Disciplinas – Resultado: ● Parcial	23
10.4.4.- Revisiones del Proyecto – Resultado: ● Parcial	24
10.4.5 Estructura del Entorno Común de Datos (CDE) – Resultado: ● Parcial	25

10.4.6.-Itemizado Técnico ISO 19650.....	26
12.- Índice Global de Trazabilidad.....	28
13.- Conclusiones del Diagnóstico	29
14.-CAPÍTULO 2 – DISEÑO DEL PROCESO DE CERTIFICACIÓN DIGITAL MEDIANTE BLOCKCHAIN	30
14.1 Objetivo del Capítulo.....	31
15.- BIMXML: Evidencia Digital del Cambio	31
16.- NeuroLedger.....	32
.....	33
17.-Flujo de Certificación Digital	33
18.-Hash Criptográfico + Firma Digital.....	33
19.-Cambios seleccionados para validar el flujo	34
20.- Conclusiones del Capítulo 2	34
21.-CAPÍTULO 3: APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL FLUJO DE CERTIFICACIÓN DIGITAL EN UN ESTUDIO DE CASO BIM	35
21.1.- Objetivo del capítulo	36
21.2.-Caracterización del modelo BIM del estudio de caso.....	36
21.3.- Criterios de selección de los cambios aplicados.....	36
22.-Aplicación de los cambios en el modelo BIM	37
22.1.- Cambio N°1 – Puerta principal de acceso.....	37
22.2 Cambio N°2 – Ventana posterior segundo piso.....	37
22.3.- Cambio N°3 – Cubierta	38
24.-CAPÍTULO 4: CERTIFICACIÓN DIGITAL DEL FLUJO BIM–BLOCKCHAIN Y EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO	40
24.1 Preparación del entorno de certificación digital	41
25.2 Creación del contrato digital para certificación de cambios BIM	42
25.3.- Firma digital y generación del token asociado	43
.....	44
25.4.- Registro en NeuroLedger y generación de log automatizado	44
.....	46
24.5.- Verificación pública y trazabilidad del sistema.....	47
24.6.- Evaluación del prototipo desarrollado	48
25.-CONCLUSIONES FINALES.....	49

1.- Introducción

La digitalización del sector construcción ha consolidado a BIM como el entorno central para coordinar disciplinas, planificar y gestionar información del proyecto dentro de un Entorno Común de Datos (CDE). Este trabajo colaborativo, si bien mejora la productividad, expone un punto crítico: la seguridad y trazabilidad de los flujos de información cuando los modelos se revisan, versionan y comparten entre múltiples actores.

En la práctica, persisten vacíos respecto de qué cambió, quién lo cambió, cuándo y con qué autorización, lo que puede derivar en inconsistencias, conflictos de responsabilidad y pérdida de confianza en la documentación digital. Frente a ello, este proyecto propone evaluar la aplicación de Blockchain (Neuroledger) para certificar cambios en modelos BIM, fortaleciendo la transparencia, la trazabilidad y el respaldo documental de las decisiones técnicas.

La propuesta integra BIM con Neuroledger a través del formato BIMXML, de modo que cada cambio relevante del modelo pueda generar una huella digital (hash), quedar registrado en un contrato y ser firmado digitalmente por los actores involucrados (validación mediante Neuro Access/QR). El objetivo es disponer de un registro inmutable y verificable que complemente los procedimientos actuales de gestión de cambios en BIM, sin alterar la lógica de trabajo colaborativo ni las herramientas que ya se utilizan (p. ej., Revit).

Alcance del proyecto

1. Análisis del flujo actual de gestión de cambios en entornos BIM, con el fin de identificar brechas existentes en trazabilidad, control de versiones y definición de responsabilidades.
2. Implementación de un prototipo de integración BIM y Blockchain, orientado al registro de un cambio del modelo exportado a formato BIMXML e incorporado en un contrato digital dentro de la plataforma NeuroLedger, con firma electrónica verificable.
3. Revisión del funcionamiento del prototipo, mediante la consulta de los registros generados incluida la verificación de trazabilidad a través de código QR

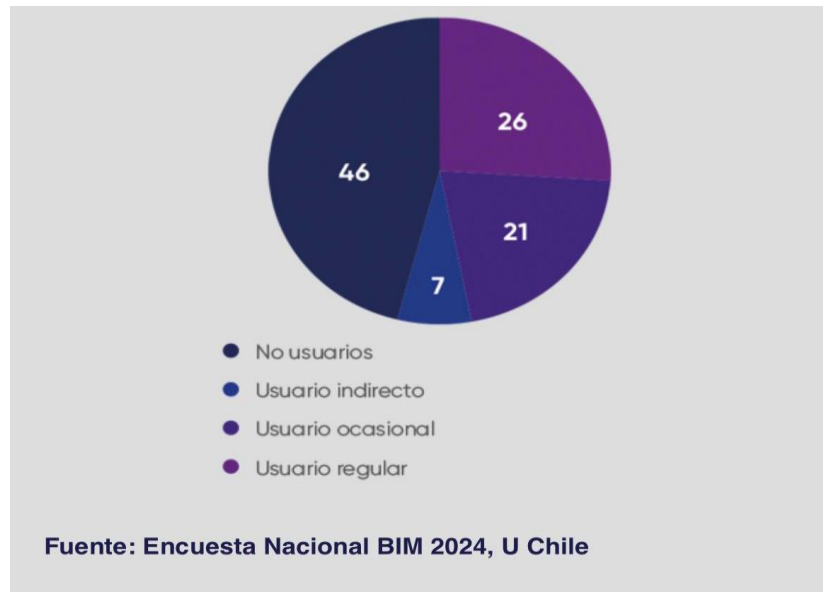
2.- Antecedentes Generales

La digitalización de la construcción ha consolidado a BIM como metodología central para coordinar disciplinas y gestionar información del proyecto en un Entorno Común de Datos (CDE). Este enfoque integra geometría, especificaciones y decisiones técnicas en un único repositorio colaborativo, facilitando revisiones y coordinación interdisciplinaria a lo largo del ciclo de vida del activo.

En paralelo, la creciente complejidad de los proyectos y el trabajo multi-actor han evidenciado la necesidad de mecanismos robustos de trazabilidad y control de cambios. En la práctica, los equipos conviven con múltiples versiones de modelos, entregables y aprobaciones que requieren cadena de custodia digital clara (qué se cambió, quién lo hizo, cuándo y con qué autorización).

En este contexto emergen las tecnologías de registro distribuido como una capa complementaria a BIM. En particular, Neuroledger, plataforma blockchain federada, permite registrar, firmar y verificar eventos de información (p. ej., cambios en un modelo) de forma inmutable y auditable, habilitando la consulta mediante firma digital y verificación por QR cuando corresponde. Para conectar ambos mundos, el uso de BIMXML ofrece un formato estructurado que facilita extraer del modelo BIM los datos necesarios para su registro en contratos dentro de Neuroledger, sin alterar las herramientas habituales de modelación (p. ej., Revit).

De esta convergencia surge el presente proyecto: evaluar la aplicación de Neuroledger para certificar cambios en modelos BIM mediante un prototipo que integre BIM y BIMXML junto al Contrato en Neuroledger con firma digital, y posteriormente validar su aporte a la seguridad de los flujos de información, la trazabilidad y la transparencia en la gestión colaborativa.



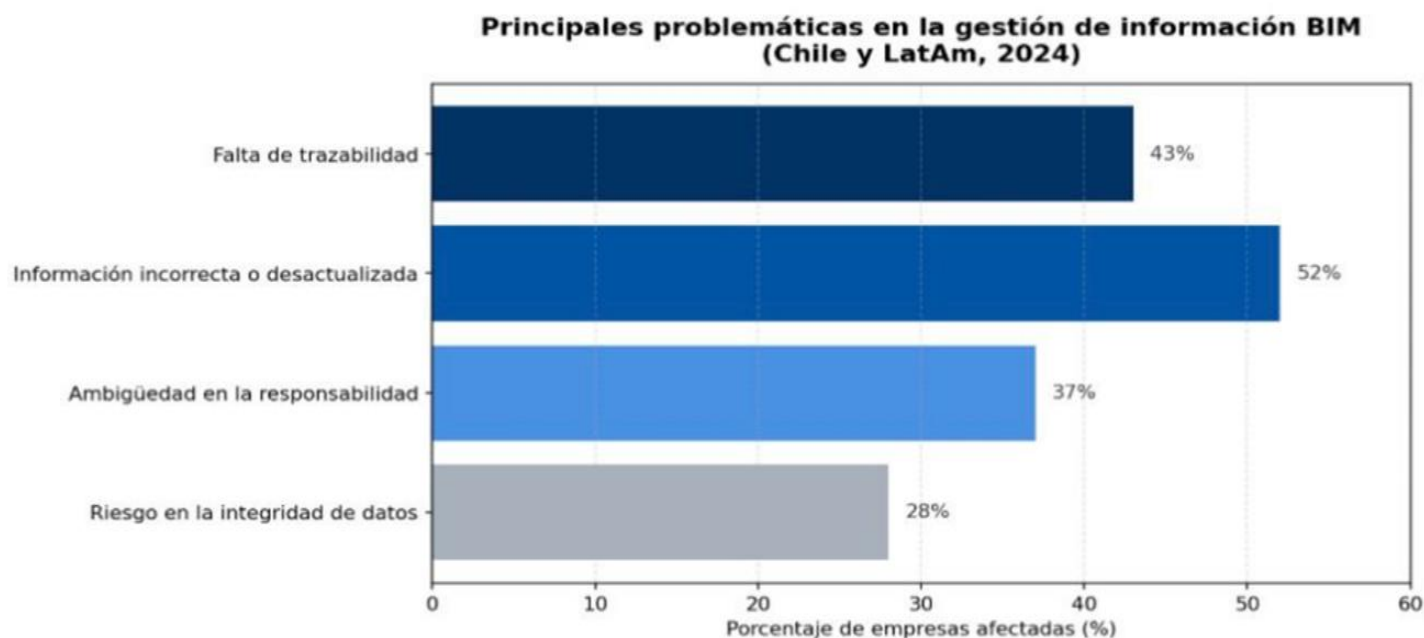
3.- Problemática

La evolución digital de la industria de la construcción ha incorporado metodologías como Building Information Modeling (BIM) para centralizar y coordinar la información de los proyectos en entornos colaborativos. Sin embargo, a medida que los modelos BIM integran distintas disciplinas arquitectura, estructura, instalaciones, presupuestos, también aumenta la cantidad y complejidad de los flujos de información que se intercambian y modifican durante el ciclo de vida del proyecto.

