

Propuesta de divulgación de cumplimiento técnico en obras arquitectónicas en madera para validación en el mercado chileno

Proposal for the disclosure of technical compliance in wooden architectural works for validation in the chilean market

Rose Marie Garay Moena^{ID}
Micaela Ruiz Torres^{ID}

Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. rgaray@uchile.cl

Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile micaela.ruiz@ug.uchile.cl

Autor de contacto: rgaray@uchile.cl

RESUMEN

Se analizan connotadas obras arquitectónicas en Chile, desarrolladas por profesionales expertos que estudian y resuelven los criterios técnicos fundamentales de resistencia estructural, al fuego, aislación térmica y acústica, además de atributos de desempeño ambiental, sustentabilidad. Algunos profesionales fueron entrevistados para detalles sobre seguridad y protección de la madera. Se evidencia la necesidad de especificaciones técnicas detalladas, que sirvan de difusión de los atributos de la madera. Las que suelen informarse a las autoridades mediante memorias de cálculo e informes. Se propone un esfuerzo adicional para adecuar esta información, entendible para los usuarios, utilizando especificaciones técnicas, itemizados y certificaciones, tales como los creados por el Instituto de la Construcción, adjuntando pruebas y ensayos que brinden garantías en el mercado. El análisis de especificaciones técnicas (complejidad, sustentabilidad, sofisticación y ciclo de vida) puede usarse para el benchmarking, validación del desempeño y modelo para otros actores desarrollando confianza entre clientes y mercado.

Palabras clave: protección de la madera; desempeño de edificios; sustentabilidad; construcción en madera.

ABSTRACT

Is analysed renowned architectural works in Chile, developed by expert professionals who study and address the fundamental technical criteria of structural strength, fire resistance, thermal and acoustic insulation, as well as environmental performance attributes, sustainability. Some of the professionals were interviewed to understand details about safety and protection of wood. Highlights the need for a detailed technical specification that serve as dissemination of the attributes of wood. Those that are typically reported to the authorities through structural calculations and reports. An additional effort is proposed to adapt this information, that is understandable for users, using indicators to evaluate attributes specified as technical requirements, itemized and certifications such as those for sustainable buildings created by the Institute of Construction, attaching tests, trials, and certifications that provide market guarantees. The analysis of perspective of technical specifications (complexity, sustainability, sophistication, and lifecycle) can be use their attributes in benchmarking, performance, model for other actors developing confidence for both clients and the market.

Keywords: wood protection, building performance, sustainability, timber construction.

Cómo citar este artículo/Citation: Rose Marie Garay Moena, Micaela Ruiz Torres (2025). Propuesta de divulgación de cumplimiento técnico en obras arquitectónicas en madera para validación en el mercado chileno. Informes de la Construcción, 77 (580): 7178. <https://doi.org/10.3989/ic.7178>

Copyright: © 2025 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Recibido/Received: 27/11/2024

Aceptado/Accepted: 15/12/2025

Publicado on-line/Published on-line: 23/01/2026

1. INTRODUCCIÓN

Las grandes obras arquitectónicas incluyen el diseño, el cumplimiento normativo que se establece en el lugar de emplazamiento y, dado que los edificios en madera son cada vez más altos, se van teniendo mayores requerimientos estructurales, sean estos de resistencia estructural o frente al fuego, entonces los componentes estructurales compuestos de madera se diseñan con madera contralaminada (CLT), madera microlaminada (LVL) o madera laminada encolada (Glulam) [1].

Los edificios más connotados en el mundo son referentes para los países en vías de desarrollo, como es el caso de Chile por sus ventajas en materia de sostenibilidad derivadas del uso de la madera como material de construcción renovable. La madera es susceptible a degradarse por factores bióticos y abióticos en el medio natural, condicionando su estabilidad para el uso estructural y perjudicando el desempeño de sus propiedades [2]. Por ende, la protección de ésta se ocupa de todos los aspectos que aumentan la vida útil de los productos de madera. Uno de los métodos es la preservación, mediante la incorporación de compuestos químicos, otro es la modificación de la madera que incorpora grupos radicales para acetilación o furfurilación [3].

Sin embargo, constantes preocupaciones del impacto que pueden producir los productos químicos, así como en el medio ambiente como en la salud humana, han llevado a los países a restringir el uso de algunos preservantes en zonas residenciales, como es el caso de Estados Unidos (EE. UU.), y la prohibición en algunas naciones del continente europeo. Por ende, se ha realizado un esfuerzo a nivel mundial, con el objetivo de desarrollar preservantes alternativos de origen natural con poco o ninguna toxicidad [4].

En Finlandia, un país con una sólida experiencia en el uso de la madera en la construcción, se produjeron alrededor de 12 millones de metros cúbicos de madera aserrada en el año 2018, donde aproximadamente el 80% de esta producción se destina a la industria de la construcción. Para preservar tanto la durabilidad como la calidad de este material, se utiliza el proceso conocido como ThermoWood, el cual se aplica en dos clases de productos: Thermo-S y Thermo-D, según las propiedades específicas y los usos finales de los productos.

Respecto al tratamiento de madera impregnada, se emplean compuestos de cobre de las clases A y AB, conocidos como invernación C. Es importante destacar que, en Finlandia, la madera impregnada utiliza compuestos de cobre libres de arsénico y cromo, lo que garantiza que el proceso sea más seguro y respetuoso con el medio ambiente.

Para los productos que son destinados al mercado de exportación, como postes y crucetas, se utiliza principalmente la impregnación de aceite de creosota, la cual es una técnica tradicional que ofrece una alta resistencia a la exposición en la intemperie y a los agentes biodegradables, prologando así la vida útil de la madera en las aplicaciones exteriores [5].

Países como Noruega y Canadá han sido pioneros en la construcción de edificios con estructura de madera en gran altura, llevando al mundo a desarrollar Productos de Ingeniería en Madera (*EWP-Engineered Wood Products*), los cuales son fabricados a partir de la unión de hojuelas, partículas, fibras chapas o piezas de madera con adhesivos u otros tipos de fijación. Estos pueden ser clasificados en dos grupos: Madera en Masa (*Mass Timber*) y Madera Compuesta Estructural.

La Madera en Masa corresponde a EWP elaborados a partir de madera aserrada. En esta categoría se encuentran la madera contralaminada (CLT), la madera laminada encolada (GLULAM), la madera laminada unida con clavos (NLT) y la madera laminada unida con tarugos (DLT).

La Madera Compuesta Estructural (SCL), es un producto que se fabrica a partir de capas de chapas o de hojuelas unidas con adhesivo, mediante presión y temperatura; en este grupo están la madera microlaminada de chapas (LVL), la madera laminada de hojuelas (LSL) y la madera de hojuelas paralelas (PSL).

La incorporación de estos productos en la construcción de estructuras en madera posee la ventaja de prefabricar fuera del sitio de construcción paneles, vigas, columnas y otros, para luego llegar a éste con la estructura prearmada, generando así importantes ahorros en los tiempos de construcción, personal y en la generación de residuos.

La promoción y difusión de estos elementos en Norteamérica y Europa se aborda de manera integral, involucrando desde arquitectos y diseñadora hasta el consumidor final. En estos países, el enfoque va más allá que cumplir con normativas, ya que también se centra en integrar a las comunidades destacando las ventajas de las construcciones con madera empleando el concepto de biofilia [6].

La madera de construcción en el contexto internacional es uno de los productos forestales utilizados más ampliamente en todo el mundo, donde las estructuras han llegado a tener una participación del 70% en viviendas de países desarrollados [7]. Estados Unidos ha llegado a superar el 85% en la utilización de estructuras de madera para casas y edificios residenciales [8]. Países escandinavos, poseen un porcentaje del 75 y 85% relacionado con la construcción en madera, ya que históricamente por tradición han utilizado de este material [9].

A continuación, se presenta una revisión de la normativa vigente y regulaciones asociadas al área de la construcción, así como los requisitos que distintos países imponen al momento de ejecutar un proyecto de edificación.

En Estados Unidos, la construcción de las edificaciones se rige por el International Building Code (IBC) y por otros reglamentos estatales, los cuales varían según el estado y la jurisdicción local. El IBC, establece los requisitos mínimos para el diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento de las edificaciones, con el objetivo de proteger la salud y seguridad pública y conservar los recursos naturales que sostienen la vida humana. Dentro de este código se destacan algunos aspectos principales que se abordan:

- **Requisitos Estructurales:** Corresponde al diseño estructural de las edificaciones, donde se evalúa la exposición a la nieve, viento y terremoto, asimismo como las especificaciones de los materiales estructurales y los métodos de construcción.

