

# LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN MADERA EN CHILE

UN PILAR PARA EL DESARROLLO  
SOTENIBLE Y LA AGENDA DE REACTIVACIÓN



**BANCO MUNDIAL**  
BIRF • AIF | GRUPO BANCO MUNDIAL

América Latina y el Caribe  
*Oportunidades para todos*





© 2020 The World Bank

1818 H Street NW, Washington DC 20433

Telephone: 202-473-1000; Internet: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

#### *Derechos y permisos*

El Banco Mundial no garantiza la exactitud de los datos incluidos en este trabajo. Los límites, colores, denominaciones y otra información mostrada en cualquier mapa en este trabajo no implican ningún juicio por parte del Banco Mundial con respecto al estado legal de cualquier territorio o el respaldo o la aceptación de dichos límites.

Los colores, las denominaciones y demás información contenida en las tablas y diagramas de este reporte no presuponen, por parte del Grupo del Banco Mundial juicio alguno sobre la situación legal de cualquier territorio, ni el reconocimiento o aceptación de dichos límites.

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas en este libro son en su totalidad de los autores y no deben ser atribuidas en forma alguna al Banco Mundial, a sus organizaciones afiliadas o a los miembros de su Directorio Ejecutivo ni a los países que representan.

Cualquier otra consulta sobre derechos y licencias, incluidos derechos subsidiarios, deberá dirigirse a la siguiente dirección: World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, EE.UU.; fax: 202-522-2422; correo electrónico: [pubrights@worldbank.org](mailto:pubrights@worldbank.org).

# TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| Acrónimos.....   | vi        |
| Agradecimientos .....  | vii       |
| Prefacio .....   | viii      |
| Resumen ejecutivo .....  | ix        |
| <b>1.La crisis de la construcción mundial y la oportunidad chilena .....</b>                     | <b>14</b> |
| Resumen capítulo .....   | 14        |
| Introducción .....   | 16        |
| 1.1. El renacer de la madera en el contexto del cambio climático .....                           | 16        |
| Los atributos de la madera .....   | 18        |
| La madera en el contexto internacional .....   | 19        |
| El rol de la industrialización y las ventajas de la madera .....                                 | 20        |
| 1.2. Contexto del sector de la construcción en Chile .....                                       | 24        |
| Las ventajas de la madera en el contexto de la construcción habitacional chilena .....           | 26        |
| Tendencias de la construcción en madera .....  | 28        |
| Sistemas constructivos en base a madera disponibles en mercado chileno .....                     | 28        |
| La construcción en madera en Chile .....   | 32        |
| 1.3. Compromisos de Chile frente al cambio climático .....                                       | 34        |
| 1.4. Potencial forestal chileno .....  | 36        |
| Conclusiones capítulo 1 .....  | 40        |
| <b>2. Los efectos de los marcos regulatorios y normativos en la construcción en madera .....</b> | <b>42</b> |
| Resumen capítulo .....   | 42        |
| Introducción .....   | 44        |
| 2.1. Iniciativas públicas en torno a la construcción en madera.....                              | 45        |
| 2.2. Experiencia regulación europea .....  | 46        |
| Caso Alemán .....  | 48        |
| Caso Austriaco.....  | 48        |
| Caso del Reino Unido .....   | 48        |
| Caso Escandinavo (Noruega, Finlandia y Suecia) .....   | 49        |
| 2.3. Experiencia regulación Norteamericana .....   | 50        |
| Caso Canadiense .....  | 50        |
| Caso Estadounidense .....  | 52        |
| 2.4. Experiencia regulación en Oceanía .....   | 53        |
| Caso Australiano .....   | 53        |
| Caso Neozelandés .....   | 54        |
| 2.5. Marco normativo chileno. ....   | 54        |
| Resistencia al fuego .....   | 55        |
| Desempeño acústico de elementos .....  | 57        |
| Aislamiento térmico de elementos constructivos .....   | 58        |
| Normativa de estabilidad estructural y sísmica .....   | 61        |
| Normativa específica en relación con el uso de madera en construcciones. ....                    | 62        |
| Actualización de normas nacionales .....   | 62        |
| Conclusiones capítulo 2 .....  | 64        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3. Análisis económico de la construcción en madera en Chile .....</b>   | <b>66</b> |
| Resumen .....  | 66        |
| Introducción .....   | 68        |
| 3.1. Costos de construcción de edificaciones en madera en base a informes entregados por CIM UC 2019 ..  | 69        |
| Definiciones del estudio .....   | 71        |
| Análisis de costos de construcción por altura .....  | 72        |
| Análisis de costos de construcción por zona climática .....  | 75        |
| Costos de operación de edificios en madera (calefacción) .....   | 79        |
| 3.2. Las externalidades ambientales al utilizar madera en contraste a otras materialidades y modelo de cadena de valor para la construcción en madera .....  | 82        |
| Etapas de producción .....   | 82        |
| Etapas de construcción .....   | 83        |
| Etapas de uso .....  | 84        |
| Fin de vida .....  | 86        |
| Emisiones de CO <sub>2eq</sub> según etapas evaluadas .....  | 86        |
| 3.3. Simulación de costos de un edificio de 6 pisos en la zona central .....   | 87        |
| 3.4. Líneas de financiamiento para la construcción de viviendas en Chile .....   | 88        |
| Instrumentos bancarios y de seguros .....  | 88        |
| Subsidios habitacionales o incentivos públicos .....   | 90        |
| Conclusiones capítulo 3 .....  | 94        |
| <br>   |           |
| <b>4. Análisis de barreras y oportunidades de cara a una hoja de ruta para la construcción de viviendas en madera .....</b>  | <b>96</b> |
| Resumen .....  | 96        |
| Introducción .....   | 98        |
| 4.0 Análisis de lecciones aprendidas en base a proyectos realizados .....  | 99        |
| 4.1 Análisis de encuesta de brechas percibidas en torno a la construcción en madera en Chile .....   | 100       |
| 4.2 Percepción, identificación de brechas y oportunidades de actores claves entrevistados .....  | 113       |
| Conclusiones capítulo 4 .....  | 116       |
| <br>   |           |
| Referencias bibliográficas .....   | 118       |
| Listado de figuras .....   | 126       |
| Listado de tablas .....  | 130       |
| Anexos .....   | 131       |
| <b>Anexo A:</b> actualización de normas técnicas NCh asociadas a la construcción en madera.....  | 131       |
| <b>Anexo B:</b> tabla resumen de emisiones de CO <sub>2</sub> en el ciclo de vida, por escenario y tipología de vivienda. Graficado en la figura 57: carbono incorporado en el ciclo de vida. .... | 135       |
| <b>Anexo C:</b> marco teórico y metodología de realización de la encuesta de percepción de la construcción en madera. ....   | 136       |

# ACRONIMOS

|                 |  |               |  |
|-----------------|--|---------------|--|
| <b>ACHISINA</b> | : Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica                        | <b>IPCC</b>   | : Intergovernmental Panel on Climate Change                  |
| <b>AIA</b>      | : American Institute of Architects   | <b>LGUC</b>   | : Ley General de Urbanismo y Construcción                    |
| <b>AOA</b>      | : Oficinas de Arquitectos de Chile   | <b>MBC</b>    | : Código de Construcción Modelo                              |
| <b>BBCB</b>     | : British Columbia Building Code   | <b>MINVU</b>  | : Ministerio de Vivienda y Urbanismo                         |
| <b>CCBFC</b>    | : Canadian Commission on Building and Fire Codes                                   | <b>MLE</b>    | : Madera laminada encolada                                   |
| <b>CChC</b>     | : Cámara Chilena de la Construcción  | <b>MMA</b>    | : Ministerio del Medio Ambiente                              |
| <b>CDT</b>      | : Corporación de Desarrollo Tecnológico  | <b>MOP</b>    | : Ministerio de Obras Públicas                               |
| <b>CEV</b>      | : Calificación Energética de Vivienda  | <b>NBC</b>    | : National Building Code of Canada                           |
| <b>CIM UC</b>   | : Centro UC de Innovación en Madera de la Pontificia Universidad Católica de Chile | <b>NCC</b>    | : National Construction Code de Australia                    |
| <b>CLT</b>      | : Cross Laminated Timber   | <b>NCh</b>    | : Norma Chilena  |
| <b>CONAF</b>    | : Corporación Nacional Forestal  | <b>NDC</b>    | : Metas de Contribución Determinada a Nivel Nacional         |
| <b>CORFO</b>    | : Corporación de Fomento de la Producción  | <b>NZBC</b>   | : New Zealand Building Code                                  |
| <b>CORMA</b>    | : Corporación Chilena de la Madera   | <b>OCDE</b>   | : Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico |
| <b>CVS</b>      | : Certificación Vivienda Sustentable   | <b>OGUC</b>   | : Ordenanza General de Urbanismo y Construcción              |
| <b>CWC</b>      | : Canadian Wood Council  | <b>OSB</b>    | : Oriented strand board                                      |
| <b>DITEC</b>    | : División Técnica de MINVU  | <b>ONU</b>    | : Organización de las Naciones Unidas                        |
| <b>DOM</b>      | : Direcciones de Obras Municipales   | <b>PDA</b>    | : Plan de Descontaminación Atmosférica                       |
| <b>FAO</b>      | : Food and Agriculture Organization, de las Naciones Unidas                        | <b>PIB</b>    | : Producto Interno Bruto                                     |
| <b>GEI</b>      | : Gases Efecto Invernadero   | <b>SDG</b>    | : Objetivos de Desarrollo Sostenible                         |
| <b>I+D</b>      | : Investigación y Desarrollo   | <b>SERVIU</b> | : Servicio de Vivienda y Urbanización                        |
| <b>IBC</b>      | : International Code Council   | <b>SNTCS</b>  | : Sweden National Timber Construction Strategy               |
| <b>IEA</b>      | : International Energy Agency  | <b>TWDI</b>   | : Tall Wood Building Demonstration Initiative                |
| <b>INE</b>      | : Instituto Nacional de Estadística  | <b>UBC</b>    | : British Columbia University                                |
| <b>INFOR</b>    | : Instituto Forestal   | <b>WIDC</b>   | : Wood Innovation and Design Center                          |
| <b>INN</b>      | : Instituto Nacional de Normalización  |               |  |

## AGRADECIMIENTOS

El presente documento fue preparado por un equipo liderado por Horacio Terraza (Especialista Líder en Desarrollo Urbano del Banco Mundial) y compuesto por Rodrigo Donoso (Co-líder y Especialista Desarrollo Territorial y Gestión del Riesgo de Desastres del Banco Mundial), Felipe Victorero (Consultor Senior en Construcción Sostenible del Banco Mundial) y Daniel Ibañez (Consultor Senior en Construcción en Madera y desarrollo urbano del Banco Mundial). Asimismo, el equipo brinda un reconocimiento especial a Manuel Alfaro (Director de SERVIU O'Higgins del Ministerio de Vivienda y Urbanismo), Virginia Brandon (Representante del Banco Mundial en Chile), Francisco Winter (Oficial de Operaciones del Banco Mundial) y a todos los miembros de la oficina país del Banco Mundial en Chile por su orientación y apoyo a lo largo del proceso.

Este informe refleja el apoyo continuo y fundamental a través de conversaciones y entrevistas con especialistas del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio del Medio Ambiente, Centro UC de Innovación de Madera (CIM UC), Corporación Chilena de la Madera (CORMA), Madera 21, Instituto Forestal (INFOR) y Cámara Chilena de la Construcción (CChC).

Agradecemos especialmente la contribución de los especialistas internacionales Alan Organschi, (Principal y Partner de Gray Organschi Architecture, Principal de JIG Design Build, Senior Critic de la Escuela de Arquitectura de Yale University, y Principal Investigador de Timber en la iniciativa de City research), Andreas Nikolaus Kleinschmit Von Lengefeld (Director Internacional de Operaciones del French Institute of Technology for Forest-based and Furniture Sectors), Jose Joaquin Prieto, PhD en Social Policy y Principal Investigador del International Inequalities Institute en la London School of Economics (LSE) y finalmente a Isabel Brain (PhD (c) en Development Planning de la Escuela de Arquitectura de Bartlett, University College of London (UCL))

También, agradecemos a los profesionales Daniela Méndez, Danny Pavez, Jesús Ortega, Camilo Bravo, Javier Cabrera, Diego Maige y José Luis Caamaño, sin los cuales no hubiese sido posible el desarrollo técnico de este documento.

El material fotográfico de esta publicación cuenta con todos los derechos y autorizaciones correspondientes. Agradecemos la colaboración de imágenes a las siguientes entidades: Centro UC de Innovación en Madera y Madera 21.

Derecho de autor imagen de portada, David Foessel and Odile+Guzy Architects

# PREFACIO

El presente documento busca identificar, tomando en cuenta la experiencia internacional, el estado de la construcción en madera en Chile y su oportunidad como agente de cambio en torno al déficit habitacional y la lucha contra el cambio climático, enmarcado en un ambiente de reactivación económica post pandemia de COVID-19. Así, se hace hincapié en el potencial de la construcción de viviendas sustentables en madera y la incorporación de procesos altamente industrializados, especialmente frente a las necesidades de vivienda social en el país. Siguiendo las tendencias hacia una creciente densificación de sus ciudades y una mayor presión sobre la necesidad de aumentar la productividad en el sector construcción.

De esta manera el texto aborda cuatro capítulos que buscan presentar al lector diferentes temas en torno al trasfondo de la construcción en madera en Chile; (1) La crisis de la construcción mundial y la oportunidad chilena; (2) los efectos de los marcos normativos en la construcción en madera; (3) Análisis económico de la construcción en madera en Chile; (4) Análisis de barreras y oportunidades de cara a una hoja de ruta o plan de acción para la construcción de viviendas en

madera. Cada capítulo se estructura con un resumen inicial del apartado, en el que los autores realizan una breve reseña de éste y presentan las principales conclusiones del tema a abordar. Posteriormente se incluye una introducción que contextualiza el capítulo, y hace referencia a la metodología utilizada para su desarrollo. Lo sigue el cuerpo del capítulo, el que expone la información tratada y el análisis de ésta. Finalmente, se abordan las conclusiones del capítulo, las que enumeran los principales hallazgos y opiniones de los autores en torno a cada temática.

Se destaca que la metodología para la realización de este documento varía según los distintos capítulos, considerando a modo general el levantamiento y revisión de información bibliográfica de libre acceso, proveniente de diferentes fuentes locales e internacionales; la realización de análisis complementarios en base a los datos levantados; la aplicación de una encuesta masiva sobre percepción de brechas; la revisión de casos de estudio de edificaciones de madera; y entrevistas a actores clave vinculados a la construcción en madera.



# RESUMEN EJECUTIVO

Chile afronta hoy tres desafíos decisivos para avanzar en su agenda de desarrollo urbano sostenible: (1) el desafío de provisión de vivienda para una población creciente que parte de un déficit actual cuantitativo de más de 397.613 unidades en el país<sup>1</sup>, y que de considerar el déficit cualitativo, puede llegar a superar el 1.303.484 unidades<sup>2</sup>; (2) el desafío del cambio climático provocado por la alta dependencia de recursos fósiles de sector de la construcción; y (3) el desafío de implementar acciones rápidas y adecuadas para enfrentar las consecuencias de la pandemia de COVID-19, la que ha generado una crisis social y económica sin precedentes contemporáneos. Así, considerando la importancia y grandes avances del sector forestal en el contexto chileno, y la capacidad de la construcción en madera de proveer soluciones concretas y efectivas a estos tres desafíos, se presenta una oportunidad clave de cara a generar una agenda urbana orientada a una reactivación sustentable.

Respecto a la problemática de provisión de vivienda, en el contexto chileno, existen una serie de desafíos urbanos que han estado persistentemente en el debate público los últimos años. Además del déficit cualitativo y cuantitativo de vivienda, se agregan otros temas que han complejizado aún más la situación, como por ejemplo (1) un nivel de hacinamiento, el cual es todavía alto comparado con estándares internacionales, la última Encuesta Socioeconómica (CASEN, 2017) señala que un 16,8% de las familias del primer quintil (cerca de 77.000) f viven hacinadas, (2) el fuerte aumento de asentamientos informales o campamentos (último catastro realizado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo señala la existencia de 47 mil familias viviendo en campamentos), (3) el fenómeno migratorio, el cual se ha triplicado en los últimos años, pasando de 200 mil migrantes el 2002 a más de 1 millón el 2018, elemento clave que debe ser integrado a las políticas urbanas para evitar procesos de segregación y aislamiento cultural y (4) el cambio climático, que se espera será especialmente severo considerando la geografía del país, el cual generará pérdidas importantes, mayoritariamente en las ciudades.

Otro tema muy relevante para considerar dentro de los desafíos de la agenda urbana es el bajo nivel de productividad en el sector de la construcción. Si bien la productividad de la construcción a nivel global solo ha crecido en un 1%<sup>3</sup> en los últimos 20 años,

manteniéndose baja y siendo uno de los sectores con el peor indicador en esta materia, en el contexto chileno, ésta se agudiza y ha tendido a ser incluso nulo o negativo.

Por otra parte, los avances en torno a la construcción industrializada en madera se presentan como una oportunidad para mejorar en productividad y calidad, así la madera ofrece cualidades como: (1) las obras industrializadas en madera pueden reducir considerablemente los tiempos de ejecución en obra, comparado a sistemas tradicionales, factor clave para hacer frente a las necesidades masiva de vivienda y demandas sociales; (2) las nuevas capacidades de empresas industrializadoras de alta tecnología, instaladas en Chile hace pocos años, permiten ofrecer soluciones altamente sofisticadas, de mayor calidad y que aumenten enormemente la productividad del sector construcción; (3) la gran capacidad de resistencia estructural de éste material, en relación a su bajo peso, lo que permite que a través del uso de madera ingeniería se construyan incluso edificios de gran altura con este material; (4) su capacidad de ser trabajada en seco y altamente industrializable, lo que le permite reducir sus emisiones durante el proceso constructivo, hacer un uso más eficiente de la materia prima, reducir los desperdicios, ser fácilmente reutilizable o reciclado para nuevas aplicaciones, entre otros; (5) su uso en construcciones, sobre todo en sistemas industrializados, significan un menor impacto de las obras en su entorno, con menor ruido, menor número de camiones, menos polvo, ejecuciones más cortas, reducciones de residuos de construcción, entre otras ventajas; (6) la posibilidad de generar edificaciones de mayor estándar y desempeño, con costos equivalentes a materiales tradicionales, entregando condiciones de mayor confort y sanitarias para sus ocupantes. Adicionalmente, la capacidad de crecimiento de los bosques plantados y manejados en forma sustentables, en el caso chileno, pueden ser capaces de proveer de materia prima suficiente para construir hasta ocho viviendas por minuto; esto garantizando un suministro continuo de productos en base a madera de origen local, reduciendo los efectos asociados a la dependencia de suministros importados y altas huellas de carbono asociadas al transporte.

Por otra parte, en cuanto al desafío climático, el sector de la construcción es uno de los grandes

<sup>1</sup> Datos obtenidos del CENSO 2017, realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

<sup>2</sup> Según la encuesta CASEN 2017, el déficit cualitativo de viviendas paso de 1.288.280 en el año 2003 a uno de 1.303.484 en el año 2017.

<sup>3</sup> Comisión Nacional de Productividad, 2019

responsables, representando el 36% del uso final de la energía y el 39% de las emisiones de CO<sub>2eq</sub> a nivel mundial; mientras que, en el ámbito nacional, estos porcentajes se encuentran en torno al 33% y 30%<sup>4</sup> respectivamente. Sin embargo, la madera en contraste a otros materiales tradicionales como el hormigón y acero, puede incluso contribuir a reducir los avances y efectos del cambio climático. Esto se basa en: (1) la capacidad de los árboles de capturar CO<sub>2</sub> durante su crecimiento, quedando almacenado durante décadas en los materiales de construcción producidos en base a madera y utilizado en edificaciones; (2) ser un recurso renovable, el cual, de ser trabajado a través de programas de manejo sustentable, puede incluso ayudar a incentivar la reforestación; (3) las bajas emisiones contaminantes generadas durante su procesamiento y transporte, éste último debido a su bajo peso; (4) su excelente desempeño como aislante térmico, en comparación a materiales tradicionales como el hormigón y acero, que ayuda reducir, a su vez, el consumo energético de operación de las viviendas con sus emisiones de CO<sub>2eq</sub> y material particulado asociado a la contaminación ambiental; (5) su facilidad de ser reutilizada en otros proyectos de edificación o reciclada en otros productos, pudiendo convertirse finalmente en biomasa para procesos energéticos e incluso como nutrientes para el crecimiento de nuevos bosques plantados.

Cabe destacar, que la industria forestal asociada a la construcción de vivienda es solo viable bajo estrictos estándares de manejo forestal sustentable. En este sentido, Chile ha realizado un trabajo importante hacia el cuidado de los recursos forestales, teniendo hoy en día aproximadamente el 70% de la superficie de los bosques plantados con certificados de manejo sustentable, los que buscan fomentar una gestión forestal económicamente viable, socialmente beneficiosa y apropiada desde el punto de vista ambiental para los bosques. Además, gracias a una política de reforestación, el país ha logrado revertir la deforestación de los siglos pasados y aumentar su superficie forestal, convirtiéndose en el tercer país con mayor aumento de superficie de bosques entre 2010 y 2015, esto demuestra el compromiso de Chile de cara a las altas metas que se ha autoimpuesto para su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC), y su compromiso con el medio ambiente, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

De igual forma, en respuesta al desafío producto de la pandemia de COVID-19, Chile ha generado un plan histórico de reactivación económica, por un monto cercano a los US\$12.000 millones y con iniciativas por los próximos dos años, considerando aportes de USD

1,246 millones para duplicar el número de subsidios habitacionales y USD 132 millones para obras urbanas. Se destaca que este plan declara en sus bases, la búsqueda de avanzar en programas de infraestructura y vivienda con un énfasis “verde” y la mitigación del cambio climático. En este sentido la madera, a través de un programa de construcción sustentable masivo de viviendas, presenta una oportunidad única para el país ya que: (1) genera puestos de trabajo en el sector construcción y forestal, teniendo efectos positivos en múltiples regiones del país; (2) permite fomentar la productividad de la construcción nacional, a través del avance de procesos de industrialización en madera de mayor valor, y potenciar el capital humano avanzado en torno a ésta; (3) promueve la industria secundaria de la madera, a través de la generación de productos de construcción en base a madera de mayor valor; (4) poder eventualmente posicionar al sector construcción industrializada en madera, junto a proveedores de productos de madera para la construcción, a nivel latinoamericano y como líder de la región.

Así, el presente documento busca abordar la oportunidad que significa desarrollar la construcción de viviendas en madera en Chile, poniendo acento en el caso de la vivienda social (la que incluye edificaciones de condominios sociales de mediana altura), junto con el potencial rol que puede cumplir ésta en la agenda de reactivación nacional. De esta manera, a lo largo del texto se abordan cuatro capítulos clave para su análisis.

## CAPÍTULO 1 LA CRISIS DE LA CONSTRUCCIÓN MUNDIAL Y LA OPORTUNIDAD CHILENA.

El capítulo presenta el contexto de la construcción moderna en madera a nivel mundial, identificando la importancia de este material en la agenda de déficit habitacional, productividad y cambio climático; destacando estudios que declaran que la madera tiene la capacidad de disminuir en torno al 30% los costos asociados a plazos de ejecución de un proyecto, y reducir en hasta un 84%<sup>5</sup> el impacto en el cambio climático de una construcción. También se presenta el contexto de la construcción nacional, con todos sus actores relevantes por parte del sector público y privado; identificando al sector como un motor importante de la economía, aunque con una crisis en su productividad y un alto impacto ambiental asociado a la construcción tradicional. Adicionalmente, se exponen los compromisos internacionales abordados por Chile en materia de cambio climático, revisando la agenda nacional de

<sup>4</sup> Comisión Nacional de Productividad, 2020

<sup>5</sup> Los bosques de Chile, pilar para un desarrollo inclusivo y sostenible (Banco Mundial, 2020)

carbono neutralidad al año 2050; destacando la importancia de los bosques plantados y productos en base a madera para alcanzar esta meta.

Se destacan, de los puntos antes expuestos, algunas de las principales conclusiones:

- El déficit habitacional chileno cuantitativo varía entre las 397.613 y 739.603<sup>7</sup> viviendas, según la metodología utilizada; además el sector presenta altos requerimientos energéticos de calefacción, en torno al 9% de la energía requerida por el país en un año. En este sentido, la madera tiene un gran potencial para la construcción masiva de viviendas en Chile y reducir los consumos de calefacción de las viviendas, a través de envolventes con mejores estándares de aislación térmica.
- El sector de la construcción, a nivel nacional, no ha presentado tasas de aumento en la productividad, estas incluso han sido negativas durante los últimos años. En este contexto, resulta fundamental el avanzar en procesos de construcción industrializados con mayor calidad, que hagan uso de materiales sustentables de alta calidad como la madera.
- Si bien la madera se ha posicionado en los últimos años como el material predominante para la construcción de viviendas de baja altura en el país, no se ha conseguido expandir su uso en edificaciones de mayor altura. Esto explicado, probablemente, por las deficiencias en el suministro de materiales en base a madera, mayores costos y brechas normativas asociadas a edificaciones de mayor altura.
- Existen importantes brechas respecto a los estándares de la madera aserrada para su uso interno en construcción. Así, solamente un 54% de ésta es secada en planta, un 0,25% es vendida con algún certificado de grado estructural y únicamente, un 3,4%<sup>8</sup> de la madera blanda es preservada acorde a la normativa vigente en Chile. Por esto, es fundamental avanzar en capacitar al sector productivo y de la construcción en los estándares necesarios para el uso de madera estructural en edificaciones, al igual que instrumentos que permitan tener una trazabilidad de la madera utilizada.
- El bosque chileno es responsable de contrarrestar en aproximadamente un 59%<sup>9</sup> las emisiones anuales de CO<sub>2eq</sub> de Chile. Siendo una pieza crítica

para cumplir con los compromisos de reducción de emisiones de GEI para el 2030 y la búsqueda de la neutralidad de carbono para el año 2050. Así, se hace necesario incentivar iniciativas que fomenten la captura de CO<sub>2</sub> de los bosques, y productos en base a madera que sirvan de depósito de emisiones por grandes periodos, como la edificación.

- La reactivación económica post-COVID-19 se presenta como una oportunidad de cambiar el modelo de desarrollo de la construcción nacional actual, especialmente en torno al déficit habitacional existente, hacia uno más sustentable y basado en el uso de recursos naturales locales como la madera.

## CAPÍTULO 2 LOS EFECTOS DE LOS MARCOS NORMATIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA

El segundo capítulo revisa el estado del arte, de los marcos normativos internacionales y el contexto regulatorio chileno en torno a la madera. De esta manera, se identifica que la experiencia internacional en esta materia ha avanzado principalmente en las últimas tres décadas a nivel mundial, no presentando una distancia muy alejada respecto a la realidad nacional. Además, al igual que en los casos europeos, norteamericanos y oceánicos estudiados, se identifica en el caso chileno, la necesidad de abordar actualizaciones normativas que apunten a mejorar los estándares de construcción en madera y faciliten el desarrollo de edificaciones de viviendas de más de dos pisos de altura. Así, se hace hincapié en como el avance en estos ejes, permitiría contribuir al desarrollo de proyectos más competitivos y masivos, que beneficien especialmente a sectores vulnerables como el de la vivienda social en entornos urbanos.

Así, se destacan brechas técnicas como la necesidad de actualizar normas sobre diseño estructural en madera; o la relevancia del desarrollo de proyectos pioneros que permitan sustentar la actualización de normas y generación de nuevos estándares.

Se desprende de este capítulo, como algunas de las principales conclusiones:

- La mayor parte de los cuadros normativos internacionales, hasta hace un par de décadas atrás, principalmente debido a

6 Skullestad et al., 2016

7 Cámara Chilena de la Construcción, 2017

8 INFOR, 2020

9 MMA, 2018

requerimientos asociados al riesgo de incendios y desconocimiento sobre nuevas tecnologías de construcción en madera, limitaban el uso de la madera principalmente a viviendas unifamiliares. Así, el uso de este material en entornos urbanos con mayor densidad o edificaciones de viviendas multifamiliar, de más de 2 pisos de altura, se presentaba como una barrera para el desarrollo de proyectos en madera.

- Según las experiencias internacionales revisadas, y la forma en que se dieron los mayores avances en los diferentes países, se destaca la necesidad de desarrollar proyectos emblemáticos e innovadores, que funcionen como detonantes para fomentar la construcción de edificación en madera, y especialmente de edificaciones de vivienda multifamiliar de mayor altura. Se ha comprobado que este tipo de casos, si bien pueden ser más costosos en un comienzo, promueven la posterior generación de normas, guías y estándares que permiten el desarrollo de proyectos más competitivos, a través de requerimientos prescriptivos y/o que reducen en forma considerable los requerimientos prestacionales solicitados.
- De la comparación del caso normativo chileno, con los cuadros internacionales, se destaca que éste no presenta condicionantes explícitas que limiten el desarrollo de edificaciones en madera, asociado a una política pública que no hace distinción entre materiales. Condición disímil a la realidad previa de muchos países desarrollados, los que en su mayoría sí determinaban exigencias específicas para la madera en torno a requerimientos contra incendio y alturas máximas.
- Se identifica que el caso chileno debe avanzar en reducir brechas normativas que desincentiven la elección de madera por parte de desarrolladores de proyectos. Así, algunos puntos que se hace necesario revisar son, requerimientos normativos prestacionales que no toman en consideración las particularidades de desempeño y/o beneficios de la madera, como los asociados a estabilidad estructural; requerimientos de ensayos obligatorios para soluciones de madera multicapas, que no permiten la realización de asimilaciones técnicas de soluciones similares o no entreguen métodos de cálculo alternativo, y que signifiquen mayores costos frente a otras soluciones constructivas; falta de normativas y/o estándares nacionales que consideren la externalidades positivas de materiales con bajo impacto ambiental y requieran compensaciones a materiales contaminantes; entre otros.

- Por otra parte, se identifica que los cuadros normativos internacionales respecto al fuego, con relación a edificaciones y en especial el caso de la madera, tienden a ser más sofisticados que los chilenos. En este escenario se requiere avanzar en la actualización de requerimientos normativos contra incendio chilenos, para el general de los materiales, de modo que se pueda entregar certezas y seguridad respecto al desarrollo de edificios de madera en media y gran altura.

## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA EN CHILE.

Se revisa el análisis de costos económicos de la construcción de edificaciones en madera, en relación con otras materialidades constructivas tradicionales, realizado por el Centro UC de Innovación en Madera (CIM UC) y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). De esta revisión y análisis posterior de emisiones de  $CO_{2eq}$  de distintos materiales, se concluye que, si bien los costos de construcción pueden ser mayores para la madera, al sumar los gastos operacionales y cuantificar las externalidades ambientales, la madera es competitiva incluso antes de la realización de actualizaciones normativas e implementación de políticas públicas que ayuden a su desarrollo en forma más directa. Es más, este análisis identifica que la eventual incorporación de instrumentos que valoricen externalidades como las emisiones de  $CO_{2eq}$  en los materiales de construcción, según acuerdo de París suscrito por Chile, podría significar que una edificación de seis pisos de madera llegase a ser hasta un 14% más económico que su par en hormigón armado.

Algunas de las principales conclusiones de este capítulo son:

- La madera es un material altamente competitivo en costo, para edificaciones de 1 a 2 pisos, tendiendo a ser una alternativa más económica frente a otras materialidades como la albañilería. Lo que explica su uso mayoritario en viviendas de baja altura en buena parte de Chile.
- Al considerar exclusivamente el costo directo de construcción de edificaciones en madera de media altura, se identifica que estas tienden a ser levemente más costosas que sus pares en hormigón. Esto se acentúa en edificaciones de 5 y 6 pisos, donde un salto en las tecnologías de conectores estructurales se traduce en mayores costos de la obra gruesa del edificio. Así, de no mediar modificaciones normativas que permitan estructuras de maderas más flexibles,

distintas a las capacidades entregadas por materiales como el hormigón, los edificios de madera de 3 y 4 pisos de alturas, con sistemas de anclaje más simples, presentan un mayor potencial de competencia en costos frente a edificios construidos en otras materialidades.

- Las edificaciones de vivienda en madera pueden llegar a reducir en hasta un 65% sus costos de calefacción, considerando climas templados en la zona central interior de Chile, en contraste con construcciones de hormigón. Esto debido a un mejor desempeño térmico de la envolvente, considerando los requerimientos térmicos mínimos normativos de soluciones constructivas tradicionales.
- Las construcciones de madera, de considerar estándares de construcción adecuados, no son necesariamente más económicas que edificaciones construidas en otras materialidades. Sin embargo, la facilidad de incorporar a la madera en procesos de construcción altamente industrializado permite generar importantes ahorros en plazos de ejecución en obra y los consiguientes costos asociados.
- En el caso de un edificio de vivienda de 6 pisos de altura, su construcción con madera es un 5% más alta en costo directo, respecto a materiales como el hormigón armado; Sin embargo, al incorporar variables como los costos de operación y valorización de emisiones de CO<sub>2eq</sub> asociadas, por un periodo de 60 años, los costos pueden ser un 9% más económicos.

## CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE BARRERAS Y OPORTUNIDADES DE CARA A UNA HOJA DE RUTA O PLAN DE ACCIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN MADERA.

Finalmente, en el capítulo 4, apoyado por un trabajo de encuesta masiva, revisión de casos de estudio nacionales y entrevistas a actores claves del sector construcción en madera, se realiza un levantamiento de brechas y oportunidades del sector construcción en madera. De esta manera, se consigue identificar factores relevantes como la percepción de un desconocimiento sobre los beneficios de la construcción en madera, la falta de experiencia de empresas constructoras y profesionales, o la visión generalizada de una brecha cultural como principal barrera para el avance de la construcción en madera en Chile. También se destaca el trabajo realizado por el Ministerio de Vivienda y

urbanismo (MINVU) y el Ministerio de Medio Ambientes (MMA), quienes se presentan como actores de suma relevancia en el desarrollo de una agenda en torno a la construcción en madera.

Algunas de las principales conclusiones y recomendaciones, hacia una hoja de ruta para la construcción en madera, consideran:

- Se identifica la necesidad de generar una mesa de trabajo transversal, entre el sector público, privado y la academia, en torno al desarrollo de una agenda común que promueva la construcción en madera.
- Se destaca el avance realizado por el MINVU en la agenda de construcción en madera, y su capacidad de aglutinar organismos relevantes, siendo un actor relevante para liderar una eventual hoja de ruta o plan de acción, en torno a la construcción sustentable en madera.
- La ambiciosa agenda chilena, en torno a la neutralidad de carbono, impulsada por el MMA, presentando una oportunidad clave para el fomento de construcciones con bajas emisiones, como es el caso de edificaciones construidas en madera.
- Se recomienda trabajar en 5 ejes clave, a tener presente para la confección de una eventual hoja de ruta o plan de acción, que fomente el desarrollo de una construcción de calidad y sustentable en madera; (1) propiciar el desarrollo de proyectos urbanos y edificios detonantes, tales como la realización de llamados de subsidio público de viviendas sociales e iniciativas de I+D, enfocados en construcciones sustentables en madera; (2) avanzar en una agenda de actualización regulatoria y normativa, considerando la revisión de normas como las NCh 1198 y NCh 433, facilitando y flexibilizando los diseños estructurales en madera; (3) fomentar y potenciar la construcción industrializada en madera de alto valor, difundiendo el uso del rotulado en la madera de construcción y fomentando el desarrollo de pymes vinculadas a productos en base a madera; (4) avanzar en estándares de sustentabilidad en la construcción, considerando principios de bioeconomía, como incorporación de instrumentos verdes que graben las emisiones de CO<sub>2eq</sub> en la construcción, regulación de residuos y análisis de ciclo de vida; (5) Apoyar programas de incentivo a la reactivación económica, que fomente a través de una agenda corta el desarrollo de iniciativas “verdes” de viviendas en madera.

## 01.

## LA CRISIS DE LA CONSTRUCCIÓN MUNDIAL Y LA OPORTUNIDAD CHILENA

## RESUMEN CAPITULO

**El planeta está en una encrucijada nunca vista en nuestra historia, enfrentando una crisis social y climática, agravada por la crisis sanitaria y económica producida por el COVID-19 durante el año 2020.** La población mundial alcanza niveles poblacionales sin precedentes, demorando milenios en llegar a los 1.000 millones de habitantes en el siglo XIX y avanzando en poco más de un siglo a los más de 7.700 millones de habitantes de la actualidad, población que seguirá creciendo a altas tasas durante los próximos 30 años y que demanda como nunca en la historia una vivienda digna para vivir. Esto ha significado que nuestro actual modelo de construcción de viviendas, basado en métodos artesanales y materiales con altas emisiones, resulte insuficiente y se haga urgente migrar a sistemas de construcción altamente industrializados basados en recursos naturales amigables con el medio ambiente. En este escenario Chile cuenta con una oportunidad que pocos países tienen, siendo una potencia en recursos forestales renovables, lo que le permite avanzar en un modelo basado en una bioeconomía que potencie el desarrollo sustentable del país de cara a las próximas décadas.

**Chile ha sido un ejemplo internacional en la reducción del déficit habitacional cuantitativo, sin embargo, tiene el gran desafío de seguir avanzando en la reducción del déficit cualitativo de viviendas, y la madera es una opción para alcanzar esta meta en la próxima década.** El déficit habitacional chileno no ha podido ser cubierto del todo, es más, gran parte del parque de viviendas requiere ser intervenida o remplazada con el fin de alcanzar niveles de habitabilidad adecuados. En este escenario, un material local y accesible como la madera, con grandes propiedades para su uso en construcción, bajo impacto ambiental, excelente desempeño en confort

y eficiencia energética, fácilmente industrializable y reutilizable, entre otros, resulta clave. Es más, estas grandes cualidades han significado que la madera sea también una respuesta a este problema en muchos países desarrollados y se esté experimentando un renacer del uso de este material en todo el mundo.