En la práctica, las plataformas BIM carecen de mecanismos formales de certificación y trazabilidad que permitan identificar de manera confiable quién realizó un cambio, cuándo lo hizo y bajo qué autorización. Esto genera ambigüedad de responsabilidades, pérdida de control documental, duplicación de versiones y, en muchos casos, conflictos de coordinación entre los distintos actores.

La problemática central de este proyecto radica, por tanto, en la falta de seguridad y trazabilidad en los flujos de información de los modelos BIM. Actualmente, las revisiones, aprobaciones o correcciones se documentan mediante registros locales, correos electrónicos o repositorios internos, lo que no garantiza integridad ni verificación de autenticidad de los datos. Esta situación reduce la confiabilidad de la información técnica, dificulta la coordinación entre equipos y afecta la toma de decisiones constructivas y contractuales.

En consecuencia, se requiere implementar una herramienta que registre y certifique los cambios realizados en los modelos BIM, de modo que cada acción quede asociada a una huella digital única, firmada electrónicamente por los responsables y verificable en tiempo real. La integración de Blockchain (Neuroledger) con BIM surge como una alternativa tecnológica capaz de fortalecer la transparencia, seguridad y trazabilidad de la información, otorgando respaldo legal y auditabilidad al proceso de gestión de cambios.



Fuente: Autodesk Construction Cloud Report 2023; World Economic Forum – Future of Construction 2024; Cámara Chilena de la Construcción (CChC, 2024).

4-. Justificación del proyecto

La gestión de información en entornos BIM constituye uno de los pilares de la digitalización del sector construcción. No obstante, el trabajo colaborativo y multidisciplinario que caracteriza a esta metodología plantea nuevos desafíos relacionados con la seguridad, trazabilidad y confiabilidad de los datos que se comparten entre actores.

La información generada en BIM es dinámica: se revisa, modifica y valida continuamente. Sin un sistema que registre y certifique de forma inmutable cada cambio, se corre el riesgo de perder la integridad documental del modelo, dificultando la identificación de autores,

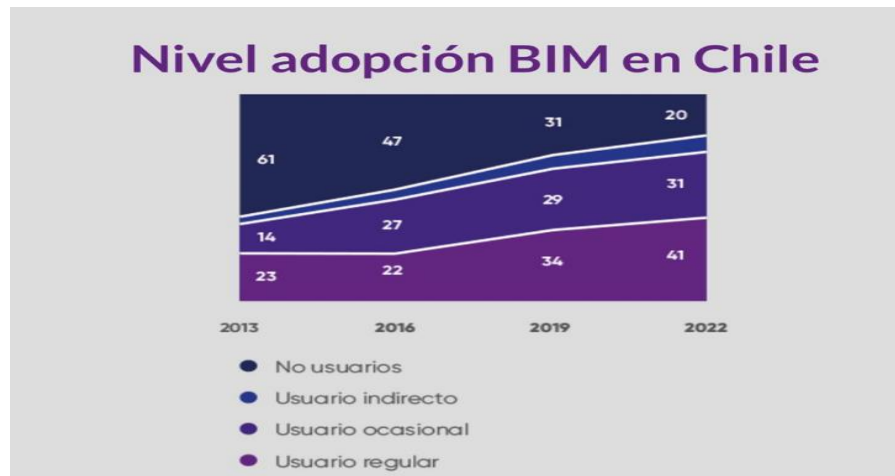
versiones y aprobaciones. Esta falta de control genera incertidumbre técnica y legal, afectando la coordinación y la eficiencia del proceso constructivo.

En este contexto, la incorporación de tecnología Blockchain, y específicamente de la plataforma Neuroledger, se justifica como una solución innovadora para asegurar la validez, autenticidad y trazabilidad de los registros asociados a los modelos BIM. Mediante el uso de huellas digitales (hash), firmas electrónicas avanzadas y verificación por código QR, cada evento o modificación puede almacenarse como un bloque único dentro de un sistema descentralizado, evitando la manipulación o pérdida de información.

El proyecto aporta valor al integrar la metodología BIM con la tecnología Blockchain a través del formato BIMXML, el cual permite exportar datos estructurados del modelo para su registro dentro de contratos en Neuroledger, sin alterar los flujos actuales de trabajo en software como Revit. Esta integración promueve una gestión documental más confiable, transparente y auditable, otorgando respaldo técnico y jurídico a los procesos de diseño y ejecución.

Desde una perspectiva académica y profesional, esta propuesta contribuye al avance de la transformación digital del sector construcción, alineándose con los lineamientos del Plan BIM Chile 2020, que promueve la interoperabilidad, la transparencia y el uso eficiente de la información en proyectos públicos. Además, se fundamenta en la Ley 19.799 sobre documentos y firma electrónica y la Ley 19.628 sobre protección de datos personales, garantizando el cumplimiento normativo aplicable a la documentación digital.

En síntesis, el proyecto se justifica por su impacto técnico, legal y operativo en la mejora de los flujos de información BIM, permitiendo fortalecer la confianza entre los profesionales, optimizar la trazabilidad de los cambios y asegurar la validez jurídica de los registros digitales dentro de los proyectos de construcción.



Fuente: Encuesta Nacional BIM En Chile, Universidad De Chile

5.- Objetivos del Proyecto

5.1.- Objetivo General

Evaluar la aplicación de la tecnología Blockchain para la certificación de cambios en modelos BIM, a partir de un caso de estudio de una vivienda unifamiliar, con el fin de garantizar trazabilidad, transparencia y respaldo legal en la gestión de la información.

5.2.- Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el flujo actual de gestión de cambios en modelos BIM en oficinas técnicas y académicas de la Región del Biobío, mediante entrevistas y aplicación de checklists, identificando falencias en trazabilidad, responsabilidades y control documental.
2. Desarrollar un prototipo de integración BIM–NeuroLedger, capaz de registrar digitalmente los cambios en un modelo exportado a formato BIMXML y generar un contrato firmado digitalmente.
3. Validar el prototipo mediante la revisión de los registros generados, analizando sus aportes en términos de transparencia, coordinación y trazabilidad dentro de la gestión colaborativa.

6.-Marco Teórico

La transformación digital del sector de la construcción ha impulsado la adopción de metodologías colaborativas y tecnologías emergentes orientadas a optimizar la planificación, ejecución y gestión de los proyectos. Dentro de este contexto, destacan tres componentes centrales que sustentan la propuesta del presente trabajo: Building Information Modeling (BIM), Blockchain y Neuroledger, junto con el uso del formato BIMXML como puente entre ambos entornos

6.1.- Building Information Modeling (BIM)

BIM (Building Information Modeling) es una metodología de trabajo colaborativo que permite crear, gestionar y compartir información digital del proyecto durante todo su ciclo de vida. Se basa en modelos tridimensionales paramétricos que integran información geométrica y alfanumérica, lo que facilita la coordinación entre las distintas especialidades (arquitectura, estructura, instalaciones, entre otras).

La principal fortaleza de BIM radica en su capacidad para centralizar la información en un Entorno Común de Datos (CDE), donde múltiples actores pueden interactuar sobre un mismo modelo. Sin embargo, este carácter colaborativo también genera desafíos en términos de control de versiones, responsabilidad y trazabilidad de los cambios efectuados por distintos profesionales.

En este escenario, surge la necesidad de implementar mecanismos que permitan registrar, verificar y certificar las modificaciones en los modelos BIM, garantizando la transparencia y la confiabilidad de los flujos de información.

6.2.- Blockchain

Blockchain es una tecnología de registro distribuido que permite almacenar información en bloques encadenados de manera cronológica e inmutable. Cada bloque contiene un conjunto de transacciones o eventos, validados por una red descentralizada de nodos. Su estructura criptográfica evita la alteración o eliminación de los registros, proporcionando seguridad, trazabilidad y transparencia en la gestión de datos digitales.

Aplicada al ámbito de la construcción, Blockchain ofrece la posibilidad de certificar información técnica, registrar aprobaciones, versiones o hitos de diseño con firma digital, y

mantener un historial verificable de decisiones y responsabilidades. Esta tecnología reduce la dependencia de intermediarios, otorga confianza al proceso colaborativo y refuerza la validez de la información en entornos digitales.

6.3.- Neuroledger

Neuroledger es una plataforma blockchain desarrollada por el Profesional Peter Waher, de nacionalidad suiza. Se trata de una red federada orientada a la trazabilidad y certificación de datos en entornos empresariales y de infraestructura digital. Su arquitectura combina las ventajas de la descentralización con la gestión segura de identidades digitales, permitiendo crear contratos inteligentes (Smart Contracts) que almacenan información verificable, firmada y asociada a un registro de tiempo.