- Seguridad Contra Incendios: Se incluye la prevención y protección contra incendios, donde se definen como requisitos los sistemas de detección y extinción de incendios, salidas de emergencia y materiales ignífugos.
- Accesibilidad: Se establece la accesibilidad a personas con discapacidad, conforme a la Ley de Estadounidenses con Discapacidades (ADA).
- Eficiencia energética: Se incluyen disposiciones para la eficiencia energética de la edificación, como requisitos para aislamiento, sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado eficientes, y el uso de energías renovables.
- Seguridad Estructural: Además de establecer los requisitos estructurales básicos, se abordan aspectos como la seguridad de los ocupantes durante eventos sísmicos, huracanes y otros desastres naturales.
- Uso y Ocupación: Se definen los requisitos para el uso y ocupación de la edificación, como la capacidad de carga de los pisos, número y tamaño de las salidas de emergencias y las normas para espacios habitables y no habitables.
- Mantenimiento y Renovación: Se incluyen disposiciones para el mantenimiento y renovación de las edificaciones existentes, incluyendo aspectos como la seguridad estructural, la accesibilidad y la eficiencia energética [10].

Cabe destacar que dentro del International Building Code, se hace referencia a otras normas que han sido generadas por organizaciones desarrolladoras de normas internacionales (Standard Development Organizations (SDO)), algunas SDO más conocidas son: American Concrete Institute, American Institute of Steel Construction, American Iron and Steel Institute, American Wood Council, ASHRAE, ASTM International, International Code Council, The Masonry Society y, National Fire Protection Association [11].

Respecto al uso de normas exclusivas para la construcción en madera, se encuentra la norma estadounidense Especificación nacional de Diseño (NDS) de 2024 para la construcción con madera, desarrollada por el Comité de Estándares de Diseño de Madera (AWC) y aprobada como estándar por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI) [12].

En Suecia la legislación y normativa que regula la construcción establecen estándares y requisitos para la planificación, diseño, construcción, seguridad, eficiencia energética y mantenimiento de las edificaciones.

La Ley de Planificación y Construcción (PBL), es la principal ley que regula la construcción en Suecia. En ella se describen las obligaciones legales de los municipios locales al emitir permisos de construcción, qué tipo de construcciones requieren un permiso y cuáles no, citas para actividades de construcción ilegales e incluso cómo se debe proteger los intereses del público en general.

El Reglamento de edificios de Boverkets (BBR), corresponde a un conjunto de códigos de construcción que los edificios y otras construcciones deben cumplir. Estos códigos describen el nivel mínimo aceptable de rendimiento para la ventilación, los sistemas de protección contra incendios, el consumo de electricidad y soluciones de accesibilidad para discapacitados.

La Ley de Contratación Pública (*Lagen om offentlig upphandling*, LOU), regula los procedimientos de licitación pública aplicables a los contratos de construcción. Promoviendo la transparencia y competencia en los procesos de adjudicación.

El Código Ambiental Sueco (*Miljöbalken*, MB), reúne las principales disposiciones referentes a la protección del medio ambiente, mientras que la ley del Patrimonio Cultural (*Kulturmiljölagen*, KML), salvaguarda los edificios y entornos de valor histórico o cultural [13].

En relación con el marco legislativo y regulatorio de Finlandia en materia de construcción, la Ley de Uso de la Tierra y Construcción, constituye la norma base que establece los principios generales para la planificación, diseño y construcción de edificios, como también los requisitos de seguridad, accesibilidad y calidad. Esta ley trabaja en conjunto con el Decreto de Obras de Construcción, estableciendo regulaciones específicas para los sitios de construcción, incluyendo normas de seguridad y salud en el trabajo [14].

El Código Nacional de Edificaciones corresponde a un conjunto de regulaciones que se desprenden de la Ley de Uso de la Tierra y Construcción, con el objetivo de establecer requisitos específicos para la construcción de edificios en Finlandia, incluyendo normas de diseño estructural, seguridad contra incendios, eficiencia energética, ventilación, calidad del aire interior y accesibilidad.

El Ministerio del Medio Ambiente es el responsable de supervisar y regular la construcción en Finlandia. Estos deben proporcionar orientación y recursos sobre temas como la eficiencia energética, la sostenibilidad y la conservación del medio ambiente en la construcción [15]. Además, la Asociación Finlandesa de Normas (SFS) establece normas técnicas para una amplia gama de aspectos relacionados a la construcción del país, con el fin de otorgar orientación sobre materiales de construcción, métodos de ensayo, diseño estructural y otros aspectos técnicos [16].

Canadá es un país que en cada provincia y territorio posee su propia legislación y regulaciones relacionadas con la construcción. El Código Nacional de Construcción de Canadá (CNCC), corresponde a un conjunto de normas técnicas desarrolladas por la Comisión Canadiense de Códigos de Construcción y de Incendios (CCCCI). El CNCC, establece los requisitos mínimos de seguridad y salud en la construcción de edificios para todo el país, aunque este código es un documento de referencia, la aplicación y adopción varía según la provincia o territorio [17]. Asimismo, se encuentran organismos de Normalización como la Asociación Canadiense de Normas (CSA Group) y el Consejo Nacional de Investigación de Canadá (NRC).

La ley principal que regula la construcción en Noruega es la de Planificación y Construcción promulgada por el Ministerio de Medio Ambiente, la cual tiene por objetivo promover el desarrollo sostenible en el mejor interés de las personas, la sociedad y las generaciones futuras. Las solicitudes de construcción deberán garantizar que los proyectos se llevan a cabo de conformidad con los estatutos, reglamentos y decisiones de planificación [18]. La Norma Técnica de edificación (TEK17), corresponden a regulaciones técnicas que son derivadas de la ley de Planificación y Construcción, donde se

establecen los requisitos para la construcción de edificios en Noruega [19]. La Dirección de Calidad de la Construcción, es el organismo gubernamental responsable de supervisar y hacer cumplir las leyes y regulaciones vinculadas con la construcción del país. Esta brinda orientación, asesoramiento y recursos técnicos sobre temas relacionados con la construcción y seguridad de los edificios [20]. Las normas noruegas, corresponden a normas técnicas desarrolladas por el Instituto Noruego de Normalización (Norsk Standard) [21].

En Austria, la planificación y el desarrollo urbano está regulado por la Ley de Construcción (Baugesetz), en la cual se establecen los principios generales para la planificación, diseño y construcción de edificios, además de los requisitos de seguridad salud y sostenibilidad. Aquí también se abordan temas relacionados a la zonificación, los permisos de construcción, así como la responsabilidad del propietario. A partir de esta misma, se desprende un conjunto de regulaciones y disposiciones que rigen en la ordenanza de la construcción, llamadas "Bauordnung (BO)". En ellas se definen los requisitos y estándares de la construcción, como planificación urbana, la obtención de permisos de construcción, los requisitos de seguridad estructural, la prevención de incendios, la eficiencia energética y la accesibilidad. Cabe destacar que, estas regulaciones son aplicadas a nivel federal y pueden variar según estado o región en Austria [22]. En la misma línea, aparece la Ley de Tecnología de la Construcción (Bautechnikgesetz (BTG)), ésta equivale a los estándares técnicos y la calidad de los materiales a utilizar en la construcción. Además, establece los requisitos para la seguridad estructural, la estabilidad de los edificios y la prevención de riesgos durante el proceso de construcción [23]. Respecto a los Normas Técnicas (Österreichische Norm), éstas son desarrolladas por el Instituto Austriaco de Normalización (Österreichisches Normungsinstitut). En ellas se establecen los estándares y requisitos técnicos para distintos aspectos relacionados con la construcción como diseño estructural, instalaciones eléctricas, entre otras [24]. La ÖNORM B 8110-6, corresponde a una normativa austriaca que da directrices respecto a la construcción de edificios de bajo consumo energético y pasivos. Si bien no es una regulación obligatoria, su cumplimiento puede ser requerido por las autoridades locales o especificado en contratos de construcción [25].

El Eurocódigo 5 es una normativa europea que establece criterios para el diseño y dimensionamiento de estructuras de madera, abarcando desde madera maciza hasta productos como la madera contralaminada (CLT). España aún no ha adoptado oficialmente el nuevo Eurocódigo 5 de estructuras de madera, así como tampoco lo hace respecto a las Eurocódigos en muchos otros ámbitos ya que está en proceso de actualización y formalización.

[26] mostró las mejoras clave del nuevo Eurocódigos 5 en aspectos relativos a la durabilidad de la madera. Su contenido se centra en las medidas de carácter constructivo para reducir el riesgo de ataques de hongos e insectos xilófagos, y la necesidad de aplicar tratamientos de protección. Expresa que "El contenido del capítulo de durabilidad en la segunda generación del Eurocódigo 5 que aparecerá este 2025, representa un avance con respecto a la versión vigente. Considera la protección general, la de la madera y también la de los herrajes. Toma protagonismo la influencia de las condiciones atmosféricas, ya que se incluyen factores como la contaminación y la intemperización, de manera explícita en comparación a lo anterior cuando sólo se ligaba a la clase de servicio. Antes en el apartado de la protección de la madera se recogían las medidas para prevenir los ataques biológicos, pero se quedaban fuera las termitas, las que ahora quedaron incluidas en las medidas adicionales".