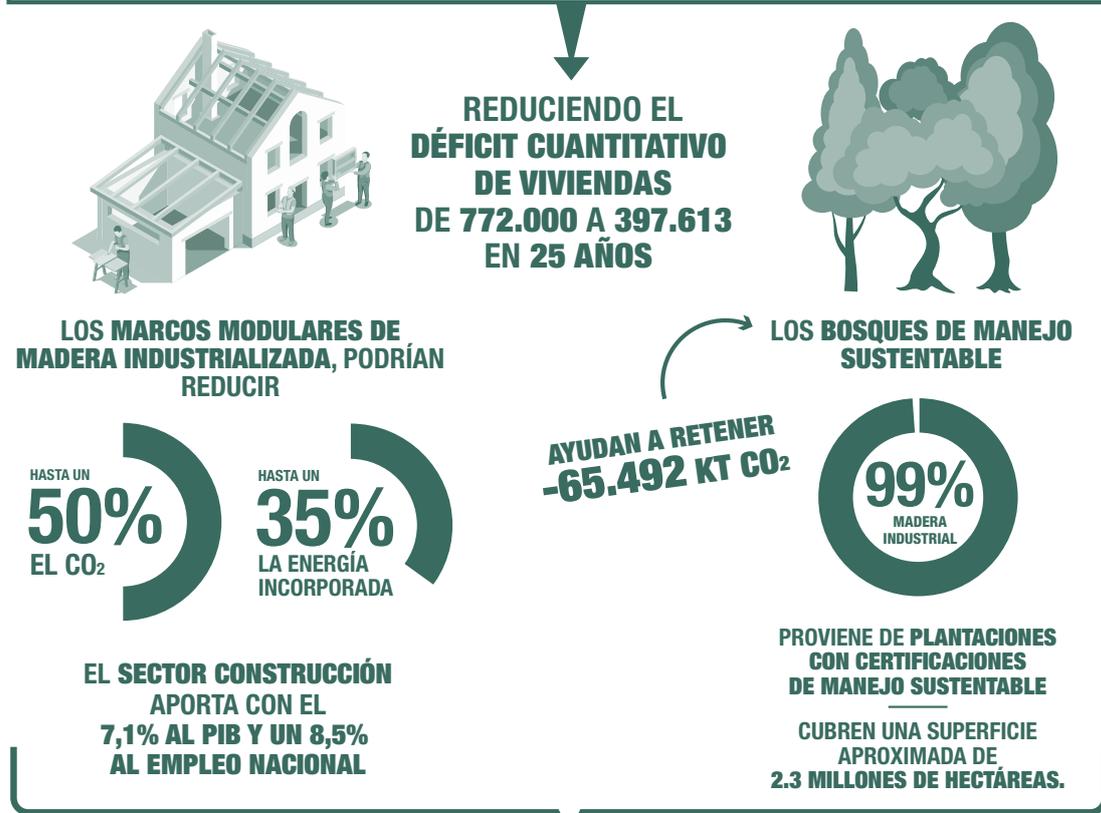
**De igual forma, la meta de la neutralidad de carbono para el año 2050 declarada por Chile, solo es posible a través de los recursos forestales nacionales y muy especialmente la madera proveniente de bosques plantados.** Así, es importante destacar que se espera que a lo menos un 50% de las emisiones de CO<sub>2eq</sub> del país sean contrarrestadas por los árboles en crecimiento, siendo después capturadas por productos en base a madera. Pero es importante que esta madera sea utilizada en productos de alto valor que permitan largos ciclos hasta que sus elementos se degraden y vuelvan a liberar el CO<sub>2</sub> a la atmósfera; siendo los edificios de madera, debido a sus periodos de vida de décadas e incluso siglos, una de las mejores alternativas para combatir las emisiones de cambio climático

**Chile debe avanzar a un modelo de políticas públicas basado en el uso de los recursos forestales en forma sustentable y el fomento de construcciones con bajas emisiones de carbono, a través de procesos de construcción altamente eficientes y amigables con el medio ambiente.** Chile es una potencia en la producción forestal internacional, sin embargo, se hace necesario avanzar en el mercado interno de la madera, desarrollando iniciativas orientadas a generar productos de mayor valor agregado y una demanda interna orientada a procesos de construcción altamente industrializada y que se traduzcan en edificaciones de mayor estándar y viabilidad económica.

**HOY** ————— **2030**



**SÍ CHILE OCUPA SU RIQUEZA EN PRODUCTOS FORESTALES PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA, PODRÍA SEGUIR SIENDO UN EJEMPLO PARA EL MUNDO**



**NOS ACERCA A LA META DE CARBONO NEUTRALIDAD IMPUESTA PARA EL 2050**



Figura 1: Vista proyecto Smartcity Quayside neighborhood development in Toronto, Sidewalklab. Fuente: <https://www.sidewalktoronto.ca/>

## INTRODUCCIÓN

El presente capítulo aborda los desafíos de cara a las próximas décadas, en el mundo y en Chile, producto del aumento de la población, las demandas sociales de vivienda y la crisis del cambio climático. Se presentan las principales iniciativas internacionales, como los “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (SDG), al igual que los atributos de la madera para enfrentar estos desafíos a nivel mundial y local.

Se profundiza en las condiciones del sector construcción chileno, presentando los desafíos de déficit habitacional nacional, y mostrando cómo este ha ido evolucionando en torno al uso de la madera en las últimas décadas. Así mismo se analizan las condiciones de la construcción en madera respecto a otras materialidades, desatacando sus atributos como una solución para afrontar el déficit habitacional cuantitativo y cualitativo del país.

Por otra parte, se abordan los compromisos nacionales frente al cambio climático y las acciones en torno al sector forestal y construcción sustentable. Entendiendo a la madera y su uso en el sector construcción como una oportunidad de avanzar en un nuevo modelo de desarrollo sustentable para la edificación masiva de viviendas sociales. Destacando la necesidad de fomentar la densificación de las ciudades a escala humana, con edificaciones de mediana altura en estructuras de madera, como una forma de atender la problemática de la vivienda social.

Por último, se expone el potencial de Chile como país forestal, de cara a la masificación de edificaciones en madera y a los compromisos nacionales contraídos para combatir el cambio climático. Caracterizando el mercado local de la madera y los desafíos técnicos de cara a su desarrollo sustentable en torno a la construcción masiva de viviendas.

### 1.1.

## EL RENACER DE LA MADERA EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

**El crecimiento exponencial de la población mundial y el cambio climático impone dos importantes retos a las naciones para un desarrollo sustentable.**

Respecto al crecimiento de la población mundial, se espera que éste aumente de los 7.700 millones de personas que hay actualmente en el año 2020, a cerca de 8.500 millones en 2030 y a 9.700 millones para el 2050<sup>10</sup>. Esto conlleva un incremento en la demanda

por nuevos recursos y, en especial, de una vivienda digna (ONU, 2019). En cuanto a la crisis climática, el acentuamiento de sus efectos en diferentes regiones del planeta, especialmente con el aumento en la frecuencia de eventos hidrometeorológicos, ha puesto en evidencia la necesidad de las naciones de actuar de manera más eficaz a fin de intentar mitigar dichos efectos y, a su vez, adaptarse a ellos.

<sup>10</sup> Se espera este número incluso se incremente debido al aumento de desastres climáticos y crisis como la pandemia de COVID 19 del año 2020.

En este contexto, la prioridad de los organismos internacionales es que los distintos países puedan asegurar un desarrollo equitativo y vidas más dignas a sus ciudadanos. Es así como iniciativas que busquen un desarrollo más sostenible requieren un respaldo cada vez más transversal, con el objetivo de generar un cambio de paradigma que permita hacer frente a los desafíos de las próximas décadas. En esta línea, planes como los 17 “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (SDG) de las Naciones Unidas han establecido metas clave que deben ser abordadas por todas las naciones con el fin de alcanzar un desarrollo más sostenible antes del año 2030. Entre estas, sobresalen los retos asociados a la mitigación del cambio climático<sup>11</sup> y la necesidad de vivienda para una población en crecimiento.

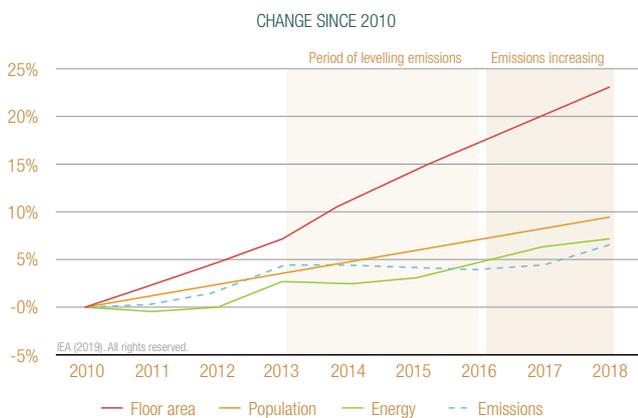


Figura 2: Cambios en la superficie, población, uso de energía residencial y emisiones relacionadas con la energía. Fuente: derivado de IEA (2019a), World Energy Statistics and Balances 2019, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics) and IEA (2019b) Energy Technology Perspectives, buildings model, [www.iea.org/buildings](http://www.iea.org/buildings) P.9.

Según el Banco Mundial (2016), para el 2030 se requerirán 300 millones de viviendas y un 80% de estas se ubicarían en centros urbanos. De acuerdo con las Naciones Unidas, y lo declarado en el objetivo número once de los SDG, aproximadamente 3.500 millones de personas (la mitad de la humanidad) vive hoy en ciudades y se espera que para el año 2030 este número llegue a los 5.000 millones (United Nations, 2016). El crecimiento de los asentamientos urbanos se concentrará principalmente en países en vías de desarrollo, con menores recursos, e incrementará la presión actual por los déficits de vivienda<sup>12</sup>.

La manera en que se afronte este desafío será de vital importancia frente a las metas de reducción de emisiones de CO<sub>2eq</sub> asociadas al cambio climático. En efecto, en la actualidad, el sector de la construcción representa el 36% del uso final de la energía y el 39% de CO<sub>2eq</sub> declarados durante el año 2018 en el mundo. Es más, el 11% de estas emisiones se asocia exclusivamente a la energía involucrada en la producción de materiales de construcción, como el acero, cemento y vidrio, mientras que las emisiones restantes corresponden principalmente a las emisiones asociadas a la operación. Por otra parte, la tendencia muestra que el sector, entre los años 2017 y 2018, aumentó en un 2% sus emisiones y en un 1% la demanda final de energía a nivel mundial. En cuanto a la última década, el uso de energía por parte del sector ha aumentado en un 7% entre el 2010 y 2018 (IEA, 2019c). Todo lo anterior, resulta especialmente importante en un contexto de crisis económica producto de la pandemia del virus COVID-19 y los estallidos sociales ocurridos en diferentes países. Sin embargo, al mismo tiempo se presenta una oportunidad para avanzar hacia un modelo de desarrollo sustentable y que abandone las actividades que nos han llevado a la crisis actual.

### Materiales como el hormigón y el acero tienen un impacto nocivo considerable en el medioambiente.

Estos materiales fueron utilizados en forma masiva desde la revolución industrial, a fines del siglo XIX, y marcan un hito en el inicio de las emisiones humanas masivas de gases de efecto invernadero que afectan al medioambiente. En concreto, para su producción pueden tener asociadas emisiones de hasta 0,37 kgCO<sub>2eq</sub> y 1,26 kgCO<sub>2eq</sub>, respectivamente, más altas que las emisiones asociadas a la producción de madera aserrada (Quartz, 2020)<sup>13</sup>.

La forma en que se conciben las nuevas viviendas de las próximas décadas tendrá un impacto directo en si se logra o no cubrir los déficits habitacionales en el mundo y reducir el impacto del sector en el cambio climático. Es imperativo eliminar prácticas y sistemas que afecten a nuestras sociedades y al planeta. Así, nuevas tendencias de construcción han puesto nuevamente materiales como la madera en relevancia, por sobre otros materiales comunes de

11 Chile es altamente vulnerable a los fenómenos de cambio climático debido a que; posee un borde costero de baja altura, zonas áridas, semiáridas y de bosques, susceptibilidad a desastres provocados por eventos naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; ecosistemas montañosos como las cordilleras de la Costa y de los Andes; además de una exposición de sus principales actividades socioeconómicas frente a eventos hidrometeorológicos.

12 Se destaca que estos déficits no solo abarcan condiciones cuantitativas, sino que también cualitativas. Según datos de la CChC, se considera un déficit al 2019 en torno a las 739.603 unidades, de las cuales un 58% corresponde a nueva vivienda y un 42% al remplazo de unidades deterioradas y/u obsoletas.

13 A nivel país, la extracción de áridos tiene una componente ilegal fuerte la cual llega a una superficie de extracción de 1.002 hectáreas (Ministerio de Bienes Nacionales, 2019), estas malas prácticas provocan daños al medioambiente, alterando cauces de ríos, provocando inundaciones, generando pérdida de biodiversidad y posibles daños a la infraestructura como socavones de puentes u otras construcciones.

construcción. La revalorización de la madera se debe a su condición de recurso natural orgánico, con bajas emisiones de CO<sub>2eq</sub> asociadas y a sus propiedades de uso, como su capacidad de ser reutilizada y fácilmente reciclada, su liviandad, resistencia estructural, aislamiento, su capacidad de ser maquinada en seco, su uso en sistemas industrializados, generar menores residuos, entre otras. Todas estas características la vuelven un material eficiente para edificaciones más sustentables y amigables con su entorno.

**El uso de la madera es parte fundamental de un modelo de bioeconomía<sup>14</sup> que haga posible un cambio**

**de paradigma conforme a las metas planteadas por los SDG o tratados internacionales como el acuerdo de París de 2015.** De hecho, según Leskine (2018), los productos elaborados en base a madera presentan en promedio, con respecto a otros materiales tradicionales, una reducción de 1,2 kg/C por cada kilogramo de carbono contenido. De esta manera, un plan para el futuro que considera el desarrollo de edificaciones en madera en forma masiva, sustituyendo materiales más contaminantes, podría devenir en un modelo que contribuya a la reducción del cambio climático a través del almacenaje de CO<sub>2</sub> (Organchi, 2020).

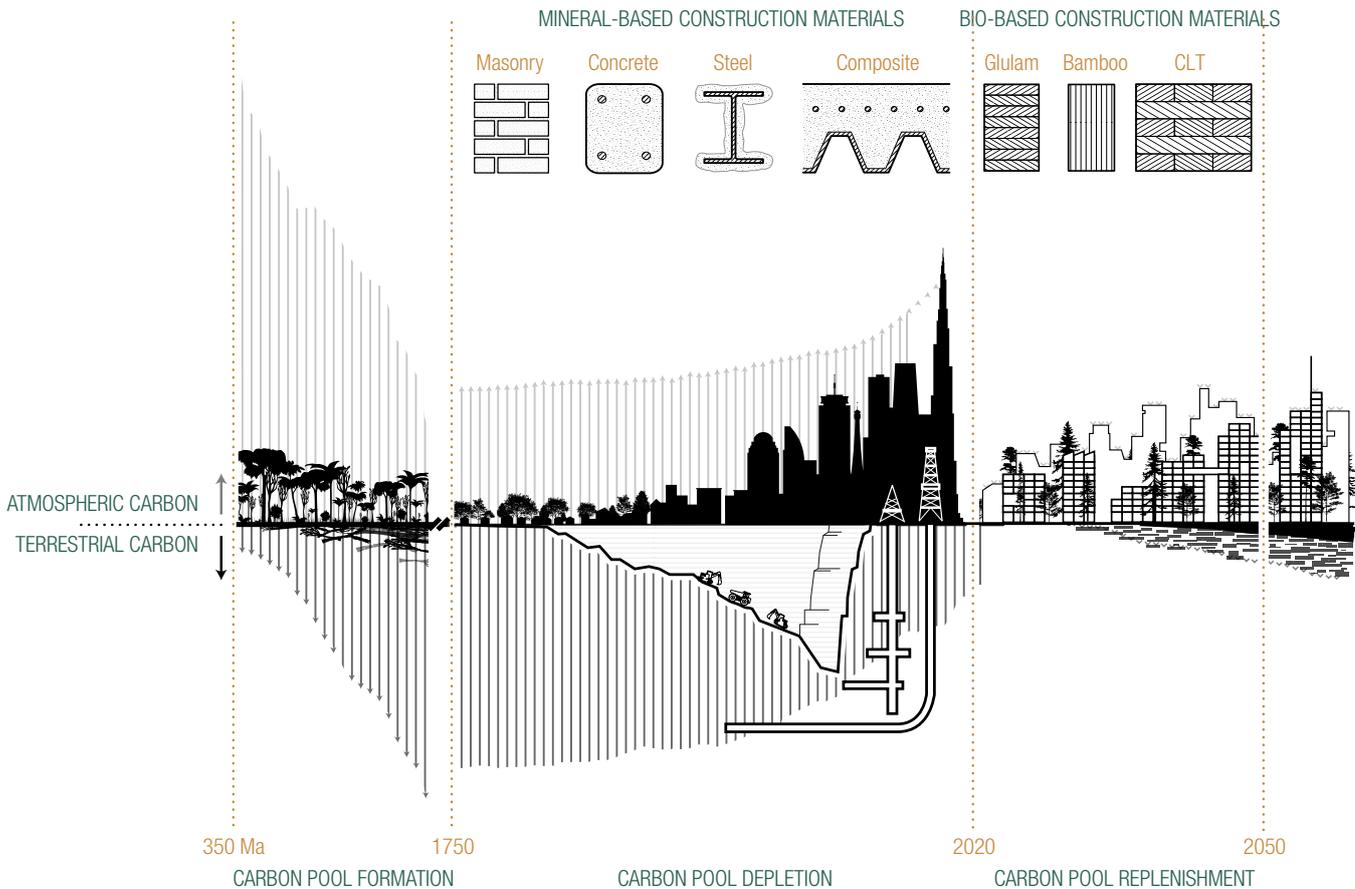


Figura 3: Tres escenarios en relación con el carbono en la atmosfera capturados en la tierra. A la izquierda, el proceso natural de millones de años de captura de carbono en la tierra; al centro, la masiva liberación de carbono a la atmósfera por la industria humana en un escenario de construcción en materiales altamente contaminantes como el acero y hormigón; a la derecha, un escenario en el cual la humanidad se vuelca a bio-productos que permiten almacenar el carbono en la atmosfera y reducir su contenido a largo plazo. Fuente: Churkina et al, 2020.

## LOS ATRIBUTOS DE LA MADERA

**Respecto a las cualidades de la madera, se destaca, en primer lugar, por su funcionalidad y su impacto positivo en el medioambiente, lo que se evidencia durante todo su ciclo de vida.** La madera de construcción, proveniente de bosques que consideren programas de manejo sustentable de

protección y reforestación, favorecen la captura de CO<sub>2</sub> y ayudan a frenar el cambio climático. En concreto, un árbol durante su vida es capaz de utilizar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera en su proceso de crecimiento, fijándolo en su interior y sustrato a medida que su estructura se desarrolla. Este proceso se ve reducido en la medida en que el árbol alcanza la madurez, momento en el cual, a través de un proceso de degradación natural,

<sup>14</sup> La bioeconomía es la producción y el uso basados en el conocimiento de los recursos biológicos para proporcionar productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos dentro del marco de un sistema económico sostenible.

puede empezar a liberar más CO<sub>2</sub> del que absorbe (Ramage, 2017). Por esta razón, al utilizar la madera de un árbol en la construcción de una edificación, se puede mantener el CO<sub>2</sub> capturado en el edificio durante su vida útil. Incluso, luego de décadas y una vez que el edificio sea demolido, la madera podría potencialmente ser reutilizada en otras edificaciones, productos y procesos antes de eventualmente liberar el CO<sub>2</sub> capturado nuevamente a la atmósfera. En síntesis, a través del ciclo de vida de la madera, el árbol es capaz de capturar CO<sub>2</sub> durante su crecimiento, para luego almacenarlo en edificaciones, y así dar paso a que nuevos bosques plantados en crecimiento sigan capturando CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

**La elaboración de productos en base a madera, en lugar de utilizar materiales como el hormigón y el acero, puede tener un impacto en la reducción de CO<sub>2</sub>eq y uso de combustibles fósiles incluso mayor que el de los árboles en crecimiento (Oliver et al., 2016).** De esta forma, la madera utilizada en una edificación puede potencialmente ser carbono neutral, ya que el CO<sub>2</sub> capturado durante su crecimiento puede contrarrestar el CO<sub>2</sub>eq emitido durante su procesamiento en una edificación u otra aplicación. Este ciclo puede llegar hasta los 500 años de duración en un ecosistema urbano (Ramage, 2017).

**En segundo lugar, cabe destacar también el gran potencial económico y social de la madera.** Los productos forestales entregan una alta gama de beneficios económicos y sociales a través de su comercialización, impuestos asociados y generación de puestos de trabajo. Además, el desarrollo de una industria en torno a la elaboración de productos forestales, como los aplicados al sector construcción, también entrega incentivos para que los dueños de bosques inviertan en un manejo más sustentable de sus recursos forestales, realizando actividades como plantaciones, manejo, mantenimiento y protección ante incendios (Leskinen, 2018).

**Otros de los principales atributos de la madera es su resistencia paralela a la veta, similar a la del hormigón reforzado, sumada a una baja densidad, con un excelente desempeño como aislante térmico, en comparación con otros materiales estructurales.** Esto la hace una alternativa más liviana e ideal para ser usada en procesos de construcción industrializados. Esta posibilidad de la madera permite desarrollar proyectos con una mayor productividad, reducir los desperdicios del material, acortar los tiempos de construcción en sitio, disminuir el consumo de energía con el uso de sistemas de preensamblado y emisiones de CO<sub>2</sub>eq asociadas (AIA et al., 2015).

**Sumado a lo anterior, estudios presentados por académicos de la universidad de Cambridge plantean que una edificación en madera es**

**capaz de reducir entre un 34 y 84% su impacto en el cambio climático, respecto a un edificio de hormigón armado (Skullestad et al., 2016).** A su vez, otros estudios de sistemas constructivos en el Reino Unido, en base a marcos modulares de madera panelizada fuera del sitio de construcción, han demostrado que se pueden reducir en hasta un 50% y 35% el CO<sub>2</sub> y energía incorporada, en comparación con los métodos y materiales de construcción de viviendas tradicionales (AIA et al., 2015). Adicionalmente, las cualidades de aislamiento térmico de la madera han demostrado que permiten reducir los requerimientos energéticos para calefacción y las emisiones que pueden estar vinculadas a la energía consumida para satisfacer dichos requerimientos.

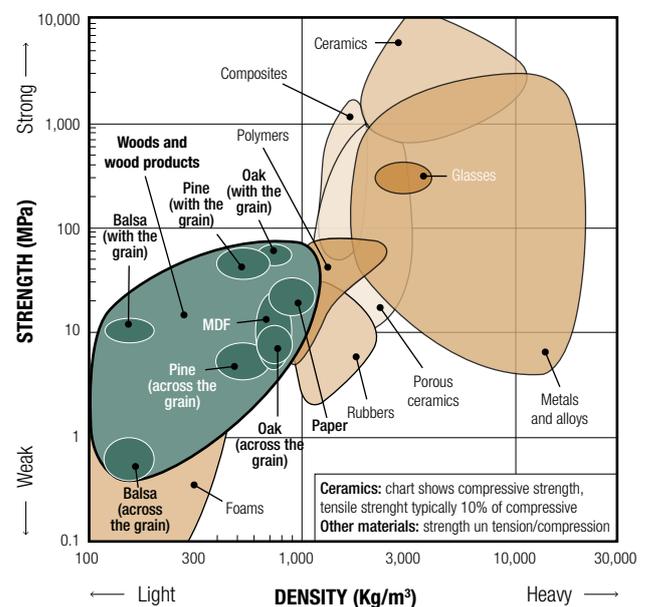


Figura 4: Comparación resistencia y densidad de diferentes materiales de construcción, presentando la ventaja de la madera al contar con una alta resistencia y baja densidad. Fuente: Department of Engineering, Cambridge University, 2020, [http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive\\_charts/strength-density/basic.html](http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/strength-density/basic.html)

## LA MADERA EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

**Respecto al uso de este material en el contexto internacional, la madera de construcción es uno de los productos forestales utilizados ampliamente en todo el mundo y está presente en los principales mercados del planeta.** Así, no es de extrañarse que cerca del 70% de las casas en países desarrollados utilicen madera (Hu Q., D. B. 2015). Esto varía según el contexto; así, el 20% de las casas nuevas en el Reino Unido y hasta el 70% en Escocia utilizan estructuras de madera (NHBC, 2012), mientras que en países como Estados Unidos este porcentaje puede estar sobre el 85% para casas y edificios de viviendas (US Census Bureau, 2018).



**En la última década se ha dado una carrera por construir edificios de madera cada vez más altos, con el fin de masificar este material como una alternativa para la densificación de ciudades.** Esto se debe no solo a los beneficios antes descritos sino también a la necesidad de hacer frente a los desafíos de generar gran número de viviendas en forma accesible a través de edificaciones de mayor altura (Green & Karsh, 2012). Así, desde el año 2008 a la fecha se han construido más de 35 edificios de madera entre 7 y 18 pisos de altura (Wigand, 2019). Es en el contexto anterior que diferentes países europeos y norteamericanos han promovido el uso de la madera como un material más sustentable en contraste a otras alternativas, como el hormigón y el acero, y especialmente en edificaciones en altura como las mencionadas (Bowyer, 2016; Wigand, 2019).

**Es también importante destacar que la crisis mundial y la recesión económica producto de la pandemia de COVID-19 pueden propiciar aún más el uso de la madera.** En efecto, nuevas iniciativas han planteado esta crisis como una oportunidad para llevar a cabo una reactivación económica limpia y sustentable, la cual permite generar empleos en la industria de la construcción y el ámbito forestal, además de fomentar la promoción de una agenda de uso de recursos naturales, como los forestales (Banco Mundial, 2020) y su aplicación en edificación sustentable en madera, se enmarca de forma atractiva.

## EL ROL DE LA INDUSTRIALIZACIÓN Y LAS VENTAJAS DE LA MADERA

En los últimos años, muchos países han mostrado un interés al alza en la industrialización como estrategia de producción “más limpia” para satisfacer su enorme demanda de construcción, por ejemplo, de viviendas e infraestructura (Lu et al., 2018). Grandes desafíos causados por la

creciente demanda de construcción, las fuertes presiones de los costos y los cada vez más agudos problemas ambientales, han atraído una gran atención a la prefabricación en la industria de la construcción mundial (Lu et al., 2018). La construcción prefabricada o industrializada, se define como la práctica de producir componentes de construcción en una fábrica fuera del sitio de destino, para luego transportar los componentes completos o semicomponentes a las obras de construcción definitivas, y finalmente ensamblar estos componentes para crear edificaciones terminadas, (Tam, Tam, Zeng, & Ng, 2007). Así, este sistema ha atraído la atención mundial por su importante papel en la creación de urbanizaciones más sostenibles (Hong et al., 2018).

**La industrialización y sus procesos han presentado experiencias exitosas en diversas partes del mundo como Japón, EE. UU. y Europa, dónde se han generado ahorros de hasta el 30% en los costos y tiempos de ejecución, gracias a la introducción de técnicas industrializadas en las que edificaciones se construyen en fábricas utilizando componentes estandarizados (Howes, 2002).** En general con la industrialización se tiene una reducción de partidas importante, a modo de referencia, la reducción de partidas como los andamiajes pueden ser reducidas hasta en un 100%; ya que, dependiendo del nivel de terminación, pueden ser no requeridos. En este contexto, estudios han demostrado que se pueden reducir más un 50% de los costos asociados a materiales, en un 30% los costos de mano de obra en terreno, y hasta un 100% de ahorro en obras adicionales asociadas a la construcción tradicional, (Tam et al., 2015).

La madera tiene un beneficio inherente que es su bajo peso, resistencia y capacidad de ser maquinado en seco; condiciones que la convierten en un material idóneo para su uso en estructuras industrializadas y posterior montaje en obra. Estas cualidades se traducen en

beneficios, comparativamente con otras materialidades tradicionales en la construcción como el hormigón, en fundaciones de menor tamaño y requerimientos de transporte menores para el desplazamiento de elementos industrializados, contribuyendo en forma adicional a la reducción de los tiempos de construcción (Chapple, 2011). De esta forma, algunos estudios han cuantificado esta reducción en hasta un 25 % en los plazos de construcción tradicionales (AIA et al., 2015).

**Los hallazgos sugieren que el uso de los sistemas de construcción industrializada para edificios residenciales de baja altura ofrece un tiempo de construcción más corto respecto a proyectos tradicionales, reduciendo los costos directos y financieros de las obras en alrededor de un 10% (Bari et al., 2012).** La reducción en los tiempos de ejecución de una obra en terreno genera que, el periodo que hay entre la inversión inicial y el retorno económico se acorte sustancialmente, reduciendo el riesgo inmobiliario. Lo anterior prevé que se reduzca el tiempo de apalancamiento, consiguiendo un retorno más rápido y evitando la exposición a cambios sociales, políticos, económicos, ambientales, etc. Así, los sistemas de construcción industrializado, si bien pueden requerir un mayor tiempo en su diseño y planificación, permiten generar programas comprimidos de producción que resultan de la modificación de la secuencia del flujo de trabajo; por ejemplo, permitiendo el montaje de componentes fuera de la obra mientras se vierten los cimientos en la obra; o montando componentes modulares fuera de la obra, mientras se tramitan los permisos necesarios para su ejecución en terreno (Lu et al., 2018).

**Los procesos de construcción industrializada, con menores requerimientos de energía, reducción de las emisiones contaminantes como Gases de Efecto Invernadero (GEI), y el cuidado del medioambiente, presentan una alternativa más limpia (Wu et al., 2019); a la vez que entrega mejores condiciones laborales y de seguridad, para las personas involucradas en los diferentes procesos de construcción (Lu et al., 2018).** Estudios señalan que, la generación de desechos puede reducirse en hasta un 84,7% (Tam et al., 2007)<sup>15</sup>, disminuyendo el agotamiento de los recursos en un 35,82%, y en un 3,47% los daños en el ecosistema, (Cao et al., 2015); de igual forma puede contribuir con una reducción de la energía requerida para procesos de reciclaje de entre un 16% a un 24%, y generar ahorros de energía en el ciclo total del proceso de entre un 4% y 14% (Hong et al., 2016).

**Es importante destacar como los métodos tradicionales de construcción, a diferencia de los procesos industrializados, generan una gran cantidad de residuos, principalmente en forma de escombros.** Así, en la actualidad estos residuos son generalmente eliminados en el proceso de construcción, pero podrían ser valorizados integrándolos nuevamente a una cadena productiva. En este sentido la madera es un material, con un alto potencial para ser valorizado permitiendo generar modelos que permitan avanzar en un modelo orientado a la bioeconomía<sup>16</sup>.

**Que el sector de la construcción adopte métodos de producción en masa, con mayores niveles de estandarización y de trabajo en fábricas, podría llevar a un nivel de cinco a diez veces mayor productividad (McKinsey, 2017).** En cualquier proyecto de edificación, hay una serie de problemas relacionados con los métodos tradicionales de construcción in situ, como una baja productividad, grandes volúmenes de desechos, una pesada carga ambiental en el entorno y una escasa seguridad en las faenas, (Huo & Yu, 2017; Teng et al., 2017). En este sentido, el desarrollo de una metodología de construcción industrializada, se ha presentado como una respuesta efectiva ante distintas necesidades durante nuestra historia; como la necesidad de viviendas rápidas en procesos de colonización; las altas demandas del proceso de reconversión asociados a la revolución industrial; requerimientos ante un rápido desarrollo comercial de algunas naciones, como los experimentados durante el periodo de posguerra; soluciones de respuesta rápida ante desastres provocados por eventos naturales como terremotos o inundaciones; y en las últimas décadas, un aumento importantes en los costos laborales asociados a una optimización del uso de la mano de obra y su productividad, junto a una mayor preocupación por la salud y seguridad de los trabajadores, etc. (Gibb, 1999).

**Los sistemas industrializados permiten mejorar la calidad en forma considerable, respecto a proyectos ejecutados en obra.** Esto gracias a mejoras en los procesos de trabajo, mayor uso de herramientas de ingeniería, aplicación de programas computarizados, uso de maquinarias automatizadas, mano de obra especializada en procesos repetitivos, posibilidad de uso de materiales de alta calidad, y condiciones de trabajo de mayor estándar al presente en operaciones en terreno (McKinsey, 2017; Rostami et al., 2015; Tam et al., 2007) (Kamali & Hewage, 2016). De igual manera, estudios muestran que la fabricación

<sup>15</sup> En el caso chileno, según estudio realizado por INGEMAB a solicitud del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 9 regiones del país no cuentan con infraestructura operativa autorizada, para Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

<sup>16</sup> Esto se condice con la agenda chilena en torno a la generación de capacidades que permitan avanzar hacia una economía circular en el país, con metas que buscan que un 70% del volumen de los RCD sea valorizados para el año 2035, como se plantea en la Hoja de Ruta RCD Economía Circular 2035, instancia impulsada por MINVU, MMA, MOP, Construye 2025 y CORFO (Construye2025, 2020).

de los componentes industrializados en ambientes controlados, ayudan a mejorar la supervisión y control de la calidad (Bari et al., 2012).

**Para conseguir un incremento en la productividad, precisión y calidad en la construcción, es fundamental avanzar en procesos de industrialización; siendo la madera pieza clave en la obtención de estos beneficios y de cara a la construcción del futuro.** De igual forma, el uso de herramientas paramétricas, permitirán la incorporación, cada vez más automática, de productos industrializados en los proyectos de construcción. La experiencia internacional ha demostrado el éxito de los sistemas de construcción industrializados en muchos países desarrollados. Así, el nivel de industrialización en Alemania, los Países Bajos, Dinamarca y Suecia ha alcanzado niveles en torno a un 31%, 40%, 43% y 80% de la construcción respectivamente (Cheng et al., 2017).

**Para avanzar hacia la masificación de proyectos industrializados, con sus beneficios y el uso de materiales sustentables como la madera, es necesario que proyectos pioneros aborden primero las múltiples brechas tecnológicas y normativas.** Así, si bien estos proyectos iniciales no siempre alcanzan su máximo potencial, como plazos y costos, si abren camino para que iniciativas posteriores consigan los beneficios descritos anteriormente. De esta manera, se pueden desatacar algunos proyectos, que luego de experiencias previas, han conseguido alcanzar parte del potencial asociado a la construcción con madera industrializadas.

- Edificio Origine: Ubicada en la ciudad de Quebec en Canadá, el edificio permitió abrirle camino a una nueva generación de edificios de madera en el país. Edificio residencial de madera de 13 pisos de altura, que alberga 92 unidades que van desde estudios hasta apartamentos de más de cinco habitaciones, descansa sobre una plataforma de hormigón armado, mientras que la madera ancla los pisos del segundo al decimotercero con una estructura construida totalmente de madera maciza. Los muros de carga y de corte, las escaleras, el hueco del ascensor, los pisos y la estructura del techo están contruidos con madera laminada en cruz (CLT), los postes y las vigas de madera laminada encolada completan el sistema estructural, (Think Wood, 2019).

En lo que se refiere al impacto ambiental, los 3.111 m<sup>2</sup> de madera en la estructura de Origines secuestraron aproximadamente 2.295 toneladas de CO<sub>2</sub> y evitaron la emisión de 1.000 toneladas de CO<sub>2eq</sub>. Por otro lado, está obra sólo tomó cuatro meses, para erigir su estructura de madera,

para una duración total del trabajo en obra de 16 meses desde la fecha de la excavación hasta las terminaciones finales. Según el arquitecto Yvan Blouin, un proyecto de la misma envergadura en hormigón habría tardado probablemente de 4 a 6 meses más en su concreción (Think Wood, 2019).

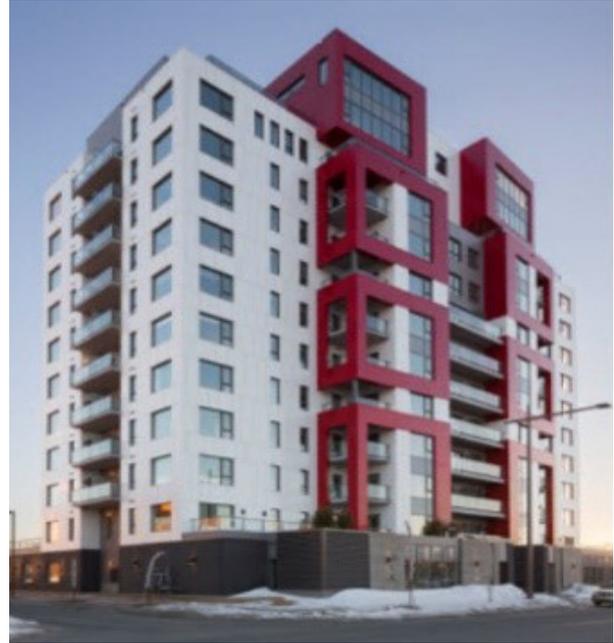


Figura 5: Edificio Origine Fuente: Think Wood, 2019

- Bridport House: Este edificio ubicado en el Reino Unido, fue construido con la finalidad de reemplazar un bloque original de los años 50, por 41 nuevas casas distribuidas en dos bloques, con 8 y 5 pisos de altura. Todos los elementos desde la planta baja hacia arriba consideran el uso de CLT, mientras que por debajo del nivel del suelo se consideran cimientos de hormigón armado. En general, la obra logró una reducción del 7% en los costos y 25 % en los plazos del proyecto,

en comparación con métodos tradicionales de construcción (AIA et al., 2015).



Figura 6: Edificio Bridport House Fuente: Fuente: (AIA et al., 2015)

- Strandparken: El edificio ubicado cerca de la ciudad de Stockholm, en Suecia, se encuentra conformada por una estructura de madera de 8 pisos de apartamentos y 25 metros de altura. Un análisis realizado por el “Swedish Royal Institute of Technology” y por el “Instituto Ambiental de Suecia”, señalaron que el Strandparken generó alrededor de la mitad de las emisiones durante su construcción, en comparación con una obra convencional de acero y concreto. Igualmente, el uso de elementos modulares prefabricados, fuera del sitio, permitió que su ejecución solo tomara 7 meses para completar un bloque, representando la mitad del tiempo de una estructura de hormigón tradicional (Nordic Council of Ministers, 2019).

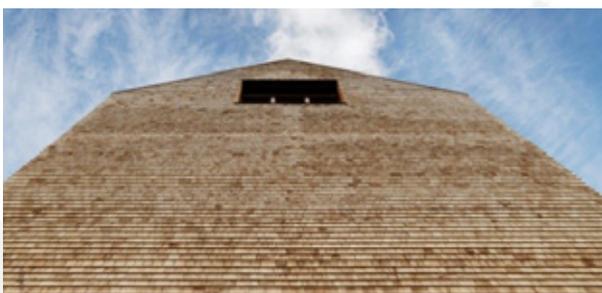


Figura 7: Edificio Strandparken Fuente: (Nordic Council of Ministers, 2019).

- UBC Earth Systems Science Building: Localizado en la ciudad de Vancouver en Canadá, el proyecto nace con la idea de ser un piloto que permitiera probar las capacidades de la madera sólida industrializada en edificaciones en altura. Así, se probaron distintos materiales como la madera, el acero y el hormigón, con el fin de evaluar su potencial en este tipo de construcciones. De esta manera, al comparar el uso de madera industrializadas, en contraste con métodos tradicionales, el proyecto consiguió una reducción del 11% en los costos y 42% en los plazos de construcción (AIA et al., 2015).



Figura 8: Edificio Ubc Earth Systems Science Building Fuente: (AIA et al., 2015)

- Carlisle Lane: Por último, este edificio de baja altura construido en Londres, Inglaterra, consiste en cuatro apartamentos de una cama construidos en un sitio urbano residual, al lado del viaducto ferroviario de Waterloo. El sitio bastante estrecho con tan solo 7 metros de ancho y 20 metros de largo se presentó como un desafío para su desarrollo; así, el inmueble residencial de dos pisos fue construido contra tres muros límites existentes, de estructuras previas, siendo clave el peso final del edificio. De esta manera, la estructura de madera ligera evitó la necesidad de realizar mayores obras de fundación y el sistema industrializado facilitó la construcción dentro del espacio confinado;

consiguiendo adicionalmente, en contraste con métodos tradicionales, una reducción del 31% de los plazos de ejecución y una disminución del 43,1% de los costos (AIA et al., 2015).