En el contexto del presente proyecto, Neuroledger se integra como una herramienta para certificar los cambios realizados en modelos BIM, registrando cada modificación como un evento digital firmado por los participantes y verificable mediante código QR o huella criptográfica (hash). Esta función permite disponer de un historial confiable, transparente y auditable de todas las versiones del modelo.

6.4.- Formato BIMXML

El BIMXML es un formato de intercambio estructurado que permite exportar información desde un modelo BIM a un lenguaje legible por sistemas externos. Gracias a su estructura basada en XML, puede integrarse con herramientas de automatización, bases de datos y plataformas de registro digital, como Neuroledger.

El uso de BIMXML en este proyecto facilita la interoperabilidad entre Revit (BIM) y Neuroledger (Blockchain), posibilitando que los datos del modelo como metadatos, versiones o identificadores sean registrados de forma automática dentro de un contrato digital. De esta manera, cada cambio significativo en el modelo puede ser trazado, certificado y validado sin alterar el flujo natural de trabajo de los profesionales.

7.- Marco Normativo

El desarrollo del presente proyecto se sustenta en un marco normativo que regula la validez jurídica de los documentos electrónicos, la protección de datos personales y la gestión estandarizada de información en entornos BIM, en concordancia con las políticas públicas de transformación digital impulsadas por el Estado de Chile.

7.1.- Ley N°19.799 Documentos Electrónicos y Firma Electrónica

Promulgada en 2002, la Ley N°19.799 establece la validez jurídica de los documentos electrónicos y reconoce la firma electrónica avanzada como equivalente legal de la firma manuscrita.

Esta ley permite que los documentos generados, transmitidos o almacenados por medios digitales sean válidos y oponibles ante terceros, siempre que cumplan los requisitos de autenticidad, integridad y disponibilidad.

En el contexto del presente proyecto, esta normativa respalda la certificación de cambios y firmas digitales registradas en Neuroledger, asegurando que la información contenida en los contratos y registros blockchain tenga validez legal y probatoria dentro del proceso constructivo.

7.2.- Ley N°19 628 Protección De La Vida Privada y Datos Personales

Regula el tratamiento de los datos personales y establece los principios de consentimiento, finalidad y proporcionalidad en su uso. Dado que la integración de BIM con Blockchain involucra la gestión y registro de información asociada a profesionales y actores del proyecto, esta ley garantiza la protección y confidencialidad de los datos que se incorporan a la cadena de bloques.

Asimismo, promueve la adopción de medidas de seguridad informática y control de acceso, lo cual se alinea con las características propias de Neuroledger, que opera bajo un esquema de red federada con usuarios identificados y permisos de acceso definidos.

7.3.- Norma ISO 19650 Organización y Digitalización de la Información en la construcción

La ISO 19650 es una norma internacional que define los principios y requisitos para la gestión de información utilizando BIM durante el ciclo de vida de un activo construido.

Establece lineamientos para la estructura de datos, control de versiones, trazabilidad y responsabilidades de los distintos participantes en proyectos colaborativos.

Este proyecto se enmarca en dicha norma al proponer la integración de un sistema de certificación de cambios (basado en Neuroledger) que complementa los procesos definidos por la ISO 19650, fortaleciendo la trazabilidad documental y la transparencia de los flujos de información.

7.4.- Plan BIM Chile 2020 Estrategia Nacional de Digitalización

El Plan BIM Chile 2020, impulsado por CORFO y el Ministerio de Economía, tiene como objetivo incorporar la metodología BIM en todos los proyectos públicos del país.

Entre sus ejes principales destacan la interoperabilidad, la estandarización y la transparencia en la gestión de información.

La propuesta de este proyecto se alinea directamente con dichos lineamientos, al incorporar tecnologías emergentes como Blockchain para asegurar la trazabilidad, confiabilidad y seguridad de los datos dentro de los procesos BIM, contribuyendo así al fortalecimiento de la transformación digital en el sector de la construcción chilena.

8.- Metodología del Proyecto

El desarrollo del proyecto se basa en una metodología mixta, de carácter tecnológico y analítico, orientada a evaluar la aplicación de Blockchain (Neuroledger) en la certificación de cambios dentro de modelos BIM, mediante la exportación de información estructurada en formato BIMXML.

El enfoque combina el análisis del flujo actual de gestión de cambios en entornos BIM con el desarrollo y validación de un prototipo de integración, permitiendo contrastar la situación actual con la solución propuesta.

8.1.- Enfoque Metodológico

El proyecto adopta un método de investigación aplicada, que busca generar conocimiento orientado a la resolución de un problema técnico real.

A través de la observación, el levantamiento de información y el diseño de un prototipo funcional, se pretende evaluar la eficacia del uso de Neuroledger como herramienta de certificación y trazabilidad de cambios en modelos BIM.

El enfoque combina:

- Análisis descriptivo, para identificar las falencias actuales en la gestión de información.
- Desarrollo experimental, para implementar la integración técnica entre BIM y Blockchain.
- Validación tecnológica, para comprobar la trazabilidad y verificación de registros en Neuroledger.

8.2.- Etapa De desarrollo

a) Diagnóstico del flujo actual de gestión de cambios BIM

Se realizará un levantamiento del flujo actual mediante entrevistas, observación directa y checklists aplicados a oficinas de arquitectura o entornos BIM académicos (UTFSM, Campus Concepción).

El objetivo es detectar brechas en trazabilidad, control de versiones y responsabilidades, estableciendo una línea base que permita definir los requerimientos del sistema propuesto.

b) Diseño y desarrollo del prototipo de integración BIM–Blockchain

A partir del diagnóstico, se desarrollará un prototipo funcional que permita registrar los cambios en un modelo BIM exportado en formato BIMXML dentro de un contrato Neuroledger, firmado digitalmente por los actores involucrados mediante NeuroAccess y verificación por QR.

La integración se realizará utilizando las siguientes herramientas:

- Revit, para la creación y modificación del modelo BIM.
- BIMXML, para la exportación estructurada de datos.
- Neuroledger, como sistema de registro, certificación y trazabilidad.
- LegalLab, para la administración de contratos digitales asociados.

c) Validación y análisis de resultados

Se verificará el funcionamiento del prototipo comprobando la correcta lectura, registro y trazabilidad de los cambios dentro de Neuroledger.

Asimismo, se evaluará su impacto en la coordinación, transparencia y responsabilidad de los profesionales involucrados.

La validación considerará la visualización del historial de modificaciones, la verificación de firmas digitales y la consulta por código QR de los cambios certificados.

8.3.- Resultados Esperados

Con esta metodología, se espera obtener un sistema capaz de:

- Registrar de manera inmutable y verificable los cambios en modelos BIM.
- Asociar cada modificación a un actor responsable mediante firma digital.
- Garantizar transparencia y trazabilidad en la gestión colaborativa.
- Contribuir al cumplimiento de los estándares establecidos por la ISO 19650 y el Plan BIM Chile 2020.

9.- Software A Utilizar

Para la implementación y validación del prototipo propuesto en este proyecto, se utilizarán herramientas digitales especializadas tanto del ámbito BIM como del ecosistema Blockchain. Estas aplicaciones permitirán simular de forma controlada un flujo de trabajo colaborativo, registrar cambios en modelos digitales y verificar su trazabilidad mediante tecnologías distribuidas. A continuación, se detallan los softwares seleccionados:

9.1.- Autodesk Revit

Es la plataforma base para el modelado de información de la construcción (BIM). Revit permite desarrollar modelos tridimensionales inteligentes con información técnica asociada, facilitando la coordinación entre disciplinas. En este proyecto, se utilizará para crear un modelo de prueba, donde se simularán modificaciones colaborativas entre distintos actores.

9.3.- BIMXML

BIMXML es un formato estructurado que permite la exportación de datos desde modelos BIM en un lenguaje legible por máquinas. Este formato actúa como puente entre Revit y la plataforma Blockchain, permitiendo transformar los cambios realizados en el modelo en entradas certificables. Es clave para garantizar interoperabilidad y estructuración del flujo de datos.

9.4.- NeuroLedger

NeuroLedger es una plataforma Blockchain diseñada para gestionar contratos digitales, certificados y registros con validez legal. Se utilizará como núcleo del sistema de certificación, almacenando los cambios provenientes del archivo BIMXML como eventos firmados digitalmente e integrados en una cadena inmutable.

9.5.- LegalLab

LegalLab es una herramienta para la generación, administración y estructuración de contratos XML. Su función en este proyecto será transformar los datos extraídos del modelo BIM en contratos digitales verificables, permitiendo que cada cambio sea auditado y certificado con respaldo legal.

9.6.- NeuroAccess

Plataforma de firma electrónica avanzada. NeuroAccess se empleará para firmar los registros generados y verificar su integridad mediante códigos QR. Esta herramienta será fundamental para vincular cada actor del proyecto con los cambios que ha ejecutado o aprobado, dotando de trazabilidad y evidencia jurídica a cada modificación.

Estas herramientas, combinadas, permitirán desarrollar y validar un entorno experimental donde los cambios en modelos BIM puedan certificarse digitalmente mediante Blockchain, replicando un flujo de trabajo técnico y legal aplicable a contextos reales de la industria de la construcción.

**10.- CAPÍTULO 1 – DIAGNÓSTICO DE TRAZABILIDAD DE CAMBIOS
EN MODELOS BIM SEGÚN ISO 19650.**

10.1. Contexto y Objetivo del Diagnóstico

El diagnóstico se desarrolló a partir de un modelo BIM real correspondiente a una vivienda unifamiliar del Condominio Torreones II, Bellavista, Concepción. En los procesos operativos tradicionales, los cambios entre versiones de un modelo BIM suelen controlarse de manera manual: renombrando archivos, enviando correos electrónicos o utilizando repositorios sin control de versiones documentado.