También se consideran aspectos como la influencia de la acidez de la especie y el tratamiento de la madera, dejando un espacio amplio a que estos puedan o no ser químicos, estableciendo una mejor conexión con la posibilidad de usar protección por diseño, pero respondiendo con seriedad cuando se requieren medidas más drásticas, como es el caso de presencia de termitas subterráneas o se trabaja con maderas no durables.

Los Eurocódigos estructurales son un conjunto de normas europeas de carácter voluntario, encargadas por la Comisión Europea al Comité Europeo de Normalización (CEN), que proporcionan una serie de métodos comunes para calcular la resistencia mecánica de los elementos estructurales en una obra de construcción. Su finalidad es la de disponer de un cuerpo normativo común europeo que permita demostrar el cumplimiento de los requisitos esenciales de resistencia mecánica y estabilidad, así como de seguridad en caso de incendio de las obras de edificación y de ingeniería civil. En Europa se está trabajando ya en la segunda generación de los Eurocódigos que suponen un avance técnico sustancial y la falta de adopción en España está generando un retraso en la integración tanto profesional como de los proyectos. Actualmente conviven las normativas nacionales (como el Código Técnico de la Edificación) y los Eurocódigos como un marco de referencia opcional, aunque la actualización del Eurocódigo 5 está cada vez más cerca y busca incorporar nuevas tecnologías y mejoras [26].

Hablan de la normativa de varios países, pero no de la de España que es la de la revista Informes de la Construcción, por ejemplo, España es uno de los pocos países que no ha adoptado los Eurocódigos como obligatorios conservando su normativa nacional. Creo que sería de interés añadir alguna referencia breve, no es necesario algo tan extenso como otros países citados.

Las certificaciones de edificios sostenibles son herramientas que permiten evaluar y reconocer el desempeño ambiental de una edificación en diferentes aspectos. En ellas se puede evaluar la gestión del agua, calidad del aire interior, eficiencia energética, el uso de materiales sostenibles, la calidad interior del aire y el impacto en el entorno. Estas certificaciones permiten generar un marco de referencia a los arquitectos, constructores y propietarios de los que edificios que desean reducir el impacto ambiental de sus proyectos y promover prácticas de construcción más responsables. Así mismo, los países mencionados en los párrafos anteriores han llevado la delantera en los temas de construcción sustentable, así como líderes en construcción en madera. En la tabla 1 se presentan las principales normas y certificaciones relacionadas con temas de sostenibilidad implementadas por estos.

Tabla 1. Países con cultura en construcción en madera y sus normas, certificaciones y programas de sostenibilidad.

País	Normas, certificaciones y programas
Estados Unidos	LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) ENERGY STAR Living Building Challenge (LBC) Green Globes
Canadá	LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) ENERGY STAR Canada Buildings Owners and Managers Association (BOMA). Green Globes Canada Passive House Institute (CanPHI) Canadá
Suecia	Miljöbyggnad Passivhuscentrum Nordic Swan Ecolabel BREEAM LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental)
Finlandia	BREEAM LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) Nordic Swan Ecolabel Green Building Council Finland Passivhaus
Noruega	BREEAM NOR Eco-Lighthouse (Miljøfyrtårn) Bygg21 Nordic Swan Ecolabel
Austria	ÖGNI/DGNB Standard Passivhaus Standard BREEAM ÖKOBAUDAT Cradle to Cradle (C2C)

La certificación LEED significa Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, corresponde al sistema de clasificación de “edificios verdes” más utilizado en el mundo. Ésta proporciona una estructura para edificios saludables, altamente eficientes y de reducción de costos, los cuales ofrecen beneficios ambientales, sociales y de gobernanza. Esta certificación es un símbolo reconocido mundialmente producto del logro de la sostenibilidad, y está respaldada por toda la industria de organizaciones e individuos comprometidos en la transformación del mercado [26]. Sin embargo, los requisitos necesarios que tienen que cumplir los edificios necesitan el apoyo de normas, para el caso de LEED es usual el Standard ASHRAE 90.1 (Norma Energética para Edificios, Excepto edificios residenciales de baja altura), ASHRAE 90.2 (Norma de Eficiencia-Energética para edificios residenciales de baja altura) y ASHRAE 189.1 (Norma para el diseño de edificios ecológicos de alto rendimiento) en sus distintas versiones y en otros países sus normas locales [27].

ENERGY STAR es un programa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) que se centra en la eficiencia energética. En el contexto de la construcción, este programa proporciona pautas y estándares para realizar edificaciones energéticamente eficientes. Las infraestructuras que cumplen con estos estándares pueden poseer la certificación de ENERGY STAR, lo que indica que cumplen con los requisitos de eficiencia energética establecidos por la EPA. Actualmente más de 2,5 millones de casa y departamentos cuentan con esta certificación en los EE.UU [28].

Living Building Challenge (LBC) es una herramienta y programa de certificación que establece un estándar en términos de sostenibilidad en el ámbito de la construcción. Su enfoque abarca todos los tipos de edificaciones y escalas, siendo inclusivo para cualquier proyecto que busque un diseño transformador. Ya sea un edificio individual, una renovación, una obra de infraestructura o incluso un espacio al aire libre, el LBC proporciona un marco integral para diseñar, construir y fomentar relaciones simbióticas entre las personas y todos los elementos presentes en entornos contruidos y naturales [29].

Green Globes es otro programa de certificación de construcción sostenible desarrollado por Green Building Initiative (GBI) el cual evalúa la sostenibilidad ambiental, la salud y el bienestar, y la resiliencia de todos los tipos de bienes raíces comerciales. Diseñado para permitir a propietarios y administradores de edificios seleccionar qué características de sostenibilidad se adaptan mejor a su edificio y ocupantes, Green Globes certifica edificios que cumplen al menos el 35% de los 1.000 puntos considerados aplicables al proyecto. Bajo Green Globes se construyen e incorporan cientos de otros documentos de consenso de ASHRAE, ICC e IAPMO, solo por nombrar algunos [30].

ENERGY STAR de Canadá se enfoca en promover la eficiencia energética en edificaciones. Ofrece estándares y recursos para mejorar el rendimiento energético de nuevas construcciones y renovaciones. Su certificación reconoce edificios que cumplen con criterios de eficiencia energética. Ayuda a reducir costos operativos y emisiones de gases de efecto invernadero. Es una iniciativa clave para la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático en el sector de la construcción en Canadá [31].

BOMA BEST corresponde a una gama de programas que actúan como certificaciones y herramientas de gestión para edificios, promoviendo prácticas inteligentes y sostenibles. Buscan mejorar la salud, eficiencia, rentabilidad y reducir las emisiones de carbono en edificaciones existentes. Su certificación es un distintivo reconocido globalmente por los logros en sostenibilidad, impulsando así un cambio significativo en el sector. Dentro de ellas se puede encontrar BOMA BEST Sustainable y BOMA BEST Smart [32].

El sistema de certificación Passive House Canada, corresponde a un proceso de garantía de calidad riguroso, el cual determina si un edificio cumple con todos los requisitos de la Norma internacional Passive House. El procedimiento de certificación normalmente se realiza fuera del sitio y después de la construcción, por cualquiera de los equipos internacionales certificadores acreditados de Passive House Institute (PHI). La certificación confirma que el edificio ha sido diseñado para lograr altos niveles de comodidad de los ocupantes, rendimiento sanitario y energético [33]. Los ahorros del desempeño energético pueden ir del 80 – 90% en comparación con la construcción canadiense convencional [34].

Miljöbyggnad es un sistema sueco de certificación ambiental para edificaciones, el cual actualmente cuenta con más de 2300 edificios certificados o en proceso de certificación. Este sistema es de propiedad y desarrollado por la organización más grande de Suecia para la construcción comunitaria sostenible, el Sweden Green Building Council. El Miljöbyggnad examina 16 indicadores, que incluyen el consumo energético, calidad del aire, y uso de materiales. Además, se realiza un seguimiento periódico para asegurar el mantenimiento de los estándares. Los materiales de construcción deben cumplir con normativas estrictas, y los bancos ofrecen préstamos favorables para quienes viven en propiedades certificadas. Para demostrar que se vive en un edificio reconocido por Miljöbyggnad es posible que se deba presentar un certificado. Este está disponible a través del dueño de la propiedad o de la junta de su asociación de condominios [35].