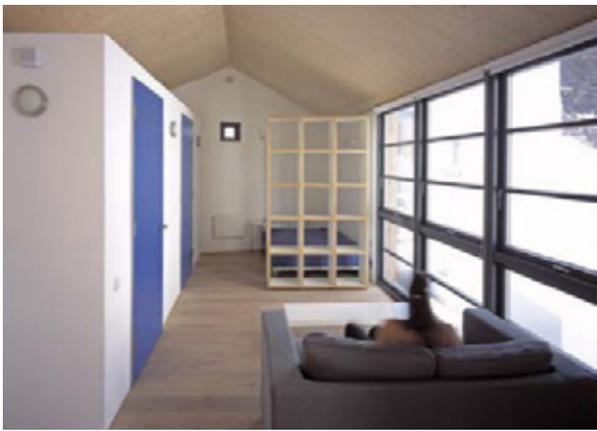


Figura 9: Carlisle Lane Fuente: (AIA et al., 2015)

El potencial que este tipo de edificaciones industrializadas en madera, para países con alto potencial forestal como Chile, supone una oportunidad para la generación de un modelo de desarrollo sustentable en torno al sector

**construcción y una bioeconomía.** Así, proyectos realizados por países como Canadá o países escandinavos, con un potencial forestal nacional importante, han conseguido avanzar con proyectos que han abierto un nuevo camino para la edificación de edificios ambientalmente amigables, con altas tasas de productividad y bajos costos de construcción. Es más, el contexto chileno ha conseguido avanzar en estas líneas de cara a instalaciones productivas como pueden ser campamentos mineros, instalación de faenas, construcción de edificaciones de corte industrial, entre otros (Construye 2025, 2017); sin embargo, recién en los últimos años la industria de la construcción industrializada ha tomado un nuevo impulso en torno al desafío de afrontar la construcción de edificaciones en zonas urbana, del tipo habitacional o servicios; esto de la mano de una nueva generación de empresas industrializadoras que se han instalado en el país, asociadas a un modelo de industria 4.0, como lo son las empresas Tecno Fast, E2E y Patagual Home.



Figura 10: Planta E2E Fuente: (Madera21.cl, 2019)

## 1.2.

### CONTEXTO DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN CHILE

En Chile, el sector de la construcción es una de las siete actividades económicas más importantes a nivel nacional, la cual aporta el 7,1% al PIB y un 8,5% al empleo nacional (CChC, 2020). Sin embargo, si bien la productividad del rubro de la construcción a nivel global solo ha crecido en un 1% en los últimos 20 años, en el caso chileno la tasa media de crecimiento de productividad es nula o incluso negativa en los últimos 20 años (Comisión Nacional de Productividad, 2019). Por lo tanto, la tasa de crecimiento de la productividad local se encuentra por debajo del promedio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) a la cual Chile suscribe

desde el año 2010 (CLAPES, 2018). Esto genera una oportunidad para que la construcción industrializada en madera sea una de las formas para alcanzar una mayor productividad en el país.

**Si bien el sector construcción es una parte importante de la economía chilena, éste también es responsable de cerca del 33% del consumo energético país y un 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Comisión Nacional de Productividad, 2019).** En esta línea, de la energía requerida por el sector construcción, un 67% corresponde a la operación de las edificaciones, un

30% a la producción de materiales de construcción, y solo un 3% a la ejecución en obra. Por otra parte, según la comisión nacional de productividad chilena, el país presenta una alta ineficiencia en relación con sus emisiones e inversión en construcción, siendo esta hasta 4 veces más alta que el promedio OCDE y cercanas a las de países altamente contaminantes como India o China.

**A nivel nacional, los actores más relevantes de este sector son, por la parte pública, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) a través del Servicio de Vivienda y urbanización (SERVIU).** Este último, y sus servicios regionales, son los responsables de la política habitacional y urbana a nivel nacional. Por otra parte, el sector gremial se encuentra principalmente representado por la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), cuyo objetivo primordial es promover el desarrollo y fomento de la actividad de la construcción (CChC, 2020). También se destacan como actores relevantes del sector de la construcción chileno otras asociaciones gremiales tales como la Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA), la Asociación de Oficinas de Arquitectos de Chile (AOA), junto a los colegios profesionales del sector de la construcción.

**En cuanto al sector residencial, el estado de Chile ha hecho importantes esfuerzos en**

**reducir el déficit habitacional nacional, logrando disminuir éste de las 771.935 viviendas en 1992 a 521.957 al 2002 y luego a 397.613 en 2017** (INE, 2002; INE, 2017). Sin embargo, este déficit persiste en el tiempo, y de considerar metodologías como los planteados por la CChC, este déficit podría incluso alcanzar una cifra mayor y cercana a las 739.603 al año 2017<sup>17,18</sup>. Adicionalmente, se estima que cerca de 1,3 millones de viviendas en Chile requieren ser reacondicionadas<sup>19</sup>, debido a bajos estándares cualitativos habitacionales, haciéndose urgente mejorar la habitabilidad de las viviendas existentes y nuevas<sup>20</sup>.

**De igual forma, en el presente existen importantes desafíos para reducir el déficit habitacional chileno de cara a los próximos años, sumado a un reclamo social de parte de la ciudadanía por una vivienda social de mejor calidad<sup>21</sup> y mayores estándares urbanos.** Esta demanda, destacada durante el estallido social vivido en Chile en octubre de 2019, se enmarca además en un contexto de deceleración económico acumulado en los últimos años y el inicio de una recesión mundial producto de la pandemia COVID-19. Situación que queda en evidencia al ver las cifras negativas históricas presentadas por los Índices de Actividad Mensual, que alcanzaron una caída histórica del 15,3% en el mes de mayo del 2020 (Banco Central de Chile, 2020).

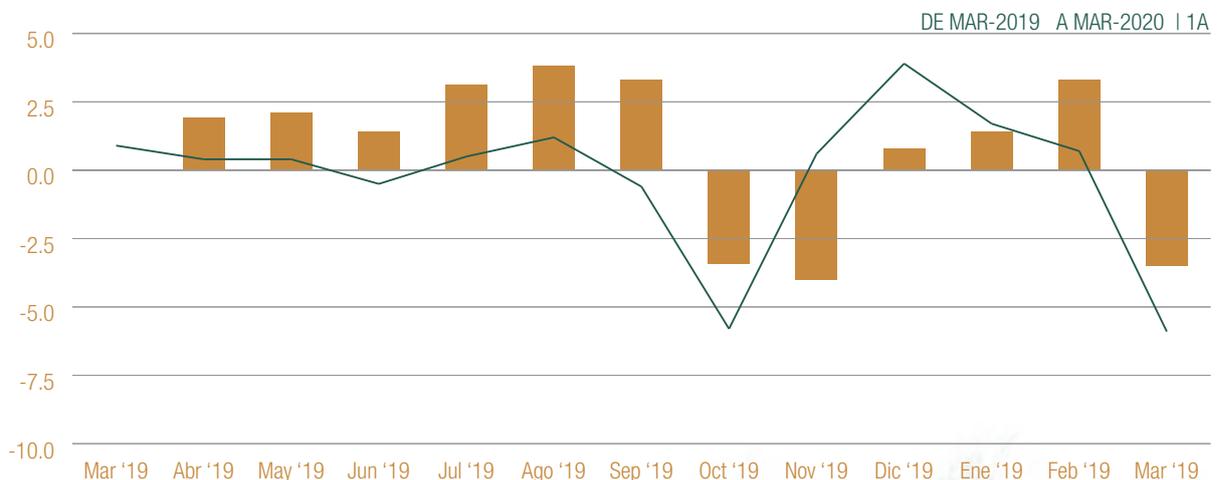


Figura 11: Indicador mensual de actividad económica, IMACEC marzo 2019 a marzo 2020, se aprecian importantes caídas en los meses de octubre de 2019 (crisis social) y mayo de 2020 (crisis COVID-19). Fuente: Banco Central de Chile, 2020.

17 Dependiendo de la metodología planteada por el estudio que define el déficit habitacional, este puede sufrir variaciones importantes en su número. Esto se refiere a la consideración de personas allegadas, viviendas que requieren ser reacondicionadas, o edificaciones que necesitan ser restituidas, entre otros. Sin desmedro de lo anterior, la cifra oficial utilizada en Chile para la definición del déficit habitacional nacional está dada por las 397.613 unidades declaradas por el CENSO de 2017.

18 También, se evidencia en los últimos años una mayor densificación de las ciudades chilenas, lo que se traduce en una mayor demanda de edificaciones de más altura. A la fecha, cerca de un 87,8% de la población nacional habita zonas urbanas (CENSO, 2017), en contraste al 86,6% del 2002 y el 83% de 1992. Lo anterior se asocia a un aumento sostenido desde el año 2002 del 2,2% del indicador de crecimiento de asentamiento humano nacional y un crecimiento del 28% de la población urbana desde 1992 al 2017 (CENSO, 2017).

19 Según la encuesta CASEN 2017, el déficit cualitativo de viviendas paso de 1.288.280 en el año 2003 a uno de 1.303.484 en el año 2017.

20 La madera también presenta múltiples beneficios adicionales en el reacondicionamiento de edificaciones, siendo un material liviano y resistente que no requiere grandes intervenciones a las estructuras existente, puede ser trabajado en seco y con métodos industrializados de rápida intervención, mejora la calidad térmica de las envolventes existentes, entre otros múltiples beneficios.

El gobierno de Chile ha presentado una ambiciosa agenda de reactivación económica, con un foco declarado en la reactivación “verde”<sup>22</sup>. Así, el “Plan MINVU para impulsar la recuperación económica y social”, enmarcada en la agenda de nacional, prácticamente duplica el número de unidades de viviendas proyectadas para los años 2020 y 2021, considerando aportes por USD7.350 millones y una inversión adicional de USD122 millones en obras urbanas. (MINVU, 2020c)

## LAS VENTAJAS DE LA MADERA EN EL CONTEXTO DE LA CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL CHILENA

El sector de la construcción de viviendas requiere de importantes ajustes para hacer frente al desafío de reducir el déficit habitacional y la madera puede ser la pieza clave para abordarlo. En efecto, la masificación del uso de la madera en la vivienda, a través de procesos industrializados con mayor productividad y costos más competitivos, se presenta como una oportunidad para reactivar el sector construcción durante los próximos años. Si bien el hormigón armado es actualmente el material más utilizado en viviendas en Chile, la madera corresponde al segundo más utilizado y presenta un crecimiento sostenido en el tiempo.

Adicionalmente, el recurso forestal dedicado a bosques plantados podría proveer de toda la materia prima necesaria para construir 570.000 viviendas (promedio déficit habitacional según MINVU y CChC) en un plazo de sólo 50 días de crecimiento. Esta estimación, presentada por CIM UC para demostrar el potencial del recurso forestal chileno en la construcción nacional, se basa en una vivienda social tipo con una densidad de uso de 6m<sup>3</sup> de madera promedio. Además, si se considerara el beneficio de emisiones de CO<sub>2eq</sub> asociadas a la producción del material, de tener que optar entre la madera y el hormigón para enfrentar este déficit, el primero permitiría reducir las emisiones de CO<sub>2eq</sub> en aproximadamente 6.500 ktCO<sub>2eq</sub>.

Por otro lado, si segmentamos por número de pisos las solicitudes de permisos de edificaciones en el país, la madera ya es a partir del año 2016 el material más utilizado en Chile en viviendas de 1 y 2 pisos (CIM UC, 2019a). Lo anterior también ha sido corroborado por actores como INFOR, quienes señalan la brecha que existe entre la madera y el hormigón, con ese último dominando el sector construcción (INFOR, 2019). Esto pone en evidencia que, si bien la madera tiene una importante participación en el sector residencial chileno, esta se ha limitado a viviendas de baja altura, y no aprovechado su potencial en edificaciones más altas en zonas urbanas densas.

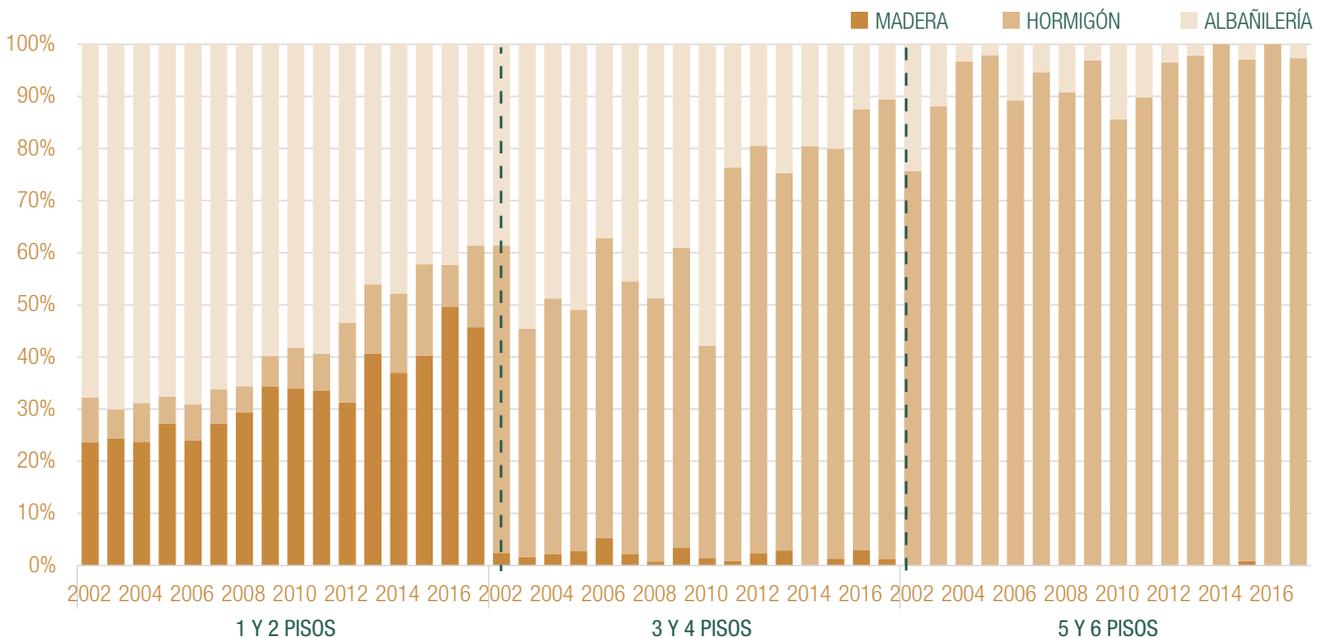


Figura 12: Materialidad predominante por cantidad de pisos construidos, se identifica el avance de la madera en el segmento de edificaciones de 1 y 2 pisos; y su presencia casi inexistente en el segmento de 3 a 6 pisos. Fuente: CIM UC en base a Base de datos Formulario Único de Estadísticas de Edificación, INE 2002 a 2017.

21 El déficit habitacional cualitativo es un indicador que mide el número de viviendas que particulares que deben ser mejoradas en aspectos de materialidad, servicios y espacios.

22 En esta misma línea, ya han surgido diversos acuerdos e iniciativas para generar una reactivación sostenible y más justa, por ejemplo, C40 cities, iniciativa en la que los alcaldes de 40 ciudades del mundo se han comprometido a crear una “nueva normalidad” para sus economías. Este compromiso se concreta en una declaración de principios que tiene como objetivo construir una sociedad mejor, más sostenible, más resistente y justa a partir de la recuperación de la crisis del COVID-19 (C40, 2020).

**Estudios realizados por el Centro UC de Innovación en Madera<sup>23</sup> han demostrado que es técnicamente posible construir edificios de entramado de madera de hasta 6 pisos en el contexto normativo chileno y en forma competitiva.** Además, señalan que existe un potencial mercado inexplorado en el segmento de edificios de media altura, validado con el proyecto experimental “Torre Peñuelas” (CIM UC, 2019c). Vale destacar, de la experiencia de la torre experimental levantada por Centro UC de Innovación en Madera, la importancia de incorporar procesos industrializados a fin de obtener el máximo beneficio durante la construcción de este tipo de edificaciones en altura. Así, esta torre fue levantada en tan solo cinco días, a través de un sistema de construcción modular, en contraste con las semanas o meses que implican el uso de otros materiales. Esto establece una oportunidad para que la construcción de edificios de viviendas sociales en media altura, considerando sistemas constructivos industrializados de madera. Así, la madera podría expandir su uso en segmentos en donde no tiene presencia actualmente, además de permitir entregar un producto de mayor estándar y en menor plazo en el ámbito de la vivienda social.

**Por otra parte, el sector construcción chileno es responsable por cerca del 17% de las emisiones de CO<sub>2eq</sub> a nivel país (MMA, 2018), y requiriendo un 22% de la energía para la operación del parque construido durante el año 2017<sup>24</sup>.** Esto es según el balance nacional energético entregado por el Ministerio de Energía (2018), el cual declara que un 16% de la energía utilizada el 2017 fue destinada exclusivamente a la operación del sector residencial, lo que es comparable a toda la energía requerida por el sector minero chileno, principal actividad económica del país (Comisión Nacional de Energía, 2018).

**La materialidad de una edificación puede tener un impacto muy alto en la reducción de los consumos energéticos asociados a una vivienda, siendo la madera un material más eficiente en comparación al hormigón y otros materiales tradicionales.** Según estudios presentados por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), una vivienda promedio en Chile destina en torno a un 44% de su energía al funcionamiento de luminarias, equipos y electrodomésticos, mientras que un 56% es destinado solamente a calefacción, lo que puede variar según el contexto climático en que se encuentra. Así, materiales más aislantes térmicamente como la madera, pueden



generar grandes reducciones asociadas a los requerimientos de calefacción de un inmueble.

**De esta manera, un edificio de viviendas de madera puede llegar a requerir un 35% menos de energía de calefacción que uno equivalente de hormigón armado.** Esto está respaldado por los análisis realizados por CIM UC (2019b), en los cuales se consideran la reglamentación térmica mínima legal para el caso de Santiago y los mínimos de aislamiento térmico de las diferentes soluciones constructivas. De igual forma, la menor conductividad térmica de la madera respecto a otros materiales, como el hormigón, albañilería y acero, favorece la reducción del surgimiento de otras patologías constructivas como el riesgo de condensación y los consiguientes problemas asociados a la formación de humedad.

**Las modificaciones a la OGUC, llevadas a cabo por MINVU, que apuntan a exigir mayores estándares de desempeño térmico en viviendas, han favorecido el uso de la madera durante los últimos años.** Esfuerzos desarrollados por MINVU desde el año 2000 para generar políticas públicas orientadas a mejorar la eficiencia energética en viviendas, han significado que materiales como el hormigón y la albañilería deban incorporar aislamiento térmico cada vez más significativos. Debido al alto desempeño térmico de las soluciones constructivas en madera, esto ha significado que, estas soluciones se vuelvan más atractivas y competitivas.

<sup>23</sup> CIM UC, centro de la Pontificia Universidad Católica de Chile y vinculado a la asociación gremial CORMA, empresas del sector construcción y entidades públicas como el Ministerio de Vivienda.

<sup>24</sup> El sector construcción, asociado a los procesos de edificación, es solamente responsable por el 1% de la energía utilizada en Chile, sin embargo, no considera la energía asociada a industria y transporte de productos de construcción (Ministerio de Energía, 2018). En este sentido, materiales con menores requerimientos energéticos para su producción y menor peso en transporte, como es el caso de la madera, también pueden contribuir enormemente a la reducción de los requerimientos de energía en la construcción.

## TENDENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA

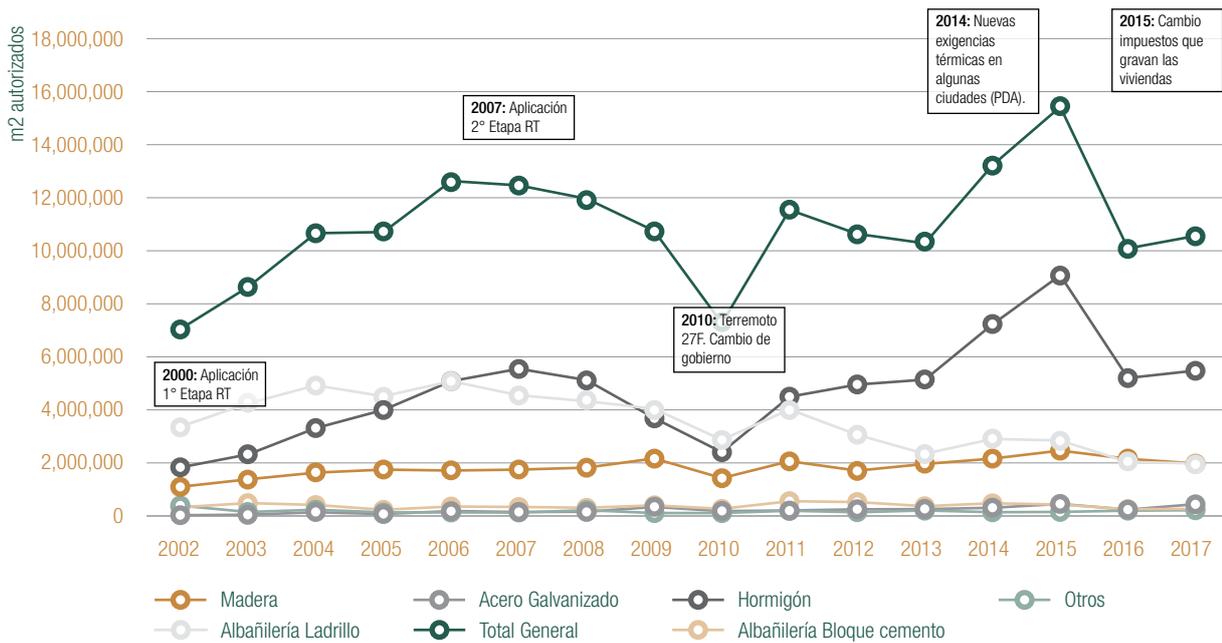


Figura 13: Hitos que afectan la construcción de viviendas, efectos como mayores requerimientos de desempeño térmico y normativos estructurales asociados a sismos, favorece el uso de la madera en la construcción. Fuente: CIM, 2019a

La madera ha aumentado su presencia en el país en un 5% en los últimos cinco años y ha pasado a ser el segundo material más utilizado en las construcciones chilenas. La madera ha aumentado sostenidamente su presencia en las solicitudes de permisos de edificación en Chile, pasando de un 13,3% a un 16,8% entre los años 2002 y 2017, para todo destino, y entre un 15,5% a un 20,8% en igual periodo para viviendas. Así, a partir del año 2017 se convierte en el segundo material de construcción en Chile, desplazando a la albañilería y solamente superado por el hormigón armado. Esto, se acentúa aún más en el caso del sector vivienda, siendo el segundo material utilizado desde el año 2016 y el primero en edificaciones de viviendas de 1 y 2 pisos de altura, presentando un aumento de un 18% para este último segmento (CIM UC, 2019a).

La utilización de madera en 1 y 2 pisos aumentó su participación en el sector construcción de un 20,6% en 2002 a un 38,9% en 2017, sin embargo, su uso en edificaciones de mayor altura aún no se masifica. En edificaciones de 3 y 4 pisos, el uso de madera se ha mantenido por debajo del 5% en las últimas décadas, segmento en el cual el hormigón armado ha desplazado a la albañilería y se ha posicionado como el material predominante. En tanto, la presencia de la madera en edificaciones de 5 pisos o más, es inexistente, salvo por excepciones contadas. De esta manera, y considerando las capacidades técnicas de construcción en madera en el contexto regulatorio nacional, existe un espacio importante para el crecimiento de edificaciones en madera en el

segmento de edificaciones de 3 o más pisos de altura, de generarse escenarios que promuevan su desarrollo.

Las tecnologías aplicadas a construcciones de madera de hasta 2 pisos, tienden a tener una menor complejidad en comparación a los requerimientos en edificaciones de mayor altura, dificultando la concreción de estos últimos. Es importante desatacar que la tecnología de construcción en madera, utilizada en edificaciones de 1 a 2 pisos de altura, tiende a ser incluso artesanal en el contexto local chileno, considerando en su mayoría carpinteros en terreno y pequeñas panelizadoras de estructuras básicas. Esto significa que, estructuras más complejas asociadas a edificación de mayor altura, necesitan avanzar en las capacidades tecnológicas de la industria de la construcción e incorporar mejores estándares en la provisión de productos industrializados. De esta manera, como ha sucedido en países desarrollados, a fin de masificar edificaciones de mayor altura en madera, estos proyectos deberán ser altamente competitivos en una industria con gran resistencia al cambio.

## SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN BASE A MADERA DISPONIBLES EN MERCADO CHILENO

La construcción de entramado de madera ligero, según sus variantes marco plataforma, *ballon frame*, u otras, es el sistema en madera



más utilizado en Chile y considera un sistema tradicional según definición regulatoria de MINVU. Así, este tipo de sistemas es descrito en la normativa nacional, aportándose detalles en reglamentación de la OGUC, y siendo uno de los más utilizados a nivel nacional. Por otra parte, ha sido foco de múltiples publicaciones técnicas para su uso y masificación como material constructivo en el país, siendo parte de iniciativas de difusión por distintos gobiernos, gremios e instituciones privadas.

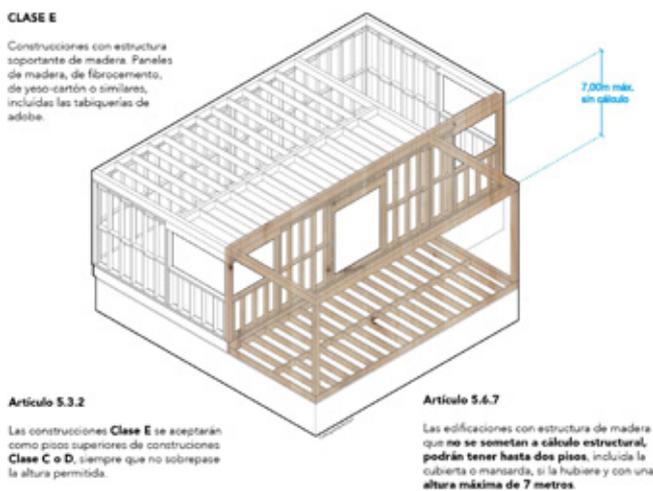


Figura 14: Ejemplo de estructura de entramado de Madera y art. OGUC. Fuente: (Catalogoarquitectura.cl, 2018)

Es importante destacar que, y en especial en proyectos financiados con subsidios, la aprobación de sistemas constructivos en Chile se encuentra regularizada por MINVU y la resolución exenta N°1369. Esta resolución establece que los sistemas constructivos que presenten características especiales de diseño, condiciones estructurales no tradicionales y montajes especiales, deben ser inscritas como sistemas constructivos “No Tradicionales”, debiendo ser aprobadas por un comité de expertos y podrán ser solamente parte de los sistemas constructivos del ministerio para su uso en construcciones de hasta 2 pisos y con vigencia por un máximo de 5 años (Ministerio Vivienda y Urbanismo, 2016). Para la correcta inscripción del nuevo sistema constructivo y su posterior

aprobación, este debe cumplir requerimientos mínimos tales como la descripción del sistema, características principales y especificaciones técnicas (Ministerio Vivienda y Urbanismo, 2016); además se deben realizar ensayos técnicos a los elementos constructivos que conforman la totalidad del nuevo sistema y deben considerarse la caracterización del sistema a través de ensayos mecánico y otros normativos.

| Ensayos Mecánicos        | Otros Ensayos          |
|--------------------------|------------------------|
| - Compresión vertical    | - Aislación Acústica   |
| - Carga Horizontal       | - Aislación Térmica    |
| - Flexión sobre una cara | - Resistencia al Fuego |
| - Impacto sobre una cara |                        |

*Nota: Se debe indicar protección contra la humedad en aquellos casos en que el sistema consulte un revestimiento específico que no cuente con ensayos que garanticen la impermeabilidad del producto.*

Figura 15: Ensayos técnicos Fuente: (DITEC, 2009)

La construcción en madera de entramado ha adquirido gran relevancia en el país, gracias a la implementación de nuevas tecnologías de procesos de industrialización. Estas debieran ayudar a la masificación de viviendas de baja altura y su expansión hacia edificaciones de media y gran altura en los próximos años. Sin embargo, el sistema de construcción de madera aserrada por entramado ligero no es el único sistema constructivo en base a este material disponible en el país, existiendo otras alternativas en el mercado como sistemas en base a madera ingeniería, madera masiva y otros.

- CLT, *Cross laminated timber* o madera contralaminada: El sistema constructivo CLT ha ganado un espacio importante en el mercado internacional en los últimos años, principalmente debido a su potencial uso en edificaciones industrializadas y/o de mayor altura, lo que junto a un bajo impacto ambiental y características de almacenamiento de CO<sub>2</sub>, la han convertido en una de las alternativas más atractivas de cara a la nueva generación de edificios en países desarrollados. Así, el sistema basa su capacidad estructural en paneles formados por varias capas de madera

aserrada encoladas entre sí, o unidas con clavos, o espigas de madera, de forma que la orientación de las fibras de dos capas adyacentes sea perpendicular entre sí (Moya, 2010). Al unir capas de madera en sentido perpendiculares, la rigidez estructural del panel se obtiene en ambas direcciones, similar a lo que sucede con las placas

de madera contrachapada, pero con secciones más gruesas y firmes. De esta manera, el panel tiene buena resistencia a la tracción y compresión, permitiéndole funcionar como paredes, pisos, muebles, revestimientos y techos; adaptando su grosor y longitud según las demandas de cada proyecto en específico.



Figura 16: sentido de fibra y en CLT Fuente: (Maderas-uv, n.d.)

En Chile se pueden destacar proyectos hechos en CLT e impulsados por instituciones como la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), como el “Estudios de ingeniería para introducir en Chile un sistema constructivo de rápida ejecución para edificios de mediana altura, utilizando elementos de madera contralaminada”, código proyecto CORFO 12BPC2-13553, año 2012-2015 y Proyecto Innova CORFO 15BPE – 47270 “Ingeniería Sismorresistente para Diseño Estructural de Edificios de Mediana Altura en Madera Contralaminada de Pino Radiata Crecido en Chile” ambos liderados por la Universidad de Santiago de Chile (USACH). De igual forma, destaca la incorporación de CLT en la construcción de 4 jardines infantiles Junji a cargo de JMS Ingenieros Consultores Ltda. y el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Bío-Bío,

obras enmarcadas en el cierre del proyecto CORFO 15BPE-47223: “Diseño de Sistemas Constructivos en Madera para Pilotos Junji”. Adicionalmente, la Universidad del Bío Bío (UBB) ha trabajado en los últimos años en el desarrollo del proyecto PymeLab Madera – Corfo, con una edificación de 5 pisos no habitable, fabricada en contra laminado de pino radiata CLT que se espera se concrete en el campus Concepción de la Universidad a fines del 2020; con fines académicos y de estudios experimentales respecto a las características del sistema constructivo CLT. Al igual que la Universidad de Concepción, que ha trabajado en un proyecto experimental de un edificio de CLT de 8 pisos de altura, actualmente en etapa de diseño por el equipo de Polo Madera y que se espera se termine también durante el 2020 en el campus principal de la casa de estudios.

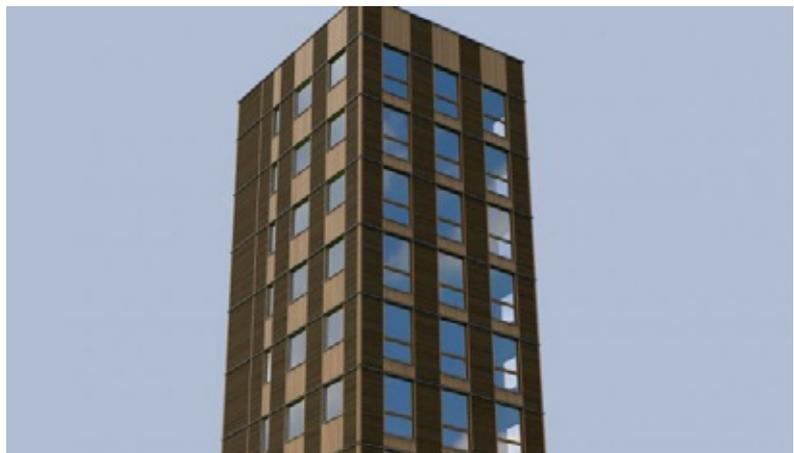


Figura 17: Torre Experimental PymeLab a la izquierda y Edificio Polo madera a la derecha. Fuente: (UBiobio.cl, 2020)

Actualmente en el país las empresas Corte Lima en Los Ángeles y la planta Crulamm en Coronel, son los únicos proveedores de CLT en el mercado. Siendo el CLT provisto por estas empresas, aun

no caracterizado según normativa para su uso estructural en edificio, por lo que su aplicación se ha limitado a cerramientos no estructurales de momento. Proyectos como el edificio de Polo

Madera, considera el envío de madera chilena a plantas en Europa para su desarrollo; de manera de ser procesado por empresas especializadas, para posteriormente retornar en formato paneles mecanizados listos para su montaje en obra.

- MLE - Madera laminada encolada: La madera laminada encolada, es un tipo de producto de madera de ingeniería estructural constituido por capas de madera dimensional unidas entre sí con adhesivos estructurales y resistentes a la humedad. Al ser un producto industrial, permite la fabricación de elementos laminados encolados a pedido, con el fin de satisfacer distintos diseños y requerimientos de los proyectos; siendo un producto estructural, fabricado bajo condiciones técnicamente controladas, con piezas de madera en diferentes largos y de secciones transversales



Figura 18: Puente Madera Laminada, Zapallar a la izquierda y gimnasio Villarica a la derecha. Fuente: (plataformaarquitectura.cl, 2008)

- Elementos de madera ingeniería - Vigas I-Joist y paneles SIP: Los productos de madera ingeniería se utilizan en diversas aplicaciones, destacándose elementos de placas como contrachapados u placas OSB, que son ampliamente usadas en estructuras de madera de entramado ligero. Pero adicionalmente, han surgido otros productos derivados de este tipo de elementos, desatacándose en el mercado chileno las vigas I-Joist y paneles tipo SIP por sus siglas en inglés "Structural Insulated Panel".

La viga I-Joist es una viga recta de gran longitud y resistencia que, a diferencia de la madera, no presentan deformaciones por torsión, pandeos, alabeos y rajaduras, entregando un uso más eficiente de la madera para vigas. Se fabrican con dimensiones, densidades y contenido de humedad estables que logran una alta resistencia estructural y desempeño. Al tener mayor capacidad de carga que las vigas de madera tradicionales, permite construir estructuras de piso con mayores luces, exigencia clave en diseños arquitectónicos, además de entregar soluciones simples a la pasada de

instalaciones. Están compuestas por alas de madera aserrada, unidas por sistema fingerjoint, y un alma de OSB. Actualmente este tipo de productos solamente es provisto por la empresa Louisiana Pacific (LP), a través de una planta de producción ubicada en la región de La Araucanía.



Figura 19: ficha Técnica LP I- Joists. LP Chile.

Los paneles tipo SIP se conforman de dos placas con un núcleo aislante en su interior, unidos por un adhesivo de alta resistencia y prensado, lo que confiere una resistencia mecánica significativa al conjunto. Si bien este tipo de paneles pueden considerar diferentes tipos de placas y aislantes de espuma, en el mercado nacional se destacan los

confeccionados con placas de OSB y núcleos de poliestireno expandido de alta densidad, los que son unidos bajo presión con adhesivos en base a poliuretano a altas temperaturas. Estos sistemas se encuentran ensayados y validados como sistemas “No Tradicionales” ante MINVU, permitiendo su uso en edificaciones menores de hasta 2 pisos con entretecho habitable.



Figura 20: Panel OSB tipo Fuente: (GascaPanels, n.d.)

Actualmente en el mercado existen numerosas empresas que ofrecen este tipo de productos, sin embargo, la calidad varía considerablemente y no todos estos cuentan con aprobación por parte de MINVU. Dentro del mercado se destacan las empresas fabricantes TecnoPanel, parte del grupo de empresas de la industrializadora modular Tecno Fast, la empresa Ingepanel y los paneles producidos por la empresa LP Chile.

- Sistemas constructivos en base a bloques de madera: Dentro del mercado chileno existe una gran variedad de soluciones constructivas en madera, nacionales e importadas, que no han logrado una mayor presencia en proyectos debido a diversos motivos como validación técnica o variables de costo. Sí, se destaca algunos productos que han conseguido experiencias exitosas en el mercado nacional, como los sistemas en base a bloques de madera de la empresa suiza Steko, producidos en Chile; y el sistema constructivo de la empresa argentina Dovetail Patagonia Bricks, que hace uso de subproductos de la empresa forestal, para la fabricación de bloques de construcción de madera.



Figura 21: Sistema Constructivo STEKO Fuente: [www.steko-latinoamerica.com](http://www.steko-latinoamerica.com)

## LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA EN CHILE

**Chile cuenta con un patrimonio histórico relevante de construcción en madera, a pesar de que no se ha masificado como en los países**

**desarrollados.** Así, cabe mencionar importantes íconos de la arquitectura nacional como las iglesias de Chiloé construidas en el siglo XVIII y los edificios del campamento minero de Sewell de principios del siglo XX (Madera21, 2018).



Figura 22: Iglesia de Chiloé a la izquierda y campamento minero de Sewell a la derecha. Fuente: UNESCO, 2019; Madera21, 2018.

En la actualidad también es posible identificar capacidades tecnológicas modernas (Construye 2025, 2016). Esto contrasta con el hecho de que la experiencia de la construcción en madera en Chile a lo largo de su historia devela capacidades principalmente

en el ámbito artesanal. Así, se cuentan como ejemplo la construcción del proyecto “Villa Verde”, desarrollado por la empresa Arauco, o el barrio “Oasis de Chañaral y El Salado” desarrollado por CIM UC.



Figura 23: Villa verde a la izquierda y Oasis de Chañaral a la derecha. Fuente: Plataforma & Arquitectura; CIM, 2019.

En otra escala, cabe mencionar el uso de la madera en ingeniería. Se destacan proyectos de edificios tales como las oficinas de BIP Computers en Santiago (2007), el nuevo edificio de la Escuela de Arquitectura

UC (2017), el pabellón de Chile para la Expo Milán (2015), que actualmente se encuentra instalado en la ciudad de Temuco, y el Campus Corporativo de CMPC en la ciudad de los Ángeles (2019).



Figura 24: Oficinas de BIP Computers, Santiago a la izquierda y Escuela de Arquitectura UC a la derecha. Fuente: Plataforma & Arquitectura, 2008.; Claro, 2017.



Figura 25: Pabellón de Chile Expo Milán a la izquierda y Campus Corporativo de CMPC, Los Ángeles, a la derecha. Fuente: Plataforma & Arquitectura, 2018; Madera21, 2019.

Ya en los últimos años se ha presenciado un nuevo impulso en la construcción industrializada en madera, apoyado por empresas más desarrolladas en el área a nivel país como Tecno Fast, E2E y el grupo Patagual. Así, se destaca el proyecto de campamento minero

de 6 pisos “Los Bronces”, desarrollado a través de unidades modulares de madera; y el conjunto “Horizonte del Pacífico”, correspondiente a 5 edificios de 4 pisos de altura realizado íntegramente mediante paneles cerrados de madera.



Figura 26: Campamento minero Los Bronces a la izquierda y Conjunto Horizonte del Pacífico a la derecha Fuente: asap.cl, 2019; e2echile.com, 2020.

### 1.3.

## COMPROMISOS DE CHILE FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

En 2015, Chile asumió el compromiso de reducir un 30% la intensidad de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el año 2030 en comparación con los niveles de 2007 (CEPAL & OCDE, 2016). Esta agenda fue encomendada al Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA), quien guía los esfuerzos de política pública en esta línea. En 2016, el balance de emisiones y absorciones de GEI de Chile contabilizó 46.184,4 ktCO<sub>2eq</sub>, mientras que las emisiones de GEI totales del país fueron 111.676,7 ktCO<sub>2eq</sub>, mostrando un incremento de 114,7 % desde 1990 (MMA, 2018) y un 20 % respecto al 2007 (MMA, 2020).