Este tipo de gestión genera brechas en la trazabilidad: no siempre es posible verificar quién realizó un cambio, cuándo se hizo o si el archivo corresponde a la versión más reciente.

El objetivo del diagnóstico fue establecer una línea base de trazabilidad del modelo previo a la integración de Blockchain (NeuroLedger), evaluando la calidad documental, las revisiones, el control de versiones y la estructura del Entorno Común de Datos (CDE) conforme a la ISO 19650.



Fuente: Google Maps. Vista Frontal De Vivienda Unifamiliar En Concepcion.



Fuente: Modelo Tridimensional De La Vivienda Unifamiliar Torreones II Bellavista, Concepcion. Revit 2024.

10.3.-Metodología del Diagnóstico

El diagnóstico se realizó en tres etapas principales:

a) Levantamiento técnico del modelo BIM

- Revisión del archivo RVT utilizando Autodesk Revit.
- Análisis de parámetros del proyecto.
- Revisión de advertencias.
- Revisión de vínculos disciplinarios.
- Evaluación de revisiones internas y externas del archivo.

b) Revisión normativa según ISO 19650

Se analizaron requisitos asociados a:

- Versionado,
- Estados de información,
- Control documental,
- Responsabilidades y flujos de aprobación.

c) Levantamiento operativo

- Encuesta aplicada al modelador BIM del proyecto.
- Aplicación de una checklist de 10 ítems sobre trazabilidad, responsabilidades, registro de cambios y uso de repositorios.

Esto permitió identificar brechas entre la práctica real y los estándares formales.

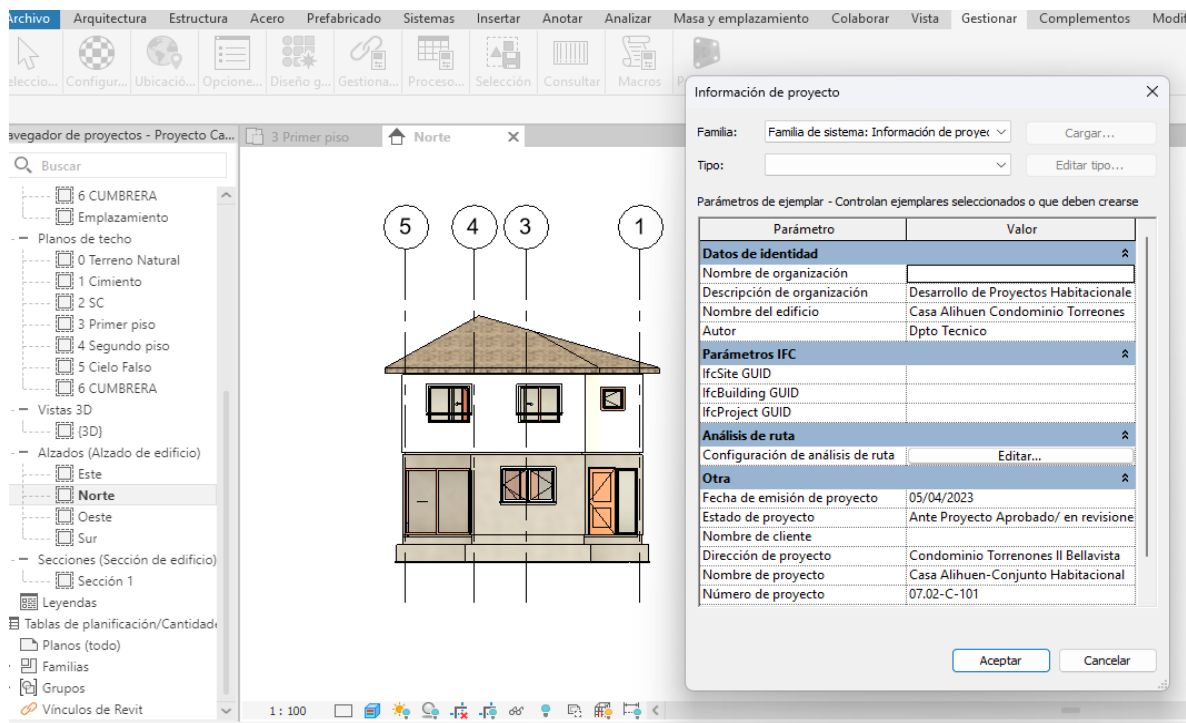
10.4.-Evidencia Técnica del Modelo según ISO 19650

10.4.1.-Información del Proyecto – Resultado: ✓ Cumple

Los parámetros del archivo se encuentran completos:

- Nombre del proyecto
- Estado del archivo
- Número de documento
- Fecha de emisión

Estos elementos permiten una identificación clara del modelo y su contexto documental



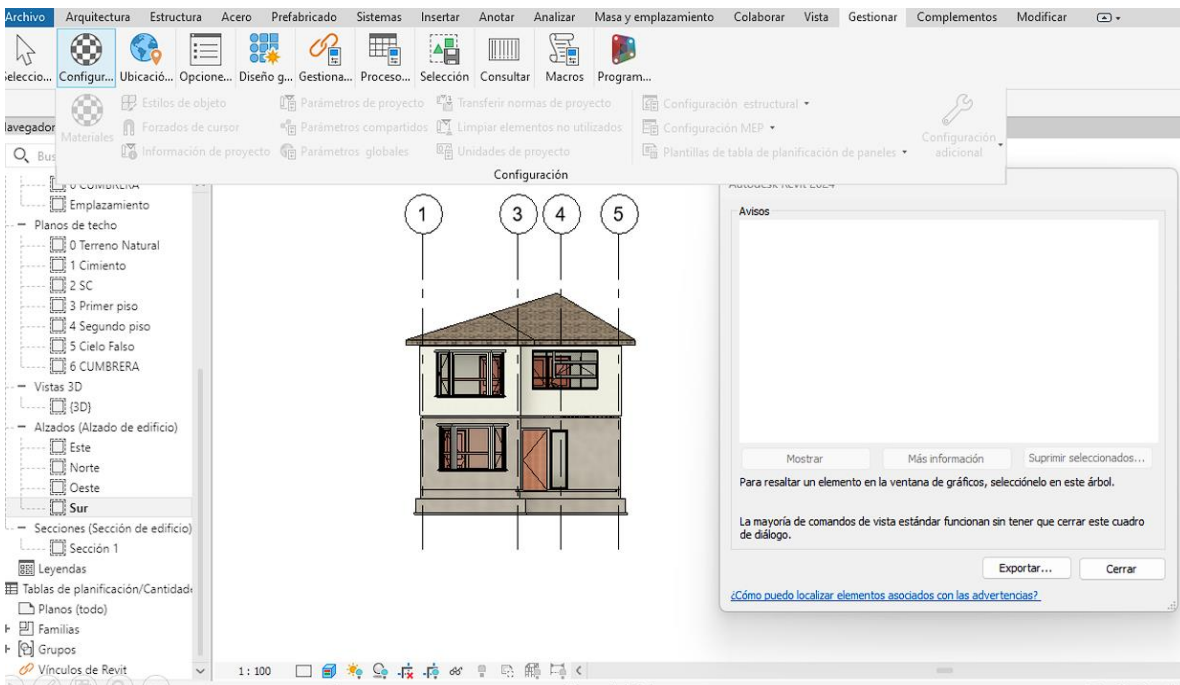
Fuente: Modelo Revit Vivienda Unifamiliar

10.4.2.-Advertencias del Modelo – Resultado: ✓ Cumple

Las advertencias generadas por Revit estaban en cero.

Esto indica:

- Ausencia de colisiones graves,
- Modelado coherente,
- Calidad geométrica correcta.



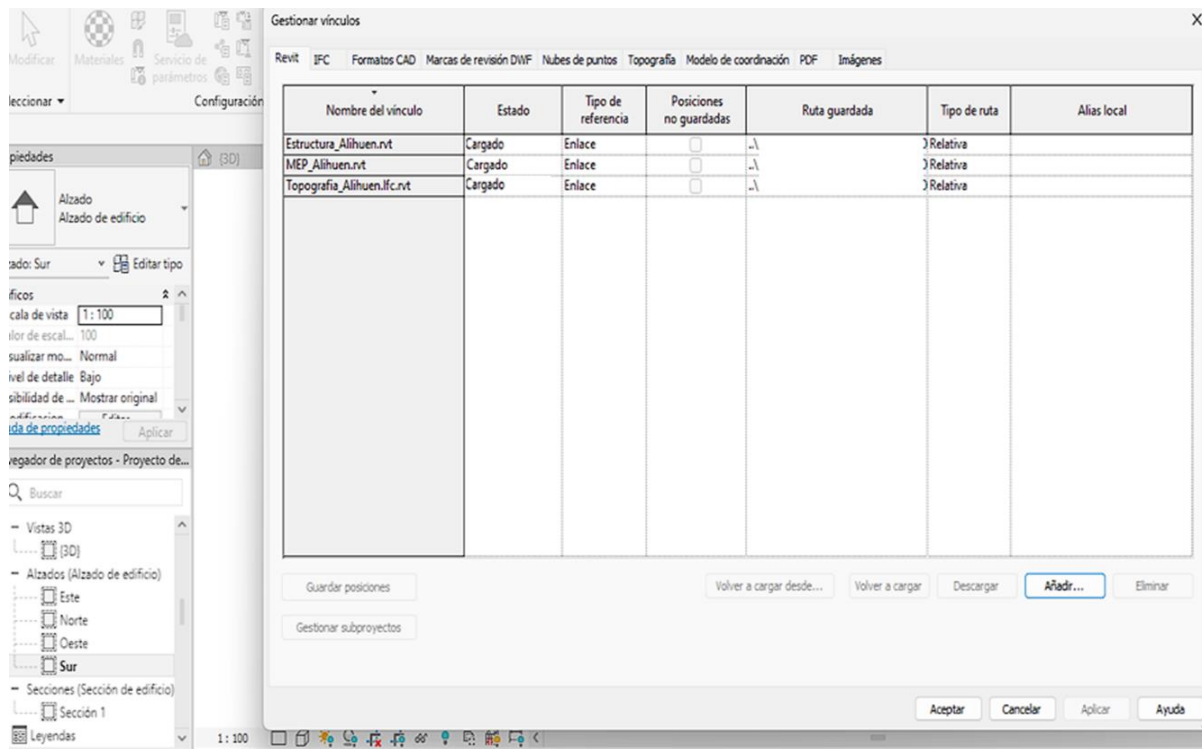
Fuente: Captura Desde Modelo Revit Vivienda Unifamiliar