La casa Passivhus es una metodología de construcción sostenible que busca maximizar la eficiencia energética y minimizar el impacto ambiental. Se centra en la reducción de consumo de energía para calefacción y refrigeración por lo que se crea un edificio hermético y bien aislado, que además, debe estar libre de “puentes fríos” como puede ocurrir en puertas y ventanas. En Suecia, estas casas cumplen con rigurosos estándares de certificación y son conocidas por su capacidad para mantener una temperatura confortable con un mínimo uso de energía. No obstante, muchas de las casas Passivhus no pueden mantener el calor para sus propias máquinas. Por eso, muchos optan por complementar su casa pasiva con, por ejemplo, bomba de calor o estufa a leña [36].

Nordic Swan Ecolabel corresponde a una de las certificaciones ambientales más estrictas del mundo y, como tal, una poderosa herramienta para productores y propietarios de marcas. La certificación ofrece una prescripción sobre cómo reducir el impacto ambiental de la producción y el consumo de bienes, junto con una guía creíble y certificada por terceros para que sus consumidores y compradores profesionales elijan bienes y servicios que se encuentren entre los mejores desde el punto de vista ambiental. Nordic Swan Ecolabel fue creada en 1989 por el Consejo Nórdico de Ministros como un sistema voluntario de eco-etiquetado para los países nórdicos: Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia. Hoy en día, es la etiqueta ecológica oficial de los países nórdicos, respaldada por todos los gobiernos nórdicos y la etiqueta medioambiental más reconocida de la región. El objetivo es permitir a los consumidores y compradores profesionales elegir los mejores bienes y servicios desde el punto de vista medioambiental, proporcionando una herramienta eficaz para ayudar a las empresas a desarrollar productos y servicios más sostenibles. Nordic Swan Ecolabel fue clasificada como Ecoetiqueta tipo I según la norma ISO 14024 [37].

BREEAM sus siglas vienen de “Building Research Establishment Environmental Assessment Method”, en español se traduce como “Método de Evaluación Medioambiental del Organismo de Investigación de la Construcción”. BREEAM corresponde a la certificación que apoya a soluciones para reducir emisiones netas de carbono, favorecer a la resiliencia y la biodiversidad, y contribuir a la elaboración y la presentación de informes. Desde su lanzamiento en 1990, BREEAM ha ayudado a mejorar el rendimiento de los activos en cada etapa, desde el diseño hasta la construcción, pasando por el uso y la renovación. Millones de edificios en todo el mundo están registrados para el enfoque holístico de BREEAM para lograr la gobernanza ambiental y social (ESG), la salud y los objetivos netos cero. La infraestructura de BREEAM permite una mayor sostenibilidad para los proyectos de ingeniería civil [38].

Los Indicadores de rendimiento para edificios son una herramienta de evaluación para verificar el desempeño actual del edificio a través de una comparación de puntos de referencia definido por el Green Building Council Finland. (Consejo de Construcción Ecológica de Finlandia). Estos indicadores están hechos para analizar tanto en la fase de diseño como en la fase de uso de los proyectos de construcción. El bienestar de los ocupantes, la eficiencia energética, el coste del ciclo de vida y los impactos medioambientales de los edificios son las principales preocupaciones que se evaluarán con los indicadores de rendimiento [39].

BREEAM se ha afianzado con fuerza en Noruega. La familia de sistemas de certificación BREEAM está gestionada por el Building Research Establishment (BRE) en el Reino Unido. BREEAM-NOR es una adaptación noruega y hoy en día es la certificación medioambiental más utilizada en Noruega para edificios nuevos y renovaciones importantes. Cuando el edificio se construye según BREEAM-NOR, demuestra que el proyecto tiene cualidades más allá de los requisitos mínimos de la normativa de edificación y ha tenido en cuenta valores que preocupan a la sociedad. Los objetivos de BREEAM-NOR reflejan las “mejores prácticas” actuales en Noruega y será un motor de innovación en planificación y construcción para el medio ambiente y una mayor sostenibilidad. Un edificio puede certificarse en cinco niveles: Aprobado, Bueno, Muy Bueno, Excelente y Sobresaliente. Para cada nivel, aumenta el nivel de sostenibilidad del edificio. BREEAM-NOR garantiza que se tengan en cuenta todos los aspectos más importantes de la sostenibilidad. Se cubren nueve categorías: Gestión, salud y ambiente interior, energía, transporte, agua, materiales, desperdiciar, uso de la tierra y ecología y, contaminación [40].

Eco-Lighthouse es el principal sistema de certificación en Noruega para empresas que desean evidenciar sus prácticas ambientales y compromiso social. Las compañías certificadas se esfuerzan por cumplir con requisitos específicos y aplicar medidas ambientales de manera constante, mejorando así sus operaciones y promoviendo entornos laborales más seguros. La fundación detrás del programa ha establecido estándares adaptados a diversas industrias, y las empresas certificadas son

evaluadas de forma independiente y deben recertificarse cada tres años, además de presentar informes ambientales anuales. Este sistema también cuenta con el respaldo de las autoridades noruegas en materia de contratación pública [41].

Los informes y guías de bygg21 son programas que presentan consejos y medidas concretas sobre cómo resolver algunos de los mayores desafíos de la industria inmobiliaria y de la construcción noruega, dentro de las áreas de planificación y construcción, productividad, calidad y sostenibilidad, interacción, industrialización y competencia [42].

El sistema de certificación ÖGNI/DGNB sirve para describir y evaluar objetivamente la sostenibilidad de edificios, espacios interiores y distritos. La ÖGNI (Asociación Austriaca de Gestión Inmobiliaria Sostenible) y la DGNB (Asociación Alemana para la Construcción Sostenible) colaboran en el desarrollo y la promoción de este estándar. La calidad se evalúa teniendo en cuenta todos los aspectos de la sostenibilidad, durante todo el ciclo de vida del edificio. Gracias a su flexibilidad, se puede adaptar con precisión a diferentes usos del edificio y requisitos específicos de cada país. El sistema ÖGNI/DGNB considera todos los aspectos esenciales de la edificación sostenible. Estos incluyen las seis áreas temáticas de ecología, economía, aspectos socioculturales y funcionales, tecnología, procesos y ubicación. Las primeras cuatro áreas temáticas tienen el mismo peso en la evaluación. Esto hace que el sistema ÖGNI/DGNB sea el único que da el mismo peso a la ecología que a los demás factores que contribuyen decisivamente a la creación de un edificio sostenible y exitoso [43].

ÖKOBAUDAT es una base de datos alemana estandarizada para las evaluaciones ecológicas de los edificios por parte del Ministerio Federal de Vivienda, Desarrollo Urbano y Construcción. Los conjuntos de datos están sujetos a estrictos requisitos de calidad y se pueden utilizar en muchos sistemas diferentes de evaluación de edificios. El sistema de base de datos con sus funciones de búsqueda y filtrado permite realizar búsquedas en línea fáciles de usar en los conjuntos de datos [44].

Cradle to Cradle (C2C) es una certificación que posee un enfoque de diseño que busca crear productos y sistemas sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Se centra en optimizar el ciclo de vida completo del producto, desde su concepción hasta su fin de vida, adoptando principios de economía circular y considerando los impactos ambientales, sociales y económicos en todas las etapas. Prioriza la selección de materiales seguros y saludables, promueve un diseño que optimiza la eficiencia energética y el uso de recursos renovables, y fomenta la reutilización y reciclaje de materiales al final de su vida útil [45].

Respecto a la mirada general del continente europeo respecto a la construcción sostenible, la Eurocámara respaldó una ley para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la construcción. La revisión de la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios busca hacer climáticamente neutro el sector de la construcción de la UE para 2050 y renovar los edificios menos eficientes. Se establecen objetivos de reducción de emisiones y medidas para la eliminación progresiva de las calderas de combustibles fósiles. Se excluyen los edificios agrícolas y patrimoniales. El ponente destaca los beneficios económicos y sociales de la ley. El texto fue aprobado por el pleno y debe ser ratificado por el Consejo de Ministros. La iniciativa se alinea con la agenda de la Conferencia sobre el Futuro de Europa para mejorar la independencia energética y la sostenibilidad de la UE [46]. Lo anterior, además de estar en sintonía con lo definido en el Pacto Verde Europeo, viene de la mano para dar cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Para la construcción en madera en Europa se ha establecido el Eurocódigo 5, correspondiente a un conjunto de normas europeas que establece los requisitos técnicos para el diseño de estructuras de madera y estructuras de madera y hormigón, así como elementos de madera usando en la construcción. Éste es aplicable a los proyectos de edificación y obras de ingeniería civil realizados con madera (madera maciza, aserrada, cepillada o en rollizo, madera laminada encolada o derivados de la madera con uso estructural, como por ejemplo la madera microlaminada – LVL) o tableros derivados de la madera unidos con adhesivos o elementos de fijación mecánicos. Esta norma trabaja de la mano con los principios y requisitos relativos a la seguridad y al comportamiento en servicio de las estructuras, así como las bases de cálculo y comprobación definidas en la Norma EN 1990:2002. El Eurocódigo 5 sólo hace referencia a los requisitos de resistencia, comportamiento en servicio, durabilidad y resistencia al fuego de estructuras de madera. No se consideran otros requisitos, por ejemplo referentes al aislamiento térmico o acústico [47]. Si bien su implementación no es obligatoria, la mayoría de los países de la Unión Europea (UE), han adoptado los Eurocódigos de manera oficial como parte de la legislación nacional o como estándares técnicos aceptables para el diseño estructural.