Sin embargo, existe gran preocupación de fortalecer los compromisos de mitigación considerando los informes emitidos por el *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* y el objetivo de limitar el aumento de la temperatura de 1,5 °C. Es por esto por lo que Chile buscará un camino que permita alcanzar la neutralidad de GEI al 2050, tal como se ha establecido en el Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático que actualmente se encuentra en discusión en el Congreso Nacional (MMA, 2020). Adicionalmente, en abril del 2020 Chile actualizó sus metas de Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) del año 2015, en las que se plantea una reducción de sus emisiones anuales proyectadas para el 2030 de 123.000 ktCO<sub>2eq</sub>

(30% reducción en base a emisiones 2007) a tan solo 95.000 ktCO<sub>2eq</sub> (MMA, 2020).

Cabe destacar que los bosques nacionales han permitido reducir un porcentaje importante de las emisiones de CO<sub>2eq</sub>. De hecho, durante el año 2016 (último registro disponible), el balance de emisiones de CO<sub>2eq</sub> de Chile alcanzó las 46.185,2 ktCO<sub>2eq</sub>, gracias a que los bosques nacionales hicieron posible la captura de aproximadamente -65.492,3 ktCO<sub>2eq</sub> (MMA, 2018). Lo anterior representa una reducción del 59% de las emisiones totales de CO<sub>2eq</sub> emitidas en el país durante el 2016 y demuestra la capacidad de los bosques para apoyar el esfuerzo chileno de llegar a la carbono-neutralidad para el año 2050, previendo contrarresto en un 50% las emisiones del país<sup>25</sup>.

En 2050, se espera capturar la misma cantidad de CO<sub>2eq</sub> que es producida y, además, disminuir las emisiones en base a diferentes medidas, por ejemplo, la edificación sustentable. El sector edificación sustentable debería representar un 17% de las emisiones al 2050 con un estimado de 11,05 MMtCO<sub>2eq</sub>. Así, dentro de la actualización de objetivos NDC definidos en 2020, se establece el manejo sustentable y la recuperación de 200.000 Ha de bosque principalmente nativo al 2030, con un potencial de captura de GEI de entre 0,9 y 1,2 MtCO<sub>2eq</sub> (MMA, 2020).

<sup>25</sup> Según el *Global Forest Resources Assessment*, para lograr esta meta será necesario contar con una estrategia nacional forestal que integre tanto la protección, conservación y el manejo sustentable de los bosques nativos y plantados existentes hoy, como también continuar incrementando sus superficies - tal como ha sido destacado en el último informe de la FAO, donde se presenta que Chile ha aumentado en un 15% su superficie forestal desde el año 2000 a la fecha.

Los esfuerzos de reforestación y el manejo de bosques plantados bajo altos estándares de sustentabilidad son la principal herramienta chilena de cara a la carbono neutralidad. Según un estudio elaborado por el Banco Mundial (2020), se expone que la degradación del bosque nativo en Chile durante el año 2016 equivale a 9.149.392 kt de CO<sub>2eq</sub> (MMA, 2018)<sup>26</sup>. Esto deja en manifiesto la importancia del manejo sustentable del recurso forestal a fin de contribuir a la reducción del cambio climático y la importancia de los bosques plantados en el esfuerzo de captura de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Es vital avanzar en que productos forestales de mayor valor agregado tengan un destino en el sector construcción chileno, de manera de que los nuevos edificios y ciudades de madera funcionen como grandes depósitos de carbono. En la actualidad no existe una agenda clara respecto al destino de los productos del sector forestal en el mercado nacional de la construcción, faltando avanzar en políticas públicas que potencien el desarrollo de edificaciones y ciudades en madera que sirvan como depósitos de CO<sub>2</sub> y fomenten el desarrollo de nuevos bosques plantados.

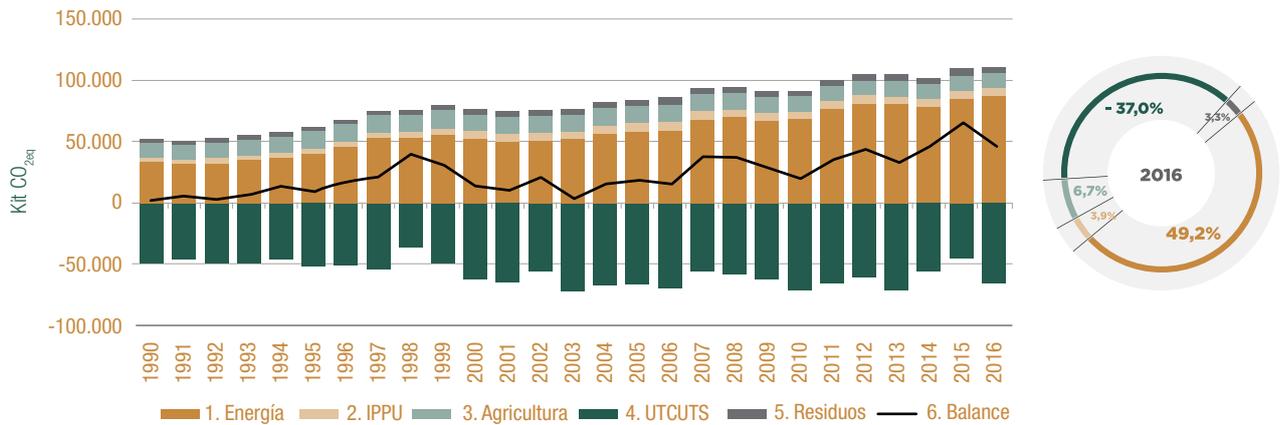


Figura 27: INGEI de Chile: balance de GEI (ktCO<sub>2eq</sub>) por sector, serie 1990-2016, se evidencia el aporte forestal en indicador Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) . Fuente: MMA (2018). Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático. P.81.

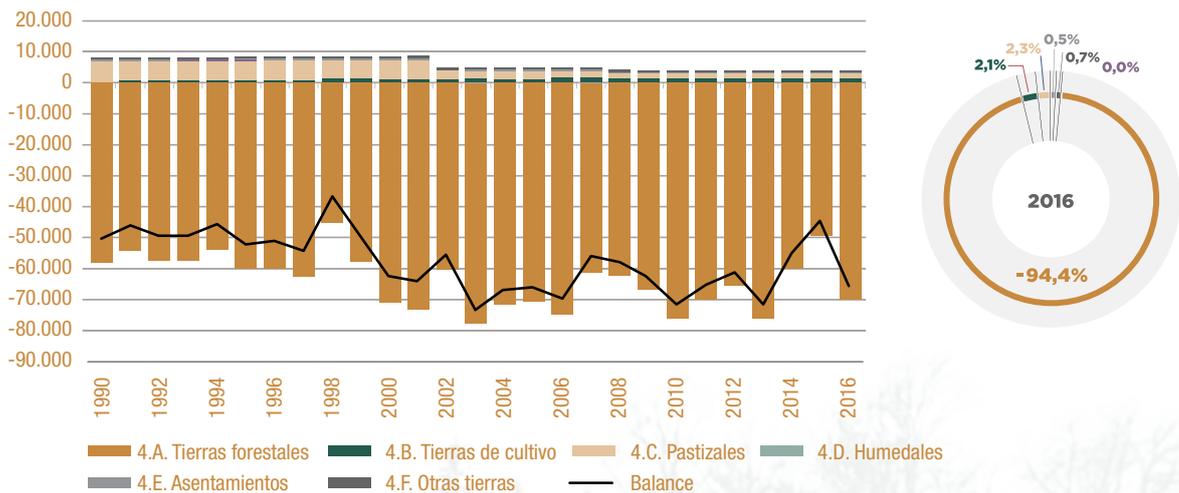


Figura 28: Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (ktCO<sub>2eq</sub>) por sus principales subcomponentes, serie 1990-2016, presentando mayor aporte en captura de CO<sub>2</sub> de plantaciones forestales, con relación a parques y reservas nacionales. Fuente: MMA (2018). Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático. P.98.

26 A medida que los árboles maduran, estos reducen su tasa de crecimiento y su captura de CO<sub>2</sub> del ambiente. Esto, sumado a la pérdida de biomasa que al degradarse libera CO<sub>2</sub>, como hojas y ramas muertas, puede significar que un bosque que no cuenta con un manejo adecuado, puede incluso producir más emisiones de CO<sub>2</sub> que las capturadas.

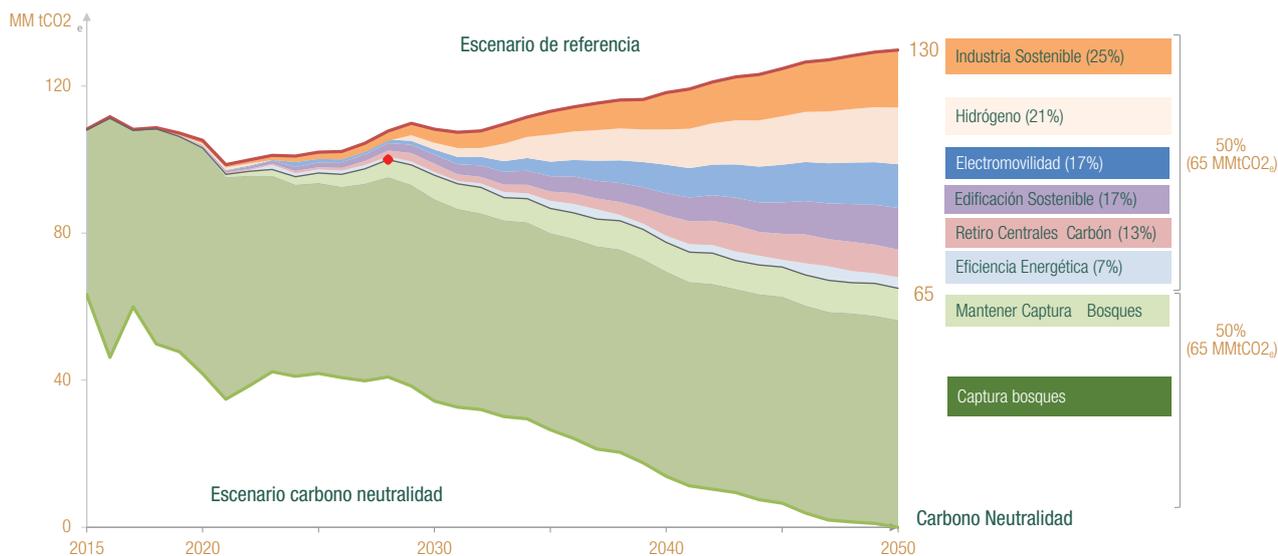


Figura 29: Escenario carbono neutralidad periodo 2020-2050, se indica que al 2050 a lo menos un 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub> serán contrarrestadas por los bosques. Fuente: Ministerio de Energía, 2020.

## 1.4. POTENCIAL FORESTAL CHILENO

Chile es uno de los ocho mayores productores de madera del mundo, con amplia presencia en mercados de Norteamérica, Asia, Europa y Oceanía (FAO, 2019). Así, si bien existen países que puedan contar con mayores superficies forestales que la chilena, el país ha sido capaz de generar un sector industrial exitoso

y ha sabido aprovechar de forma sustentable los recursos naturales asociados a los bosques. De esta manera, el sector representa en torno a un 2,1% del PIB nacional, acumulando durante el año 2018 un 9,1% de las exportaciones, con un incremento del 1,3% con respecto al año previo (INFOR, 2019).



Figura 30: Superficie global de bosques y áreas protegidas. Fuente: Weller et al., 2014.



Se destaca que, al año 2020, aproximadamente el 70% de la madera industrial producida en el país proviene de bosques plantados con certificaciones de manejo sustentable (Banco Mundial, 2020)<sup>27</sup>. Estas cubren una superficie aproximada de 2.3 millones de hectáreas (56% pino radiata y 38% eucaliptus), lo que corresponde a

aproximadamente un 14% de la superficie forestal total del país. Así, la superficie de bosques total de Chile alcanza los 17,9 millones de hectáreas, de las cuales cerca de 14,6 millones de hectáreas corresponden a bosques nativos. Parte importante de estos bosques se encuentran protegidos por organismos públicos y entidades privadas (INFOR, 2019).

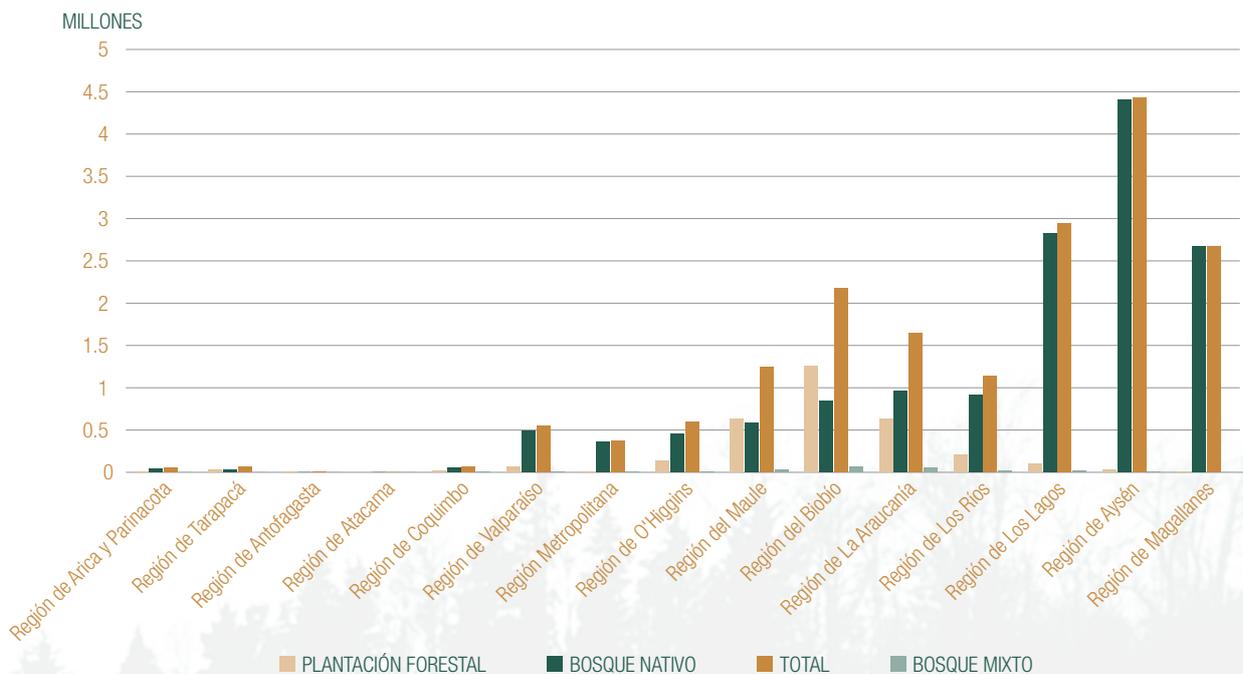


Figura 31: Superficie de bosques total y por sub-uso. Fuente: Elaboración en base a datos de INFOR, 2019.

<sup>27</sup> El porcentaje de bosques plantados con certificación de manejo sustentable en otros países desarrollados es bastante similar al caso chileno, por ejemplo, Canadá tiene un porcentaje igual a 70% (Canadian Forest Industries, 2019), Finlandia un 79,7%, Alemania un 68,78%, Polonia un 75,3% y Noruega un 56,8% (Maesano et al., 2018). Siendo esto una pieza fundamental para el desarrollo de la industria de la construcción de viviendas sustentables en madera.

**Los compromisos nacionales frente a la Contribución Nacional Determinada (NDC) ante la secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) serán posibles solo con un manejo forestal sustentable.** El sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) considera el manejo sustentable y la recuperación de 100.000 hectáreas de bosque nativo y forestar 100.000 hectáreas al año 2030. Para lograr estas metas de mitigación y adaptación al cambio climático, se elaboró una Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025 (ENCCRV) la cual plantea cuatro ejes para la política forestal, (i) institucionalidad forestal; (ii) productividad y crecimiento económico; (iii) equidad e inclusión social, y; (iv) protección y restauración del patrimonio forestal (Ministerio de Agricultura & CONAF, 2017).

**El mercado forestal chileno es impulsado por diversos actores clave del ámbito privado y público.** Por una parte, el modelo chileno entrega la propiedad de los bosques plantados a privados, la cual es distribuida entre diversos agentes. Así, si bien cerca del 50% de esta superficie corresponde al patrimonio de dos grandes empresas internacionales, Forestal Mininco del grupo CMPC y Arauco, más del 50% restante pertenece a múltiples pequeñas y medianas empresas forestales.

**Por otra parte, la estructura organizacional del sector forestal chileno presenta dos principales**

**actores.** Uno de ellos es el Ministerio de Agricultura de Chile, a través de organismos como la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Instituto Nacional Forestal (INFOR). El primero está encargado de velar por la política forestal nacional y fomento del sector, mientras que el segundo busca fomentar el uso sustentable de los ecosistemas forestales mediante su aplicación a productos y servicios. El otro actor principal es la Corporación Chilena de la Madera (CORMA), que es la asociación gremial más antigua y relevante en el país, agrupando a más de 180 empresas del sector, que juntas representan más de la mitad de la superficie productiva forestal del país.

**Respecto a la producción de la industria primaria del sector forestal, se destaca que el principal producto es la pulpa y, en segundo lugar, la madera aserrada.** La primera cuenta con una participación del 36,8% y se exporta sobre un 87% de la producción nacional de 5.3 millones de toneladas según cifras del año 2018. Esto se ha acentuado durante los últimos años, debido al alza de los precios de la pulpa en los mercados internacionales. En cuanto a la madera aserrada (casi en su totalidad pino radiata), esta corresponde a un 34,8% de la producción nacional de madera, de la cual se exporta un 34% de la producción nacional de 8.1 millones de metros cúbicos. Adicionalmente, la producción de tableros y chapas representa el 10,2% de la producción nacional con 3.3 millones de metros cúbicos, de los cuales cerca del 50% se exporta fuera del país (INFOR, 2019).

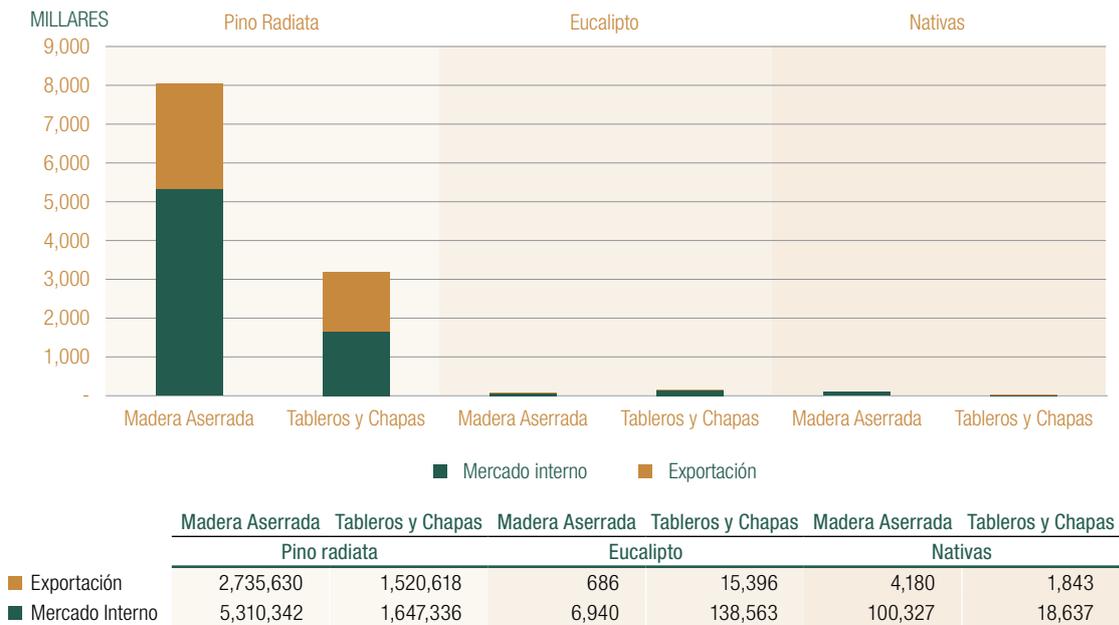


Figura 32: Cantidad de m3 de madera producida y su destino. Fuente: elaboración propia en base a datos de INFOR, 2019.

**Cabe destacar que, si bien se presenta al sector forestal nacional como una pieza clave del desarrollo del país, el principal destino de los productos de la industria primaria corresponde al mercado internacional.** En el caso de productos asociados al sector construcción, como la madera aserrada y tableros, aunque el mayor porcentaje es destinado al mercado interno, los productos de mejor calidad son reservados para su exportación a otros países, donde los mercados son más atractivos y poseen mayores estándares de entrada. De esta manera, la madera destinada a construcción en el contexto nacional no siempre es la más indicada para su uso en construcción de alto estándar.

**En línea con lo anterior, se estima que solo un 6% (500.000m<sup>3</sup> en 2018) de la madera aserrada en Chile se considera para uso estructural y tan solo el 0,25% (20.000m<sup>3</sup> en 2018) se vende con algún certificado de clasificación estructural.** Este es el resultado de un estudio realizado por INFOR (2020) a 129 aserraderos y a 132 empresas del sector construcción en el país. Adicionalmente, solo el 53%

considera el secado en planta y un 3,4% de la madera aserrada blanda es impregnada, las cuales son condiciones requeridas según estándares normativos para su uso en construcciones chilenas<sup>28</sup>.

**De igual forma, también se evidenció un bajo nivel de conocimiento respecto a los requerimientos normativos de la madera estructural en la construcción.** En efecto, solo el 47% de los aserraderos entrevistados manifestó estar en conocimiento de la existencia de requerimientos mínimos para el uso de madera estructural en el sector de la construcción, y apenas un 54% de este grupo manifestó conocerlos<sup>29</sup>. Así, de los aserraderos encuestados, solo el 11% manifestó haber recibido alguna solicitud de madera estructural para la venta. Sin embargo, las empresas del sector de la construcción encuestadas manifestaron como principal decisión de compra la calidad de la madera disponible y, en segundo lugar, el precio; condición que no se condice con los requerimientos de madera estructural planteado a aserraderos.

<sup>28</sup> Si bien maderas blandas como el pino en Chile tienen baja durabilidad de acuerdo con la normativa chilena y son fácilmente impregnables con aditivos que le entregan protección, es importante destacar que a nivel internacional existe un esfuerzo por limitar el uso de aditivos químicos en la impregnación de madera. Esto principalmente a la toxicidad asociada a algunos de estos, como es el caso del arsénico en la impregnación por CCA (cromo, cobre, arsénico), entre otros impregnantes que también pueden presentar un riesgo para el medio ambiente.

<sup>29</sup> Grado estructural visual o mecánico, preservado según NCh 819; humedad inferior al 19%, dimensionado uniforme según NCh 2824

# CONCLUSIONES CAPITULO 1

Del presente capítulo se puede identificar que a nivel internacional existe un renacer del uso de la madera, arrastrado principalmente por la crisis mundial de déficit habitacional y la crisis del cambio climático, posicionando de mejor forma a materiales más “limpios”, de calidad y fáciles de industrializar. Esta situación se agudiza más en países en vías de desarrollo como Chile, donde si bien tiene grandes desafíos de cara a las próximas décadas, especialmente atendiendo las demandas sociales de calidad de la vivienda, cuenta con un potencial de recursos naturales forestales renovables de nivel mundial, que pueden ayudar a convertir a Chile en líder en el sector de la construcción sustentable en madera en el mundo.

De los datos y análisis presentados, se identifican las siguientes condiciones y oportunidades para el desarrollo de una hoja de ruta en el contexto chileno:

- La reactivación económica post-COVID-19 se presenta como una oportunidad de cambiar el modelo de desarrollo de la construcción nacional actual, especialmente en torno al déficit habitacional, hacia uno más sustentable y basado en el uso de recursos naturales locales. En este sentido, en el desarrollo del sector en los años venideros, resultará clave avanzar hacia un modelo de bio-economía; entregando un mayor valor agregado a los productos en base a madera y fomentando una demanda nacional, por sobre las actuales exportaciones de pulpa y madera al extranjero.
- El bosque chileno es responsable de contrarrestar en aproximadamente un 59% las emisiones anuales de CO<sub>2eq</sub> de Chile. Siendo una pieza crítica para cumplir con los compromisos, contraídos por Chile ante la comunidad internacional, de reducción de emisiones de GEI para el 2030 y la búsqueda de la neutralidad de carbono para el año 2050. Sin embargo, a pesar de que el sector bosques plantados es el mayor contribuyente a la captura de CO<sub>2</sub> en el contexto nacional, no existen políticas nacionales para promover el uso de productos en base a madera o en el sector construcción.
- Con el fin de aprovechar la captura de CO<sub>2</sub> de los bosques, se hace imperativo buscar usos para los productos forestales que sirvan de depósito de emisiones por grandes periodos, siendo la edificación en madera una pieza clave y gran oportunidad para el combate de los efectos de la construcción en el cambio climático.
- Se destaca la importancia de la vivienda en el sector de la construcción, con un déficit habitacional que varía entre las 397.613 y 739.603 viviendas, junto a sus altos requerimientos energéticos de calefacción (en torno al 9% de la energía requerida por el país en un año). De igual forma, se destaca el potencial de la madera para la construcción masiva de viviendas en Chile y para reducir los consumos de calefacción de las viviendas, a través de envolventes con mejores estándares de aislación térmica.
- El sector de la construcción a nivel nacional ha presentado tasas de aumento de productividad nulas o incluso negativas durante los últimos años. En este contexto, resulta fundamental el avanzar en procesos de construcción industrializados con mayor calidad y que hagan uso de materiales sustentables de alta calidad como la madera.
- Si bien la madera se ha posicionado en los últimos años como el material predominante para la construcción de viviendas de baja altura, no se ha conseguido expandir su uso en edificaciones de mayor altura. Probablemente debido a las deficiencias en el suministro de materiales, costos y brechas normativas. Estos, si bien son esbozados en esta sección, son abordados con mayor profundidad en los siguientes capítulos.

- Chile cuenta con un potencial forestal productivo relevante a nivel internacional y una industria capaz de entregar productos como pulpa, madera aserrada, chips, tableros y otros, para consumo interno y externo. Así, se destaca el éxito de este sector, el que ha sido capaz de obtener buenos resultados a través de políticas forestales orientadas al manejo sustentable de los recursos de bosques plantados y resguardo de reservas forestales. Sin embargo, también se destacan los desafíos hacia el futuro, asociados a planes de recuperación forestal y que eviten la degradación de los bosques protegidos (compromisos NDC).
- Se destaca que, en el caso de las maderas aserradas y los tableros, estos corresponden a un 34,8% y 10,2% de la producción forestal nacional y se consideran para uso interno un 65% y 50%, respectivamente. Sin embargo, cabe mencionar que los estándares entregados por estos productos, en el contexto nacional, son menores a los presentes en mercados internacionales. Así, si bien el mercado nacional utiliza un mayor porcentaje de madera que el que se exporta, esta tiende a ser rechazos de producción o segunda selección; sin considerar, en estos porcentajes, la madera que es posteriormente utilizada para la confección de productos de mayor valor agregado y que son posteriormente exportados al extranjero.
- Existen importantes brechas respecto a los estándares de la madera aserrada para su uso interno en construcción. Así, solamente un 54% de esta es secada en planta, un 0,25% es vendida con algún certificado de grado estructural y únicamente un 3,4% de la madera blanda es preservada. Por esto es fundamental avanzar en capacitar al sector productivo y de la construcción en los estándares necesarios para el uso de madera estructural en edificaciones, al igual que instrumentos que permitan tener una trazabilidad de la madera utilizada.



# 02.

## LOS EFECTOS DE LOS MARCOS REGULATORIOS Y NORMATIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA

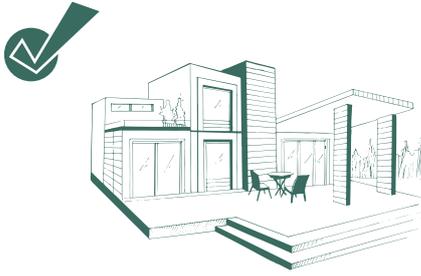
### RESUMEN CAPITULO

La construcción en madera en el mundo se ha desarrollado en múltiples países de manera exitosa, en algunos casos incluso con una tradición de cientos de años y/o una normativa extensa y detallada que ha permitido su masificación en entornos proclives a su uso. Sin embargo, destaca que ha tendido a estar limitada a viviendas unifamiliares y solo en las últimas décadas ha conseguido avanzar a edificios de viviendas multifamiliares de varios pisos. Esto último se debe mayoritariamente a cuadros normativos desactualizados y rígidos que, debido a restricciones derivadas de requerimientos de seguridad ante incendios, junto a desafíos técnicos como los relacionados al aislamiento acústico, han mantenido el uso de la madera limitado históricamente a edificaciones unifamiliares de 2 a 3 pisos y raramente en edificios multifamiliares.

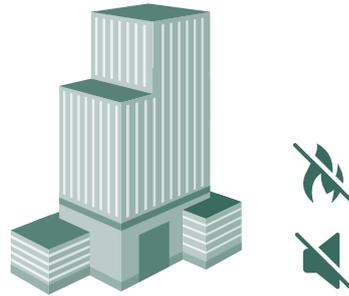
Entre la experiencia internacional, se destacan los casos como el de Reino Unido que gracias a actualizaciones normativas supero el 25% de edificación en madera y ha conseguido masificar la construcción de edificios de vivienda de 4 pisos; la decisión de algunos países escandinavos de impulsar la construcción en madera como agenda país, a través de un modelo de bioeconomía que potencia el uso de este material; o el desarrollo de proyectos I+D de edificios emblemáticos de madera en Canadá, que ayudaron a actualizar los códigos vigentes. La mayor parte de los países desarrollados han avanzado en brechas normativas sobre la construcción en madera, especialmente las relacionadas a seguridad ante incendio, estabilidad estructural y su puesta en valor como un material más amigable con el medio ambiente; en el caso europeo, solo en las últimas tres décadas se han dado avances importantes en relación a actualizaciones normativas, que permitan dar el salto de viviendas unifamiliares de baja altura, al desarrollo masivo de edificios de viviendas multifamiliares de 5 pisos en entornos urbanos más densos.

En el caso chileno la normativa no exige restricciones en forma específica a la madera, sin embargo, se hace necesario nivelar el juego con otras materialidades a fin de entregar igualdad de condiciones para su uso en edificaciones de viviendas. Esto se basa en algunas normativas pensadas para materiales tradicionales, como la de estabilidad que requieren que las estructuras flexibles de madera se comporten como edificaciones rígidas de hormigón. De igual forma, la sofisticación de las soluciones constructivas de varias capas con entramado de madera, bajo la regulación actual, requiere realizar múltiples ensayos de desempeño al fuego, acústico y térmico por cada variante usada; esto en desmedro de soluciones monolíticas simples que requieren de un menor número de ensayos costosos. Así se hace necesario avanzar a métodos prescriptivos simplificados o facilidad en homologaciones que den validación a los sistemas constructivos en forma confiable; junto con actualizar normativa que no se encuentra al día respecto a los avances tecnológicos y nuevas necesidades de la construcción.

En último tiempo han surgido múltiples iniciativas en países desarrollados que buscan actualizar las normativas existentes sobre el uso de la madera en construcción, de manera de masificar su uso en centros urbanos, y que apuntan a la densificación de ciudades sustentables en altura. Así, se ha impulsado el uso de la madera como un material sustentable en la edificación, que permita hacerle frente al cambio climático y a las externalidades negativas de la construcción en el medioambiente. Casos de estudios y experiencias actuales han demostrado la buena capacidad de la madera como material de construcción en edificios de una altura incluso superior a los 6 pisos, y hasta 24 pisos como es el caso del edificio de madera HoHo, el más alto del mundo.



ÉXITO EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN MADERA



VIVIENDAS MULTIFAMILIARES LIMITADAS

**EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS SE HA COMENZADO EL TRABAJO PARA CAMBIAR ESTAS REGULACIONES Y ASÍ IMPULSAR A LA MADERA, COMO EL MATERIAL SUSTENTABLE, PRINCIPALMENTE EN LA DENSIFICACIÓN DE LAS CIUDADES Y LA CONSTRUCCIÓN EN GRAN ALTURA.**



✓ EXIGE IGUAL O MEJOR COMPORTAMIENTO QUE ERIGIDAS DE OTROS MATERIALES

NECESIDAD DE



AVANZAR EN MÉTODOS PRESCRIPTIVOS SIMPLIFICADOS EN HOMOLOGACIONES



ACTUALIZAR LA NORMATIVA CON LOS AVANCES Y NUEVAS ECNOLOGÍAS EXISTENTES



Figura 33: Edificio Mjøstårnet de 18 pisos de altura en madera, alberga viviendas y oficinas, entre otros programas de uso.  
Fuente: <https://www.avontuura.com/mjostarnet-by-voll-arkitekter/>.

## INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta un estudio comparativo de marcos normativos internacionales sobre construcción en madera, ahondando en los casos más adelantados como Europa, Norteamérica y Oceanía. Así, se presentan los desafíos normativos en que debieron avanzar diferentes países desarrollados, con sus contextos previos, para poder habilitar la construcción de edificaciones de madera, y especialmente viviendas unifamiliares y multifamiliares.

Se presentan con detalle los casos europeos de Alemania, Austria, Reino Unido y Países Escandinavos; para luego en el caso norteamericano detallar las experiencias de Canadá y Estados Unidos, como líderes de la región; y finalmente presentar los avances más recientes de esta materia en Oceanía, a través de los casos presentados por Australia y Nueva Zelanda. Se identifica que todos los casos internacionales hacen referencia a proyectos clave, normativas de resistencia al fuego, normativas de aislamiento acústico, temas ambientales, y normativas y requerimientos públicos. Esto, se repite en el contexto nacional, pero con algunas consideraciones abordadas en el capítulo.

Se destaca que, todos los casos internacionales revisados abordan factores comunes para el desarrollo de la construcción en madera, considerando la

conformación de mesas de trabajo transversales entre sector público, privado y academia; desarrollo de proyectos icónicos e I+D; actualizaciones normativas; generación de políticas públicas; entre otros. Así, respecto a la experiencia internacional, estas abordan puntos comunes para su desarrollo y claves para el caso chileno, tales como: el estudio de casos emblemáticos, requerimientos normativos de resistencia al fuego y aislamiento acústico, incentivos a un menor impacto ambiental, requerimientos de carácter público, actualizaciones normativas, entre otros.

Con este contexto internacional como referencia, este capítulo presenta en detalle los requerimientos normativos chilenos para las edificaciones de madera, y especialmente los orientados a vivienda. Revisando así requerimientos que en países desarrollados han demostrado dificultades para el desarrollo de edificaciones de madera en altura o han potenciado su avance, tales como requerimientos contra el fuego, desempeño de aislamiento acústico, desempeño de aislamiento térmico, normativas de estabilidad estructural, y por último requerimientos inherentes a la construcción en madera; junto con el avance liderado por la División Técnica de MINVU (DITEC), en relación a una importante agenda de actualización normativa sobre la construcción en madera.

## 2.1.

### INICIATIVAS PÚBLICAS EN TORNO A LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA

**Existen múltiples iniciativas públicas y actualizaciones regulatorias, desarrolladas principalmente en países con potencial forestal, en torno al fomento de la construcción en madera.**

Diferentes iniciativas abordadas por países con potencial forestal como Australia, Canadá, Finlandia, Francia, Alemania, Japón, Nueva Zelanda, Suecia, Suiza y el Reino Unido; buscan promover el uso de la madera en construcciones más sustentable, al igual que como herramientas para reducir la brecha de viviendas a nivel global (FAO, 2020; Milestone. 2019).

**La Organización de las Naciones Unidas (ONU), destaca la contribución de la madera en la construcción como medio para el desarrollo de edificaciones más sostenibles y que ayude a reducir las brechas asociadas al déficit habitacional.** A través de su *Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries (ACSF)* de la *Food and Agriculture Organization (FAO)*, la ONU reconoce en su informe *Status of public policies encouraging wood use in construction* la importancia del desarrollo de políticas públicas que promuevan el uso de la madera en la construcción. De igual forma, el documento destaca que estas políticas públicas y el desarrollo de edificaciones de madera en mayor altura, que puedan dar respuesta a la necesidad de viviendas en entornos urbanos, se concentran principalmente

en los países desarrollados; así, países en vías de desarrollo, que concentrarán la mayoría de la demanda de viviendas en el futuro, necesitan que sus gobiernos apoyen este tipo de iniciativas de cara a reducir el déficit habitacional en los sectores más vulnerables de forma sustentable (FAO, 2020).

**A nivel global se identifican como las principales brechas para el desarrollo de la construcción en madera, la resistencia del sector construcción, desconocimiento sobre el uso de la madera en la construcción, falta de políticas públicas en países en vías de desarrollo, restricciones en códigos normativos y barreras económicas (FAO, 2020).**

En este sentido, como estrategia para abordar estas brechas muchos países han optado por aumentar la participación de la madera en proyectos de carácter público. Así, se apoya el desarrollo de proyectos ejemplares, incluyendo la investigación y desarrollo requeridos, que no hubiesen sido abordados en una primera instancia por el sector privado debido a las incertidumbres que pudiesen existir. Ejemplo de estas iniciativas son las abordadas por el gobierno francés recientemente, las que apuntan a que todo edificio, con financiamiento del estado, considere a lo menos un 50% de uso de materiales orgánicos como la madera (The Times, 2020).

## 2.2.

### EXPERIENCIA REGULACIÓN EUROPEA

**La normativa europea es un referente a nivel internacional con relación a códigos de construcción, permitiendo el uso de diversos materiales, siempre que se cumplan los requisitos prestacionales y/o prescriptivos requeridos.** Sin embargo, se puede identificar algunas limitaciones específicas para el uso de madera y productos a base de madera, que deben ser actualizadas y, en algunos casos, eliminarse de ser posible. Así, uno de los principales desafíos regulatorios para el uso de soluciones constructivas en base a madera en la construcción, asociado a seguridad y confort, se relaciona con el desempeño frente al fuego y requerimiento de aislamiento acústico. En cuanto a la construcción de viviendas unifamiliares de baja altura, estudios sobre la edificación en madera en Europa (Östman & Källsner, 2011) han concluido que no existen limitaciones sustanciales para el uso de madera y productos a base este material, existiendo regulaciones prescriptivas y manuales de diseño ampliamente difundidos y validados. Por otro lado,

para estructuras de vivienda multifamiliares, como edificios de departamentos de más pisos, los requisitos reglamentarios muchas veces son basados en sus características prestacionales, no prescriptivos, siendo esto aplicable a los casos surgidos en buena parte de los países europeos.

**De igual forma, según Wigand (2019), aunque incluso no existiesen barreras regulatorias directas que limiten el uso de la madera para la construcción de edificios residenciales en la Unión Europea, aún persisten varias brechas que dificultan su desarrollo y que deben ser abordadas:**

- Las principales limitaciones regulatorias para avanzar en viviendas de varios pisos, en comparación a viviendas de baja altura unifamiliares, son el fuego y el desempeño acústico, por lo que se requiere del desarrollo de soluciones constructivas más sofisticadas y estudios que las avalen.



- En algunos países europeos hay diferencias regionales en las regulaciones de construcción que pueden dificultar el desarrollo de proyectos en madera.
- Existe una falta de regulaciones para muchos productos de madera, en consecuencia, los procedimientos de certificación para el desempeño técnico de dichos productos se vuelven costosos y lentos.
- La familiaridad con los códigos europeos está aumentando, pero su uso sigue siendo muy limitado por los actores involucrados en el desarrollo de un proyecto.
- Existe incertidumbre y falta de un conocimiento profundo de las normas de construcción relevantes para el uso de la madera en la construcción.
- El uso externo de madera y productos a base de madera está limitado principalmente por la altura del edificio y la distancia entre edificaciones adyacentes en relación con los requisitos de propagación externa del fuego.
- El número máximo de pisos permitido varía según el país, así el desarrollo de edificios multifamiliares de mayor altura no es homogéneo en el continente.