10.4.3.- Vínculos entre Disciplinas – Resultado: ☒ Parcial

El archivo contiene vínculos de:

- Estructura
- Instalaciones (MEP)
- Topografía

Sin embargo: No existe control de versiones ni registro de estados, lo cual incumple el control documental recomendado por ISO 19650



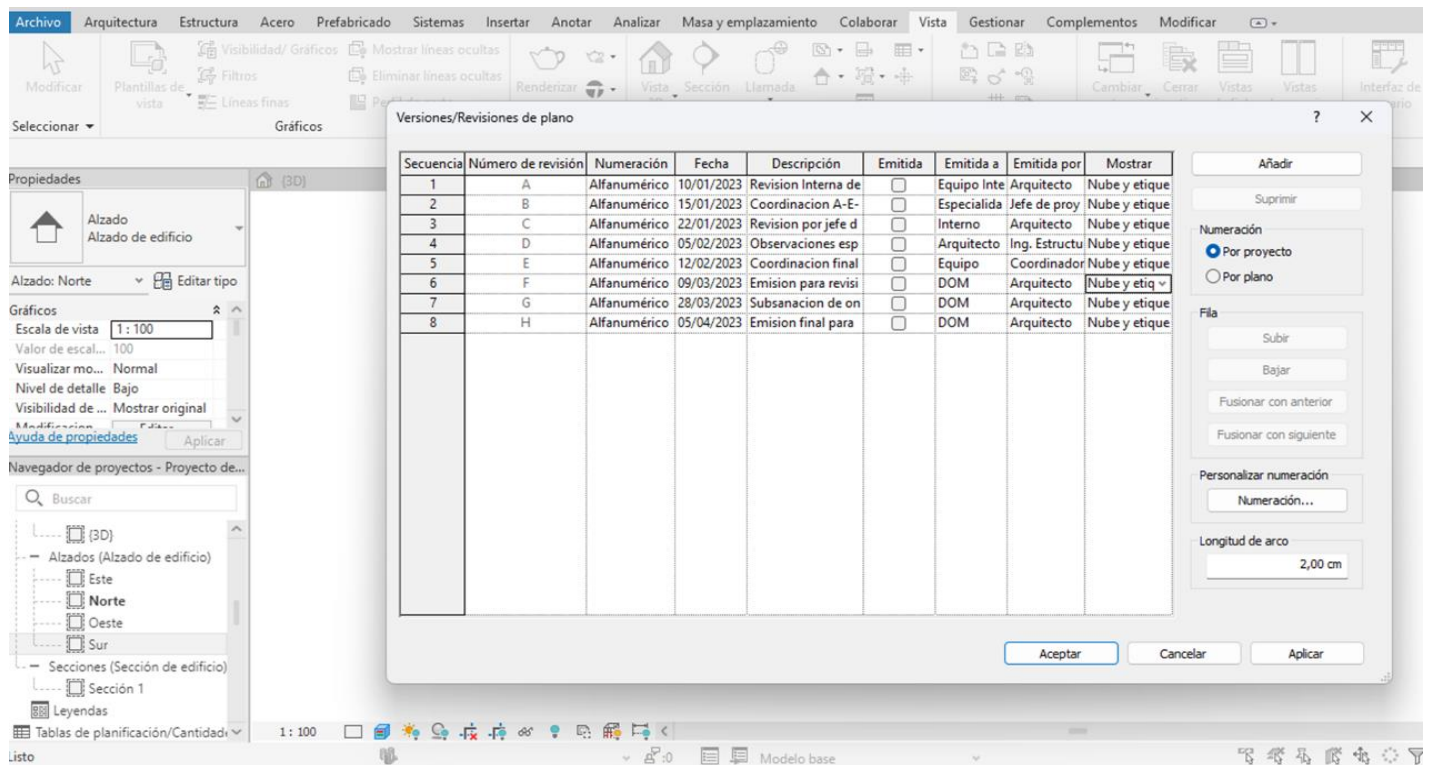
Fuente: Captura de Gestión de Vínculos, Modelo Revit

10.4.4.- Revisiones del Proyecto – Resultado: ☐ Parcial

El archivo presenta 8 revisiones internas y externas, incluyendo:

- Fechas
- Descripciones
- Emisor
- Destinatario

Aunque el registro está presente: No se encuentra completo ni consistente, especialmente en relación a documentos externos dentro del CDE



Fuente: Captura de Revisiones de Plano, Modelo Revit

10.4.5 Estructura del Entorno Común de Datos (CDE) – Resultado: 2 Parcial

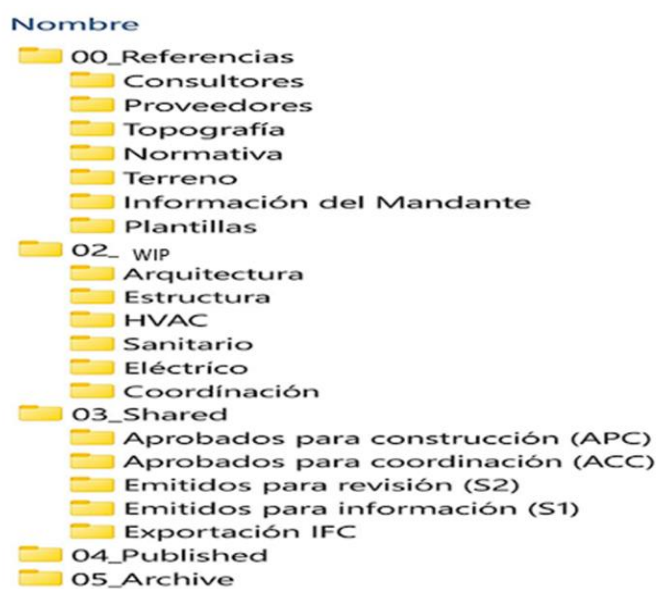
El proyecto posee una estructura ISO 19650 con carpetas:

- 00_Referencias
- 01_Modelos
- 02_WIP
- 03_Shared
- 04_Published
- 05_Archive

Pero carece de:

- Estados de información asignados,
- Bitácoras,
- Aprobaciones formales,
- Firmas digitales.

La estructura existe, pero no está respaldada con trazabilidad documental real.



Fuente: Captura De La Estructura De Carpetas, Dentro Del Entorno Común De Datos

10.4.6.-Itemizado Técnico ISO 19650

Se evaluaron 9 indicadores técnicos, calificando cada uno según:

- Cumple (1 punto)
- Parcial (0,5 puntos)
- No cumple (0 puntos)

Resultado técnico:

4,0 puntos de 5,0 (80%): Esto indica que el modelo cumple con aspectos técnicos, pero no con trazabilidad profunda.

Código	Elemento Evaluado	Evidencia Técnica Observada	Resultado
ET-01	Información del proyecto	Los campos de identificación del proyecto están completos: Nombre, Ubicación, Autor, Fecha y Parámetros Generales. La Información es consistente con la documentación PDF.	Cumple
ET-02	Advertencia del Modelo	El modelo no presenta advertencias. Esto indica consistencia geométrica y ausencia de conflictos básicos. La Ausencia de Warnings es coherente con un modelo final.	Cumple
ET-03	Vínculos entre Disciplinas	Existen Vínculos Cargados hacia Estructura y MEP, pero con ruta absoluta. Esto limita movilidad y coordinación. No se identifican versiones o estados del vínculo.	Parcial
ET-04	Revisiones del Proyecto	El cuadro de revisiones está presente, pero sin entradas. Esto sugiere que los cambios fueron gestionados por fuera de Revit (Correo Electrónico, Versiones Por Fecha, etc.).	Parcial
ET-05	Entorno común de datos	La Estructura del CDE cumple la secuencia ISO 19650:	Cumple
ET-0.5.1	00 referencias	PDFs base, topografías, archivos de referencias externos.	✓
ET-0.5.2	01 modelos	Los modelos disciplinarios maestros (Arq/STR/MEP).	✓
ET-0.5.3	02 wip	Modelos en edición antes de ser compartidos.	✓
ET-0.5.4	03 shared	Modelos validos a nivel interno para revisión entre equipos.	✓
ET-0.5.5	04 published	Entregables oficiales para mandante/municipalidad.	✓
ET-0.5.6	05 archive	Versiones antiguas, congeladas y no modificables.	✓

Fuente: Itemizado ISO 19650

11. Checklists Operativa

Resultados:

- Cumple = 0 ítems
- Parcial = 4 ítems
- No cumple = 6 ítems

operativo total: 20% esto evidencia falta de procedimiento de control documental

N°	Item de verificación	Respuesta	Observación profesional
1	¿Existe un protocolo formal para registrar cambios en el modelo BIM?	✗ No	El modelo no presenta un protocolo ni documentos anexos para registrar cambios. No se evidencia uso de matrices de control ni formularios de revisión.
2	¿Cada modificación queda registrada con el nombre del responsable y la fecha?	⚠ Parcial	Solo figura el campo "Autor" en Información del proyecto. No existe trazabilidad individual por modificación ni registro automático de la fecha del cambio.
3	¿Se utilizan versiones (v1, v2, etc.) para controlar los cambios?	⚠ Parcial	Solo existe el archivo principal. No se identifican subversiones controladas (v1, v2, v3, etc.).
4	¿Los cambios se aprueban antes de integrarse al modelo general?	✗ No	No se evidencian flujos formales de revisión, aprobación ni validación previa a integrar cambios al modelo maestro.
5	¿Existe un responsable designado para el control de versiones?	⚠ Parcial	El arquitecto principal actúa como responsable informal. No existe una figura definida de coordinador BIM ni un rol formal para el versionamiento.
6	¿Se generan reportes automáticos de cambios (change logs)?	✗ No	No se identifican registros automáticos, reportes de cambios ni herramientas específicas utilizadas para generar logs.
7	¿Se utilizan plataformas colaborativas (Autodesk Construction Cloud, Trimble Connect, etc.)?	✗ No	El archivo se gestiona en almacenamiento local del servidor. No se utiliza un Entorno Común de Datos (CDE) colaborativo en la nube.
8	¿Existen conflictos frecuentes entre modelos (superposición de disciplinas)?	⚠ Parcial	No existen vínculos activos a modelos de estructura o MEP. Esto evita conflictos directos, pero también impide detectar interferencias entre disciplinas.
9	¿Los registros de cambios tienen firma digital o respaldo legal?	✗ No	No existen firmas digitales, sellos de tiempo ni certificación legal asociada a las modificaciones del modelo.
10	¿Los involucrados pueden verificar fácilmente quién hizo un cambio y cuándo?	✗ No	No hay trazabilidad automática de autoría. La verificación solo puede hacerse de forma manual, comparando versiones del archivo.

Fuente: Encuesta Aplicada al Modelador BIM Responsable

12.- Índice Global de Trazabilidad

Promediando cumplimiento técnico/operativo:

Índice Global de trazabilidad: 50%

Interpretación:

- Buena estructura técnica (80%).
- Baja trazabilidad operativa (20%).
- No existe certificación digital, firma avanzada, hash ni sello de tiempo.

Indicador técnico ISO 19650	Evaluación	Puntaje
1. Información Del Proyecto	CUMPLE	1.0
2. Advertencias	CUMPLE	1.0
3. Vínculos entre disciplinas	PARCIAL	0.5
4. Revisiones	CUMPLE	1.0
5. CDE	PARCIAL	0.5
TOTAL CRITICO		4.0

Normalización del puntaje:

CUMPLIMIENTO TECNICO = $4.0 / 5.0 \times 100 = 80\%$

13.- Conclusiones del Diagnóstico

- El modelo posee 50% de trazabilidad global.
- Estructura ISO correcta, pero sin trazabilidad verificable.
- El registro de cambios es manual y no auditable.
- No existe mecanismo de certificación ni evidencia legal.
- Se justifica totalmente la integración de Blockchain (NeuroLedger).

Brecha detectada
Ausencia de parámetros de versión o estado
Sin firma digital ni sello de tiempo en documentos publicados
Inexistencia de bitácora automática de cambios
Gestión manual de revisiones y control documental
Implicancia técnica
Dificulta identificar revisiones dentro del modelo y genera pérdida de control sobre los cambios.
Impide verificar la autoría, la fecha y la autenticidad de los archivos generados en el modelo.
No existe historial verificable de modificaciones realizadas en el modelo BIM.
Aumenta el riesgo de errores humanos y dificulta la trazabilidad operativa del proyecto.
Solución esperada
Incorporar registro automático de versiones y estado de elementos dentro del modelo BIM.
Implementar certificación Blockchain mediante hash y sello temporal para garantizar autenticidad y trazabilidad.
Integrar un log automatizado que registre cada cambio y usuario asociado.
Digitalizar el flujo de revisión e integrar control automático de versiones mediante Blockchain.

**14.-CAPÍTULO 2 – DISEÑO DEL PROCESO DE CERTIFICACIÓN
DIGITAL MEDIANTE BLOCKCHAIN**

14.1 Objetivo del Capítulo

Diseñar un flujo técnico claro para certificar cualquier cambio del modelo BIM mediante:

- BIMXML,
- LegalLab,
- NeuroAccess,
- NeuroLedger,
- Hash criptográfico,
- QR verificable.



15.- BIMXML: Evidencia Digital del Cambio

El BIMXML cumple 4 funciones clave:

1. Evidencia digital del cambio

Describe el elemento, el parámetro afectado y el valor modificado.

2. Interoperabilidad

Permite transferir la información desde Revit a la Blockchain.

3. Base para el hash

Su contenido se convierte en una huella irreversible única.

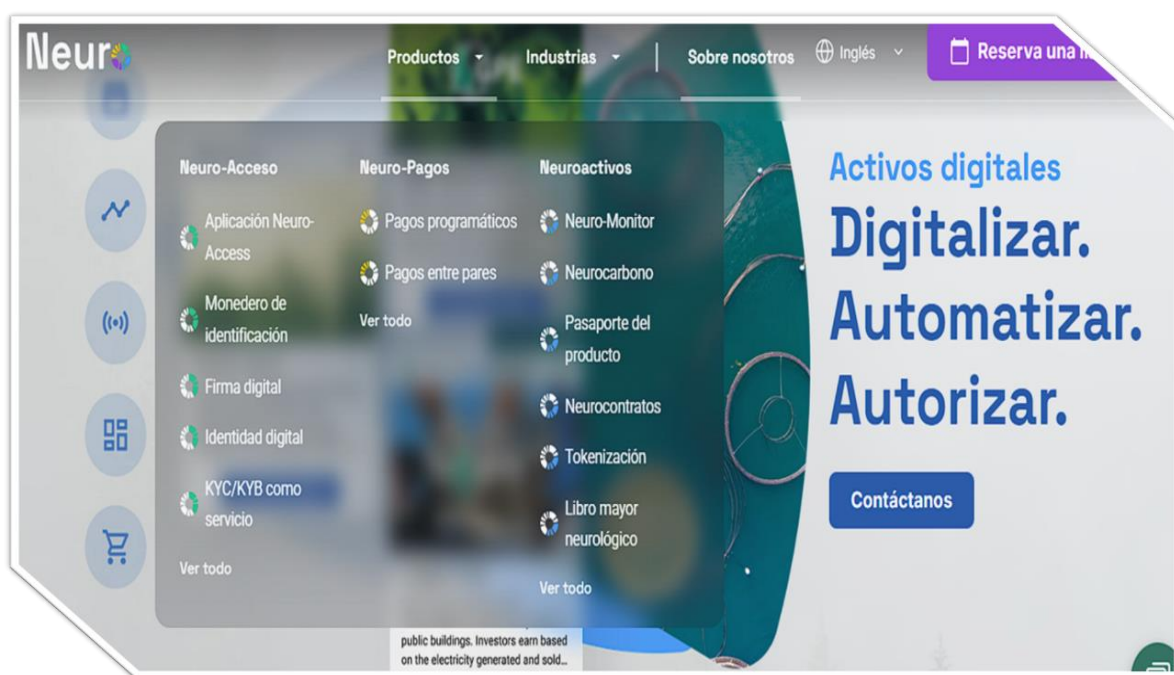
4. Documento legal

Forma parte del contrato digital registrado en NeuroLedger.

16.- NeuroLedger

NeuroLedger permite:

- Registrar el hash del cambio,
- Almacenar el contrato digital,
- Firmar mediante NeuroAccess,
- Generar un QR verificable,
- Asegurar integridad, autoría y no repudio.



Fuente: Pagina Web Principal De la Plataforma De NeuroLedger



Fuente: Captura De La Aplicación Movil NeuroAccess

17.-Flujo de Certificación Digital

1 Cambio en Revit

2 Exportación a BIMXML

3 Generación del contrato (LegalLab)

4 Firma electrónica avanzada en NeuroAccess

5 Registro inmutable en la Blockchain (NeuroLedger)

6 Generación del QR verificable

Este flujo convierte cualquier modificación BIM en una evidencia legal y técnica.

18.-Hash Criptográfico + Firma Digital

- El hash certifica integridad.
- La firma garantiza identidad y no repudio.
- Ambos son verificados por NeuroLedger.

19.-Cambios seleccionados para validar el flujo

1. Modificación de ventana Posterior 2do Nivel
2. Ajuste de cubierta
3. Cambio de puerta de acceso

20.- Conclusiones del Capítulo 2

- Se definió un proceso completo BIM–Blockchain.
- Se estableció la función de cada herramienta.
- Se garantizó integridad, autoría y sello de tiempo.
- El flujo está listo para aplicarse en el estudio de caso.

21.-CAPÍTULO 3: APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL FLUJO DE CERTIFICACIÓN DIGITAL EN UN ESTUDIO DE CASO BIM

21.1.- Objetivo del capítulo

El objetivo del presente capítulo es aplicar, validar y documentar operativamente el flujo de certificación digital de cambios BIM desarrollado en los capítulos anteriores, mediante su implementación en un modelo BIM real, correspondiente a una vivienda unifamiliar de dos niveles ubicada en el Condominio Torreones II, en la ciudad de Concepción.