En Chile los requerimientos para el desarrollo de proyectos en construcción, se rigen principalmente, por la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), el cual corresponde al cuerpo legal que contiene los: principios, atribuciones, potestades, facultades responsabilidades, derechos, sanciones y normas, que a su vez regula a los organismos, funcionarios, profesionales y particulares en las acciones de planificación urbana, urbanización y las construcciones, que se desarrollen en todo el país. Esta ley considera como reglamento la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), donde se encuentran las disposiciones reglamentarias de la ley, regulando los procedimientos administrativos, el proceso de la planificación urbana, la urbanización de los terrenos, la construcción y los estándares técnicos de diseño y construcción exigibles en la urbanización y la construcción.

El control del cumplimiento de los cuadros normativos legales y reglamentario de las obras en cada comuna implica la regulación por parte de los municipios, por medio de sus respectivas Direcciones de Obras Municipales (DOM). Por medio de los Planes Reguladores Comunales, se definen condiciones específicas para cada zona según destinos habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento.

Existen otros instrumentos legales que imponen requisitos normativos adicionales dependiendo del propósito de un inmueble, como sanitarios o ambientales. Por ejemplo, en el sector de la vivienda en Chile, los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA) establecen requisitos legales en ciudades con altos niveles de contaminación. Estos instrumentos definen estándares técnicos que deben

cumplir las edificaciones, incluso más estrictos que los establecidos por la normativa general de construcción (OGUC).

Respecto a la normativa presente en Chile se encuentran manuales específicos y documentos de la Normativa Técnica Chile (NCh), elaborados por el Instituto Nacional de Normalización (INN). Estas normas técnicas NCh son referenciadas en documentos legales y normativos como OGUC y PDA [47].

En Chile el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), ha desarrollado iniciativas con el objetivo de promover la construcción sustentable en el país. Dentro de ellas está la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS), que posee como base los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas, publicados en 2016 por el MINVU, el cual corresponde a una certificación nacional que evalúa aspectos como la eficiencia energética el uso de materiales sostenibles, la gestión del agua y la calidad del ambiente interior [48]. Luego, está la Certificación de Edificio Sustentable (CES), que permite evaluar, calificar y certificar el comportamiento ambiental de edificios de uso público en Chile. Además, busca incentivar a los actores del sector de la construcción a adoptar prácticas más amigables con el medio ambiente y a reducir el impacto ambiental de los edificios. También, proporciona una herramienta para que los promotores inmobiliarios, arquitectos y constructores demuestren el compromiso con la sustentabilidad en sus proyectos [49]. Este artículo revisa la pertinencia de cumplimiento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Conocer y difundir los cumplimientos técnicos, y las estrategias de protección de la madera en algunas connotadas obras arquitectónicas en Chile.

2.2. Objetivos específicos

Realizar un levantamiento de información respecto a obras arquitectónicas chilenas de gran impacto y sus especificaciones técnicas, incluyendo estrategias de protección de la madera en construcción.

Entrevistar a los profesionales para conocer detalles de los cumplimientos normativos y los criterios de selección, incluyendo cuáles son sus argumentos tanto de sustentabilidad como de protección para la madera.

Proponer como modelo una plantilla que resuma las especificaciones técnicas y un manual de mantenimiento.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Materiales

Se utilizó material bibliográfico de carácter técnico-científico en formato digital sobre opciones respecto a las principales obras arquitectónicas realizadas en Chile en los últimos años.

3.2. Método

Se indagó mediante medios de divulgación como internet, artículos científicos y otros respecto a las obras arquitectónicas a estudiar de Chile. Se seleccionó un grupo de ellas y se entrevistó a parte de los profesionales, arquitectos e ingenieros. Se indagó cómo se resolvieron las exigencias de resistencia estructural, resistencia al fuego, aislación térmica y acústica y sobre la protección de los componentes de madera frente a la degradación biótica y abiótica. Esta indagatoria se basó en información disponible a partir de diferentes medios de publicación otorgados por las inmobiliarias y oficinas de arquitectura vinculadas.

Basado en los antecedentes se propone adecuar un modelo, tipo plantilla, desarrollado por organismos como el Instituto de la Construcción, Certificación de edificios Sustentables y Itemizado del Instituto de la Construcción para presentar un resumen informativo de las decisiones técnicas en etapas tempranas del diseño, lo cual actualmente se hace escasamente sólo por algunos actores. Ello permitirá desarrollar confianza con clientes en un espectro más amplio y masivo de edificaciones, no acotado sólo a aquellos que por ley el mercado público exige. Se propone que las nuevas obras arquitectónicas de gran tamaño en madera, como edificios de mediana y gran altura, visibilicen estos cumplimientos presentándolos en un nuevo instrumento creado como "Itemizado estándar de Especificaciones Técnicas (EETT) de Proyectos de Edificación" que contiene un listado detallado y ordenado secuencialmente de las especificaciones y medios de verificaciones que cumple el edificio. El cual deberá incluir el plan de mantenimiento, considerando detalles de las soluciones de protección, sea por diseño o por tratamientos de preservación aplicados a madera y biomateriales, con la entrega de las certificaciones que garanticen su durabilidad en el tiempo.

Esta estrategia de EETT y manual de mantenimiento idealmente debiese extenderse a otras materialidades. Este estudio se enfoca, en las edificaciones nuevas en madera, dado que la penetración de estas en el mercado requiere de estrategias de consolidación.

Las obras seleccionadas para el estudio (Tabla 2 y 3), fueron escogidas por tratarse de obras de gran connotación en la construcción en madera en Chile, mayoritariamente superiores a 400 m² ubicadas en distintas zonas geográficas de Chile, han sido reconocidas en el mundo arquitectónico o recibido premio.

Tabla 2. Obras seleccionadas con sus referencias a la protección.

Casa C 447 m²	Casa gran tamaño 860 m²	Hotel en la Patagonia chilena. 5000 m²	Campamento minero en zona de montaña. 38.000 m²
			
No posee [3].	Imprimante [3].	No posee [3].	Preservantes [4].
Uso de madera en estado bruto recién aserrada como parte de la estructura con terminaciones en puntos estratégicos, como en las ventanas [52].	La obra posee imprimantes de buena calidad que permiten que subsista, aunque requiere medidas de mantención muy frecuentes y evaluación de daños por si proliferan hongos o insectos, en cuyo caso el imprimante es insuficiente [52].	La obra se construye bajo parámetros de sustentabilidad de diseño, con entablado de lenga lavada sin ningún tipo de imprimante, apuesta al clima seco de la Patagonia [52].	El pino radiata y la madera laminada encolada fueron preservadas y son los protagonistas de esta construcción modular. Además, los revestimientos estructurales son de OSB, está protegida exteriormente con pinturas mantenidas frecuentemente [53].
* Construida en 1993, se puede ver la madera fuertemente agrietada, envejecida por la exposición a la intemperie.	Construida en 1997, se aprecia la madera agrietada en la fachada que queda expuesta al norte y al sur más húmedas [3].	Construida el 2006, se puede ver cómo la Lenga adquiere un color plateado producto de la acción del clima sobre los muros exteriores.	Construida el 2017. No se ve deterioro grave sobre el sustrato, sólo leve pérdida de color.

* Última fila describe estado actual.

Tabla 3. Obras seleccionadas con sus referencias a la protección.

Torre experimental Peñuelas 120 m²	Edificio 1 con certificación LEED. 17.000 m²	Edificio 2 con certificación LEED. 37.000 m²	Escuela Rural Básica. 762 m²
			
Madera Termotratada.	Madera termotratada. Aceites para madera.	Madera termotratada Aceites para madera.	Madera Termotratada.
Se construyó en pino radita, sin protección, se observaba decoloración sin mantención [54].	Aceites resistentes al agua y a la suciedad regulan la humedad e hinchazón de la madera [55].	Utilización de aceites resistentes al agua y a la suciedad. Estos regulan la humedad e hinchazón de la madera [56].	Se utilizó madera modificada térmicamente [57].
Construida en 2018, en febrero de 2024 Torre Peñuelas se destruyó por los incendios forestales ocurridos en la zona [58].	Construida el 2010. Tras 15 años se observa tendencia al deterioro leve de la madera producto de la exposición a la intemperie. Se ve una tendencia al deterioro de la madera producto de la exposición de la intemperie.	Construida el 2019. Tras 6 años, aún no se evidencian daños graves por deterioro, decoloración y agrietamiento leve.	Construida el 2020. Tras 5 años, se observa tendencia al deterioro de la madera producto de la exposición a la intemperie. Se constata mantenimiento periódico.