**Países europeos desarrollados, con un alto potencial forestal, han conseguido alcanzar porcentajes de construcción en madera por sobre el 70%, aprovechando sus múltiples ventajas ambientales y constructivas; no obstante, países europeos con menor potencial, solo recientemente han conseguido aumentar sus porcentajes de edificaciones en madera, buscando desplazar**

**materiales con un mayor impacto ambiental, como el hormigón.** En Europa, en buena parte del sector de viviendas, el uso de la madera ha sido acotado en comparación a otras materialidades tradicionales. Por ejemplo, Francia, España, Italia y Alemania presentan un porcentaje de construcción en madera que varía entre el 5 y 15%, por otra parte, países que han presentado una mayor disposición en el último tiempo como Inglaterra han alcanzado porcentajes en torno al 25%, mientras que naciones con tradición en torno a la madera, como los países escandinavos, presentan porcentajes en el sector construcción en torno a los 75 y 85% (Hildebrandt, 2017). Esto debido en parte a que materiales alternativos a la madera, en base a combustibles fósiles, históricamente han tendido a estar mejor posicionados en el sector construcción europeo y han sido capaces de transmitir mejor sus ventajas a los desarrolladores; salvo quizás en países o regiones con amplio potencial maderero y una historia en torno a este recurso, como los países nórdicos.

**Durante las últimas décadas, diferentes iniciativas de carácter regulatorio, económico e informativo han sido implementadas en países europeos, buscando aumentar el desarrollo de edificaciones de mayor altura a las tradicionales viviendas unifamiliares de madera.** Teniendo como antecedente los compromisos de estos países que apuntan a la reducción de emisiones de CO<sub>2eq</sub> entre un 88% y 91% de cara al 2050, y los efectos en el sector constructivo europeo, que representa, en todo su ciclo de vida, un 42% de la energía utilizada y un 35% de las emisiones de CO<sub>2eq</sub> del grupo (Hurmekosky, 2017), es que la mayor parte de los países de la comunidad europea buscan implementar políticas públicas que apunten a nivelar el juego entre los materiales de construcción con mayor y menor impacto ambiental, como los materiales en base a madera.

Se destaca que, en el caso europeo de edificación de viviendas multifamiliares en madera, se ha experimentado una masificación importante en las últimas tres décadas, aunque esta sigue siendo baja en comparación a otras materialidades como el hormigón y acero. En la actualidad, existen edificaciones de 5 o más pisos de altura en la mayor parte de Europa, propagándose su desarrollo rápidamente antes de fines del siglo pasado en

países tan diversos como España, Noruega, Reino Unido y Francia. Las proyecciones plantean que ya para la década del 2020, la totalidad de los países ya contarán con experiencias en edificaciones de madera de 5 pisos o más (Östman & Källsner, 2011). Así mismo, existen escenarios de estudio, asociados a nuevas políticas públicas, que proyectan su expansión en forma importante para las próximas décadas (Hildebrandt, 2017).

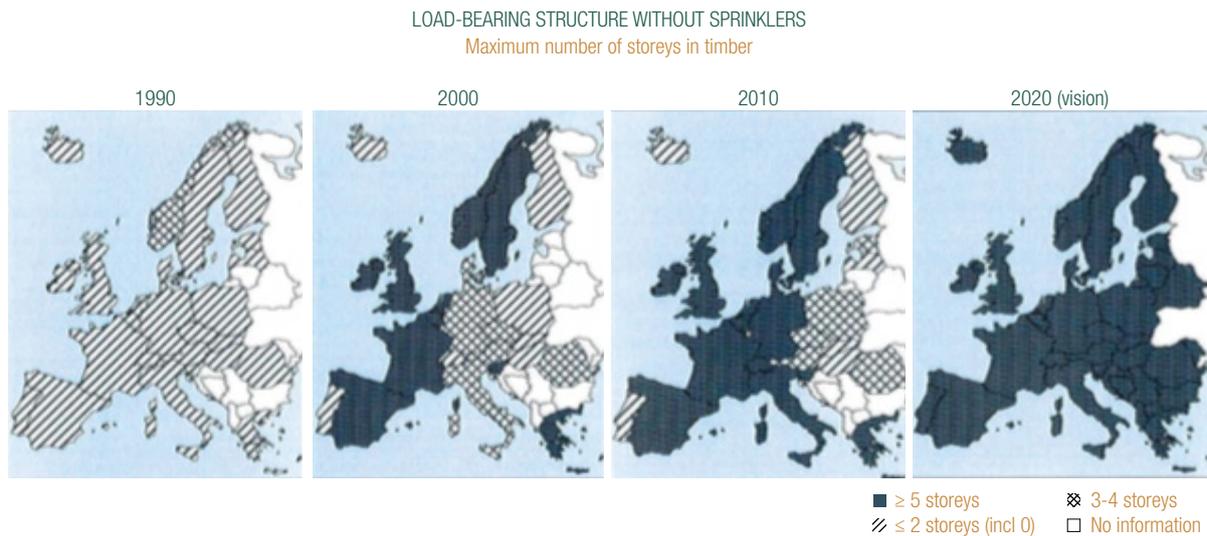


Figura 34: Evolución de la altura de edificaciones en madera en Europa. Fuente: (Östman & Källsner, 2011)

Respecto a las dos principales brechas, en torno a los desafíos normativas europeos identificados, relativo a seguridad ante incendio y aislamiento acústico en edificaciones de vivienda multifamiliar de mayor altura, se identifica particularmente que (Östman & Källsner, 2011):

- Seguridad contra incendios: los requisitos sobre seguridad contra incendios se aplican a todos los edificios, independientemente del material de construcción y tienden a ver con que las estructuras deben diseñarse y construirse para que en caso de incendio se comporten de una determinada manera. Este diseño y construcción debe condicionar que, se pueda suponer que la capacidad de carga estructural se mantiene durante un período específico de tiempo, la generación y propagación de fuego y humo sea limitada, la propagación del fuego a las estructuras vecinas es restringido, los ocupantes pueden abandonar el edificio o ser rescatados por otros medios, y finalmente se tiene en cuenta la seguridad de los equipos de rescate. Estos requisitos esenciales se implementan y detallan en las normas europeas, las que regulan principalmente aspectos de reacción al fuego y resistencia al fuego. Cabe destacar que, si bien existen similitudes respecto al caso chileno y

los requerimientos de resistencia al fuego de las estructuras por periodos de tiempo determinado, si se hace una diferencia en lo que respecta a la propagación de fuego y humo y que la normativa chilena no detalla en forma acuciosa.

- Acústica y vibraciones: los requisitos y las clases aplicadas para la aislación acústica varían entre los países europeos y consideran una diversidad de indicadores, rangos de frecuencia y niveles de desempeño prescriptivo, entre otros. Se destaca que, la mayor parte de los países consideran requerimientos prescriptivos de índices de reducción al ruido aéreo y nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo, con una metodología semejante a la utilizada en el caso chileno. Así, el caso europeo presenta requerimientos de índices de reducción al ruido aéreo, con diferencia entre países de mínimos y máximos de 5dB para pisos múltiples y 10 dB para vivienda en extensión, y requerimientos de aislamiento acústico por impacto normalizado con variación entre países en torno a los 17dB para pisos múltiples y 22 dB para vivienda en extensión. En esta línea, se destacan Austria y Suecia como los países con las regulaciones más restrictivas y completas.

**No obstante, el espíritu normativo de la comunidad europea tiende a unificar criterios regulatorios entre países, reduciendo las barreras entre naciones, cabe señalar que algunas naciones han sido capaces de avanzar en forma más acelerada en lo que respecta a la construcción en madera.**

En esta línea, se puede destacar la actualización de los cuadros regulatorios en torno a las edificaciones en madera de países como Alemania, Austria, Reino Unido y los Países Escandinavos.

## CASO ALEMÁN

Las regulaciones del código de construcción alemán están predefinidas a nivel nacional por el Código de Construcción Modelo (MBC), el que establece los requerimientos para la construcción en madera, entre otros. Si bien este código posibilitaba el desarrollo de edificaciones de madera de hasta 3 pisos bajo requerimientos prescriptivos, principalmente enfocado en viviendas unifamiliares, en 2002 una edición reglamentaria del MBC extendió la autorización hasta estructuras de 5 pisos o 13 metros (Wiegand, 2019). Así, mediante la simplificación de los procesos de validación de los diseños de edificaciones de madera, especialmente para proyectos de vivienda multifamiliar, se facilita el desarrollo de proyectos de densificación en entornos urbanos y la masificación de edificaciones de madera de media altura en el país.

Según lo anterior, el código nacional permite incluso el desarrollo de edificaciones de madera de altura mayor a cinco pisos, pero estas también deben satisfacer requerimientos de las autoridades locales de cada comunidad y demostrar un desempeño a través de metodologías prestacionales. Se han desarrollado 7 edificios de este tipo en Alemania, y para su ejecución se tuvo que realizar diversos estudios y ensayos para así garantizar su desempeño desde una base prestacional. Estos proyectos son: el edificio E3 de 7 pisos de altura, construido en 2008; un proyecto prototipo de 4 y 8 pisos de altura, desarrollado por las oficina Schankula Architects y B&O desarrolladores, en el año 2011; el edificio de 7 pisos C13, en 2014; el edificio N7 de 7 pisos en el año 2014; el edificio SKAIO de 10 pisos de altura en el año 2019; y dos torres de 7 y 8 pisos llamadas SXB Towers, proyectadas terminarse en 2021 (Wigand, 2019).

## CASO AUSTRIACO

El código de construcción austriaco actual, principalmente por temas de riesgo de incendio, establece que las estructuras de madera están limitadas a 22 metros de altura, 6 a 7 pisos, a través de diseños basados en requerimientos

**prescriptivos.** Esto permite tanto el desarrollo de viviendas unifamiliares de baja altura, como edificios multifamiliares en media altura, sin la necesidad de realizar estudios complementarios que demuestren sus desempeños. Sin embargo, es posible divergir de las normas, si el desempeño del fuego requerido se demuestra a las autoridades a través de una metodología prestacional (Meacham, 2010).

**Este país fue pionero en la adopción de códigos de construcción basado en sistemas prestacionales, a través de la construcción de 3 edificios de gran altura en madera y que abrieron paso al desarrollo de proyectos por densificación en entornos urbanos de este tipo.** El primero en 2008, llamado Life Cicle Tower One, correspondiente a un edificio de 8 pisos de altura; el segundo, llamado Wagrammer Strasse, es un edificio de 7 pisos de altura construido en 2013; y el tercero, llamado HoHo, un edificio de 24 pisos (64 metros) de altura. Este último completado el 2019 es el edificio de madera híbrido más alto del mundo en la actualidad y abrió el camino normativo para este tipo de estructuras.

## CASO DEL REINO UNIDO

Reino Unido presenta una tradición importante en torno a la construcción en madera de baja altura y también destaca por desarrollar una de las primeras normativas europeas en presentar un contexto propicio para generación de edificios de múltiples pisos y su consecuente avance en la región. Si bien, tragedias históricas asociadas a grandes incendios urbanos y la aparición de nuevos materiales durante la revolución industrial terminaron por poner restricciones en el uso de la madera y reducir su participación en el sector construcción; pese a estas adversidades, lograron modificar su código de construcción en 1991, para facilitar su uso en proyectos nuevos. Esto permitió el desarrollo de proyectos de viviendas multifamiliares en madera de hasta 8 pisos de altura en Inglaterra y Gales, consiguiendo masificar las edificaciones en madera de 4 pisos a lo largo de todo el país (Jonsson, 2009). De esta manera, actualizaciones posteriores en sus códigos incorporaron un modelo de aprobación prestacional en base a precedentes, aunque con requerimientos de mayor complejidad, y que fue clave para avanzar en edificaciones innovadoras en el uso de la madera (Wigand, 2019).

En el contexto anterior, destaca el edificio de viviendas sociales y de venta Stadhaus, de 8 pisos de altura y con una estructura mixta de hormigón-madera, construido el año 2008 en Londres. Este es un referente internacional, al ser el primer edificio moderno de madera en el mundo. Así, siendo el primer edificio en su tipo, el

proyecto fue sometido a numerosos requerimientos y estudios previos, durante su diseño y construcción, debiendo acogerse al sistema de Aprobación Técnica Europea (ETA), con el fin de dar cumplimiento a códigos asociados a resistencia al fuego, estructura y desempeño térmico, para los cuales la empresa proveedora de la madera ingeniería KLH contaba con aprobación para sus productos (Wigand, 2019).

**Desde la construcción del Stadhaus, una serie de políticas públicas e iniciativas locales y nacionales han propiciado un entorno favorable para los edificios de madera en el país.** Así, surgieron iniciativas como *Timber First* y *Wood for Good*, que abordan los beneficios de la construcción en madera desde diversos puntos, siendo una pieza clave su contribución al medio ambiente y combate al cambio climático. En este escenario, más de 500 edificios de CLT han sido construido en el país y 5 edificios de mayor altura se han concretado en el Reino Unido: el edificio Bridport de 8 pisos en CLT en el año 2011 en Londres; el edificio con estructura híbrida Cube, de 10 pisos de altura, construido en Londres en el año 2015; el edificio híbrido de 10 pisos de altura Trafalgar Place, terminado en el año 2015 en Londres; la residencia estudiantil UEA Blackdale del año 2016, en Norwich, con 7 pisos de altura; y por último el edificio Dalston en Londres, de 10 pisos de altura, en el año 2017 (Wigand, 2019).

## CASO ESCANDINAVO (NORUEGA, FINLANDIA Y SUECIA)

**En países como Noruega, Finlandia y Suecia la madera ha sido utilizada durante siglos como material primario de construcción tradicional de edificaciones de baja altura y asociado a una industria forestal muy importante a nivel internacional, lo que ha significado un impacto en el mayor desarrollo de sistemas y productos de construcción en base de madera.** Esta transferencia al sector construcción e industrial nacional se encuentra fuertemente respaldada por instituciones gubernamentales y en colaboración con la academia. Así, en el caso noruego, se ha avanzado en los últimos años en el desarrollo de proyectos de vivienda multifamiliar de más de 2 pisos, concretando su primer edificio de 5 pisos en el año 2005; mientras que en el caso finlandés su primer proyecto de este tipo se construyó en el año 2014; y en Suecia el primer su primer se terminó en el año 2008, con una altura de 8 pisos.

**En Noruega, desde el año 1997 el gobierno adoptó un código de construcción funcional para soluciones constructivas alternativas, en donde, para construir un edificio de madera era necesario**

**demostrar requerimientos prestacionales según funcionalidad, lo que ha permitido el mayor desarrollo este tipo de edificaciones.** Desde dicha implementación del código, a la fecha, Noruega ha completado 3 edificios de madera: el edificio Treet con 14 pisos de altura, en el 2015; el edificio Moholt de 9 pisos en el 2016; y el edificio Mjøstårnet de 18 pisos de altura en 2019. Para su aprobación fue requerido que los tres 3 proyectos tuvieran que realizar estudios y pruebas de fuego, a fin de dar cumplimiento a la regulación local. (Moelven, 2018).

**En Finlandia, desde la década del 90 han surgido estrategias que promueven la construcción en madera, asociadas principalmente a proyectos I+D y difusión tecnológica (Hurmekoski et al. 2015). Esta modificación normativa llevo a una intensificación en este tipo de proyectos durante las siguientes décadas, de la mano de una agenda país en torno al incremento del uso de la madera y a un modelo basado en la bioeconomía.** En esta línea, en 1997 la regulación sobre seguridad ante incendios del país fue actualizada, permitiendo el uso de la madera en edificaciones de viviendas y oficinas de hasta 4 pisos y sin necesidad de permisos especiales. Luego de una década de experiencias exitosas, en 2011 y 2018, se concretaron nuevas actualizaciones de los códigos normativos en torno a un máximo de 8 pisos y la autorización para dejar madera a la vista, respectivamente. Así, en Finlandia se han concretado proyectos de edificio emblemáticos como el Puukuokka, compuesto por tres edificios de 6 a 8 pisos de altura entre 2014 y 2018; el proyecto Lighthouse del año 2019 y con 16 pisos de altura; y el edificio Wood City del año 2020 y con 8 pisos (Wigand, 2019).

**En Suecia, así como su política nacional fomenta el uso de la madera en la construcción, también políticas locales e independientes del gobierno central han tenido una gran participación en el desarrollo de edificaciones de madera en el país (Wigand, 2019).** Un ejemplo, es la *Sweden National Timber Construction Strategy* (SNTCS), que desde el año 2004, ha fomentado iniciativas I+D y políticas que buscan intensificar la construcción en madera en el país. Así también, políticas municipales como las de Välle Broar en 2013, entre otras, han planteado para algunas zonas, que un 25% de sus edificios nuevos sean de madera en el año 2015 y un 50% en el 2020 (Johansson Schuarte, 2015). De esta manera, se han concretado 7 proyectos emblemáticos en las últimas décadas, siendo estos el edificio Limnologen de 8 pisos en 2008, el proyecto Alvsbacka Park con tres torres de 7 pisos entre el 2008 y 2010, las dos torres Portvakten de 8 pisos en el año 2010, el edificio Sttandparken de 8 pisos de altura en 2015, y el Vallen de 9 pisos de altura en el año 2014 (Wigand, 2019).

## 2.3. EXPERIENCIA REGULACIÓN NORTEAMERICANA

Norteamérica cuenta con una tradición de varios siglos en construcción en madera. Esto se debe a la abundante disponibilidad de material de alto estándar de calidad y a la existencia de cuadros normativos generalizados que permiten el desarrollo de edificación en madera a través de códigos prescriptivos y soluciones masificadas de baja altura. Es así como la madera se presenta como una alternativa atractiva desde el punto de vista económico. Así también, han alcanzado un alto grado de perfección y masificación en su uso, tanto en la construcción con entramado de madera (*frame construction*), como en la construcción de sistemas de pilares y vigas (*post and beam construction*). El mayor desarrollo del uso de la madera se ha dado en Canadá y Estados Unidos, con porcentajes de construcción que superan el 80% de las estructuras construidas cada año. Mientras que, en México, donde si bien existen casos históricos de construcción en madera, recién se trabaja en una actualización de los cuadros normativos y su uso no se ha masificado a la fecha (Reynoso, 2017).

Los países norteamericanos poseen cuadros regulatorios totalmente independientes, a diferencia del caso europeo que tiende a la unificación de los cuadros normativos y brechas entre los países, con contextos geográficos acotados y fronteras libres. Por esto, se hace necesario revisar cada caso normativo en forma independiente. A su vez, tanto en el caso de Canadá como en el de Estados Unidos, se destaca como principal barrera las regulaciones asociadas a la seguridad contra incendios (Veilleux, Gagnon, & Dagenais, 2015).

En Canadá y en Estados Unidos, tras una serie de incendios urbanos trágicos durante el siglo pasado, en los que, los diseños más antiguos (con escaleras abiertas, corredores y pozos verticales, sin rociadores y sin sistemas automáticos de detección y alarma de incendios) se levantó conciencia sobre los riesgos de las edificaciones en madera. Las lecciones aprendidas de estos incendios tuvieron un impacto directo en la configuración de los códigos de construcción tanto en Canadá como en Estados Unidos, así las regulaciones existentes se revisaron y aumentaron para evitar la recurrencia de tales tragedias. Con los años, estas revisiones incluyeron factores como construcción no combustible estipulada para algunos edificios, límites a la inflamabilidad de los materiales de construcción, introducción de conceptos de

compartimentación, requisito de alarmas contra incendios y medios de detección de incendios, y mejoras en los medios de salida.

En el caso norteamericano, al igual que en el europeo, también se está transitando a la actualización de los cuadros normativos de cara a permitir y masificar edificaciones de madera multifamiliares de mayor altura, aun encontrándose un poco rezagados respecto a los avances europeos en esta materia, pero liderando interesantes iniciativas que ambicionan la masificación de proyectos de este tipo. Un ejemplo, son los proyectos desarrollados por Sidewalk Labs para el caso de Toronto (sidewalklabs, 2020), que consideran incluso torres de madera de hasta 35 pisos de altura. Esto, como ya se explicó anteriormente, se enmarca en los múltiples beneficios de la madera en el contexto de una alternativa de construcción sustentable, y a la posibilidad de generar una nueva industria, capaz de mover millones de dólares, que busque la masificación de edificios industrializados en madera en la región.

### CASO CANADIENSE

En Canadá la mayoría de las viviendas son construcciones con marco de madera, alcanzando el 95% de las construcciones a nivel residencial. De igual forma, a comienzos del 1900, se desarrollaron experiencias de edificios de entramado ligero y piezas de madera de grandes dimensiones, de incluso 10 pisos de altura, las que en algunos casos son utilizadas hasta el día de hoy. El marco de madera es un método de construcción que utiliza madera de 38 mm de espesor, con profundidades de 89 mm a 286 mm, con el entramado espaciado a un máximo de 600 mm en el centro (Canadian Wood Council, 2020). En cuanto a los edificios en altura, su desarrollo se vio interrumpido debido a nuevos requerimientos normativos en torno a la seguridad frente a incendios durante el siglo XX.

En la actualidad, existe una notoria evolución en la actualización de códigos en construcción en madera en distintas provincias de Canadá. En el año 2009, a través de una modificación en las regulaciones provinciales en British Columbia y el *British Columbia Building Code* (BBCB), se autorizó elevar el número máximo de pisos para estructuras en madera de 4 a 6 pisos, lo que llevo al desarrollo de más de 300 edificios residenciales. Esto también impulsó a que las provincias de Quebec, Ontario y Alberta

también actualizaran sus códigos de construcción en 2013 y 2015, respectivamente. Así, debido a las experiencias positivas, y a una aceptación por parte del *Canadian Commission on Building and Fire Codes* (CCBFC) a modificaciones en el *National Model Construction Codes*, en el año 2015 se actualizó a nivel nacional el *National Building Code of Canada* (NBC), permitiendo la construcción de edificios de madera de hasta 6 pisos, a través de sistemas prescriptivos, aunque con ciertos límites relativos al fuego como (Canadian Wood Council, 2020):

- Aumentar el uso de rociadores automáticos en las áreas residenciales.
  - Aumentar el uso de rociadores en balcones.
  - Un mayor dimensionamiento del suministro de agua para el combate de incendios.
  - Uso de a lo menos un 90% de revestimientos exteriores no combustibles o de combustión limitadas en todos los pisos.
- En el ámbito normativo canadiense, por parte del *Canadian Wood Council* (CWC), el desarrollo masivo de edificaciones de media altura ha demostrado algunos desafíos importantes, tales como:
- Un mayor potencial de encogimiento por contracción acumulativa y mayores movimientos diferenciales entre tipos de materiales, como resultado de un aumento en la altura.
  - Un aumento en las cargas muertas, vivas, por viento y sísmicas, consecuencia de edificios de mayor altura.
  - Mayor densidad de muros estructurales y su continuidad a lo largo del edificio.
  - Mayores requerimientos de resistencia de elementos para compartimentación del fuego en edificios de mayor altura y superficie.
  - Mayores estándares asociados al desempeño acústico, en línea con requerimientos en edificios de departamentos.
  - Consideraciones para una mayor exposición de los materiales durante la construcción, debido a mayores tiempos de ejecución.
  - Estrategias de mitigación para reducir el riesgo de incendios durante la construcción.



- Modificación en las secuencias de construcción, debido a la incorporación de sistemas prefabricados, nuevas tecnologías y procesos.

Si bien el sistema constructivo de madera más común en Canadá, siguen siendo los marcos ligeros de madera, en los últimos años soluciones de madera maciza como el CLT han aumentado su presencia en el sector construcción. Según investigaciones realizadas en el país, edificios de múltiples pisos y con mayores requerimientos estructurales, hacen necesario el uso de elementos como madera laminada encolada, madera compuesta estructural o madera laminada cruzada CLT, a fin de alcanzar desempeños de estabilidad y ante sismos (Veilleux, Gagnon, & Dagenais, 2015). De igual forma, estas soluciones macizas permiten el desarrollo de diseños más flexibles, con mayores luces libres y alturas, aunque pueden significar mayores costos de construcción.

Luego de que se modificará el BCB y se construyera en el año 2010 la primera estructura de 6 pisos en Vancouver, el apoyo del sector público fue fundamental para el desarrollo de nuevas iniciativas que buscaban generar una nueva generación de edificios de madera en altura en Canadá. Así, la *British Columbia University* (UBC) comenzó un proceso de trabajo para la concreción de múltiples proyectos de innovación en madera de altura, que apuntaran a generar conocimiento para la validación tecnológica, elaboración de propuestas de modificación a los cuadros normativos y nuevos estándares de buenas prácticas. De esta manera UBC concretó en el año 2014 en su campus universitario, el edificio *Wood Innovación and Design Center* (WIDC), la primera estructura CLT de 8 pisos de altura y que superaba los 6 pisos establecidos en la norma del momento, para así, luego de diversos proyectos intermedios, inaugurar en el 2017 el edificio Brock Commons de 18 pisos de altura, y con una estructura híbrida de núcleos de hormigón y losas de CLT. Tanto el proyecto Brock Commons, como el Proyecto Origine de 13 pisos en estructura de CLT construido el 2017 en Quebec, fueron desarrollados a través de apoyo estatal mediante el programa *Tall Wood Building Demonstration Initiative* (TWDI), permitiendo el desarrollo de una guía de diseño de edificios de 12 pisos de altura *Directives and Explanatory Guide for Mass Timber Buildings of up to 12 Storeys* (guía RBQ). Estas experiencias y guías desarrolladas permitieron en 2019 el desarrollo del edificio de viviendas multifamiliar Arbora en Montreal, el cual fue el primer edificio de madera en altura canadiense, desarrollado bajo un modelo económicamente rentable y sin el apoyo de fondos del tipo I+D (Wiegand 2019),

demonstrando la importancia del apoyo del sector público en el desarrollo de proyectos gatilladores.

## CASO ESTADOUNIDENSE

Más del 85% de las viviendas que se construyen en los Estados Unidos cada año se construyen con estructuras de madera. Las estructuras con entramado de madera han servido a las necesidades de la sociedad desde el año 1700, a través de casas unifamiliares hasta grandes edificios de apartamentos de varios pisos, casas adosadas, propiedades comerciales e industriales. Sin embargo, al igual que en el caso canadiense, las actualizaciones más restrictivas en relación con el riesgo de incendios, durante el siglo pasado, limitó su desarrollo en estructuras de mayor tamaño, arrastrado por dudas sobre las propiedades estructurales y preocupación por el resguardo de los habitantes ante siniestros (Schmidt, 2013).

En Estados Unidos la madera se usa ampliamente en la construcción de viviendas unifamiliares y en edificios multifamiliares de hasta 6 pisos, en forma relativamente común. La construcción con madera con sistema constructivo *frame building* es la más popular para fines residenciales, y también para edificios bajos. La adopción de códigos prestacionales en América del Norte, desde la década de 1980, permitió el desarrollo de soluciones alternativas y, por lo tanto, edificios multifamiliares de con un mayor número de plantas (Wiegand, 2019).

Se debe considerar que el contexto regulatorio estadounidense, para edificios de madera que busquen salirse de los estándares prescriptivos, es particularmente desafiante. De esta manera, se exigen pruebas de variables como resistencia al fuego, desempeño estructural, comportamiento acústico, ensamblaje de elementos constructivos, entre otros. En este contexto, el desarrollo de proyectos innovadores en madera, sin aportes adicionales de fondos I+D, resulta sumamente difícil y puede convertir a un proyecto en inviable en cuanto a las pruebas de desempeño requeridas. En este contexto, se han diseñado solo dos edificios en altura de madera en la zona sísmica de alto riesgo de la costa del Pacífico, ambos con aportes de fondos I+D y que buscan hacer viables dichos proyectos pioneros: el edificio Framework de 12 pisos de altura, construido en Portland en el año 2015; y el edificio Carbon12, de 8 pisos de altura, también construido en Portland en el año 2018 (Wiegand, 2019).

Un antecedente primordial es que estos proyectos I+D, desarrollados tanto en Estados Unidos como Canadá, influyeron en las modificaciones aplicadas

en la nueva edición del *International Code Council (IBC)*. Esto significó la inclusión de nuevas prácticas de protección contra incendios, desempeño estructural de madera ingeniería, comportamiento ante sismos, entre otros; sustentados por la incorporación de tres nuevas clasificaciones de edificios de madera de 9, 12 y 18 pisos de altura (Wigand, 2019).

**Es importante destacar que, en Estados Unidos los códigos de construcción dependen de cada estado, variando de una altura máxima de 4, 6,**

**9, hasta 18 pisos.** El Código de Construcción de Oregón, por ejemplo, ya adoptó una propuesta en 2018 y proporciona elementos de rutas prescriptivas para el desarrollo de edificios de madera multifamiliar para estructuras de hasta 18 pisos de altura (Woodworks, 2019). Así, el edificio T3 de 7 pisos, completado en Minneapolis en el año 2015, fue el primer edificio moderno de madera en altura de Estados Unidos, obteniendo su aprobación a través de los requisitos de desempeño prestacional basados en criterios de desempeño.

## 2.4. EXPERIENCIA REGULACIÓN EN OCEANÍA

En la región de Oceanía, las normativas en relación a la construcción en madera son principalmente dadas por la experiencia neozelandesa y australiana, tendiendo ambas a homologar requerimientos normativos. Si bien, estas no son exactamente iguales, ambas normativas consideran estructuras similares entre el *New Zealand Building Code (NZBC)* y el *National Construction Code de Australia (NCC)*, atendiendo tratamientos prescriptivos y prestacionales según las características del proyecto. También, se destaca el desarrollo de estándares conjuntos denominados AS/NZ, similar a lo que sucede en el caso europeo con estándares de uso transversal.

Tanto en Australia como en Nueva Zelanda la experiencia en la actualización de normativa de construcción en madera, especialmente en cuanto al desarrollo de edificios multifamiliares, se encuentra algo retrasado respecto a los casos europeos y norteamericanos antes descritos (Australian Government, 2019). Si bien el sector forestal es una pieza clave de su economía y motor del desarrollo de cada país, en torno a productos derivados para el sector de la construcción, el sector de la construcción en madera se concentra principalmente en viviendas unifamiliares. Además, el caso australiano presenta un sector constructivo de mayor tamaño que el neozelandés, acaparando buena parte de los recursos asociados en la región. Es así como en Australia anualmente se construyen alrededor de 230.000 viviendas de madera, mayor número de la región, y muy superior a las 35.000 viviendas anuales construidas en el caso de Nueva Zelanda.

### CASO AUSTRALIANO

El sector de construcciones de madera australiano se caracteriza por estructuras de baja altura, asociadas a sus códigos normativos

de carácter prescriptivo, que permitían en su momento construcciones de madera de máximo 3 pisos de altura. Los proyectos de múltiples pisos y departamentos de madera son escasos, existiendo diferentes brechas asociadas a una percepción de mayores costos de mantención, riesgo de incendios y falta de conocimiento sobre nuevas tecnologías de construcción en madera (XI et al., 2014). Para las edificaciones de este tipo, comúnmente se considera el uso de madera aserrada blanda para entramados de paredes, entresijos y cerchas de techo, de carácter estructural, y madera dura, aserrada y chapas, para su uso en revestimientos de pisos y ebanistería, como productos de terminación.

El requerimiento de seguridad frente al fuego, al igual que en casos mencionados anteriormente, se identifica como una de las razones primordiales para limitar las estructuras en madera. En el código de construcción de Australia, al igual que en el chileno, se considera que la resistencia al fuego requerida dependerá de la altura del edificio, el uso y tipo de ocupación, la inclusión de rociadores, vías de escape y otros factores. Si se hace una distinción respecto al caso chileno, permitiendo a un proyecto poder diferir de los requisitos de las disposiciones prescriptivas, si un ingeniero de incendios proporciona un diseño de seguridad ante incendios adecuado como solución alternativa (WoodSolutions, 2016).

En mayo del año 2016, Australia actualizó sus códigos de construcción para edificios según su NCC, permitiendo edificaciones en madera de hasta 8 pisos o 25 metros, sin la necesidad de realizar una revisión prestacional a través de proyectos adicionales de ingeniería (Forestal Maderero, 2017). De igual forma, la normativa australiana permite el desarrollo de edificios de mayor altura a través del estudio de requerimientos prestacionales y estándares asociados. En esta línea,

se destaca también la construcción mediante CLT del edificio de viviendas multifamiliar Forté Apartments en Melbourn, inaugurado en el año 2013 y que es actualmente el edificio emblema de la construcción en madera en el país.

## CASO NEOZELANDÉS

El caso neozelandés comparte muchas similitudes con el australiano, siendo las viviendas unifamiliares de entramado ligero de 2 a 3 pisos de alturas las más comunes en el país. Esto debido a que la NZBC lo permite a través del estándar NZS 3604:2011 que entrega requerimientos prescriptivos para edificaciones de madera de hasta 2 pisos y con entretecho habitable. Según lo anterior, si se pretende desarrollar una edificación de viviendas multifamiliar de

más de 2 pisos de altura, se deberá realizar un diseño de carácter prestacional mediante el estándar NZS 3603:1993, que se encuentra actualmente en revisión, a fin de incorporar nuevas directrices de diseño para un mayor rango de tipo de edificios de madera en base al estándar australiano AS 1720.1 (Branz, 2019).

Nuevamente, en el caso neozelandés, se detectan como principales desafíos en cuanto a la construcción con madera, los requerimientos relativos a seguridad ante incendios y desempeño acústico entre unidades habitacionales. También cabe destacar, que al igual que el caso chileno, Nueva Zelanda se encuentra actualmente explorando alternativas para avanzar en el desarrollo de una hoja de ruta que permita masificar los edificios de 6 pisos de entramado ligero en madera (Branz, 2019).

## 2.5.

### MARCO NORMATIVO CHILENO.

En Chile los requerimientos para el desarrollo de proyectos en construcción, especialmente en el ámbito de vivienda, presentan uno de los cuadros normativos más robustos de la región Latinoamericana y del Caribe. Se rige, principalmente, por la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), que es el cuerpo legal que contiene los: principios, atribuciones, potestades, facultades responsabilidades, derechos, sanciones y demás 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 territorio de la nación (Artículo 1° y 2° LGUC). Adicionalmente la LGUC, considera como reglamento la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), que contiene 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 (artículo 2° LGUC) (MINVU, 2020a).

Los municipios, por medio de sus Direcciones de Obras Municipales (DOM), son los encargados del control del cumplimiento de los cuadros normativos legales y reglamentarios de las obras en sus respectivas comunas (Artículo 142 LGUC). Además, cada municipio, puede definir o no, instrumentos de planificación territorial que contengan un conjunto de disposiciones sobre condiciones de edificación y espacios urbanos (Artículo 41 LGUC). Estos instrumentos son denominados Planes Reguladores Comunales, y buscan definir

condiciones (ej. Alturas máximas, distanciamientos, perfiles de calle, rasantes, otros.) para zonas según destinos habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento (MINVU, 2020b). La DOM requerirá que cualquier proyecto que se realice en su comuna, salvo casos según artículo 5.1.2 OGUC, deban solicitar un permiso de edificación y de recepción definitiva en los cuales se verifica el cumplimiento de los cuadros normativos mencionados.

Existen además otros instrumentos legales que pueden establecer requerimientos normativos adicionales según el destino del inmueble. Estos pueden ser de carácter sanitario, ambiental u otro, y dependerán principalmente del programa definido según su destino. Por ejemplo, en el ámbito de la vivienda, existen los Planes de Descontaminación Atmosférico (PDA) que estableces los requerimientos legales en algunas ciudades de Chile que consideran condiciones de saturación de contaminación ambiental. Estos instrumentos determinan requerimientos técnicos que deberán cumplir edificaciones como viviendas y pueden ser aún más restrictivos que los establecidos en la OGUC, por ejemplo, en líneas como la aislación térmica mínima requerida, hermeticidad al paso del aire, riesgo de ocurrencia de condensación, entre otros.

Los cuadros normativos chilenos se encuentran en manuales específicos y/o documentos de normativa técnica chilena (NCh), estos últimos elaborados por el Instituto Nacional de Normalización (INN). Estas normas técnicas NCh son referenciadas en los documentos legales y

normativos como OGUC o PDA, y según corresponda y sea requerido las habilita para su exigencia en los diferentes trámites legales establecidos para el desarrollo de un proyecto de edificación.

**Si bien, cualquier edificación en Chile deberá cumplir con los requerimientos normativos mínimos para su ejecución y posterior aprobación, algunos requerimientos pueden tener un mayor efecto en la materialidad escogida.** A continuación, se presentan los principales requerimientos normativos según literatura internacional (Östman & Källsner 2011) y requerimientos nacionales (OGUC, 2019; MADERA 21, 2020), los que presentan mayores limitantes para el desarrollo de un proyecto habitacional en madera.

## RESISTENCIA AL FUEGO

**La resistencia al fuego, según OGUC, es una característica de una solución constructiva, considerando las múltiples capas constructivas, e independiente de la materialidad; ya que el conjunto de capas contribuye y constituye la resistencia al fuego final del elemento de construcción.** La madera posee una cualidad de resistencia al fuego que dependerá del tipo de madera y el tamaño de la pieza, generando una capa de carbonización que sirve de aislante al fuego y que protegerá la integridad estructural central de una pieza, prolongando su resistencia ante un incendio. Entonces, elementos de madera de mayor tamaño y/o densidad, tenderán a presentar una mayor resistencia al fuego y una tasa de carbonización más lenta, mientras que elementos de menor tamaño y/o densidad, como los utilizados en sistemas de entramado de madera, podrían requerir de capas de aislación al fuego adicionales.

**La protección al fuego se basa en el tiempo necesario para realizar una evacuación de los habitantes en caso de incendio frente a un posible**

**colapso de la estructura, evitando así pérdidas de vidas y la propagación desde una edificación a otra, según se presenta en OGUC en los artículos 4.3.3 y 4.3.4.** Es importante destacar que este requerimiento busca proteger la vida de las personas, por lo que resguarda las edificaciones habitacionales, su objetivo no es proteger el patrimonio. También se enfatiza, con lo señalado al comienzo, que la normativa no realiza una distinción alguna según materialidad, definiéndose así un estándar prescriptivo general.

La OGUC también hace referencia a sistemas activos y pasivos de seguridad contra incendio:

- Protección activa: consiste en la utilización de sistemas o dispositivos que automáticamente logran detectar y combatir un incendio, por ejemplo, a través de sensores de detección de humo como extintores o aspersores.
- Protección pasiva: se basa en la capacidad de las soluciones constructivas, que por sus condiciones físicas y de configuración, son capaces de proteger la estructura de un edificio de la acción del fuego durante un tiempo establecido.

**Pese a que, en la normativa chilena, la protección activa no guarda relación directa con la materialidad de los sistemas constructivos, solo permite flexibilidad en alguno de los requerimientos prescriptivos. La protección pasiva, dependerá exclusivamente de los materiales utilizados en la construcción de una edificación.** De esta manera, se requerirá distintos tiempos de resistencia según corresponda, denominado “F-” seguido del tiempo de resistencia en minutos, según la función del elemento constructivo; número de pisos que considera la estructura del inmueble; al igual que el destino programático de los recintos interiores; su superficie edificada, o la carga de ocupación, o la densidad de carga combustible.