A través de esta aplicación se busca verificar que el sistema propuesto es capaz de gestionar cambios reales del modelo BIM, estructurarlos mediante un formato interoperable y dejarlos preparados para su posterior certificación digital, permitiendo evaluar su coherencia técnica, repetibilidad y compatibilidad con flujos BIM habituales.

21.2.-Caracterización del modelo BIM del estudio de caso

El modelo BIM utilizado para la aplicación del flujo fue desarrollado en Autodesk Revit, y corresponde a una vivienda unifamiliar que presenta un nivel de desarrollo adecuado para la evaluación de cambios constructivos habituales. El modelo cuenta con:

- definición clara de niveles,
- familias paramétricas coherentes,
- información geométrica consistente,
- y una estructura compatible con procesos de coordinación BIM.

Estas características permiten que el estudio de caso sea representativo de proyectos reales de vivienda, evitando escenarios artificiales o simplificados que podrían distorsionar la evaluación del prototipo.

21.3.- Criterios de selección de los cambios aplicados

Los cambios seleccionados para la validación del flujo no fueron definidos de manera arbitraria, sino que responden a criterios técnicos específicos:

- representar distintos tipos de modificación (dimensional, material y de sistema),
- ser frecuentes en la práctica profesional,

- tener impacto en aspectos relevantes del proyecto (accesibilidad, iluminación, desempeño térmico),
- y ser trazables mediante parámetros BIM.

Bajo estos criterios se seleccionaron tres cambios: puerta principal de acceso, ventana posterior del segundo piso y sistema de cubierta.

22.-Aplicación de los cambios en el modelo BIM

22.1.- Cambio N°1 – Puerta principal de acceso

El primer cambio corresponde al reemplazo de la puerta principal de acceso, incorporando una mejora tanto en dimensiones como en materialidad.

- Dimensiones anteriores: $84,8 \times 203,2$ cm
- Dimensiones nuevas: 90×210 cm
- Espesor de hoja: 5 cm
- Materialidad nueva: acero galvanizado

Desde el punto de vista técnico, este cambio responde a criterios de accesibilidad, seguridad y estandarización, alineándose con dimensiones habituales para accesos principales en vivienda unifamiliar. El aumento dimensional es moderado y no implica modificaciones estructurales, mientras que el aumento del espesor de la hoja aporta mayor rigidez y durabilidad.

El cambio fue documentado mediante un archivo BIMXML que registra explícitamente el estado anterior y el estado nuevo del elemento, permitiendo identificar de forma inequívoca la modificación realizada.

22.2 Cambio N°2 – Ventana posterior segundo piso

El segundo cambio corresponde a la modificación dimensional de una ventana ubicada en la fachada posterior del segundo piso, redefiniéndola como una ventana corrediza.

- Dimensiones Nuevas: $228,5 \times 140$ cm

Este ajuste permite mejorar el ingreso de luz natural y la ventilación del recinto, manteniendo proporciones coherentes con la envolvente existente. La modificación es representativa de ajustes habituales durante etapas de diseño arquitectónico, donde se optimizan condiciones ambientales sin alterar la estructura del edificio.

Al igual que el cambio anterior, la modificación fue exportada a un archivo BIMXML estructurado, incorporando información dimensional, identificación del elemento y justificación del cambio.

22.3.- Cambio N°3 – Cubierta

El tercer cambio corresponde al reemplazo del sistema de cubierta, pasando desde una solución tradicional de teja a una solución metálica con aislación térmica integrada.

- Sistema anterior: cubierta básica de teja
- Espesor anterior: 15 cm
- Sistema nuevo: cubierta metálica Zinc-Alum con aislación térmica integrada
- Espesor nuevo: 20 cm
- Geometría y área: se mantienen

Desde el punto de vista técnico, este cambio permite mejorar significativamente el desempeño térmico y la durabilidad del sistema, sin alterar la geometría ni el área de la cubierta. La mantención de la geometría elimina impactos estructurales, mientras que el cambio de materialidad responde a soluciones constructivas ampliamente utilizadas en el contexto chileno.

23.- Generación, estructuración y validación de archivos BIMXML

Cada uno de los cambios aplicados fue exportado a un archivo BIMXML siguiendo el esquema definido para el proyecto. Los archivos contienen:

- identificación del proyecto,
- identificación del elemento modificado,
- estado anterior y estado nuevo,
- autor del cambio,
- fecha de modificación.

Posteriormente, los archivos fueron validados contra el esquema BIMXML (bimxml-001.xsd), asegurando que su estructura cumple los requisitos formales para su uso como evidencia técnica interoperable. Esta validación es un paso clave, ya que garantiza que la información puede ser procesada por sistemas externos sin pérdida de consistencia.

24.-CAPÍTULO 4: CERTIFICACIÓN DIGITAL DEL FLUJO BIM- BLOCKCHAIN Y EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

24.1 Preparación del entorno de certificación digital

Para la certificación digital de los cambios BIM se configuró un entorno de trabajo en la plataforma LegalLab, creando una identidad digital validada, compuesta por un Network ID y un Legal ID. Esta identidad permite asociar de forma inequívoca los cambios certificados con su autor, estableciendo una base confiable para la firma digital.

The screenshot displays the TAG Legal Lab application interface. The top navigation bar includes tabs for Network ID, Legal ID, Wallet, Tokens, Design, Create Contract, Events, Script, XML, and History. The left sidebar contains fields for XMPP Server (lab.tagroot.io), Account (carlos_mulchi), Password, and options to create an account or repeat the password. Below these are fields for API Key and API Key Secret, along with checkboxes for Trust server certificate, Allow insecure authentication, and Store password instead of digest. A 'Connect' button is present. The right pane shows a log of XMPP messages with columns for Time and Content. The messages are XML snippets representing XMPP ping and result events.

Time	Content
15:56:06	<iq id='1187' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:56:22	<iq type='get' id='1188'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:56:22	<iq id='1188' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:56:37	<iq type='get' id='1189'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:56:37	<iq id='1189' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:56:53	<iq type='get' id='1190'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:56:53	<iq id='1190' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:57:09	<iq type='get' id='1191'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:57:09	<iq id='1191' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:57:25	<iq type='get' id='1192'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:57:25	<iq id='1192' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:57:41	<iq type='get' id='1193'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:57:41	<iq id='1193' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:57:57	<iq type='get' id='1194'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:57:57	<iq id='1194' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:58:13	<iq type='get' id='1195'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:58:13	<iq id='1195' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:58:29	<iq type='get' id='1196'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:58:29	<iq id='1196' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:58:45	<iq type='get' id='1197'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:58:45	<iq id='1197' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:59:00	<iq type='get' id='1198'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:59:00	<iq id='1198' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:59:15	<iq type='get' id='1199'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:59:15	<iq id='1199' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:59:31	<iq type='get' id='1200'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:59:31	<iq id='1200' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
15:59:46	<iq type='get' id='1201'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
15:59:46	<iq id='1201' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>
16:00:01	<iq type='get' id='1202'><ping xmlns='urn:xmpp:ping' /></iq>
16:00:01	<iq id='1202' type='result' to='carlos_mulchi@lab.tagroot.io/7f58cc098989083210be7fb40f9336'></iq>

Fuente: Captura De La Pestaña Principal de la Aplicación de LegalLab

TAG Legal Lab

Network ID Legal ID Wallet Tokens Design Create Contract Events Script XML History

Personal Information

First Name: Carlos Francisco

Middle Name:

Last Name: Mulchi

Personal Number: +56936916550

Address: Schuyler 50

Address, row 2:

Postal Code (or ZIP): 4260000

Area:

City: Talcahuano

Region: BioBio

Country: CHILE

Nationality: CHILE

Gender: Male

Birth Date: 03-08-1999

E-mail address: mulchi1999@gmail.com

ID	Created	State
30cb1e47-66ca-7c90-1806-e8b6ed75c813@legal.lab.tagroot.io	09-12-2025, 17:52:07Z	Approved

Fuente: Captura De La Pestaña Legal Id, LegalLab

25.2 Creación del contrato digital para certificación de cambios BIM

Los archivos BIMXML generados fueron incorporados como notas XML dentro de un contrato digital basado en la plantilla BIMRegister. Este contrato actúa como un contenedor formal que agrupa los cambios certificados y define los roles involucrados en el proceso.

La utilización de contratos digitales permite dotar al flujo de una capa legal y verificable, superando la lógica de simples registros técnicos.

TAG Legal Lab

Network ID | Legal ID | Wallet | Tokens | Design | **Create Contract** | Events | Script | XML | History

Template:

Existing contracts:

Language:

☐ Auto-sign contract proposals.

BuildingId: (ID of building)

Value: (Value of token)

Currency: (Currency)

CommissionPercent: (Commission (%))

Expires: (Expiry date)

Create Contract

Remove Template

Remove Contract

Contract ID

ID of the contract:

Scan this code to access the contract from another device:



General Information

Following is some general information about the loaded contract:

Created:	12/12/2025 20:04:25
State:	Signed
Visibility:	Public
Duration:	P2Y
From:	12/12/2025 20:04:25
To:	12/12/2027 20:04:25
Archiving Optional:	P3M
Archiving Required:	P1M
Can act as a template:	No
Provider:	legal.lab.tagroot.io
Parts:	Open
Template ID:	30cf27f6-2b03-cc41-ac2b-b7aa90294fd7@legal.lab.tagroot.io

Fuente: Captura De La Pestaña De La Creación De Contrato, LegalLab

25.3.- Firma digital y generación del token asociado

El contrato digital fue firmado electrónicamente mediante la aplicación NeuroAccess, generando firmas digitales tanto del autor como del proveedor de confianza, junto con un sello temporal verificable. Posteriormente se generó un token digital asociado al contrato, al cual quedaron vinculados los archivos BIMXML certificados.