Como parte del método se crea una pauta con las especificaciones incluidas en la Tabla 4.

Tabla 4. Ejemplificación de pauta con especificaciones y manual de mantención para la construcción en madera.

Especificaciones técnicas	
Obra gruesa	Terminaciones
Excavaciones y movimientos de tierra. Estabilización del terreno. Fundaciones y cimientos. Sobrecimientos. Bases de pavimentos. Estructura Resistente. Elementos verticales no soportante. Estructura de techumbre. Cubiertas.	Comportamiento al fuego. Aislación térmica. Aislación acústica. Revestimientos interiores y exteriores. Tratamiento de fachadas. Cielos. Pavimentos. Puertas y ventanas. Pinturas y Barnices.
Manual de Mantención	
En función de la especialidad que tenga la madera que se use en la construcción, los instaladores y/o proveedores proporcionarán el manual de mantenciones, recopilando la información y quedando disponibles a los clientes de forma entendible y clara.	

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la Tabla 4, se desarrolló una tabla de clasificación de indicadores, otorgados en base a la valoración obtenida por cada atributo de acuerdo con las áreas de: Complejidad, Sustentabilidad y Sofisticación. Por lo tanto, las obras expuestas en las Tablas 2 y 3, fueron evaluadas en base a estos criterios, expresando la puntuación obtenida por cada una de ellas en escala Likert de 1 a 5. A continuación se ilustra la clasificación de atributos y variables mediante la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de Indicadores en base a la valoración obtenida.

Atributo	Variable	Nivel de la variable	Likert
Complejidad	Certificaciones Nacionales (CES y CVS) e Internacionales (LEED, Green Globes, Passivhaus, entre otros)	Cumplimiento Normativo Nacional	básico: 1
		Certificaciones Nacionales	medio: 2
		Certificaciones Internacionales	alto: 5
Sustentabilidad	Certificación Forestal de la madera	No	1
		Silvicultura Sostenible	3
		Si	5
	Materialidad estructural de la edificación	No menciona	1
		Híbrida	3
		Madera	5
	Eficiencia energética, agua, auto-regeneración, reutilización	No menciona	1
		Al menos una	3
		Dos o más	5
Sofisticación	Innovación en el uso de la madera	No menciona	1
		Implementación parcial	3
		Ingeniería en madera	5
	Diseño arquitectónico	Ortogonal	1
		Medianamente compleja	3
		Compleja	5
	Tecnología y sistemas constructivos avanzados	No menciona	1
		Implementación parcial	3
		Uso extensivo	5

Fuente: Elaboración Propia, en base a [54, 55 y 56]

En la Tabla 6, se presenta una clasificación (alto, medio o bajo).

Tabla 6. Clasificación de nivel de cumplimiento en base a la valoración obtenida según la Tabla 2.

Nivel de cumplimiento	Porcentaje de cumplimiento (%)
Alto	[75-100]
Medio	[50-75]
Bajo	[1-50]

Fuente: Elaboración Propia, en base a [54, 55 y 56]

En la Tabla 7, se presenta una pauta de cumplimiento en función del Ciclo de vida de la madera relacionado a la protección y mantenimiento. Además, se evalúa la existencia de reciclajes (explícito) de los productos al término de su vida útil.

Tabla 7. Clasificación de Ciclo de vida de la madera en función de Normativa Obligatoria y Certificaciones Nacionales e Internacionales.

Atributo	Variable	Nivel de la variable	Likert
Ciclo de vida de la madera en función de normativa obligatoria y Certificaciones Nacionales e Internacionales	Tipo de protección superficial de la madera	Madera natural	1
		Uso de impregnantes, barnices y pinturas sin certificar o sin plan de mantención	3
		Existe plan de mantención y evidencia que se realiza	5
	Tipo de Preservación de la madera	Madera en bruto o sólo protectores superficiales	1
		Madera termotratada	3
		Madera preservada	5
	Durabilidad y mantenimiento de la madera en la obra	No menciona	1
		Parcialmente mantenida	3
		Mantenciones periódicas	5
	Uso de químicos en la madera	No menciona	1
		Se evidencia su uso, pero no se especifica	3
		Si utiliza y es visible	5
	Declara sistema de reciclaje de productos al término de su vida útil	No menciona	1
		Sugiere alguna forma	3
		Implementa un sistema de economía circular	5

Fuente: Elaboración Propia, en base a [54, 55 y 56]

La clasificación de nivel de cumplimiento se realiza en base a la valoración obtenida según la Tabla 4 y contiene los mismos rangos que la Tabla 6.

4. RESULTADOS

4.1. Evaluación de obras seleccionadas en a especificaciones técnicas de obra gruesa y terminaciones

En la Tabla 8 se puede visualizar las ponderaciones alcanzadas por las obras en estudio en relación con el análisis definido en la Tabla 6, evaluando en base a los atributos de la Complejidad, Sustentabilidad y Sofisticación.

Tabla 8. Resultados en base a la clasificación de nivel de cumplimiento en base a la valoración obtenida según la Tabla 5.

Obra	*Porcentaje de cumplimiento (%)
Escuela Rural Básica	62
Edificio con certificación LEED	61
Edificio con certificación LEED	61
Hotel en Patagonia chilena	57
Campamento minero de montaña	55
Casa gran tamaño	52
Edificio Peñuelas experimental	45
Casa C	44

*Valor alcanzado según calificación tabla 5.

La Tabla 9, corresponde al desempeño de las obras en base al puntaje obtenido respecto al Ciclo de vida de la madera en función de normativa obligatoria y Certificaciones Nacionales e Internacionales, evaluando la protección de la madera, la durabilidad y mantenimiento de la obra, y la reutilización de productos que han terminado con su vida útil.

Tabla 9. Resultados en base a la clasificación de nivel de cumplimiento con la valoración según la Tabla 7.

Obra	*Porcentaje de cumplimiento (%)
Campamento minero de montaña	43
Hotel en Patagonia chilena	42
Escuela Rural Básica	36
Edificio con certificación LEED	28
Edificio con certificación LEED	28
Casa gran tamaño	23
Edificio Peñuelas experimental	16
Casa C	4

*Valor alcanzado según calificación tabla 7.

4.2. Discusión

El estudio constata que la mayoría de las obras estudiadas requieren mostrar mayores evidencias en cuanto a las medidas de protección frente a agentes bióticos y abióticos adoptadas para la estructura. A partir de la Tabla 3, no fue posible obtener resultados de manera precisa, ya que cuando se está evaluando una obra en la fase de proyecto, se accede a las especificaciones, detalles técnicos que luego no están disponibles. Como se explicó antes, las memorias no son públicas. Por tanto, no existe información de los antecedentes del encargo porque estos no fueron publicados. En Chile suele existir confianza en materia de ingeniería de cálculo, es decir son edificios sismorresistentes y la base de cálculo presentada sirve de respaldo sin que ello represente un obstáculo para construir en madera, aunque persiste la duda respecto a la protección contra el fuego que está por resolverse al entrar en vigencia una nueva norma chilena, creada a partir del Eurocódigo 5 europeo. Sin embargo, en medidas de protección sólo está quedando la opción visual, en cuyo caso hacer una evaluación de sostenibilidad es más complejo. En base a lo anterior, se recomienda que los proyectos se suscriban a algunas de las certificaciones internacionales que ya cuentan con buenas pautas para el seguimiento y planes de mantenimiento o que al menos, hagan públicos estos antecedentes.

Más allá del conocimiento y aplicación de buenas prácticas que pudiesen estar siendo aplicadas por los actuales usuarios, el ideal es que el proyecto ponga a disposición pública los planes de mantenimiento para que sirvan de apoyo o guía para nuevos proyectos en madera.

A pesar de estas restricciones, esta evaluación da luces de cómo se han resuelto y cómo se ha ido avanzando en fortalecer la normativa y que se está viendo en el desempeño de los edificios. En la tabla 7 se muestra a los edificios que poseen un mayor porcentaje de cumplimiento, ellos corresponden a la Escuela Rural Básica Cantino, Edificio Transoceánica y, el Edificio Lo Recabarren. Esto puede explicarse debido a que, además del cumplimiento normativo obligatorio de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) [49], publican sus certificaciones.