Tabla 1: Resistencia al fuego requerida para elementos de construcción en viviendas. Fuente: OGUC, 2009

| Nº Piso | Muros cortafuego | Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera | Muros caja ascensores | Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta) | Elementos soportantes verticales | Muros no soportantes y tabiques | Escaleras | Elementos soportantes horizontales | Techumbre incluido cielo falso |
|---------|------------------|---|-----------------------|---|----------------------------------|---------------------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------------|
| >=6     | F-180            | F-120   | F-120                 | F-120   | F-120                            | F-30                            | F-60      | F-120                              | F-60                           |
| 5       | F-150            | F-120   | F-90                  | F-90  | F-90                             | F-15                            | F-30      | F-90                               | F-60                           |
| 3 y 4   | F-120            | F-90  | F-60                  | F-60  | F-60                             | -                               | F-15      | F-60                               | F-30                           |
| 1 y 2   | F-120            | F-60  | F-60                  | F-60  | F-30                             | -                               | -         | F-30                               | F-15                           |

Los requerimientos de resistencia al fuego para viviendas pequeñas, como viviendas sociales, son menores que los que se pueden encontrar en viviendas más grandes o en edificaciones en altura. Esto se menciona en el artículo 4.3.5 numeral 14 de la OGUC, que establece que viviendas de superficie edificada inferior a 140m<sup>2</sup> y menor a 2 pisos de altura, a excepción de los muros de adosamiento, solo consideren la resistencia mínima normativa al fuego F-15 (resistencia de 15 minutos). Esto también se traduce en un aumento considerablemente mayor en los estándares contra el fuego y costos asociados, para departamentos de vivienda social en madera sobre los 3 pisos de altura.

Entonces, se puede apreciar una disparidad en los costos de construcción para edificaciones de menor y mayor altura, debido a la necesidad en el caso de la madera de contar con soluciones más complejas que entreguen protección al fuego. Esto puede ser especialmente sensible en proyectos de carácter social con subsidios definidos, donde, por ejemplo, un departamento social en un edificio de entramado de madera de 6 pisos de altura requerirá muros F-120, con tres placas de yeso cartón resistentes al fuego; mientras que una vivienda social de 2 pisos de altura solo requerirá de muros con resistencia F-15 con una placa de yeso cartón estándar.

Soluciones multicapas, como es el caso del sistema de entramado de madera, requerirán la realización de más estudios y/o ensayos para su aprobación normativa ante incendios, que

soluciones monolíticas simples como el hormigón o albañilería. Esto debido a que una solución de entramado es altamente especializada, y dependiendo de su ubicación en el proyecto puede variar los tipos de placas utilizados, escuadrías, distanciamientos, entre muchos otros factores, haciendo necesario validar cada una de sus variantes presente al proyecto y la normativa.

Para determinar la resistencia al fuego de una solución constructiva ante DOM, es necesario cumplir con alguno de los siguientes requisitos:

- Informe de ensayo realizado por laboratorio registrado en MINVU, basado en la Norma NCh 935/1- Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción general. Se debe considerar que a la fecha en Chile solo existe un laboratorio con registro vigente en MINVU, este es IDIEM (Investigación, Desarrollo e Innovación en Estructuras de Materiales) de la Universidad de Chile.
- Solución inscrita en listado oficial de comportamiento al fuego, basado en soluciones constructivas ensayadas y presentadas a MINVU para su difusión. Si bien este listado considera su actualización periódica, la versión actualmente vigente corresponde a marzo del año 2014.
- Certificado de asimilación basado en informe emitido por entidad especialista en el área con registro en MINVU.



Figura 35: Ensayo NCh 935/1, estructura entrepisos a la izquierda) y muro a la derecha). Fuente: IdiEM, 2018

**Es también importante mencionar que la normativa vigente en Chile no hace especial referencia a la compartimentación de edificaciones frente al fuego y propagación del humo, en comparación a normativas de países desarrollados.** Así, se destaca una brecha normativa que podría ser especialmente preocupante, sobre todo cuando nos enfrentamos a edificaciones en madera de mayor altura.

## DESEMPEÑO ACÚSTICO DE ELEMENTOS

**En el caso normativo chileno, el requerimiento de un desempeño acústico determinado se limita a elementos constructivos determinados, y serán aplicables solo a elementos que separen o dividan unidades de vivienda.** Estos elementos deben ser parte de un edificio colectivo, o entre unidades de vivienda de edificaciones continuas, o entre unidades de viviendas de edificaciones pareadas, o entre las unidades de vivienda que estén contiguas a recintos no habitables, definido en los artículos 4.1.5 y 4.1.6 de la OGUC. Se destaca que, la normativa no realiza una distinción según materialidad, definiéndose un estándar prescriptivo.

La OGUC define dos formas de propagación del ruido a través de elementos constructivos de una vivienda, los cuales se definen por su emisión:

- **Ruido aéreo:** se refiere a las ondas sonoras transmitidas por el aire, que provocan la perturbación del movimiento de las moléculas de aire desde una fuente emisora a una receptora. “Las compresiones o depresiones (expansiones) del aire, al incidir en una pared o piso hacen que ésta comience a vibrar, transmitiendo sus deformaciones al aire del espacio adyacente, convirtiéndose a su vez en una fuente de producción del sonido. Las vías de transmisión pueden ser directas o indirectas”. En este último, indirecta, la transmisión de ruido aéreo posee también una componente estructural que excita y hace vibrar los elementos constructivos; así, “esta vibración conjunta de tabiques y estructura se convierte en ruidos aéreos en los recintos anexos” según el manual de aplicación reglamentación acústica (MINVU, 2006a).
- **Ruido de impacto:** se refiere a las ondas sonoras transmitidas en forma de vibración a través de cuerpos sólidos o estructuras debido a golpes, pisadas, martillo, movimiento de muebles, entre otros. “Esta vibración se transmite muy rápidamente a través de toda la estructura con muy pocas pérdidas de energía (disipación térmica) y puede afectar a todo el edificio por transmisión indirecta”. Este ruido es posteriormente transmitido

al aire, principalmente en frecuencias bajas según el manual de aplicación reglamentación acústica (MINVU, 2006a).

**Las exigencias normativas establecidas en el artículo 4.1.6 de la OGUC buscan ofrecer condiciones de confort acústico mínimo en viviendas, respecto a las unidades vecinas.** De esta manera establece índices de reducción al ruido aéreo de 45dB(A) para elementos divisorios horizontales y verticales, mientras que, para los elementos horizontales o inclinados, que sean divisorios entre unidades de vivienda, establece adicionalmente un nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo de 75dB.

**Al igual que en el caso del comportamiento ante el fuego, las diferentes capas de los sistemas de entramado de madera requerirán la realización de un mayor número de ensayos para su aprobación al comportamiento acústico, que soluciones monolíticas simples de algunos sistemas tradicionales.** Así, en elementos divisorios entre unidades de viviendas, las distintas configuraciones de soluciones constructivas propias de recintos como dormitorios, baños, cocinas, pasillos, entre otros, deberán considerar la realización de ensayos independientes. Esto puede impactar significativamente un proyecto en sus costos y plazos, haciendo que gestores y/o diseñadores desistan en el uso de madera para un determinado proyecto.

Para demostrar cumplimiento de lo expresado anteriormente, se deberá presentar a DOM, alguno de los siguientes medios:

- Informe de ensayo acústico en laboratorio registrado en MINVU, según método de ensayo especificado en NCh 2786 para índice de reducción acústica, ponderado según ISO 717-1; y ISO 140-6 para definición de presión acústica de impacto normalizado, ponderado según ISO 717-2. A la fecha en Chile, solo existe un laboratorio con registro vigente en MINVU, este es IDIEM (Investigación, Desarrollo e Innovación en Estructuras de Materiales) de la Universidad de Chile.
- Informe de inspección en terreno, emitido por IDIEM, según lo establecidos para índice de reducción acústica aparente en elementos constructivos verticales y horizontales según norma NCh 2785, ponderado según ISO 717-1; mientras que para la obtención de niveles de presión acústica de impacto normalizado en elementos constructivos horizontales se considera lo señalado en norma internacional ISO 140-7, ponderado según ISO 717-2.

- Solución inscrita en listado oficial de soluciones constructivas para aislamiento acústico, basado en soluciones constructivas ensayadas y presentadas a MINVU para su difusión. Si bien este listado considera su actualización periódica, la versión actualmente vigente corresponde a marzo del año 2014.



Figura 36: Ensayo NCh 2786 muro divisorio, sala receptora a la izquierda y sala emisora a la derecha. Fuente: CPIA,

Es relevante mencionar que los requerimientos prescriptivos de índice de reducción al ruido aéreo en Chile han significado un desafío importante para soluciones constructivas que poseen poca masa. Esto es aplicable a soluciones constructivas de entramado de madera, las que requieren generalmente de detalles constructivos más sofisticados para la obtención de los niveles mínimos de desempeño. Ejemplo de lo anterior es la incorporación de membranas acústicas o estructuras de entramado de madera desvinculadas, lo que tiende a encarecer y complejizar la construcción de elementos para una vivienda departamento, en edificaciones de mayor altura.

## AISLAMIENTO TÉRMICO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

**Existen requerimientos prescriptivos para el desempeño de aislamiento térmico de elementos de envoltorio de viviendas, opacos y traslucidos.**

La normativa chilena, en lo que respecta a desempeño térmico, se rige según lo señalado en el artículo 4.1.10 de la OGUC, y considera una zonificación de siete zonas térmicas, basada en la metodología de grados día mes para calefacción según Manual de Aplicación Reglamentación Térmica (MINVU, 2006b).

**En Chile los requerimientos relacionados a este artículo han ido intensificándose en distintas etapas a lo largo de los años, siendo la primera iniciativa en su tipo en Latinoamérica y el Caribe.** De esta manera, ésta comienza su implementación en

el año 2000 con requerimientos mínimos de aislamiento térmico para techumbres e incorpora en el año 2007 elementos de muros, pisos ventilados y porcentajes de ventana según aislamiento. Los requerimientos establecidos apuntan a que los elementos de envoltorio deben cumplir con una transmitancia térmica  $U$   $W/m^2K$  máxima, o una resistencia térmica  $R$   $m^2K/W$  mínima, o un etiquetado R100 mínimo (aplicado a un elemento de aislación térmica específico), y definición de porcentajes máximos de vidriado por envoltorio, según transmitancia térmica del complejo de ventana.

- Transmitancia térmica: esta propiedad de un elemento constructivo compuesto por uno, o varios materiales, corresponde al “flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Corresponde al inverso de la resistencia térmica total  $R_t$  de un elemento y se expresa en  $W/m^2K$ . Se determina experimentalmente según la norma NCh 851 Aislación térmica - Determinación de propiedades de transmisión térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Cámara térmica calibrada y de guarda o bien por cálculo como se señala en la norma NCh 853 Acondicionamiento térmico - Envoltorio térmico de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas” (Manual de Aplicación Reglamentación Térmica MINVU, 2006).
- Resistencia térmica: corresponde a la resistencia al paso del flujo de calor de una capa de material, considerándose en el caso de la resistencia térmica

total  $R_t$ , la suma de la resistencia de todas las capas del elemento constructivo. Así, corresponde al inverso de la transmitancia térmica del elemento y se expresa en  $m^2K/W$ .

- R100: corresponde, según la norma NCh 2251, a la resistencia térmica que presenta un material o elemento de construcción, multiplicado por 100. En el marco de la normativa, se encuentra asociado al etiquetado de materiales aislantes usados en la construcción.

**A medida que los requerimientos térmicos normativos sean mayores, los sistemas de madera presentan una ventaja mayor respecto a otras materialidades comunes; siendo esto último especialmente cierto en edificaciones de mayor altura, donde entramados estructurales de madera de mayor sección, permiten la instalación de más aislación térmica perimetral y por consiguiente un mejor desempeño en comparación a otras materialidades.** Así, se destaca que el cálculo de la transmitancia térmica considera las propiedades de conductividad térmica de cada material ensayadas según norma NCh 850 Aislación térmica - Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Aparato de placa caliente de guarda. Es en este punto donde la madera presenta una oportunidad respecto a otros materiales de construcción comunes, ya que la conductividad térmica de maderas como el pino se encuentran en el rango de  $0,104 W/mK$ , mientras que otros materiales como el hormigón presentan una conductividad 16 veces mayor de  $1,63 W/mK$  o el acero 558 veces mayor con una conductividad de  $58 W/mK$ . Adicionalmente, sistemas de entramado de madera tienen el beneficio de dejar cavidades de aire interiores que permiten la instalación de importantes espesores de aislamiento térmico que, sumado a la baja conductividad de la madera de la estructura de entramado de madera, permiten un desempeño térmico sobresaliente.

**Ahora, si bien la madera tiene una clara ventaja en su desempeño térmico frente a otros materiales, la complejidad del uso de múltiples capas en sistemas de entramado significara la necesidad de validar cada solución constructiva especificada y una mayor complejidad en su cumplimiento ante la normativa.** La complejidad constructiva de los sistemas de entramado de madera, frente a soluciones monolíticas, requerirá el evaluar el desempeño térmico da cada parte del sistema constructivo, y su desempeño conjunto. Así, la normativa requiere evaluar

no solo las cámaras con aislamiento térmico, si no que de be analizarse también los puentes térmicos de madera, requiriendo un mayor nivel de complejidad en su estudio y pudiendo desincentivar su uso en proyectos.

Para demostrar el cumplimiento de los requerimientos establecidos en el artículo 4.1.10, se deberá presentar a DOM alguno de los siguientes medios:

- Mediante la incorporación de un material aislante etiquetado con el R100 correspondiente, rotulado según la norma técnica NCh 2251.
- Mediante un certificado de ensayo otorgado por un laboratorio con registro vigente en MINVU, demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica total del elemento constructivo.
- A través de cálculo, realizado por un profesional competente y de acuerdo con lo señalado en la norma NCh 853, demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica requerida del elemento constructivo.
- Solución inscrita en listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico, basado en soluciones constructivas ensayadas y presentadas a MINVU para su difusión. Si bien este listado considera su actualización periódica, la versión actualmente vigente corresponde a marzo del año 2014.

**Adicionalmente, bajo políticas públicas orientadas a aumentar la eficiencia energética y sustentabilidad de la vivienda, MINVU ha lanzado dos herramientas de calificación y certificación de viviendas.** Actualmente el MINVU tiene a disposición dos herramientas, de carácter voluntario, que se enfocan en la eficiencia energética y sustentabilidad de las viviendas y se espera pasen a ser de carácter obligatorio en futuras actualizaciones normativas:

- Calificación energética de viviendas (CEV): lanzada el año 2014 “es un instrumento de uso voluntario, que califica la eficiencia energética de una vivienda en su etapa de uso -un sistema similar al usado para etiquetar energéticamente refrigeradores y automóviles- que considera requerimientos de calefacción, enfriamiento, iluminación y agua caliente sanitaria.” (Calificación energética, 2020).
- Certificación vivienda sustentable (CVS): “Es un sistema voluntario de certificación ambiental

residencial cuyo objetivo es acelerar la transición hacia una forma de construir más sustentable. Esta certificación utiliza como base los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas, publicados en 2016 por el MINVU.” (Csustentable, 2020).



Figura 37: Evolución de la normativa chilena de acondicionamiento térmico de edificios. (elementos en color están vigentes). Fuente: elaboración propia más datos recuperados de EMB Construcción, 2016.

Por otra parte, se han incorporado en los últimos años nuevas exigencias de este tipo a través de los llamados Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), cuya finalidad es reducir los niveles de contaminación del aire a través de la implementación de medidas y acciones específicas, orientadas sea resguardar la salud de la población. En relación con otras iniciativas legislativas que apuntan a mejorar el desempeño higrotérmico y reducir emisiones contaminantes de

las viviendas, se destacan los PDA implementados en algunas ciudades del país. Por ejemplo, en ciudades de clima frío con problemas de contaminación por calefacción con leña, el PDA establece mayores requerimientos de aislamiento térmico que los definidos en la OGUC para el artículo 4.1.10, junto con nuevos requerimientos prescriptivos complementarios, como la reducción de riesgo de condensación, estanqueidad al paso del aire y ventilación para asegurar una adecuada calidad del aire.



Figura 38: Planes de descontaminación atmosférica estrategia 2014-2018, se presentan las ciudades con instrumentos vigentes. Fuente: MMA, 2014.

**Se espera que instrumentos como los PDA, con mayores estándares de eficiencia energética y sustentabilidad, promuevan el uso de la madera, como un recurso limpio, eficiente y renovable, especialmente en edificaciones de mayor altura.** En esta misma línea, iniciativas como la ampliación de requerimientos térmicos en la OGUC y la definición de mayores estándares de confort en decretos de subsidios de vivienda social, prevé que fomenten el uso de la madera en edificaciones de mayor estándar habitacional.

## NORMATIVA DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL Y SÍSMICA

**La OGUC define condiciones para el análisis de estabilidad estructural que se debe cumplir en un edificio, independiente de su materialidad, en cuanto a la fuerza considerada en el diseño para los requerimientos sísmicos en una edificación. Esto delimita conceptos de altura y materialidad de la estructura, a través de un requerimiento prestacional.** Excepcionalmente, para edificaciones de madera, que no consideren subsidio estatal, y de no más de dos pisos de altura, es posible no considerar un análisis de estabilidad estructural, y solo tomar en consideración requerimientos prescriptivos de desempeño según los elementos constructivos detallados.

**Los requerimientos respecto a edificación en altura hacen referencia específicamente a las variables de carga y materialidad.** Estas variables se estipulan en la norma NCh 433 Diseño sísmico de edificios, la cual abarca la variable de carga, tomando distintas consideraciones de la geografía chilena como factor sísmico (tres zonas sísmicas), condiciones climáticas como acciones de viento y nieve, y análisis de cargas muertas y vivas. Por otra parte, respecto a estructuras en madera, la materialidad de la edificación y su sistema constructivo se estipula en la norma NCh 1198 Madera – Construcción en Madera – Cálculo, la cual estipula diseño de elementos y conexiones, considerando características estructurales respecto a maderas aserradas, laminadas y postes. Sin embargo, no existen referencias específicas respecto al diseño de muros estructurales de madera y no presenta normativa respecto al tipo de diseño marco o de madera masiva.

Según OGUC, los proyectos de estabilidad estructural para edificaciones en madera deberán considerar normas mínimas, según corresponda, tales como:

- NCh 433 Diseño sísmico de edificios
- NCh 1198 Madera – Construcción en Madera – Cálculo
- NCh 1990 Madera – Tensiones admisibles para madera estructural
- NCh 2151 Madera laminada encolada estructural – Vocabulario
- NCh 2165 Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata.

**De igual forma, se deberá considerar adicionalmente una revisión del proyecto por un Revisor de Proyecto de Cálculo Estructural habilitado en caso de:** (1) edificios de uso público; (2) conjuntos de viviendas cuya construcción hubiere sido contratada por los Servicios de Vivienda y Urbanización; (3) conjuntos de viviendas sociales de 3 o más pisos; (4) conjuntos de viviendas de 3 o más pisos que no sean sociales; (5) edificios de 3 o más pisos cuyo destino sea uso exclusivo oficinas privadas; (6) edificios que deban mantenerse en operación ante situaciones de emergencia, tales como hospitales, cuarteles de bomberos, cuarteles policiales, edificaciones destinadas a centros de control de empresas de servicios energéticos y sanitarios, emisoras de telecomunicaciones; y (7) edificios cuyo cálculo estructural esté basado en normas extranjeras, las cuales deberán ser declaradas al momento de solicitar el permiso.

**Si bien en Chile no existen requerimientos de altura máxima para la construcción de edificaciones en madera, estas mismas edificaciones son limitadas exclusivamente por la capacidad de los sistemas constructivos para cumplir con requerimientos técnicos de carácter estructural.** Esto sucede porque la norma vigente en Chile de diseño sísmico de edificios fue desarrollada considerando valores de máximo desplazamiento relativo de entrepisos admisibles (drift admisible), derivados de la construcción de edificaciones rígidas en hormigón. Lo anterior, significa que la normativa requiere que, una edificación con estructura de madera flexible

deberá comportarse ante un sismo de forma similar a una de hormigón. Esto se traduce en un sobre dimensionamiento de los sistemas de estructuras en madera y en un incremento importante en los costos de construcción (Santa María, 2016).

## NORMATIVA ESPECÍFICA EN RELACIÓN CON EL USO DE MADERA EN CONSTRUCCIONES.

**Se definen distintas clases de estructuras de madera según la materialidad predominante y tipo de estructura, para efectos de la OGUC, en el capítulo 3, el artículo 5.3.1.** Las clases que consideran el uso de madera estructural de manera importante son las siguientes: clase E: construcciones con estructura soportante de madera; paneles de madera, de fibrocemento, de yeso cartón o similares, incluidas las tabiquerías de adobe; entresijos de madera. Clase H: construcciones prefabricadas de madera; paneles de madera, yeso cartón, fibrocemento o similares. Es importante considerar, que no se definen clases para sistemas constructivos en madera en base a paneles SIP, madera industrializada, madera masiva, entre otras soluciones de mayor complejidad estructural. Estas requerirán del uso de normas extranjeras para la definición del proyecto de estabilidad estructural, así como una validación del proyecto por un Revisor de Proyecto de Cálculo Estructural habilitado.

**En el capítulo 6 de la OGUC se hace referencia a condiciones y normas mínimas de elementos de construcción no sometidos a cálculo de estabilidad estructural, con el fin de poder construir edificaciones con estructuras de madera de máximo 2 pisos de altura y según materialidad.** Así, en los artículos 5.6.6 “Entramados de piso” y 5.6.7 “Edificaciones de madera”, se especifican los requerimientos mínimos para el diseño y construcción de una edificación de madera, según las siguientes normas específicas:

- NCh 1989 Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia - procedimiento.
- NCh 1970/1 Maderas - Parte 1: Especies latifoliadas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh 1970/2 Maderas - Parte 2: Especies coníferas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.

- NCh 1207 Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad
- NCh 1079 Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico, para la definición de contenido de humedad permitida según zona climática.
- NCh 789/1 Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural, para la definición de durabilidad por tipo de madera maderas “No durables” requerirán de tratamiento según NCh 819.
- NCh 819 Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según uso y riesgo en servicio y muestreo. La madera más utilizada en Chile para construcción, pino radiata (INFOR 2019), siempre requerirá haber sido preservada para su uso en edificaciones.

En cuanto a normas elaboradas por el INN relacionadas al uso de la madera en construcción y no mencionadas directamente por la OGUC, aunque pudiendo ser citadas por otros instrumentos legales para casos específicos, estas son detalladas en ANEXO A de este documento.

## ACTUALIZACIÓN DE NORMAS NACIONALES

**La normativa vigente asociada a la OGUC se encuentra en constante revisión y actualización, siendo la última el año 2019 y la anterior el 2018. Se destacan las actualizaciones en curso, lideradas por la División Técnica de MINVU (DITEC), en lo referente a los artículos asociados a requerimientos de resistencia al fuego, desempeño acústico, referentes al desempeño higrotérmico de elementos y ventilación.** Adicionalmente, DITEC trabaja en conjunto a diferentes actores del sector construcción y de productos de madera en diferentes iniciativas tales como el desarrollo de un rótulo de piezas de madera y la actualización de 42 normas técnicas NCh asociadas a la construcción en madera, y expuestas en ANEXO A.

- Actualización de requerimientos frente al fuego: se destaca la intención de transitar a una metodología de cálculo para la estimación de resistencia al fuego de elementos constructivos. Esto permitirá la implementación más fácil de soluciones constructivas que no cuenten con ensayos de

resistencia al fuego en laboratorios acreditados (IDIEM). Adicionalmente, en el caso de elementos que posean múltiples capas, como el sistema de paneles de entramado de madera, facilitará la especificación de diferentes sistemas o variantes. En esta línea, se plantea una segunda parte a la norma NCh 1198, denominada NCh 1198/2 Madera – Construcciones en madera – Cálculo Parte 2: Cálculo de estructuras expuestas al fuego.

- Actualización de requerimientos acústicos: se prevé en los próximos años adicionar nuevos requerimientos en lo relativo al desempeño acústico de viviendas, incluyendo desempeños de aislamiento acústico de fachadas según niveles de ruido urbanos. Estos requerimientos pretenden incluir el estudio y caracterización del desempeño, tanto de elementos opacos, como vanos vidriados y puertas. Esto puede significar un mayor desafío para sistemas poco masivos, como es el caso de construcciones de madera.
- Actualización del desempeño higrotérmico de elementos y ventilación de recintos: se espera que para el año 2021 se actualice el artículo 4.1.10 de la OGUC a un estándar similar al implementado en ciudades con requerimientos PDA, incorporando adicionalmente una nueva zonificación térmica más representativa de las condiciones climáticas del país. Esta nueva zonificación tendrá como consecuencia requerimientos más estrictos en lo que respecta a aislamiento térmico, apuntando a una reducción del 30% de la demanda de calefacción respecto a la norma vigente: requerimientos de reducción del riesgo de condensación según NCh 1973 Comportamiento higrotérmico de elementos y componentes de construcción; niveles máximos de estanqueidad al paso del aire de la vivienda según NCh 888 Arquitectura y Construcción – Ventanas – Requisitos básico; y calidad del aire mediante ventilación según normas NCh 3308 Ventilación - Calidad aceptable de aire interior – Requisitos y NCh 3309 Ventilación — Calidad de aire interior aceptable en edificios residenciales de baja altura —. Cabe destacar que, si bien los sistemas constructivos en madera poseen en general un mejor desempeño higrotérmico, en lo que respecta a estanqueidad al aire, la experiencia chilena ha sido extremadamente insatisfactoria. Estudios de viviendas muestran que el promedio de hermeticidad al aire nacional se encuentra en torno a las 12,9 ACH@50Pa, lo que según los niveles buscados por la normativa en torno a los 6 ACH@50Pa es alto, el caso de la madera puede alcanzar en promedio a nivel país los 24,6 ACH@50Pa (CITECUBB & DECON UC, 2014).

- Actualización normativa de análisis de estabilidad estructural para construcciones en madera: se mencionan las propuestas de actualización de la norma NCh 1198 Madera – Construcciones en madera – Cálculo con el fin de incluir variantes de entramado de muro y losa para edificaciones de hasta seis pisos y sistemas de madera masiva tipo CLT. Adicionalmente, a través de un estudio liderado por CIM UC, se plantea una propuesta que busca aumentar el actual factor  $R=5,5$  y desplazamiento  $D_{max}=0,002$ , según estándares de construcción en madera, permitidos por norma NCh 433. Se enfatiza también en la elaboración de nuevas normas orientadas a tableros, NCh 36XX, basadas en modelo APA PS1 y PS2.

**Se destaca la próxima promoción de un decreto impulsado por MINVU y el Ministerio de Economía, que apunta propiciar la disponibilidad de madera de alto valor para la construcción y así fomentar una mayor calidad en la construcción con este material en Chile.** Este decreto establece que la madera que se destine para construcción y uso estructural o no estructural entregue información sobre características relevantes para este uso, tales como: proveedor, país de origen, terminación, especie, dimensiones, preservantes, calidad estructural y contenido de humedad.

**Vale la pena mencionar que, a pesar de que las regulaciones nacionales no lo abordan, en el contexto internacional existen normativas que apuntan a regular la emisividad y toxicidad de algunos compuestos en las soluciones constructivas usadas en edificaciones, buscando proteger a los ocupantes y reducir el impacto en el medioambiente.** Los principales criterios normados respecto a emisividad de los materiales se enfocan en los compuestos orgánicos volátiles (COV), que en el caso de la madera pueden estar presente en capas protectoras y aditivos utilizados en la producción de materiales de construcción en base a madera. Así, productos que pueden producir cáncer como los formaldehidos y arsénico, entre otros, y presentes en algunos compuestos adhesivos y preservantes, han sido limitados o restringidos por algunas normativas en países desarrollados. Ejemplo de esto último es el caso de preservantes como el Cobre, Cromo y Arsénico (CCA); el cual fue prohibido en Europa y Japón, y restringido en países como Estados Unidos, debido a su impacto en la salud y medio ambiente. Así, en Chile se debe avanzar en realizar estudios en torno a esto compuestos, con el fin de actualizar las normativas en torno a emisividad y toxicidad de los materiales en la construcción.

## CONCLUSIONES CAPITULO 2

**Según las experiencias internacionales revisadas, y la forma que se dieron los mayores avances en los diferentes países, se destaca la necesidad de desarrollar casos emblemáticos e innovadores, que funcionen como inspiración, para fomentar el desarrollo de edificios de madera y mejorar los estándares de construcción.** Se ha comprobado que este tipo de casos promueven la posterior generación de normas, guías y estándares que permiten el desarrollo de los proyectos en forma prescriptiva y/o reducen en forma considerable los requerimientos prestacionales normativos de estos. De esta manera, el costo de desarrollo de una edificación de vivienda multifamiliar se puede volver más atractivo frente a otras materialidades. Lo anterior resulta de suma importancia en el contexto chileno, de cara a la masificación de edificios de vivienda en madera en entornos urbanos.

De la revisión de casos normativos internacionales y chileno, se destacan como los puntos más relevantes:

- En casi todos los casos estudiados, los impulsos de modificaciones normativas se produjeron a posteriori del desarrollo de proyectos emblemáticos, los cuales en su mayoría consideraron aportes adicionales por parte del sector público/privado para el desarrollo de I+D. Si bien estos proyectos pioneros no fueron en muchos casos económicamente rentables en un inicio, sí abrieron el camino para proyectos posteriores que lo fueron. Esta situación aún no se ha dado en el contexto chileno, debido a la falta de referentes en torno a la edificación de viviendas en madera y especialmente en edificios multifamiliares.
- La mayor parte de los cuadros normativos internacionales, hasta hace un par de décadas atrás, presentaban importantes restricciones principalmente respecto al riesgo de incendio, limitando mayoritariamente su desarrollo a proyectos pequeños, como viviendas unifamiliares de máximo 3 pisos. Así mismo, proyectos emblemáticos multifamiliares, que buscaran avanzar por sobre los requerimientos establecidos, en su mayoría, requirieron del desarrollo de actualizaciones normativas en torno al uso de métodos prestacionales, permitiendo demostrar su desempeño para su aprobación. De igual forma, las posteriores actualizaciones a los requerimientos prescriptivos, luego de la validación de estos proyectos emblemáticos, demostró en casos como el australiano y canadiense, abrir la puerta a la masificación de los nuevos diseños y tecnologías.
- Se destaca el caso canadiense, que con apoyo público/privado para el desarrollo I+D y la publicación de una guía de diseño como resultado de la construcción de los edificios Brock Common y Origine, consiguieron la adaptación de la normativa provincial de British Columbia y Quebec. Estos antecedentes permitieron presentar actualizaciones al código nacional de construcción canadiense, especialmente con relación a riesgo de incendios y estabilidad estructural, con el fin de ampliar los límites de diseños prescriptivos a edificios de hasta 12 pisos. Esto no ha sucedido aun en otros casos, donde las nuevas tecnologías y métodos de diseño, no siempre consiguen ser difundidos a otros proyectos de forma masiva, poniendo en evidencia la importancia en la transferencia del conocimiento adquirido y el involucramiento del sector público a fin de apoyar que esto ocurra.
- De la comparación del caso normativo chileno, con los cuadros internacionales, se destaca que éste no presenta condicionantes explícitos que limiten el desarrollo de edificaciones en madera, asociado a una política pública que no hace distinción entre

materiales. Así, las brechas regulatorias chilenas en el uso de madera en la construcción no presentan condicionantes como máximo número de pisos o porcentajes máximos de exposición del material, como si lo presentaban o aun lo presentan algunos cuadros normativos internacionales.

- Se identifica que el caso chileno debe avanzar en reducir brechas, que pueden desincentivar la elección de madera por parte de desarrolladores de proyectos, del tipo; requerimientos prestacionales que no toman en consideración las particularidades de desempeño y/o beneficios de la madera; la necesidad de realizar múltiples validaciones a través de costos estudios o ensayos, frente a iteraciones de las capas de los sistemas de entramado; que las normativas nacionales no consideren la externalidades positivas de materiales con bajo impacto ambiental o que apoyen una visión de bioeconomía, como la madera; entre otros puntos detallados en este capítulo.
- La regulación chilena en torno a la construcción en madera, si bien es considerada como líder en la región, presenta la necesidad de avanzar en normativas que faciliten el desarrollo de edificios multifamiliares en madera, y nivelen el juego con otras materialidades tradicionales. Condición que también favorece a mejorar el estándar de viviendas unifamiliares de madera de menor altura. Similar al esfuerzo realizado por países de la comunidad europea o de Oceanía, los que buscan la unificación de normas que permitan facilitar el acceso y masificación de sistemas constructivos.
- En el caso chileno se presentan desafíos normativos críticos, para edificaciones de madera en media y gran altura, frente a seguridad ante incendios, desempeño acústico y estabilidad estructural. Al igual que la falta de herramientas normativas de diseño de estructuras, con diversas alternativas constructivas (entramado ligero, poste y viga, madera masiva, otros) que dificulten su desarrollo. En este sentido se considera necesario avanzar desde un sistema de pruebas de ensayos y métodos prestacionales, con altos costos y complejidades, a métodos prescriptivos o de evaluación simplificada; permitiendo facilitar los procesos de desarrollo de un proyecto y viabilizar iniciativas que a la fecha pueden ser inviables por las desactualizaciones de las normas vigentes.
- Se identifica también que los cuadros normativos internacionales respecto al fuego, con relación a edificios de madera en altura, tienden a ser más sofisticados que los chilenos. En este escenario se requiere avanzar en la actualización de los requerimientos normativos contra incendio de Chile, de manera de dar más certezas y seguridad respecto al desarrollo de edificios de madera en media y gran altura. Se destaca en este último punto variables como compartimentación, propagación de humo, y uso de sistemas activos de rociadores, entre otros.

# 03.

## ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA EN CHILE

### RESUMEN CAPITULO

**La construcción de edificios de 3 a 4 pisos es el escenario dónde la madera se puede incorporar de mejor manera, ya que los costos de construcción son totalmente competitivos.** Los costos de construcción, en edificaciones de 1 a 2 pisos son menores para la materialidad de madera, lo que se condice con el porcentaje de permisos de edificación que declaran que la materialidad predominante en la madera. Para las edificaciones de 3 a 4 pisos, los costos de construcción son mayores para los entramados de madera tradicionales, pero al aumentar los niveles de industrialización los sistemas en madera son muy competitivos, siendo este sector el principal nicho para fomentar la construcción en madera, ya que al implementar sistemas industrializados la productividad aumenta y los plazos de construcción disminuyen. Por otra parte, si bien las edificaciones de 5 a 6 pisos en hormigón armado tienden a bajar sus costos, debido a brechas normativas, la madera presenta alzas en éstos a mayor altura. Esto último ya que se hace necesario utilizar conectores y entramados más robustos en las estructuras, debido a que los parámetros de diseño estructural consideran estructuras más rígidas, no permitiendo que estructuras más flexibles puedan ser optimizadas.

**Las viviendas edificadas en madera presentan un mejor desempeño térmico que otras materialidades, llegando a generar ahorros de costos de operación relacionados con la calefacción de hasta un 53%.** Los costos de operación se dividen en costos fijos y costos variables, estos últimos corresponden principalmente a la calefacción de las viviendas la cual es directamente proporcional con el desempeño térmico de las viviendas, en este sentido la madera es un material con mejores características. Así, dependiendo de la zona y la materialidad comparada, las soluciones constructivas tienden a presentar siempre mejores desempeños que sus pares en otras materialidades y, por lo tanto, un ahorro futuro para los habitantes de la vivienda. Pero

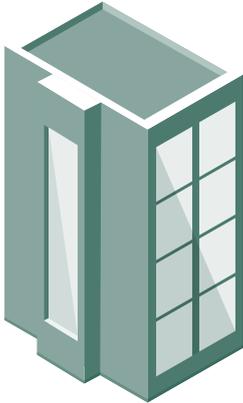
es también importante destacar que, en el contexto actual, son pocos los proyectos que cuantifican estos beneficios en sus etapas de desarrollo, inmobiliarias o constructoras; de igual forma, viviendas financiadas con recursos públicos, tienden a entregar mayores asignaciones en la medida que se demuestre mejores desempeños térmicos a través de herramientas como la calificación energética de vivienda.

**En Chile, actualmente, los impactos ambientales generados por las viviendas no son cuantificados, y no se favorece con ningún tipo de incentivo a materialidades más amigables con el medio ambiente, generando un mercado desigual.**

Para el impacto ambiental, se cuantificó la cantidad de CO<sub>2eq</sub> generada en la etapa de construcción y operación, dónde la primera representa un 9% de las emisiones totales y la segunda un 91% repartido en 60% para el consumo fijo y 31% para la calefacción. Actualmente, el impacto ambiental de las viviendas no es valorado, por lo que los beneficios ambientales de la madera no se contabilizan y generan una brecha en el mercado. Una iniciativa para cuantificar el impacto son los gravámenes a las emisiones, que por ejemplo en el caso del acuerdo de París se sitúa en torno a las 50 US/tonCO<sub>2eq</sub>. De igual forma, se debe pensar en otros incentivos financieros para materialidades amigables con el medio ambiente, a fin de cumplir los objetivos de carbono neutralidad planteados por Chile para el año 2050.

**Los instrumentos financieros podrían ser un obstáculo para aumentar los niveles de industrialización de sistemas constructivos.**

Hoy en día el financiamiento de las obras, tanto por entidades públicas como privadas, se realiza por medio de estados de pago los cuales están directamente relacionados con el avance físico en obra y no con el flujo de caja de los proyectos, generando una barrera económica para proyectos que consideren avances importantes de procesos de fabricación en industria.



EDIFICIOS MADERA  
3 A 4 PISOS

### MEJORES COSTOS COMPETITIVOS

- MENOS PLAZOS
- PRODUCTIVIDAD
- DESEMPEÑO TÉRMICO



\* GASTO VARIABLE

COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DISTINTOS, SEGÚN ZONA Y MATERIALIDAD



MEJOR RENDIMIENTO



AHORRO PARA SUS HABITANTES

### MADERA V/S HORMIGÓN



EDIFICIOS 6 PISOS



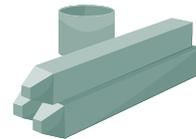
MADERA

**40 m<sup>3</sup>**

PARA SUS MUROS

**1,19 kgCO<sub>2eq</sub>**

TRANSPORTE POR 1 KM



HORMIGÓN

**83 m<sup>3</sup>**

PARA SUS MUROS

**16,22 kgCO<sub>2eq</sub>**

TRANSPORTE POR 1 KM



### POSIBLES SOLUCIONES



IMPUESTOS VERDES



AUMENTO EN LAS PROYECCIONES  
 DE LAS INSTITUCIONES QUE  
 OFERTAN CRÉDITOS HIPOTECARIOS



Figura 39: Construcción edificio Horizonte del Pacífico por empresa E2E Chile Fuente: [www.tribunadelbiobio.cl](http://www.tribunadelbiobio.cl)

## INTRODUCCIÓN

La presente sección recopila los principales resultados y conclusiones de dos estudios CIM UC, realizando análisis en base a cruces de información entre documentos, con el fin de identificar brechas y oportunidades para el desarrollo de la construcción en madera en Chile. Si bien la información pública sobre los costos de construcción de edificaciones de madera en el contexto chileno es escasa o simplemente inexistente, especialmente para edificaciones en altura, existen estudios puntuales que contribuyen a tener una visión más clara sobre estos. Así, el CIM UC ha liderado durante los últimos tres años, en conjunto a MINVU, una serie de estudios orientados a identificar los costos de construir edificaciones en madera en el país, junto a los costos asociados a su operación según región. Estos estudios se presentan en dos informes emitidos por el centro; el documento “Análisis del estado de la construcción en madera en Chile: Estadísticas de elección de materialidad y costos de construcción”; y el reporte “Estudio comparativo de costos de operación para edificaciones en Chile”.