Este proceso garantiza los principios de autenticidad, integridad y no repudio de la información registrada.

Roles

Following are roles defined in the contract:

Role	Description	Min	Max	Can Revoke		
Creator	The part that creates the token and the corresponding state-machine that executes the register.	1	1	No	Sign	Propose
TrustProvider	The part that acts as a host of the token and approves its creation.	1	1	No	Sign	Propose

Parts

Following are parts defined in the contract:

Legal ID	Role

Add

Parameters

Following are parameters defined in the contract:

Parameter	Value	Description
BuildingId	Vivienda_Alihuen_102,12m2	The identifier of the building associated with the register.
Value	1	The initial value of the token.
Currency	TST	The currency of the token.
CommissionPercent	0	The commission the Trust Provider gets for creating the token and managing the register.
Expires	30-12-2025	When token expires.

Machine-Readable Content

Following is the embedded Machine-readable content of the contract:

```
<Create xmlns="https://paiwise.tagroot.io/Schema/NeuroFeatures.xsd">
  <TokenID>
    <Random />
  </TokenID>
</Create>
```

Fuente: Captura De Pestaña de Roles, LegalLab

Client Signatures

Following are client signatures available in the contract:

Network JID	Legal ID	Role	Timestamp	Transferable	Signature
carlos_mulchi@lab.tagroot.io	30cb1e47-66ca-7c90-1806-e8b6ed75c813@legal.lab.tagroot.io	Creator	12-12-2025, 21:18:56Z	No	XTw8WAp5lam2bUC6Gxfs8N1ppCZOBUQvknW
lab.tagroot.io@tagroot.io	2fa40523-1198-b4c3-d415-ff0a711d7b42@legal.tagroot.io	TrustProvider	12-12-2025, 21:18:56Z	No	mSS8N734RNFRTLnxnL3yvWJqQH+6NOYNkHu7

Fuente: Captura De Pestaña Ubicada En Roles, LegalLab

25.4.- Registro en NeuroLedger y generación de log automatizado

El registro del contrato y del token en NeuroLedger genera un log automatizado de eventos, donde cada acción queda registrada de forma inmutable. Este log contiene información verificable sobre:

- el contenido registrado,
- el autor,
- la fecha y hora,
- y la integridad del documento.

Este mecanismo reemplaza los registros manuales tradicionales, reduciendo errores y aumentando la transparencia del proceso de gestión de cambios.

The screenshot displays the TAG Legal Lab application interface. The 'Tokens' tab is active, showing a list of tokens. A context menu is open over the first token entry, providing various actions. On the left, a summary table shows the total number of tokens. On the right, a properties panel lists details for the selected token.

Total number of tokens:		
Currency	Nr	Total Value
TST	4	4

Friendly Name	Category	ID	Expires
TAG BIM Regis		8c8de646-289b-4279-9701-0682a1b6eb27@edaler.lab.tagroot.io	2025-12-30
TAG BIM Regis		d357c03a-145c-4e9c-916c-f83a48451bc2@edaler.lab.tagroot.io	2025-12-30
TAG BIM Regis		de9a5a72-7877-4134-9499-554e3faf2de5@edaler.lab.tagroot.io	2025-12-31
TAG BIM Regis		3ef24668-7880-4969-94f3-1927b84eace6@edaler.lab.tagroot.io	2025-12-31

Property	Value
CreatorId	carlos_mulchi@lab.tagroot.io
Owner	30cb1e47-66ca-7c90-1806-e8b6ed75c813@legal.lab.tagroot.io
OwnerId	carlos_mulchi@lab.tagroot.io
TrustProvider	2fa40523-1198-b4c3-d415-ff0a711d7b42@legal.tagroot.io
TrustProviderId	lab.tagroot.io@tagroot.io
Reference	

Fuente: Captura De Pestaña Ubicada En Tokens, Aplicación LegalLab

24.5.- Verificación pública y trazabilidad del sistema

El sistema permite la verificación pública de los cambios certificados mediante enlaces web y códigos QR. A través de estos mecanismos es posible revisar el contrato digital, los roles asignados, las firmas electrónicas y los archivos BIMXML adjuntos, permitiendo una auditoría objetiva del historial de cambios.



Fuente: Código Qr del Contrato Creado, Extraído desde La Aplicación LegalLab



Fuente: Captura Desde La Aplicación Movil NeuroAccess



Fuente: Captura Desde La Aplicación Movil NeuroAccess

24.6.- Evaluación del prototipo desarrollado

La evaluación del prototipo se realizó desde una perspectiva técnica y operativa, considerando su capacidad para resolver las brechas detectadas en el diagnóstico inicial. Los resultados evidencian una mejora sustantiva en:

- trazabilidad de cambios,
- control documental,
- transparencia del proceso,
- y verificación de autoría.

El prototipo demuestra ser viable, funcional y replicable, cumpliendo el objetivo general del proyecto.

25.-CONCLUSIONES FINALES

El presente proyecto de título permitió evaluar de manera aplicada la integración de la metodología BIM con tecnología Blockchain, específicamente a través de la plataforma NeuroLedger, como una solución efectiva para fortalecer la trazabilidad, seguridad y respaldo legal de los cambios realizados en modelos digitales de construcción. A partir de un diagnóstico inicial y del desarrollo de un prototipo funcional, se demostró que los flujos tradicionales de gestión de cambios en BIM, si bien presentan un adecuado desempeño técnico, evidencian debilidades significativas en materia de control documental, certificación de autoría y verificabilidad de la información.

El diagnóstico desarrollado bajo los lineamientos de la norma ISO 19650 permitió identificar que, pese a contar con una estructura técnica formal y un Entorno Común de Datos organizado, la trazabilidad global del modelo BIM analizado alcanza solo un nivel intermedio, principalmente debido a la ausencia de mecanismos formales de certificación digital, firmas electrónicas y registros inmutables de cambios. Esta situación confirma que los procedimientos actuales dependen en gran medida de controles manuales y prácticas informales, lo que expone a los proyectos a riesgos técnicos, operativos y contractuales.

Frente a esta problemática, el diseño e implementación del flujo BIM–Blockchain propuesto constituye un aporte concreto a la gestión de información en proyectos de construcción. La utilización del formato BIMXML como evidencia estructurada del cambio, junto con su registro mediante contratos digitales, hash criptográfico y firma electrónica avanzada en NeuroLedger, permitió transformar cada modificación del modelo BIM en un registro verificable, auditable e inmutable. Este enfoque no interfiere con los flujos habituales de trabajo en software BIM, sino que los complementa, agregando una capa de confianza, transparencia y respaldo jurídico.

La validación del prototipo a través de un estudio de caso real demostró la viabilidad técnica y operativa del sistema. Los cambios aplicados —puerta de acceso, ventana y cubierta— fueron correctamente documentados, certificados y verificados mediante códigos QR, evidenciando mejoras sustanciales en la trazabilidad, el control de versiones y la identificación de responsabilidades. Asimismo, el sistema demostró ser replicable y

escalable, lo que abre la posibilidad de su aplicación en proyectos de mayor complejidad y en entornos colaborativos con múltiples actores.

Desde una perspectiva normativa y estratégica, el proyecto se alinea con los principios establecidos en la Ley N°19.799 sobre documentos electrónicos y firma electrónica, la Ley N°19.628 sobre protección de datos personales, la norma ISO 19650 y los lineamientos del Plan BIM Chile. En este sentido, la integración de Blockchain no solo responde a una necesidad técnica, sino que también fortalece la validez legal y la confianza institucional en los procesos de digitalización del sector construcción.

En conclusión, este trabajo demuestra que la incorporación de tecnologías Blockchain en entornos BIM representa una oportunidad real para evolucionar desde una gestión de información colaborativa hacia una gestión certificada, transparente y jurídicamente respaldada. El sistema desarrollado contribuye a reducir ambigüedades, prevenir conflictos y mejorar la gobernanza de la información en proyectos de construcción, posicionándose como una herramienta innovadora y pertinente para el avance de la transformación digital en la ingeniería en construcción.

26.-Referencias Bibliográficas:

1.- Autodesk. (2020). BIM and Blockchain: the future of construction collaboration. https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/BIM-Blockchain-2020
2.- Building SMART España (2018). Blockchain y BIM en la construcción. https://www.buildingsmart.es/2018/06/04/blockchain-y-bim/
4.- Open construction Building technology Journal (2024). Blockchain applications in construction. https://openconstructionbuildingtechnologyjournal.com/VOLUME/18/ELOCATOR/e18748368259109/FULLTEXT/
5.- Gobierno de Chile plan BIM. (2024). Estándar BIM para proyectos públicos. Publicación oficial. Recuperado de. https://bimforum.cl/download/estandar-bim-para-proyectos-publicos/
7.- Ley de firma electrónica (Ley N.º 19.799) https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=196640

8.- Ley Sobre Protección de Vida Privada https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=141599
10.- Norma ISO 19650 https://editeca.com/norma-iso-19650-bim-arquitectura-construccion/
11.-Neuroledger https://neuro-foundation.io/Papers/Neuro-Ledger,%20Executive%20Summary.pdf .
12.- NeuroFundation https://neuro-foundation.io/Papers/Open%20Threat%20Intelligence%20using%20Neuro-Ledger.pdf .
13.-BIMXML https://bimxml.org/ .
14.-Repositorio LegalLAB https://github.com/Trust-Anchor-Group/LegalLab .