La primera obra tiene la certificación CES. A partir de este año será obligatoria para todos los edificios, ya que en mayo de 2024, se publicó en el Diario Oficial la actualización de la Reglamentación Térmica, Art. 4.1.10. de la OGUC, la cual entra en vigencia en noviembre de 2025 y representa un hito clave para la eficiencia energética, la sostenibilidad y el confort interior en las edificaciones de Chile. La nueva normativa introduce importantes cambios en la zonificación térmica, las exigencias de aislación, hermeticidad y ventilación, impactando directamente en la selección y desempeño de materiales utilizados en techos, muros, pisos, puertas y ventanas [51].

Esta certificación obliga a que el edificio cumpla con estándares específicos de eficiencia energética, particularmente con madera proveniente de bosques certificados. La certificación LEED [52] obtenida por dos de los edificios estudiados, limita el uso de elementos químicos que pueden ser nocivos para el medio ambiente, generando una situación más compleja, pero que amerita mayores innovaciones técnicas, ya que la protección de la madera se ve limitada para el uso de preservantes y se vuelve urgente proponer un buen plan de mantenimiento, ya que se debe asumir la protección durante la vida en servicio.

La OGUC establece exigencias técnicas que quedan incluidas en los documentos obligatorios para la recepción final de la obra por parte del municipio correspondiente, pero no son públicas. Un ejemplo de ello es la aplicación de la norma chilena NCh 819:2019 [57] por estar contenida dentro de la OGUC, obliga a preservar maderas no durables, como es el pino radiata principal especie usada en construcción en Chile, que rige para la mayoría de las obras.

Se plantea crear un documento que esté disponible también para los clientes y futuros compradores como un instrumento que resalta las innovaciones, soluciones creativas y bien ejecutadas. Esta, una buena práctica que en el pasado existía, se ha ido perdiendo en el tiempo y actualmente al presentar la oferta de soluciones constructivas no se entregan antecedentes de validación para que los clientes se sientan confiados en las soluciones constructivas en madera. Algunos de los proyectos analizados utilizaron madera de Lenga [58], una especie nativa catalogada como durable, según la normativa no es obligatorio usar preservantes [59]. No obstante, en línea con la sustentabilidad y ciclo de vida, la madera de Lenga está expuesta a agentes ambientales de deterioro, lo que afectará su desempeño mecánico y estético al acelerar el proceso de deterioro, disminuyendo el ciclo de vida del edificio. Lo anterior llevaría a demandar mayor cantidad de materia prima para la reposición de piezas dañadas, es decir, cortar más bosques nativos, entonces es lógico poner en duda qué tan sostenible es el uso de madera natural, un ejemplo de “basado en protección por diseño”, ya que se está construyendo sin preservantes, pero eso a largo plazo podría ser insostenible, por utilizar más materia prima acortando el ciclo de vida útil de la madera. Una madera más duradera requerirá menos reemplazo y menor mantenimiento a lo largo del tiempo, lo que puede reducir su impacto ambiental al prolongar su ciclo de vida mediante el uso de preservantes o técnicas de protección por diseño, esta argumentación se comprueba tras el incendio forestal que destruyó la torre experimental Peñuelas donde se tomaron medidas, pero que fueron insuficientes frente a eventos extremos cada vez más frecuentes [60].

En la Tabla 9, la obra que presenta un mayor cumplimiento respecto al análisis de ciclo de vida, (de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 6) es el Campamento minero. Lo anterior se evidencia debido a que como se utilizó madera de Pino radiata para la construcción, fue preservada, ya que corresponde a las categorías de baja durabilidad. Posteriormente, le sigue el Hotel en Patagonia con el puntaje más alto, ya que este edificio posee la certificación Green Globe Certification, Gold. Este reconocimiento contribuye a que el hotel deba tener prácticas de eficiencia energética, utilización de productos ecológicos. Sin embargo, la implementación de madera sin protección lleva a que el hotel haga mantenciones más frecuentes de la materia prima.

En el último lugar se encuentra Casa C, ya que al ser una propiedad privada se desconoce aspectos específicos como el reciclaje de productos que han terminado ya con su vida útil, o si la infraestructura presenta alguna certificación.

A partir de lo expuesto respecto a las certificaciones utilizadas en países con tradición en construcción en madera y la evaluación de las obras arquitectónicas, se sugiere que Chile tome como modelo las disposiciones detalladas en el International Building Code [10] específicamente aspectos de Mantenimiento y Renovación, partiendo de la base de que se evalúan constantemente variables de seguridad estructural, accesibilidad y eficiencia energética [61] es momento de incluir un nivel más alto de desempeño para estar estructuras, consecuente con la sostenibilidad que se promueve. Por lo que se propone que las constructoras-industrializadoras nacionales familiarizadas con la construcción en madera se involucren cada vez más con las certificaciones internacionales como LEED y Passivhaus, orientadas principalmente en la minimización del impacto ambiental y la eficiencia energética. Este reconocimiento, auditado externamente para certificar edificios en madera, a la vez deberá hacer seguimiento del mantenimiento. Es importante tener en consideración que estas certificaciones de sostenibilidad en la construcción requieren ser adaptados a la realidad nacional, ya que si bien actualmente se cuenta con obras realmente notables en el mundo de la arquitectura, aún quedan muchas áreas por desarrollar como la innovación e investigación, buscando continuamente mayor rendimiento de ciclo de vida y sostenibilidad de la obra.

5. CONCLUSIONES

El estudio verifica que los edificios analizados están en línea con la construcción sostenible, los 8 edificios analizados son referentes a nivel nacional, aunque están desaprovechando la evidencia para ser tomados como ejemplos de aprendizaje sobre todo en aspectos de sustentabilidad.

Se han identificado cinco categorías como instrumentos de política: Los instrumentos regulatorios (RI); los instrumentos económicos (EI); las herramientas de la información (TI); las herramientas políticas voluntarias (VPT) y las herramientas de investigación y desarrollo, las que deben comenzar a ser difundidas en futuras obras.

Se observó que Chile está en vías de responder a todas estas categorías, por lo que se debe seguir enfatizando en mostrar evidencias concretas, como son los planes de mantenimiento, la implementación de diseños y elementos sustentables y, que a su vez garanticen un buen desempeño mecánico.

Se plantea que las estrategias de protección de la madera pueden ser una buena alternativa para disminuir la presión y las brechas de desconfianza tanto sobre el material en servicio como sobre la extracción de madera para construcción, prolongando su vida útil en servicio, y además un ahorro de costos en mantenimiento y arreglos.

En Chile, falta desarrollar confianza para las edificaciones en madera, ello se puede lograr aportando más información, adscribiendo a certificaciones internacionales prestigiosas y/o exigiendo planes de mantenimiento a las obras que sean públicamente conocidas, como lo demuestran algunas de las obras analizadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los arquitectos y constructores que aceptaron proporcionar información respecto a sus obras. En especial al arquitecto Cristián Ruiz Rudolph por su valioso aporte en la elaboración de la propuesta de Especificaciones técnicas presentada en la Tabla 4.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los/as autores/as de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Rose Marie Garay Moena: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Micaela Ruiz Torres: Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición.