El capítulo muestra la importancia de analizar la rentabilidad de los proyectos a lo largo de su vida útil, para esto se presentan tres secciones: la primera de costos de construcción, donde se analizan los costos por m<sup>2</sup> para diferentes materialidades y niveles de industrialización; la segunda muestra los costos de operación de las viviendas, comparando dos escenarios: el mínimo normativo y un escenario “ideal” el cual representa estándares de construcción mayores; y tercero, se realiza un análisis de impacto ambiental de emisiones de CO<sub>2eq</sub> y el costo que este podría significar económicamente. Finalmente, el capítulo muestra los instrumentos financieros y de subsidios disponibles, para la construcción de viviendas. Esto se presenta para la tendencia actual, y posibles escenarios futuros pensando en la promoción de la construcción en madera.

### 3.1. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN MADERA EN BASE A INFORMES ENTREGADOS POR CIM UC 2019

El estudio realizado por CIM UC considera un análisis cuantitativo con el fin de establecer parámetros y costos referenciales de distintas viviendas representativas del parque inmobiliario nacional. Estas viviendas tipo son presupuestadas tomando en cuenta las distintas materialidades representativas de cada región del país y según zona geográfica/climática. Así, las zonas definidas por el equipo investigador son: zona norte<sup>30</sup>, zona centro, zona sur y zona austral.

El equipo encargado pudo establecer una matriz de casos según tipología, materialidad y zona del

país. Las tipologías de viviendas definidas para el estudio fueron provistas en una primera instancia por MINVU, a través de su División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (DITEC), que es la encargada de velar por los aspectos técnicos al interior del ministerio y sus distintos programas habitacionales. De dichos proyectos, y junto con información recopilada en un levantamiento de información estadística del sector de la construcción, a partir de datos de permisos de edificación registrados por el INE se recopilaron datos relacionados con materialidad y zonas geográficas.

Tabla 2: Matriz de casos a estudiar para establecimiento de costos referenciales. Fuente: (CIM UC, 2019a).

|                |                                | 1 Piso                         | 2 Pisos Adosada | 2 Pisos Pareada | 3 Pisos            | 4 Pisos | 5 Pisos | 6 Pisos |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------|---------|---------|
| Zona Norte     | Hormigón                       |                                |                 |                 |                    |         | 1       | 1       |
|                | Ladrillo                       | 1                              | 1               | 1               | 1                  | 1       |         |         |
|                | Bloque cemento                 | 1                              | 1               | 1               |                    |         |         |         |
|                | Madera                         | 1                              | 1               | 1               | 1                  | 1       | 2       | 1       |
|                | Mixto bloque cemento Ac. Galv. |                                | 1               |                 |                    |         |         |         |
| Zona Centro    | Hormigón                       |                                |                 |                 | 1                  | 1       | 1       | 1       |
|                | Ladrillo                       | 1                              | 1               | 1               | 1                  | 1       |         |         |
|                | Bloque cemento                 | 1                              | 1               | 1               |                    |         |         |         |
|                | Madera                         | 1                              | 1               | 1               | 1                  | 1       | 2       | 1       |
|                | Ac. Galvanizado                | 1                              |                 |                 |                    |         |         |         |
|                | Mixto ladrillos madera         |                                |                 | 1               |                    |         |         |         |
|                | Mixto ladrillos Ac. Galv.      |                                | 1               |                 |                    |         |         |         |
| Zona Sur       | Hormigón                       |                                |                 |                 |                    |         | 1       | 1       |
|                | Ladrillo                       | 1                              | 1               | 1               | 1                  | 1       |         |         |
|                | Ac. Galvanizado                | 1                              | 1               | 1               |                    |         |         |         |
|                | Madera                         | 1                              | 1               | 1               | 1                  | 1       | 2       | 1       |
|                | Mixto ladrillos madera         |                                |                 | 1               |                    |         |         |         |
| Zona Austral   | Hormigón                       |                                |                 |                 |                    |         |         |         |
|                | Ladrillo                       | 1                              | 1               | 1               |                    |         |         |         |
|                | Ac. Galvanizado                | 1                              | 1               | 1               |                    |         |         |         |
|                | Madera                         | 1                              | 1               | 1               | 1                  | 1       | 2       | 1       |
| Proyecto MINVU |                                | Adaptación CIM proyectos MINVU |                 |                 | Ante Proyectos CIM |         |         |         |

En la matriz de casos, definida por CIM UC, se pueden identificar tres tipos de fuentes para los proyectos tipo estudiados. Por un lado, están los proyectos definidos por MINVU para casos donde se mantuvo exactamente la tipología arquitectónica y materialidad del proyecto original. Por otro lado, los anteproyectos CIM UC para casos que MINVU no contaba con proyectos referenciales, que son

principalmente tipologías arquitectónicas en media altura replicables a nivel público o privado, de materialidad estructural madera. En cuanto a las adaptaciones de proyectos MINVU por CIM UC, estas son tipologías arquitectónicas tomadas de los proyectos entregados por MINVU y que se adaptaron a otra materialidad o se les realizó algún ajuste menor para su uso.

<sup>30</sup> Zona norte (clima árido), correspondiente a las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama; zona centro (clima temperado/temperado húmedo), correspondiente a las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule; zona sur (clima temperado frío), correspondiente a las regiones de Biobío, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos; zona Austral (clima semiárido frío), correspondiente a las regiones de Aysén y Magallanes y la Antártica chilena.



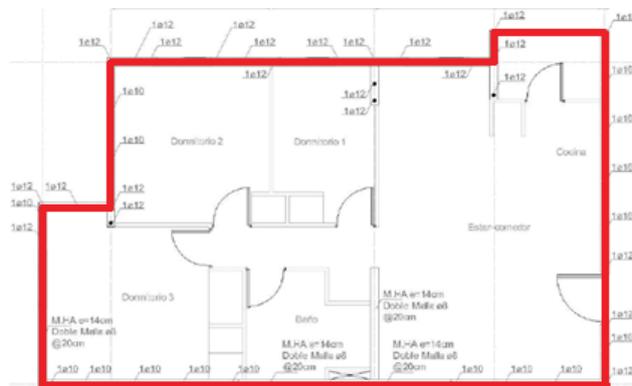
Tipología N° 1. Sup: 41,62 m<sup>2</sup>



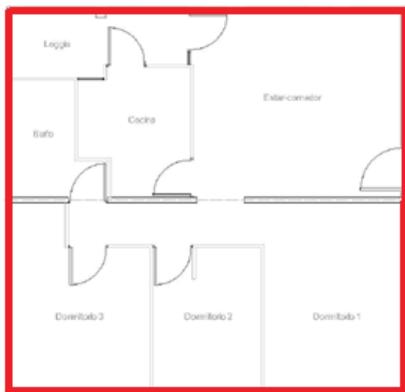
Tipología N° 2. Sup: 49,11 m<sup>2</sup>



Tipología N° 3. Sup: 42,27 m<sup>2</sup>



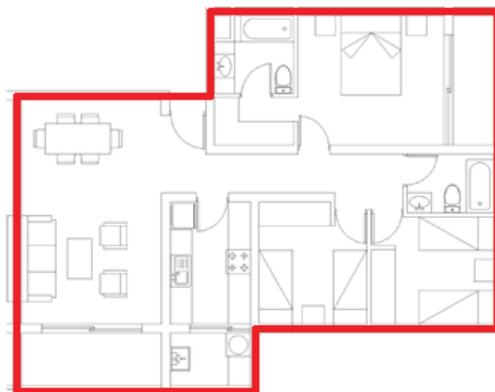
Tipología N° 4. Sup. Depto A: 41,62 m<sup>2</sup>



Tipología N° 5. Sup. Depto tipo 58,39 m<sup>2</sup>



Tipología N° 6. Sup. Depto tipo 51,14 m<sup>2</sup>



Tipología N° 7. Sup. Depto tipo 89,35 m<sup>2</sup>

Figura 40: Distribución viviendas tipo estudio CIM UC. Fuente: (DECON, 2019).



**Las tipologías estudiadas son proyectos que cumplen con todos los requisitos normativos necesarios para su ejecución.** En este sentido, requerimientos como los referidos a aislamiento térmico, acústico y comportamientos estructurales de estas tipologías cumplen con la normativa vigente según se detalla en informe de CIM UC, (2019a). En relación con la cubicación de partidas y generación de análisis de precio unitario de cada caso, se contó con la colaboración de la Dirección de Extensión en Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DECON UC), quienes confeccionaron el presupuesto según condiciones de mercado para cada caso definido en la matriz.

**En los resultados entregados por CIM UC, (2019a) se identifican los costos netos para la construcción de cada tipología según materialidad representativa de las zonas definidas.** Se entiende por costos netos, aquellos que incluyen los costos directos de construcción, gastos generales y utilidades, y no se incluye impuestos ni costos indirectos, según corresponda. El detalle del estudio de costos realizado por CIM UC, son presentados a continuación.

## DEFINICIONES DEL ESTUDIO

- Respecto a la materialidad representativa asignada a cada zona, para su comparación con sistemas de construcción de entramado de madera, se

señala que en la zona norte y sur se usa albañilería en edificaciones de hasta 4 pisos, mientras que las zonas centro y austral consideran hasta 2 pisos. En cuanto a edificaciones de mayor altura, se contempla el uso de hormigón armado según zona, por ejemplo, en la zona austral no se presentan edificaciones representativas de más de 2 pisos, debido a que no son comunes en la zona. Por otro lado, se destaca el uso de acero galvanizado en edificaciones de 1 piso en la zona sur y hasta 2 pisos en la zona austral, no teniendo la presencia de este material en las zonas centro y norte.

- El estudio define tres líneas de costo neto en UF/m<sup>2</sup> para la construcción de entramado de madera. La primera línea presenta el sistema de construcción de entramado en obra para viviendas de 1 a 6 pisos de altura. La segunda línea supone el sistema semi-industrializado en base a paneles de madera abiertos, con ejecución de instalaciones y terminaciones en obra. Luego, se presenta la tercera línea que contempla un sistema constructivo totalmente industrializado para edificaciones de 3 a 6 pisos, se considera paneles cerrados con escasas instalaciones y terminaciones en obra para mismo segmento de pisos. Es importante destacar que el estudio no presenta casos con sistemas industrializados modularizados, limitándose exclusivamente al montaje de paneles.

# ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN POR ALTURA

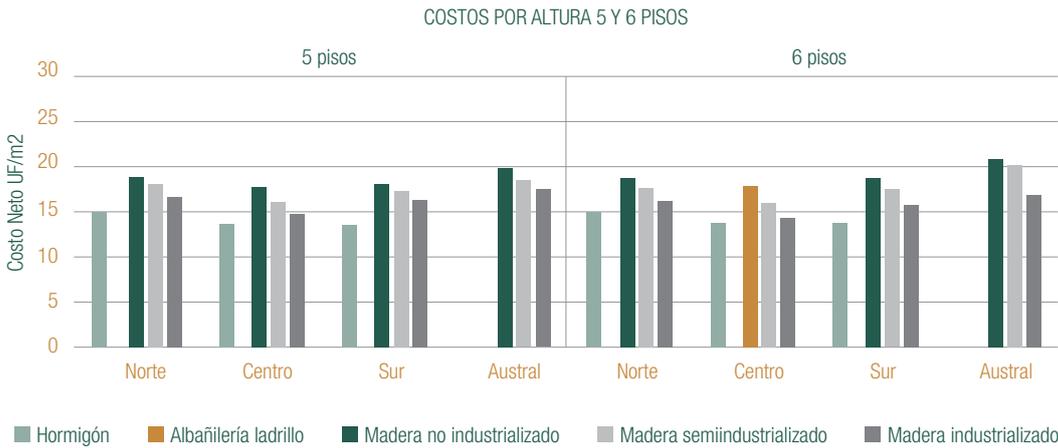
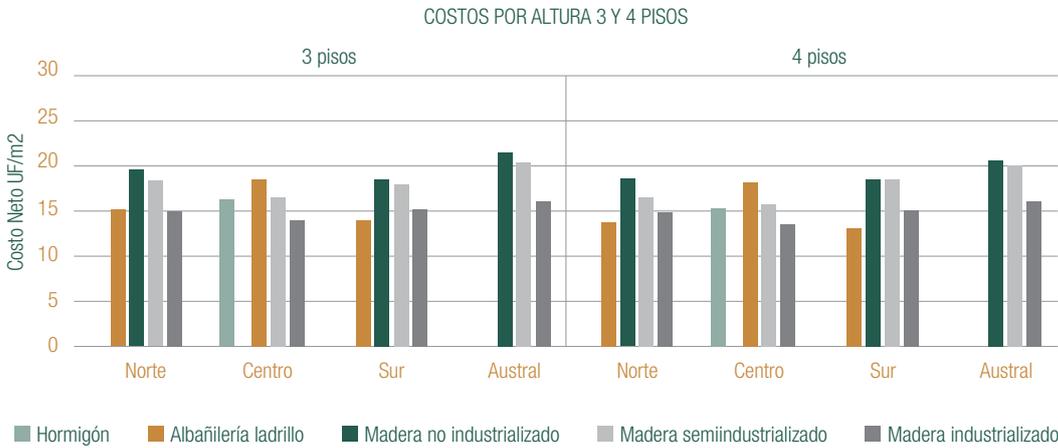
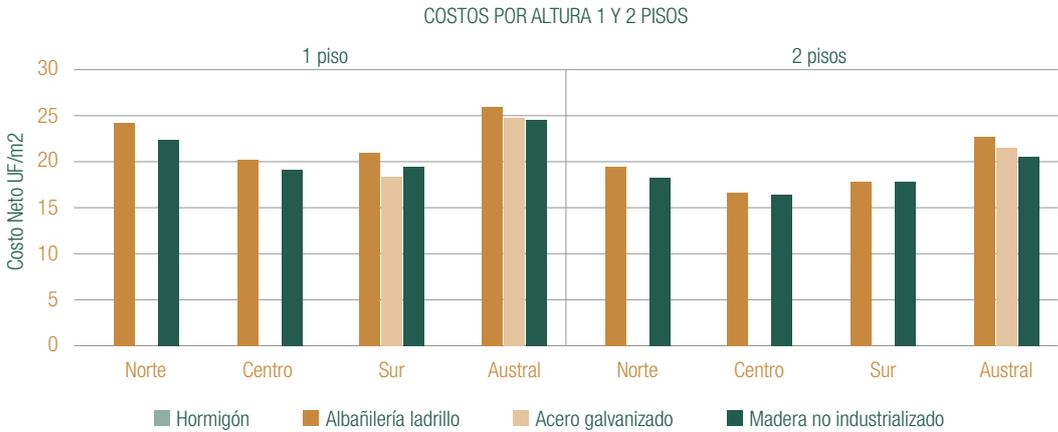


Figura 41: Costos netos (UF/m<sup>2</sup>) en distintas materialidades y grados de industrialización por cantidad de pisos. Fuente: Elaboración propia en base a datos de (CIM UC, 2019a).

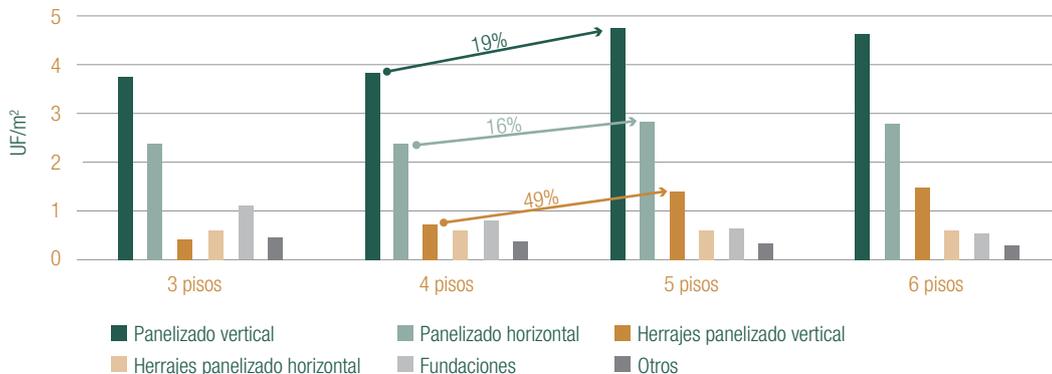


Figura 42: Costos estructura de madera para 3 a 6 pisos, cambio tecnología entre 4 y 5 pisos. Fuente: (CIM UC, 2019a)

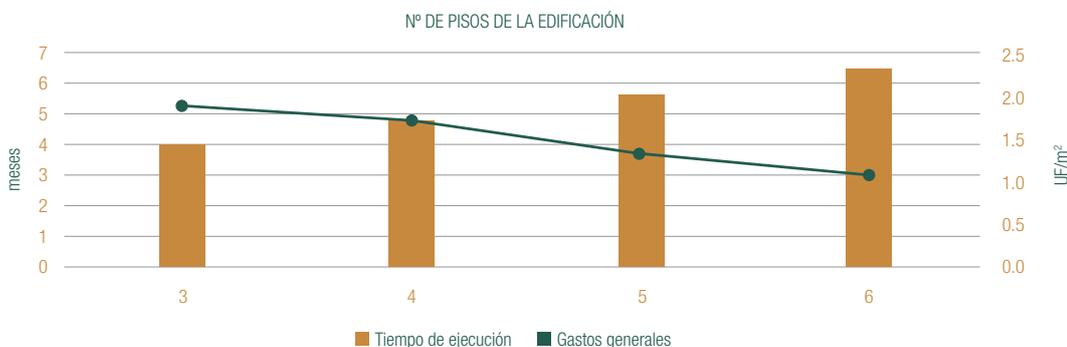


Figura 43: Plazo de ejecución en meses para edificios de 3 a 6 pisos contra gastos generales. Fuente: (CIM UC, 2019a).

- El informe identifica que los costos netos de construcción de una vivienda de entramado de madera de 1 a 2 pisos son menores en comparación a construcciones de igual dimensión en albañilería y acero galvanizado, en promedio 6% y 0,3% más económico respectivamente. Esto se identifica en todas las zonas estudiadas y explicaría en parte la razón de que a nivel país cerca del 50% de las viviendas de 1 y 2 pisos de altura cuentan con permisos de edificación declarando el uso de madera.
- En cuanto a viviendas de 3 y 4 pisos de altura, la construcción de entramado de madera en terreno presenta alzas promedio de un 5% en los costos respecto a estructuras de madera de 2 pisos. Esta alza se explica por la necesidad de equipamiento para trabajo en mayor altura, entramados de madera y conectores de anclajes de estructura más robustos, y una mayor competitividad de materiales como el hormigón y especialmente la albañilería. Por otra parte, la utilización de procesos semi-industrializados de panelería en madera permiten reducir esa brecha, especialmente en contraste con el uso de hormigón armado en la zona centro del país, disminuyendo la diferencia de costos a solo un 1%.
- Respecto a edificaciones de 5 y 6 pisos de altura, el estudio revela que la construcción de entramado de madera en terreno y semi-industrializado presentan costos netos de construcción más altos que las edificaciones en hormigón, variando estos según zona entre un 15% y un 22%. En cuanto a sistemas con un alto nivel de construcción industrializada en madera, estos resultan más competitivos en la zona centro, reduciendo la brecha solo entre un 6% y un 8%.

- Se infiere que el costo más competitivo de una edificación de entramado de madera se da en edificaciones de 4 pisos bajo un sistema de construcción altamente industrializado. En estas edificaciones la mayor altura reduce los costos, pero no se da un salto tecnológico en los sistemas de conectores de la estructura. Este escenario podría cambiar en el futuro con una actualización de normativas, haciendo más competitiva la edificación en madera de más pisos.
- En los análisis de costos del estudio, se destaca que los saltos en el uso de madera en la estructura y en tecnologías de conectores de las estructuras de los distintos casos tienen un impacto considerable en los costos netos de los proyectos. Así, el paso de 2 a 3 pisos de altura supone el aumento de escuadría de 2x4 a 2x5 y la incorporación de anclajes tipo *Holdown* de mayores dimensiones y costo. En cuanto al paso de una edificación de 4 a 5 pisos, puede requerir el uso de escuadrías de mayor tamaño o incluso dobles, con placas arriostrantes por ambas caras del entramado, y de conectores más sofisticados

del tipo ATS. Esto se traduce en que, a diferencia de las otras materialidades, el uso de madera no presenta bajas en los costos en forma importante a medida que los proyectos aumenten en altura. De esta manera, en algunos casos, las edificaciones en madera son menos competitivas porque la normativa apunta a una sobre estructuración que no es necesaria para el correcto comportamiento estructural. En esta línea, normativas que apunten a una sobre estructuración de la madera, no necesaria para su buen comportamiento, podrían contribuir a que las edificaciones en madera no fuesen competitivas en costo en algunos casos.

- Los investigadores señalan que fue difícil conseguir datos sobre los costos de construcción en estructuras de más de 3 pisos de altura. Esto sucede porque que las empresas industrializadoras, disponibles en el mercado para el desarrollo de este tipo de estructuras, no contaban con experiencia en este tipo de edificios. Por esta razón, se debió realizar un trabajo junto a ellos para la definición de valores representativos de estas estructuras.

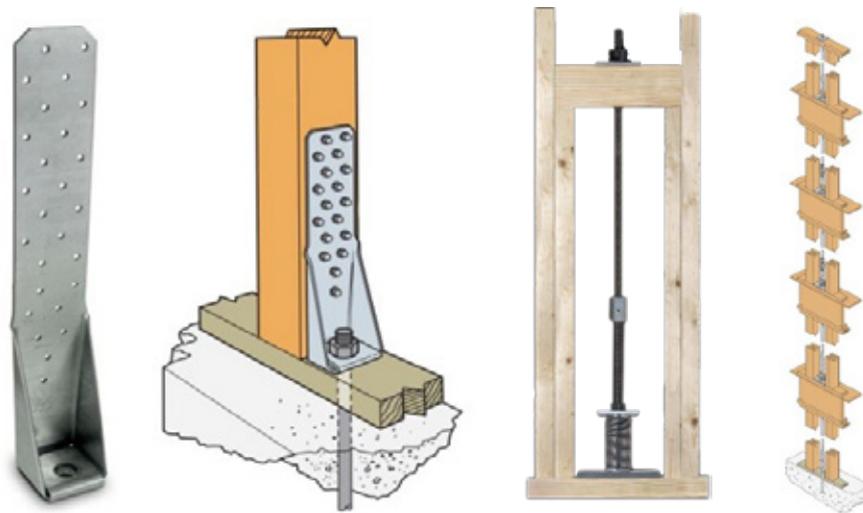


Figura 44: Sistema Holdown a la derecha y sistema ATS a la izquierda. Fuente: (Strongtie, n.d.).

## ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN POR ZONA CLIMÁTICA



Figura 45: Costos netos (UF/m<sup>2</sup>) en distintas materialidades y grados de industrialización por zona. Fuente: Elaboración propia, en base a datos de (CIM UC, 2019a).

- En la zona norte, para edificaciones de 3 a 4 pisos, la albañilería es más económica que la madera, la diferencia se reduce en la medida que crece la industrialización de los procesos de construcción en entramados de madera. Para el caso de albañilería versus madera no industrializada, la diferencia económica es de 24%. En cuanto al caso semi-industrializado, la diferencia se reduce a 17%. Finalmente, para el caso más industrializado, la brecha llega a solo un 3%, haciendo más competitivo el sistema constructivo.
- En las zonas sur y norte se sigue la misma tendencia. En ambas, las edificaciones de 3 y 4 pisos son más económicas en albañilería, pero si aumenta el nivel de industrialización de la madera, esta reduce sus brechas desde un 27% de diferencia, comparado con el sistema tradicional, y disminuye solo un 10%, comparado con el sistema industrializado.
- Para la zona centro, en alturas de 3 pisos en adelante, la opción de construir con sistemas industrializados de madera es altamente competitiva. Siendo un 15% más económica en edificaciones de 3 y 4 pisos, y solo un 7% más costosa para los escenarios de 5 y 6 pisos.
- En cuanto a la zona austral, la madera es la única que cumple con las normativas para edificaciones de 3 pisos o más, si se compara con los sistemas constructivos propuestos. La industrialización de los procesos baja los costos de construcción, siendo más evidente en edificaciones de 3 y 4 pisos, donde hay una reducción de costos del 24%, y para edificios de 5 a 6 pisos la diferencia es de 16%.
- El análisis de datos del estudio de CIM UC señala que la razón para que exista una mayor

competitividad de las edificaciones de entramado de madera en la zona centro se debe a que, en la actualidad, la Región Metropolitana concentra la totalidad de las empresas industrializadoras de alta tecnología. Se destaca que, en los próximos años, esto podría cambiar debido a la incorporación de nuevas empresas industrializadoras de alta tecnología en la zona sur del país.

- El estudio supone que procesos de industrialización más altos tendrán importantes reducciones en sus plazos de ejecución, por lo que se reducirían los gastos generales del proyecto en forma considerable, haciendo una diferencia con la construcción en madera en obra. Este se basa en investigaciones previas (McKinsey, 2017), (Smith, 2010), definiendo plazos de ejecución en torno a los 6,5 meses para edificaciones de 6 pisos de altura, en cambio para edificaciones de 6 pisos de hormigón se establece un plazo de 11 meses de construcción. Es decir, construir en madera de forma industrializada es por lo menos un 41% más rápido.

**Análisis posteriores del CIM UC, muestran una planificación de las obras destacando niveles altos de industrialización.** Para el estudio de costos de construcción de dos tipologías de edificios en la zona centro del país. La primera tipología está orientada al sector vulnerable, la segunda a un sector emergente, y ambas presentaron costos totales por departamento que oscilan entre las 1.172 UF y 1.920 UF. Estos casos corresponden a las tipologías 6 y 7, señaladas en estudio previo. Así, para el análisis se consideraron edificios de 5 pisos de altura, con 4 departamentos por piso, estructurados completamente a través de un entramado de madera, construido con sistemas altamente industrializados y conectores de anclajes del tipo ATS.

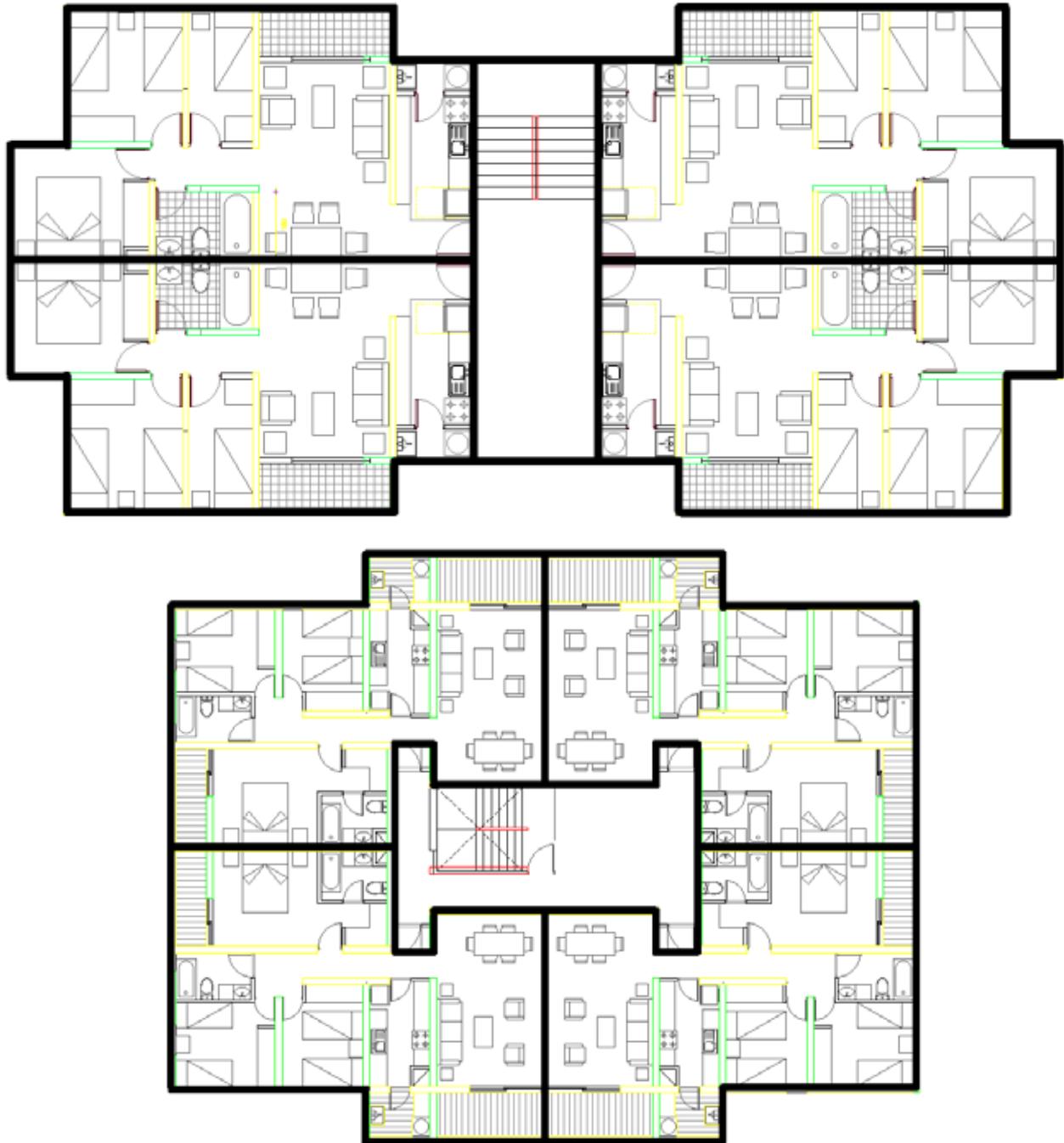


Figura 46: Planta edificio 5 pisos para sectores vulnerables (1.332 m<sup>2</sup>) arriba y sectores emergentes (2.183 m<sup>2</sup>) abajo. Fuente: (CIM UC, 2019a).



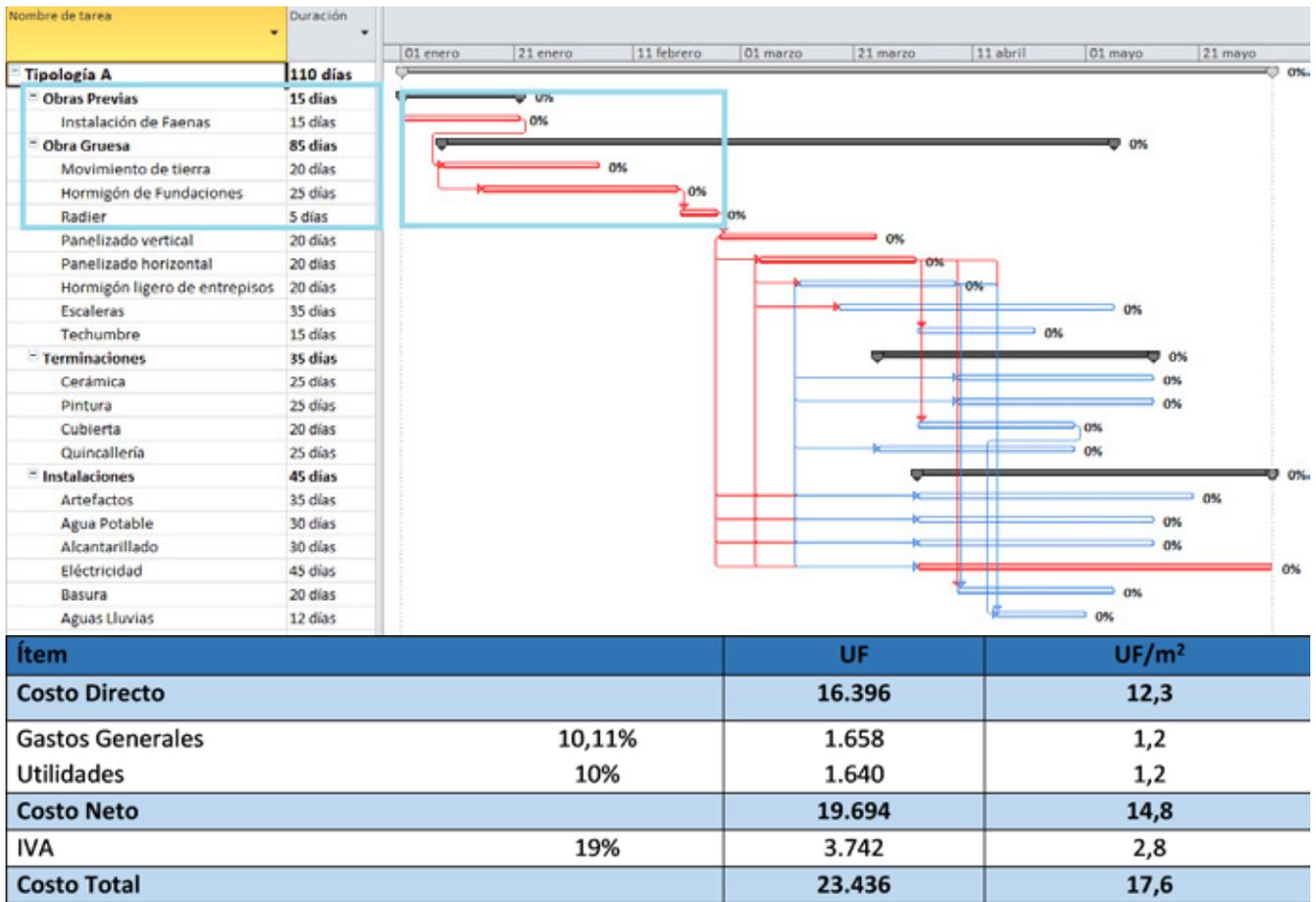


Figura 47: Plazos y costos edificio de 5 pisos para sectores vulnerables, con plazos de ejecución de 5,5 meses. Fuente: (CIM UC, 2019a).

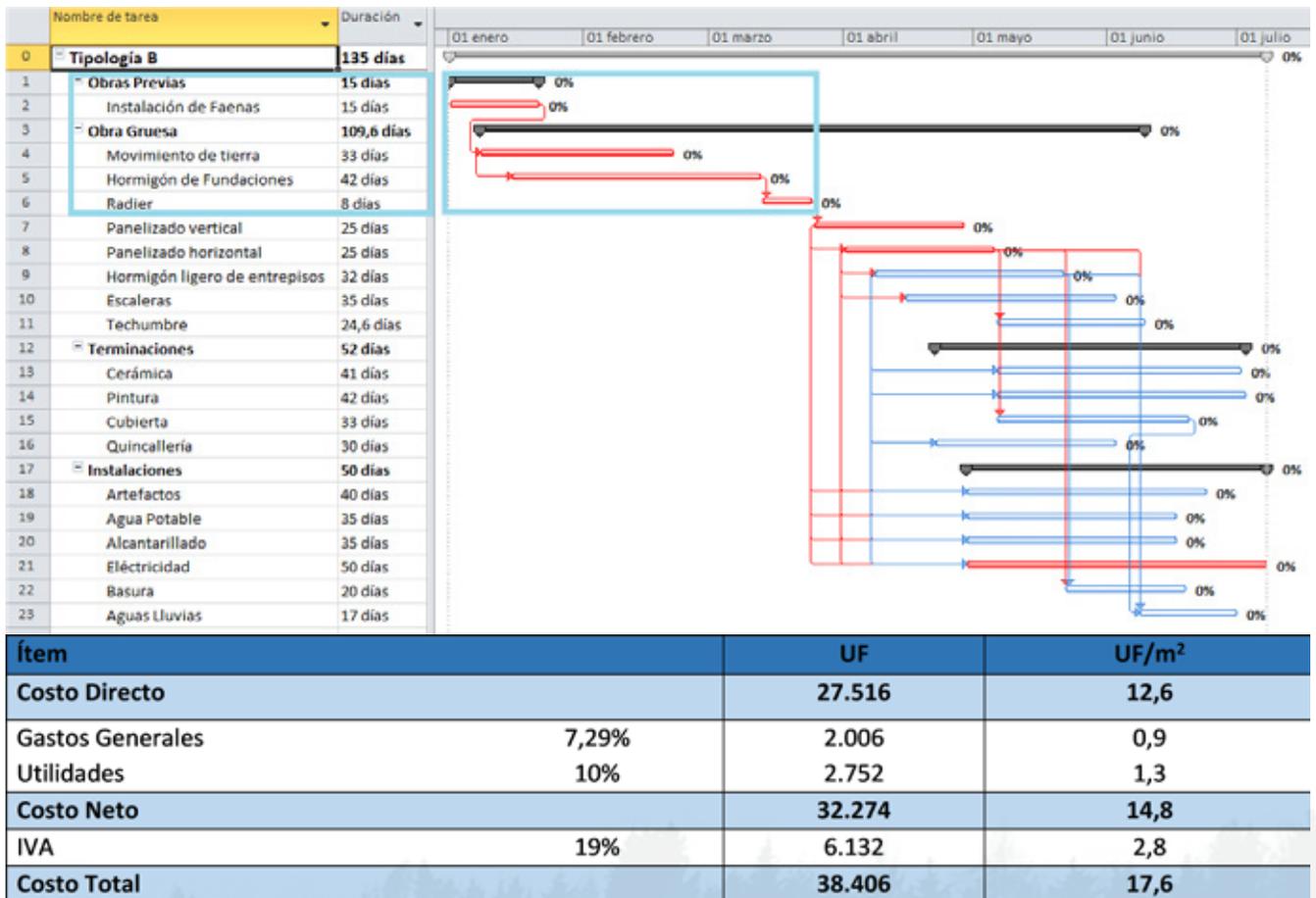


Figura 48 Plazos y costos edificio de 5 pisos para sectores emergentes, con plazos de ejecución de 6,8 meses. Fuente: (CIM UC, 2019a).

De este último estudio, también fue posible contrastar los costos de construcción de un edificio de este tipo con los subsidios habitacionales disponibles a través de MINVU. De esta comparación, se puede ver que los subsidios que más se ajustan a valores de viviendas por montos superiores a las 1.100 UF son los correspondientes al D.S. N°1, D.S. N°19 y D.S. N°120, siendo el subsidio D.S. N°19 el único que eventualmente se ajustaría a las condiciones del decreto para la entrega de una vivienda vulnerable sin deuda. Por otro lado, los subsidios que permiten la compra de viviendas de mayor valor requieren de un financiamiento adicional del postulante y/o hipotecario.

## COSTOS DE OPERACIÓN DE EDIFICIOS EN MADERA (CALEFACCIÓN)

**Incorporar la variable de los costos de operación, puede generar un cambio en la selección de sistema constructivo, debido a los ahorros existentes por desempeño de las materialidades.**

Los costos de operación de un edificio pueden variar hasta en un 157%, de 37 UF por vivienda en 60 años para la zona de Antofagasta, y hasta 1.180 UF para Punta Arenas. Esto significa que durante su periodo de vida este costo puede ser inclusive mayor que los de la construcción. De esta manera, se entiende que, si bien un aumento en el estándar de construcción de una edificación al inicio puede significar una mayor inversión, al evaluar esta inversión durante la operación del inmueble, puede que incluso resulte ser más

económico que haber optado por un estándar inferior. De esta manera, si bien existen costos operacionales que pueden no guardar una relación estrecha con la materialidad de la edificación, como la iluminación o consumo eléctrico de aparatos, otros costos operacionales como la climatización pueden verse severamente afectados por la elección de materialidad.