REFERENCIAS

- [1] E. Wiegand and M. Ramage, “The impact of policy instruments on the first generation of Tall Wood Buildings,” *Building Research & Information*, vol. 50, no. 3, pp. 255–275, 2022, doi: 10.1080/09613218.2021.1905501.
- [2] A. Acevedo, C. Bustos, J. Lasserre, and W. Gacitua, “Efecto de un envejecimiento acelerado mediante rayos UV en la propagación superficial de grietas de debobinado en tableros contrachapados de *Eucalyptus nitens*,” *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 15, no. 1, pp. 45–56, 2013, doi: 10.4067/S0718-221X2013005000004.
- [3] J. Van Acker, J. Van den Bulcke, B. Forsthuber, and G. Grüll, “Wood Preservation and Wood Finishing,” in *Springer Handbook of Wood Science and Technology*, P. Niemz, A. Teischinger, and D. Sandberg, Eds. Cham: Springer Handbooks, 2023, ch. 15, doi: 10.1007/978-3-030-81315-4_15.
- [4] L. Khademibami and G. S. Bobadilha, “Recent Developments Studies on Wood Protection Research in Academia: A Review,” *Front. For. Glob. Change*, vol. 5, p. 793177, 2022, doi: 10.3389/ffgc.2022.793177.
- [5] J. Järvinen, H. E. Ilgin, and M. Karjalainen, “Wood Preservation Practices and Future Outlook: Perspectives of Experts from Finland,” *Forests*, vol. 13, no. 7, p. 1044, 2022, doi: 10.3390/f13071044.
- [6] C. Gallardo Lara, *Productos de Ingeniería en madera*. INFOR, 2020, doi: 10.52904/20.500.12220/30395.
- [7] Q. Hu, B. Dewancker, T. Zhang, and T. Wongbumru, “Consumer Attitudes Towards Timber Frame Houses in China,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 216, pp. 841–849, 2016, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.12.081.
- [8] U.S. Census Bureau, MCD, R. C. B., *Characteristics of New Housing*, 2018.
- [9] J. Hildebrandt, N. Hagemann, and D. Thrän, “The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in europe,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 34, pp. 405–418, 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.06.013.
- [10] International Code Council (ICC), *International Building Code. Capítulo 23: Madera*, Estados Unidos, 2021.
- [11] International Code Council (ICC), “Códigos y Normas Internacionales.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://global.iccsafe.org/es/codigos-y-normas-internacionales/>
- [12] American Wood Council (AWC), *NDS 2024. National Design Specification (NDS) for Wood Construction*. AWC’s Wood Design Standards Committee, United State, 2024.
- [13] Building Sweden, “Law of the land – Building codes and legislation.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://buildingsweden.com/law-of-the-land>
- [14] Ministry of the Environment, Finland, *132/1999. Land Use and Building Act (amendment 222/2003 included)*, 1999.
- [15] Ministry of the Environment, Finland, “The National Building Code of Finland.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://ym.fi/en/the-national-building-code-of-finland>
- [16] SFS Finish Standard, “SFS Finnish Standards – The national standardization organisation in Finland.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://sfs.fi/en/sfs-finnish-standards/>
- [17] Canadian Commission on Building and Fire Codes, *National Building Code of Canada – Vol 1*. National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, 2015.
- [18] Ministry of Environment, Norway, *Act of 27 June 2008 No. 71 relating to Planning and the Processing of Building Applications (the Planning and Building Act) (the Planning part)*, 2008.
- [19] Standard Norge, *TEK17. The Building Code*. 2017. [Online]. Available: https://www.regjeringen.no/contentassets/20503ddfe0664fac9e2185c1a6c80716/veiledning-til-byggteknisk-forskrift-tek17_01_07_2017_oppdateret_15_09_2017.pdf
- [20] Rejeringen, “Direktoratet for byggkvalitet.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dep/kdd/org/etater-og-virksomheter-under-kommunal-y-distriktsdepartementet/underliggende-etater/direktoratet-for-byggkvalitet/-id85812/>
- [21] Standard Norge, “Standardisering.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://standard.no>
- [22] Österreichisches Parlament, “Landesrecht konsolidiert Vorarlberg: Gesamte Rechtsvorschrift für Baugesetz.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrVbg&Gesetzesnummer=20000734>
- [23] Österreichisches Parlament, “Landesrecht konsolidiert Oberösterreich: Gesamte Rechtsvorschrift für Oö. Bautechnikgesetz 2013.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LROO&Gesetzesnummer=20000726>
- [24] Austrian Standards, “ÖNORM.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.austrian-standards.at/de/standardisierung/warum-standards/grundbe-griffe/oenorm>
- [25] U.S. Green Building Council, “LEED-certified green buildings are better buildings.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.usgbc.org>
- [26] Arriaga, “Forum Internacional de Construcción con Madera (14 y 15 de mayo del 2025, en Pamplona, España),” 2025.
- [27] J. Czajkowski and A. Gómez, “Hacia un modelo de certificación de edificios sustentables adecuado al contexto regional.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79829>
- [28] ENERGY STAR, “Our History.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.energystar.gov/about/how-energy-star-works/history>
- [29] Living Building Challenge, “Living Building Challenge.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://living-future.org/lbc/>
- [30] The GBI, “Green Globes Building Certification.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://thegbi.org/greenglobes/why-green-globes/>
- [31] Government of Canada, “Energy Star Homes.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://natural-resources.canada.ca/energy-efficiency/energy-star-canada/energy-star-for-new-homes/energy-star-certified-homes/5057>
- [32] BOMA International, “¿Qué es BOMA Best?” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.boma.org/BOMA/BOMA/Recognition-Awards/BOMA_BEST.aspx#:~:text=There%20are%20two%20certification%20paths,on%20tenant%20wellness%20and%20experience
- [33] Passivehouse, “Building Certification.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://passivehouse.ca/building-certification/>
- [34] Passivehouse, “Design Fundamentals.” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://passivehouse.ca/design-fundamentals/>
- [35] Sweden Green Council, “Vad är Miljöbyggnad?” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.sgb.se/certifiering/miljobyggnad/vad-ar-miljobyggnad/>
- [36] Passivhuscentrum, “Vad är passivhus?” Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.passivhuscentrum.se/passivhus/>

- [37] Nordic Swan Ecolabel, "The Nordic Swan Ecolabel / Official Nordic Ecolabel." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.nordic-swan-ecolabel.org/official-nordic-ecolabel/>
- [38] Breeam, "Achieve your net zero goals with BREEAM certification." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://breeam.com/about>
- [39] FIGBC, "Green Building Council Finland." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://figbc.fi/en/figbc>
- [40] BREEAM-NOR, "Om BREEAM-NOR." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/>
- [41] Eco-lighthouse, "The certification scheme." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://eco-lighthouse.org/certification-scheme/>
- [42] Bygg21, "Besta Praksis." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://bygg21.no/rapporter-og-veiledere/>
- [43] ÖGNI, "Das DGNB System." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.ogni.at/leistungen/zertifizierung/dgnbzertifizierung/>
- [44] ÖKOBAUDAT, "ÖKOBAUDAT." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.oekobaudat.de/en.html>
- [45] C2C Certified, "Cradle to Cradle Certified." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://c2ccertified.org/the-standard>
- [46] Parlamento Europeo, "Eficiencia energética de los edificios: nueva ley para descarbonizar el sector." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20240308IPR19003/eficiencia-energetica-de-los-edificios-nueva-ley-para-descarbonizar-el-sector>
- [47] European Committee of Standardization (CEN), *UNE-EN 1995-1-2. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera*. Madrid, España, 2016.
- [48] Jefatura del Estado, *DFL 458: APRUEBA NUEVA LEY GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO*, 1976. [Online]. Available: <https://bcn.cl/259k1>
- [49] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, *Decreto Supremo N° 47 de 1992: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)*, 1992 (actualizado a septiembre de 2025). [Online]. Available: <https://bcn.cl/25m36>
- [50] CVS, "¿Qué es la CVS?" Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://cvschile.cl/#/home>
- [51] CES, "¿De qué se trata la certificación?" Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.certificacionsustentable.cl/conoce-la-certificacion/>
- [52] U.S. Green Building Council (USGBC), "Sistema de calificación LEED." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.usgbc.org/leed/rating-systems>
- [53] Banco Mundial, *La Construcción de viviendas en madera en Chile*. 2020. [Online]. Available: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/224671607109191179/pdf/The-Construction-of-Timber-Houses-in-Chile-A-Pillar-of-Sustainable-Development-and-the-Agenda-for-Economic-Recovery.pdf>
- [54] R. Garay, F. Pfenniger, M. Castillo, and C. Fritz, "Quality and Sustainability Indicators of the Prefabricated Wood Housing Industry—A Chilean Case Study," *Sustainability*, vol. 13, no. 15, p. 8523, 2021, doi: 10.3390/su13158523.
- [55] C. Fritz and R. Garay, "Advancing Sustainable Timber Protection: A Comparative Study of International Wood Preservation Regulations and Chile's Framework Under Environmental, Social, and Governance and Sustainable Development Goal Perspectives," *Buildings*, vol. 15, no. 9, p. 1564, 2025, doi: 10.3390/buildings15091564.
- [56] C. Fritz, M. Ruiz, and R. Garay, "Development and Application of a Sustainability Indicator (WPSI) for Wood Preservative Treatments in Chile," *Forests*, vol. 16, no. 8, p. 1351, 2025, doi: 10.3390/f16081351.
- [57] Instituto Nacional de Normalización (INN), *NCh 819:2019 Madera preservada - Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo*. Santiago de Chile, 2019.
- [58] M. Salazar, "La ingeniería detrás de los ocho edificios de madera construidos en un campamento minero de Chile," *Madera 21*. Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.madera21.cl/blog/2021/04/09/la-ingenieria-detras-de-los-ocho-edificios-de-madera-construidos-en-un-campamento-minero-de-chile/>
- [59] Instituto Nacional de Normalización (INN), *NCh 789/1:2023 Maderas - Parte 1: Durabilidad de la madera*. Santiago: INN, 2023.
- [60] CENAMAD, "Comunicado Oficial. Incendio Torre experimental Peñuelas." Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: <https://cenamad.cl/comunicado-oficial/>
- [61] Centro UC de Innovación en madera, *Guía de Operación de edificaciones en madera*. 2021. [Online]. Available: <https://madera.uc.cl/images/recursos/guia-de-operaciones-para-edificaciones-de-madera.pdf>