**Viviendas con mayor aislamiento y menores puentes térmicos, dependiendo de la severidad del clima, pueden presentar un costo de operación significativamente menor.** Para viviendas de entramado de madera con alto aislamiento térmico al interior, como fue explicado en capítulos anteriores, significa un importante ahorro en los costos de calefacción. En el contexto chileno, la mayor parte de las viviendas ubicadas en climas con temperaturas bajas consideran algún medio de calefacción para mantener un nivel de confort mínimo en su interior. En contraste con zonas de clima cálido, en las que no existe, hasta el momento, una cultura masiva del uso de equipos de enfriamiento.

**Según estudios de (CIM UC, 2019b), elaborados en el marco del análisis de costos expuestos en el punto anterior, los costos de operación de una vivienda en madera pueden llegar a ser entre un 23% y un 53% menores,** dependiendo del material, zona de comparación y nivel de aislamiento. Se utilizó las mismas tipologías y zonas presentadas para el análisis de costos de construcción y se sumaron niveles de aislamiento para cada tipología, considerando el nivel base normativo utilizado en estudio previo, y otro con mayores estándares.

Tabla 3: Soluciones constructivas para cada escenario. Fuente: (CIM UC, 2019b)

|                     | Solución Constructiva con aislación "Mínima" |                  |                                | Solución Constructiva con aislación "Ideal" |                  |                                |
|---------------------|--|------------------|--------------------------------|---|------------------|--------------------------------|
|                     | Muro   | Tipo de vidriado | Transmitancia Térmica "U" muro | Muro  | Tipo de vidriado | Transmitancia Térmica "U" muro |
| <b>NORTE</b>        |  |                  |                                |   |                  |                                |
| Albañilería         | BM   | SG               | 1,92                           | BMi   | DG1              | 1,26                           |
| Hormigón armado     | RC   | SG               | 3,91                           | RCi   | DG1              | 1,88                           |
| Madera              | TF1  | SG               | 0,65                           | TF2   | DG1              | 0,47                           |
| <b>CENTRO</b>       |  |                  |                                |   |                  |                                |
| Albañilería         | BMi  | SG               | 1,26                           | BMi   | DG2              | 1,26                           |
| Hormigón armado     | RCi  | SG               | 1,88                           | RCe   | DG2              | 0,58                           |
| Madera              | TF1  | SG               | 0,65                           | TF2   | DG2              | 0,47                           |
| <b>SUR</b>          |  |                  |                                |   |                  |                                |
| Albañilería         | BMi  | SG               | 1,26                           | BMe   | DG2              | 0,5                            |
| Hormigón armado     | RCi  | SG               | 1,88                           | RCe   | DG2              | 0,58                           |
| Madera              | TF1  | SG               | 0,65                           | TF2   | DG2              | 0,47                           |
| <b>PUERTO MONTT</b> |  |                  |                                |   |                  |                                |
| Albañilería         | BMi  | SG               | 1,26                           | BMe   | DG2              | 0,5                            |
| Hormigón armado     | RCi  | SG               | 1,88                           | RCe   | DG2              | 0,58                           |
| Madera              | TF1  | SG               | 0,65                           | TF2   | DG2              | 0,47                           |
| <b>AUSTRAL</b>      |  |                  |                                |   |                  |                                |
| Albañilería         | BMe  | DG1              | 0,52                           |   |                  |                                |
| Hormigón armado     | RCe  | DG1              | 0,57                           |   |                  |                                |
| Madera              | TF2  | DG1              | 0,47                           | TF3   | DG2              | 0,34                           |

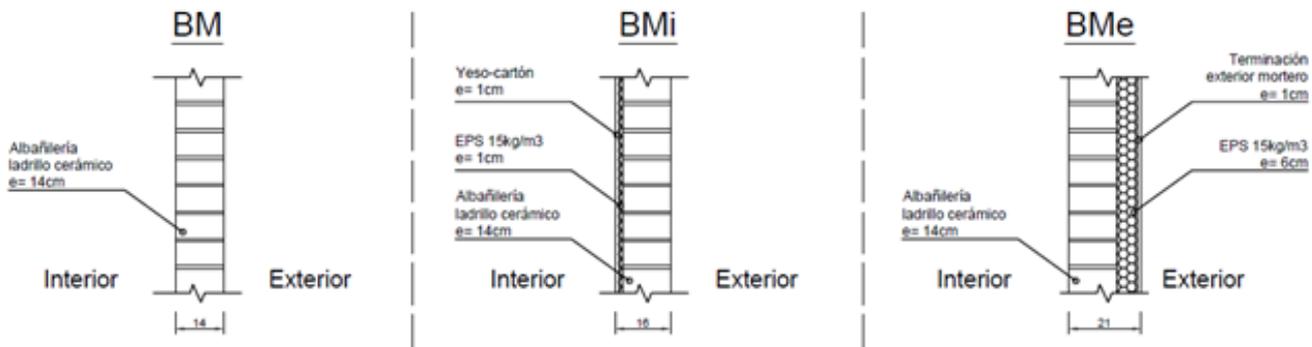


Figura 49: Escantillones de soluciones constructivas para albañilería. Fuente: (CIM UC, 2019b)

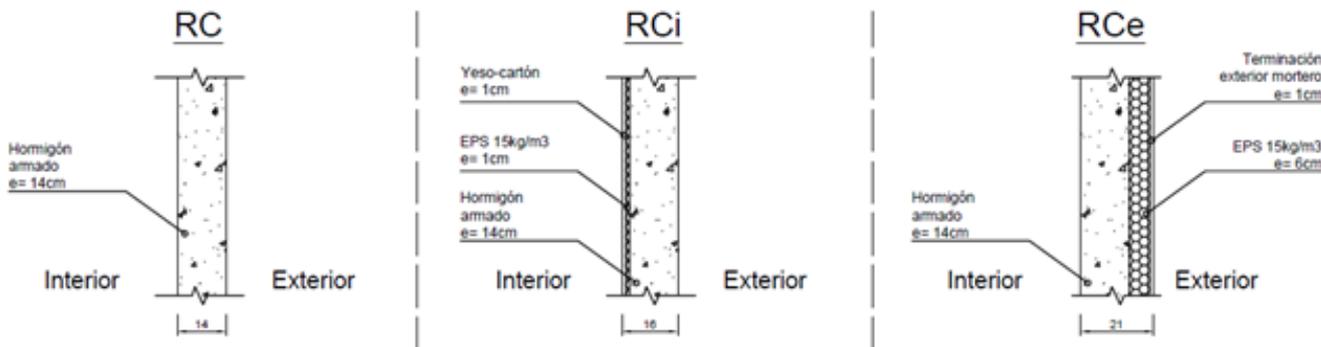


Figura 50: Escantillones de soluciones constructivas para hormigón armado. Fuente: CIM UC, 2019.

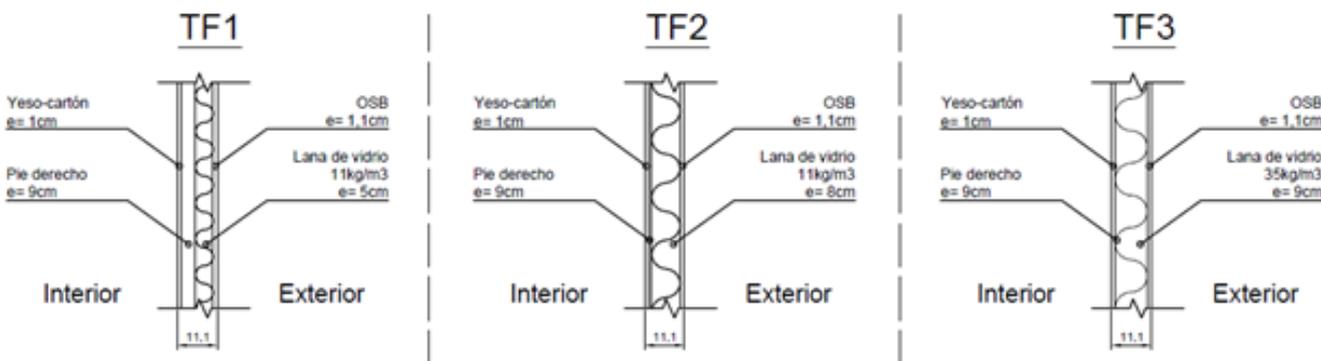


Figura 51: Escantillones de soluciones constructivas para madera. Fuente: (CIM UC, 2019b)

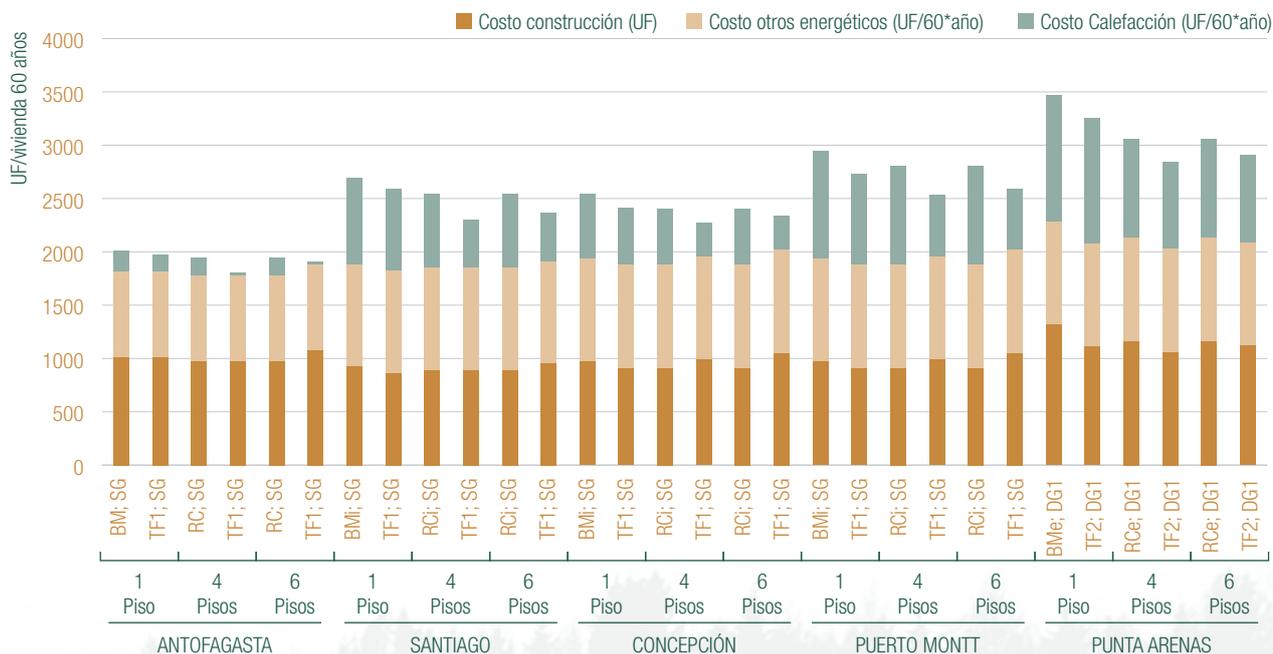


Figura 52: Costos de construcción, energéticos y de calefacción con construcción con nivel de aislamiento mínimo. wFuente: (CIM UC, 2019b).

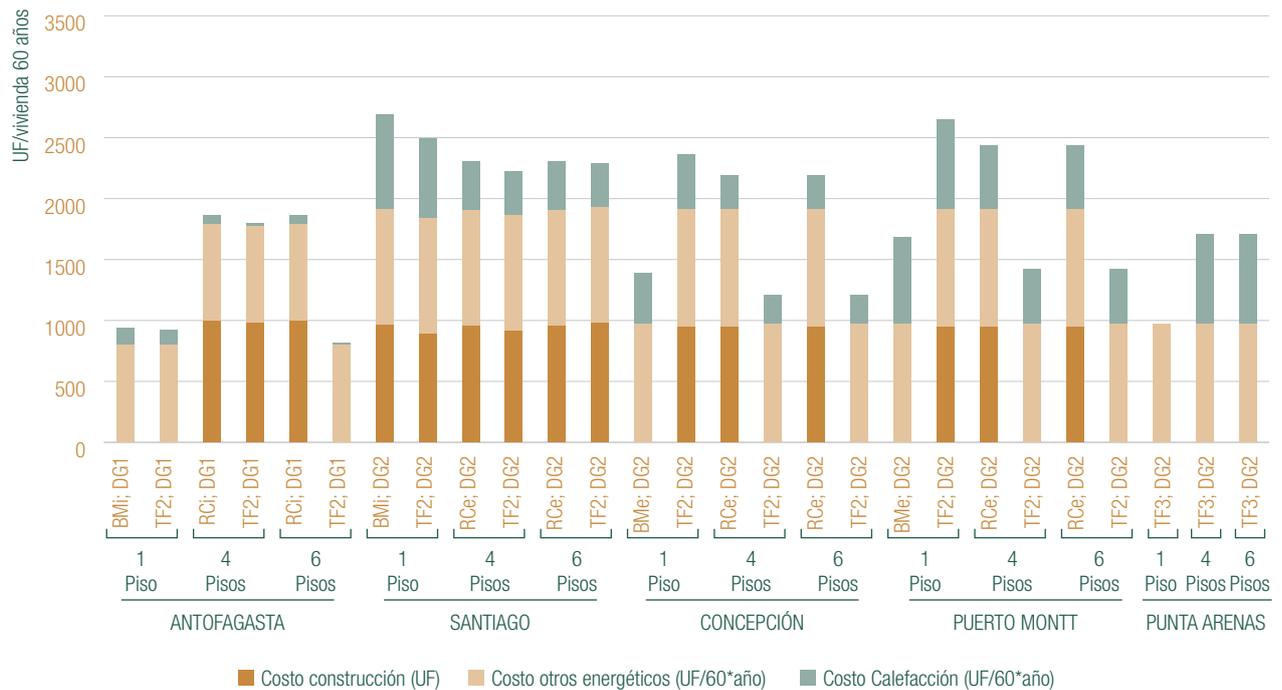


Figura 53: Costos de construcción, energéticos y de calefacción con construcción con nivel de aislamiento ideal. Fuente: (CIM UC, 2019b).

Del estudio realizado por CIM UC (2019b) se desprende que:

- Los resultados, en la mayoría de los casos, son favorables para la construcción en madera si se suman los costos de construcción y operación, para una vida útil de 60 años. Los únicos casos en que la madera no es favorable son en escenarios de aislamiento "ideal", en los que se vuelve muy influyente el costo de construcción, representando un gran porcentaje del costo total y superando el 50%. Se entiende de esto que, a igual estándar normativo, las soluciones constructivas en madera tienden a presentar un mejor desempeño en sus consumos energéticos, respecto a sus pares en otras materialidades.
- Se destaca que las edificaciones en mayor altura tienden a presentar un mejor desempeño energético con menores costos de operación por calefacción. Esto se produce por un menor porcentaje de la envolvente expuesta a la intemperie.
- Si bien, la calefacción para la zona de Antofagasta no es una variable influyente, para las zonas centro/sur si es un factor que generará costos importantes.

Por ejemplo, con aislamiento mínimo para edificios de 4 a 6 pisos en Concepción, se tendrá un porcentaje de variación del 65% entre construir con hormigón o con madera, implicando una reducción de 206 UF en la vida útil de la vivienda.

- Dados los resultados, se infiere que el desarrollo de políticas públicas orientadas a reducir sustentablemente el déficit habitacional; que normen los límites de demanda energética y definan un tope asociado a los costos de operación de las viviendas en relación con el costo de calefacción; podrían eventualmente posicionar a las edificaciones en madera como una alternativa más atractiva.
- Se espera que, en los próximos años, el costo de construcción de edificaciones en madera sea más competitivo respecto a materiales como el hormigón y acero. Situación que se acentuaría de contar con un mercado de construcción con mayores estándares tecnológicos e industrializados, mayores requerimientos normativos respecto eficiencia energética y emisiones asociadas al cambio climático, disminuyendo las brechas de coste entre materialidades.

### 3.2. LAS EXTERNALIDADES AMBIENTALES AL UTILIZAR MADERA EN CONTRASTE A OTRAS MATERIALIDADES Y MODELO DE CADENA DE VALOR PARA LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA

El presente punto busca dimensionar en forma aproximada las emisiones de CO<sub>2eq</sub> asociada a edificaciones en madera, en contraste con otras materialidades representativas del sector de la construcción durante un ciclo de vida acotado. Así, la metodología utilizada a modo de referencia se enmarca en las normas ISO 14040, EN 15978 y nacionalmente en la NCh 3048/1: Sustentabilidad en la Construcción de Edificios. En esta se hace una relación por etapas de los impactos positivos y negativos de un producto en el ambiente, para así obtener el valor de CO<sub>2eq</sub> desde *cradle to the grave*, a través de las cuatro etapas definidas: producción, construcción, uso y fin de vida.

#### ETAPA DE PRODUCCIÓN

Para efectos de este documento se realizará una aproximación de carbono incorporado en la etapa de producción, donde los valores de kgCO<sub>2eq</sub> provienen de la cuna a la puerta, es decir, incorpora las emisiones de la extracción, transporte a la fábrica y fabricación. En este caso se contabiliza por kg de producto según la cubicación del proyecto. Cabe destacar que, para facilitar los cálculos, sin comprometer la veracidad de los resultados, se realizará la cuantificación solo para obra gruesa, considerando que las instalaciones y terminaciones serán iguales para todas las materialidades, en consecuencia, no generan una diferencia en el impacto ambiental.

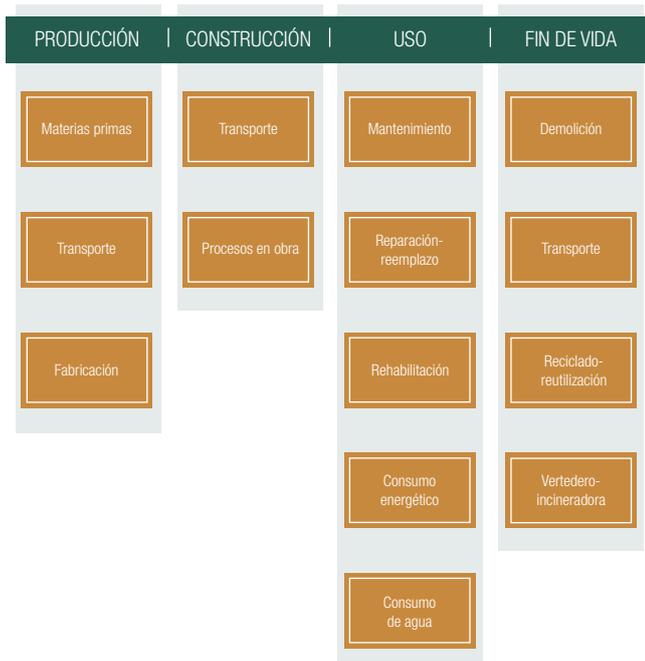


Figura 54: Etapas ciclo de vida. Fuente: (Oliebana.com, 2012).

Los datos obtenidos de CO<sub>2eq</sub> se basan en las viviendas evaluadas por el CIM UC descritas en el punto anterior. A continuación, se detallan las distintas etapas cruzadas con las tipologías presentadas en dicho informe:

Los datos de CO<sub>2eq</sub> utilizados en el presente análisis, son obtenidos del proyecto Quartz de caracterización del impacto ambiental de productos orientados a la construcción. En este proyecto, actualizan su información de emisiones en forma periódica, con fuentes conocidas, compilando una base de datos según información entregada por múltiples fabricantes, literatura e investigación (quartzproject, 2019). Esta fuente además representa en sus datos la captura de CO<sub>2</sub> durante el proceso de crecimiento del árbol, explicado en capítulos previos, entregando valores de emisión de CO<sub>2eq</sub> negativos para la madera, característica clave para la reducción del impacto que tiene la construcción en el cambio climático.

El almacenamiento de carbono solo se puede aplicar a la madera que termina en un producto, no al exceso de madera que será un desecho (circular ecology, 2019). Por ejemplo, en el presente análisis, los moldajes de madera no serán incorporados en la cuenta de CO<sub>2eq</sub>. Es relevante destacar que, la madera es uno de los materiales más difíciles de estimar su carbono incorporado, dependiendo de diversos factores, tales como: su origen, manejo sostenible del bosque de extracción, la edad del árbol, el contenido de humedad de la madera, especie del árbol y su densidad (circular ecology, 2019).

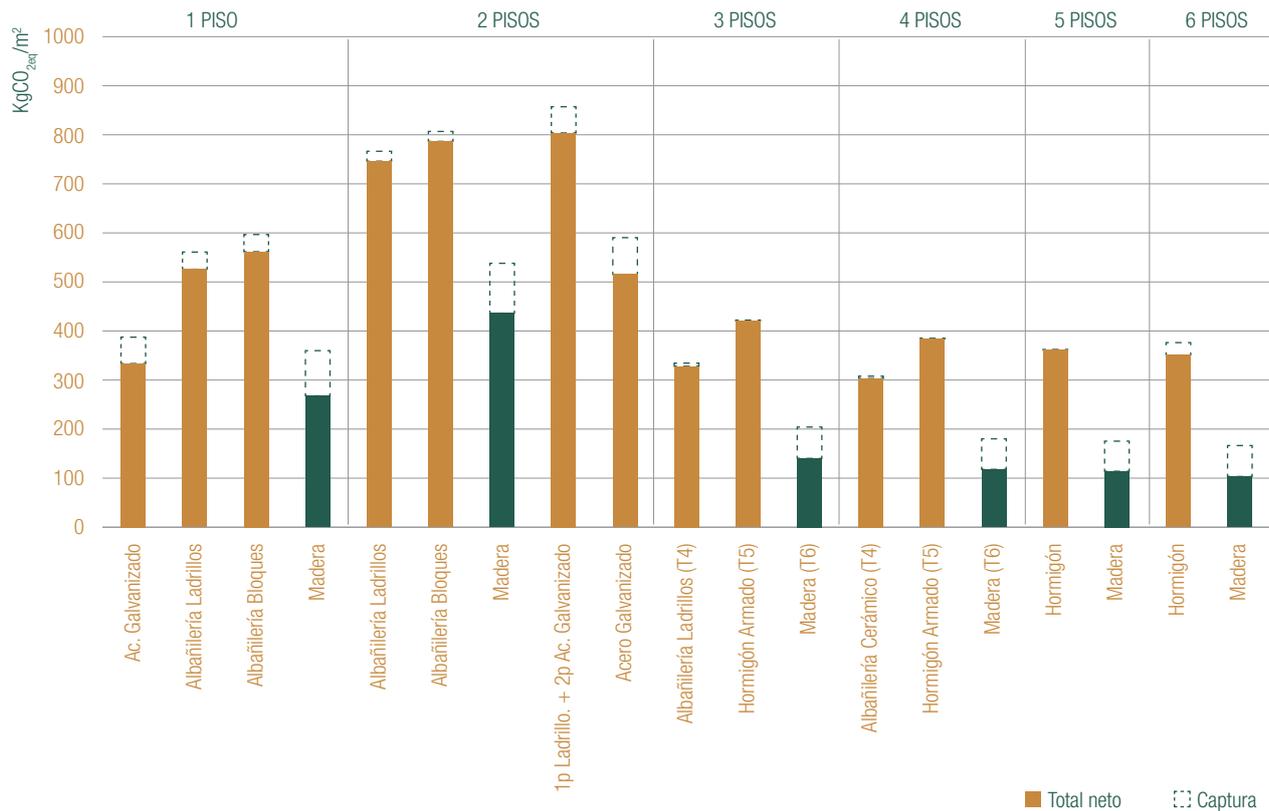


Figura 55: Carbono incorporado en obra gruesa por m<sup>2</sup>. Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIM UC 2019 y Quartz, 2019.

En base al estudio realizado y los datos de CO<sub>2eq</sub> se obtiene que:

- Los sistemas en base a entramado de madera presentan emisiones menores que sus pares en otras materialidades. Así, varía entre una razón de 1,2 y 3,4 veces más emisiones, correspondientes a acero galvanizado en viviendas de 2 pisos, y hormigón en edificios de 6 pisos. De esta manera, se explica que, materializar la obra gruesa de un edificio de 6 pisos en hormigón incorpora 3,4 veces el CO<sub>2eq</sub> que incorpora la misma edificación con madera.
- En el caso de edificaciones de 3 pisos o más, la madera presenta una mayor captura de CO<sub>2eq</sub> en comparación con proyectos de menor altura. Según lo anterior, se puede declarar que existe una optimización de la estructura por metro cuadrado construido y que, edificaciones más intensivas en uso de madera, tenderán a presentar una mayor captura de carbono. Es relevante aclarar, que la captura de CO<sub>2</sub> para los casos de viviendas de acero galvanizado, albañilería y hormigón, representa al porcentaje de madera contenido en cada proyecto. Así, a modo de ejemplo, la captura de una estructura de acero está representada principalmente por las placas de OSB de las cubiertas, muros y otras estructuras menores.

## ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

**Para la etapa de construcción, según la literatura, se contempla el transporte del producto y su proceso de instalación y/o construcción.** Las emisiones de esta etapa dependerán de factores específicos de la obra en cuestión. Así, para definir el impacto del transporte se requiere conocer previamente las distancias recorridas entre la planta de fabricación, los puntos de distribución y los lugares donde se colocarán los materiales. Para la construcción, por otra parte, se requiere la definición de los sistemas constructivos a utilizar junto a su maquinaria de apoyo, dotación de mano de obra, duración de la obra, cantidad de residuos generados, entre otros. Esta información es específica de cada proyecto en particular, la cual no se abarca en el presente análisis y, por ende, no se incorpora en los resultados presentados previamente. De igual forma, es importante delimitar el estudio, ya que la incorporación de carbono puede provenir de muchas fuentes, por lo tanto, dependiendo de la minuciosidad del análisis, probablemente se obtendrán valores más elevados para el carbono incorporado en la etapa de construcción. Como este estudio es una comparación entre materialidades predominantes, no evaluar este punto no generará grandes desviaciones, pero si lo hará en la cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente producida.

**Se debe tener presente que construir con productos locales reduce el impacto por transporte en forma considerable.** A modo de ejemplo, según un estudio previo, para un edificio de 6 pisos se necesitan aproximadamente 40 m<sup>3</sup> de madera para sus muros y para uno de hormigón se necesitan 83 m<sup>3</sup>. Al calcular el impacto del transporte, considerando un camión y una distancia de 1 km, se obtiene que para transportar la madera se generan 1,19 kgCO<sub>2eq</sub> y para el hormigón se generan 16,22 kgCO<sub>2eq</sub>, por lo que el impacto es 13,5 veces mayor en el caso de este último.

Tabla 4: Impacto en CO<sub>2eq</sub> por transporte. Fuente: (Accoya, n.d.)

| Tipo de transporte    | Kg CO <sub>2eq</sub> /ton/km |
|-----------------------|------------------------------|
| Camión > 32 ton       | 0.085                        |
| Barco (transoceánico) | 0.012                        |
| Tren (diésel USA)     | 0.059                        |
| Avión (carga)         | 1.130                        |

## ETAPA DE USO

Para la etapa de uso, se deben considerar factores como: uso, mantenimiento, reparaciones, sustituciones, rehabilitación, uso de la energía en operación y uso del agua operacional. Sin embargo, como ya ha sido mencionado antes, para este estudio se acotará este punto al uso energético de la vivienda durante una vida útil de 60 años, correspondiente al consumo energético fijo y por calefacción. Esto es en base a los datos obtenidos del “Estudio comparativo de costos de operación para edificaciones en Chile del Centro UC de Innovación en Madera”, mencionado previamente. Para esta etapa es muy importante la zonificación de los proyectos evaluados según condiciones climáticas, para sus contextos de consumo energético. Se consideran cinco escenarios: Antofagasta, Santiago, Concepción, Puerto Montt y Punta Arenas.

**Los datos de CO<sub>2eq</sub> por kWh consumido se definen según fuentes nacionales e internacionales,** esto debido a la falta de fuentes oficiales en el contexto chileno. A modo de ejemplo, las emisiones asociadas al consumo de gas debieron ser obtenidas de fuentes de países diferentes, esto representa una barrera de información que genera que los resultados puedan ser menos precisos.

**La leña tiene valor de 0 emisiones de CO<sub>2eq</sub>, dada la neutralidad que se obtiene luego de que los bosques capturen el carbono ambiente y que posteriormente este sea liberado en el proceso de combustión.** Sin embargo, es importante

destacar que la leña no es una fuente energética del todo recomendable, ya que, si bien en el contexto chileno representa cerca del 62% del combustible utilizado en calefacción (Ministerio de Energía, 2015), ha generado contaminación por material particulado respirable, contaminación intradomiliaria, formación de smog y problemas de salud en diversas ciudades. Es más, frente a esto, se han elaborado planes de descontaminación ambiental (PDA). Por otra parte, se promueve en Chile el uso de biomasa en forma eficiente, a través de equipos con mayor eficiencia y combustibles como pellets o material recuperados. (INFOR, 2015).

Tabla 5: kgCO<sub>2eq</sub> por kWh producido según fuente energética.

|              |        |                        |                      |
|--------------|--------|------------------------|----------------------|
| Electricidad | 0,4187 | kgCO <sub>2</sub> /kWh | (energía.gob, n.d.)  |
| GLP          | 0,227  | kgCO <sub>2</sub> /kWh | (Gómez et al., 2006) |
| GN           | 0,231  | kgCO <sub>2</sub> /kWh | (Gómez et al., 2006) |
| Leña         | 0,000  | kgCO <sub>2</sub> /kWh | (INFOR, 2015)        |

**Para la definición del consumo fijo de una vivienda tipo, se consideran requerimientos de agua caliente (Gas licuado petróleo o GLP), refrigeración de alimentos (electricidad), cocción de alimentos (GLP), iluminación (electricidad), entre otros.** Los resultados de kgCO<sub>2eq</sub> muestran que el 57% del consumo fijo se realiza con gas licuado petróleo y el 43% restante con electricidad, según una adaptación de datos del estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial (CDT, 2010).

Tabla 6: kgCO<sub>2eq</sub> del consumo fijo por zona. Fuente: Elaboración propia.

| Escenario    | Consumo fijo (kgCO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> x 60 años) |
|--------------|--|
| Antofagasta  | 1.639  |
| Santiago     | 1.965  |
| Concepción   | 1.992  |
| Puerto Montt | 1.992  |
| Punta Arenas | 1.992  |

**La calefacción de las viviendas se evalúa en base a las 3 fuentes de combustibles señaladas para las 5 zonas propuestas, y se deja fuera la leña ya que sus emisiones son neutras.** Se consideran las tipologías expuestas, el consumo energético de las viviendas necesario para satisfacer la demanda de calefacción, y sistemas constructivos, según escenarios normativos y condiciones más favorables establecidas por el estudio CIM UC, previamente señalado.

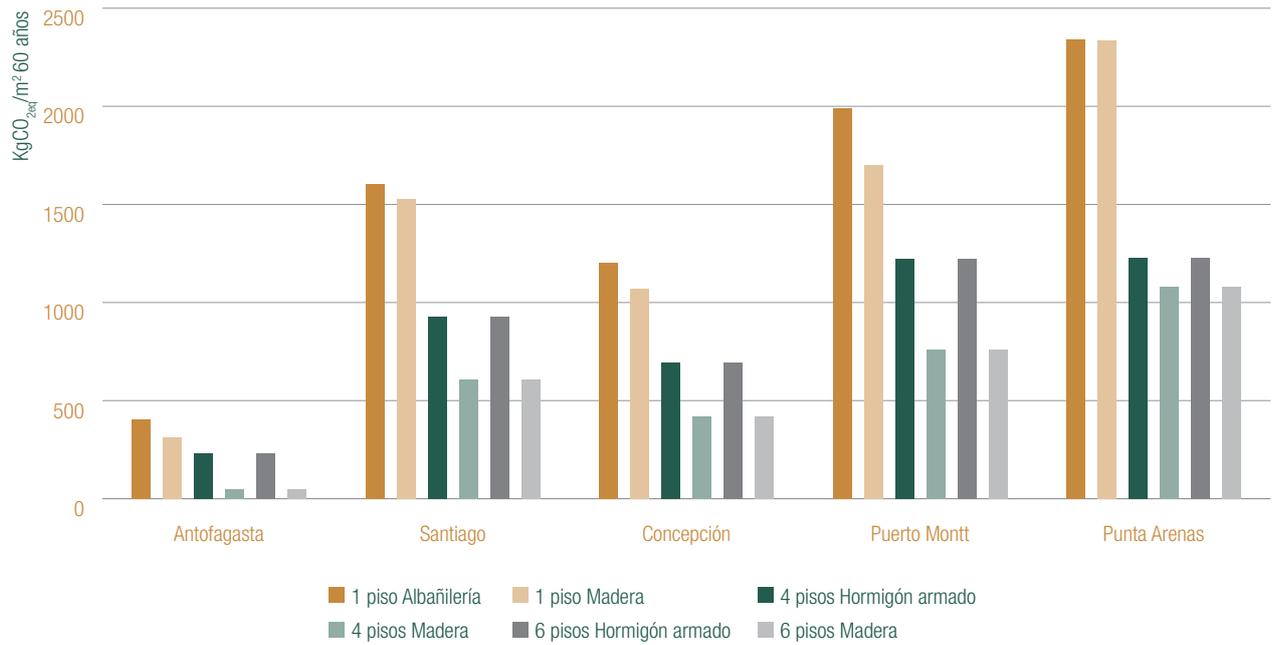


Figura 56: kgCO<sub>2eq</sub> equivalente a la calefacción con electricidad.

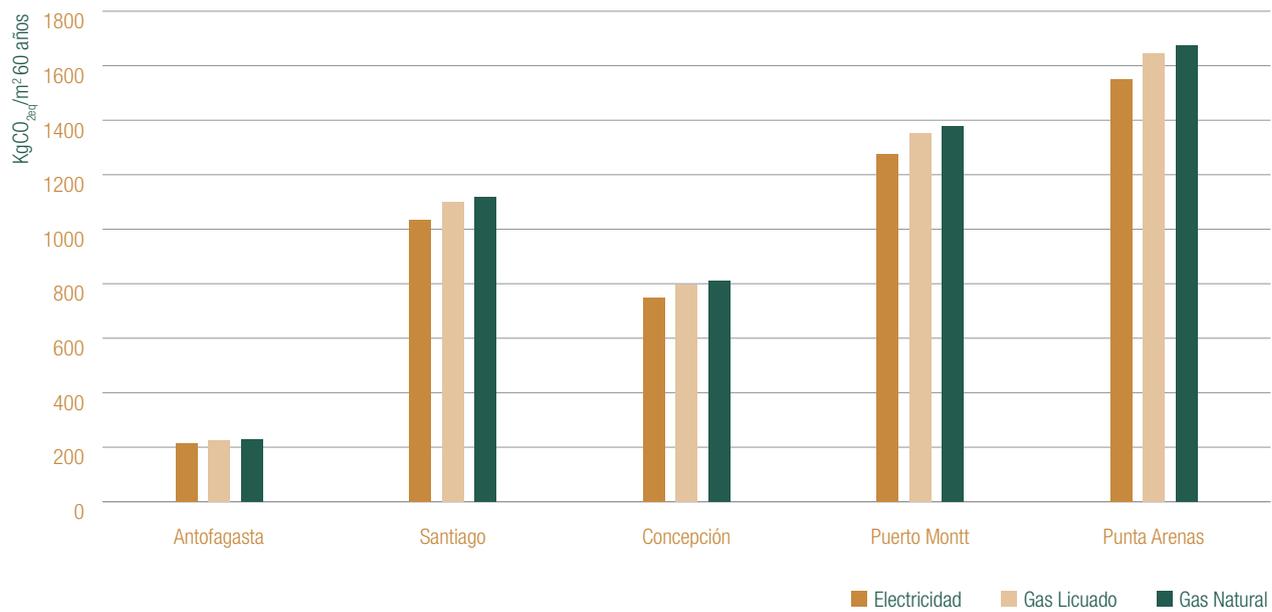


Figura 57: Promedio de emisiones de kgCO<sub>2eq</sub> por fuente energética y por zona.

Los resultados del análisis de emisiones de CO<sub>2eq</sub> del periodo de uso presentaron:

- Las viviendas evaluadas muestran que, para climas fríos como Punta Arenas, la calefacción genera 7,3 veces más kg de CO<sub>2eq</sub> por m<sup>2</sup> que para climas cálidos como Antofagasta, lo que significa que la operación durante el uso de la vivienda sea más relevante en las zonas centro y sur. También se observa que para las viviendas de 1 piso se

requiere más calefacción que para las viviendas de mediana altura, debido principalmente a las mayores pérdidas por la envolvente expuesta.

- Por otro lado, concluimos que, por fuente energética, la electricidad es la que menos CO<sub>2</sub> libera al ambiente, a pesar de generar más kgCO<sub>2eq</sub> por kWh. Esto se explica por la eficiencia de los equipos eléctricos, para los cuales se estimó una eficiencia del 100%; en cambio, para

los equipos de gas, se calculó una eficiencia del 80%. Como la leña tiene valor 0 kgCO<sub>2eq</sub>/kWh, su baja eficiencia (68%) no se ve reflejada. Con esto, se destaca que la eficiencia de los equipos es un factor determinante para los efectos ambientales de la calefacción.

- La necesidad de calefacción de una vivienda dependerá del comportamiento térmico de la misma. Por ejemplo, para un proyecto chileno de viviendas pasivas se puede bajar hasta un 85% el consumo de energía por concepto de calefacción (Hempel, 2017), pero esto tendrá un impacto en los materiales utilizados, por lo que puede aumentar la energía incorporada asociado a estos. En este sentido, al comparar la energía requerida para la operación con la energía incorporada para casos de construcción convencional y con eficiencia energética, se infiere que para ocupar menor energía en la ocupación se requiere una mayor energía incorporada al inicio de la construcción (Ramesh et al., 2010). Esto puede ser extrapolado a las emisiones de CO<sub>2</sub> del proyecto.

## FIN DE VIDA

La última etapa del ciclo es el fin de vida, que considera la demolición, el transporte, la gestión de residuos para reutilización, recuperación y reciclaje y eliminación final. En esta etapa la madera tiene una ventaja comparativa, ya que, la mayor parte de los materiales de construcción dependen de un

diseño previo para poder tener nuevos usos en el marco de una bioeconomía; por otra parte, la madera es un material que puede ser fácilmente reutilizado en nuevas edificaciones, muebles, pallets, u otras aplicaciones, además de poder terminar su vida como biomasa sin generar emisiones de CO<sub>2eq</sub>. Por el contrario, otros materiales no renovables son mucho más difíciles de eliminar, por ejemplo, por cada m3 de madera laminada (no incinerada al final de su vida útil) se absorben 582 kgCO<sub>2</sub>, pero para el hormigón armado se emiten 458 kgCO<sub>2</sub> y para el acero 12.087 kgCO<sub>2</sub> (Zabala & Aranda, 2011).

## EMISIONES DE CO<sub>2EQ</sub> SEGÚN ETAPAS EVALUADAS

La mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2eq</sub> se presentan en la etapa de operación de la vivienda. En promedio, al considerar las etapas de construcción y uso de las tipologías estudiadas, el carbono incorporado corresponde a un 9,2% de las emisiones totales asociadas a la construcción. La etapa de uso, por otra parte, representa cerca de un 91% de las emisiones, con un 60,4% asociado a consumo fijo y 30,4% a calefacción. Sin embargo, es necesario destacar que la zona a evaluar es muy relevante para el impacto de cada etapa del ciclo de vida; así, para Antofagasta el consumo de calefacción no supera el 13%, en cambio para Punta Arenas este valor llega al 51%.

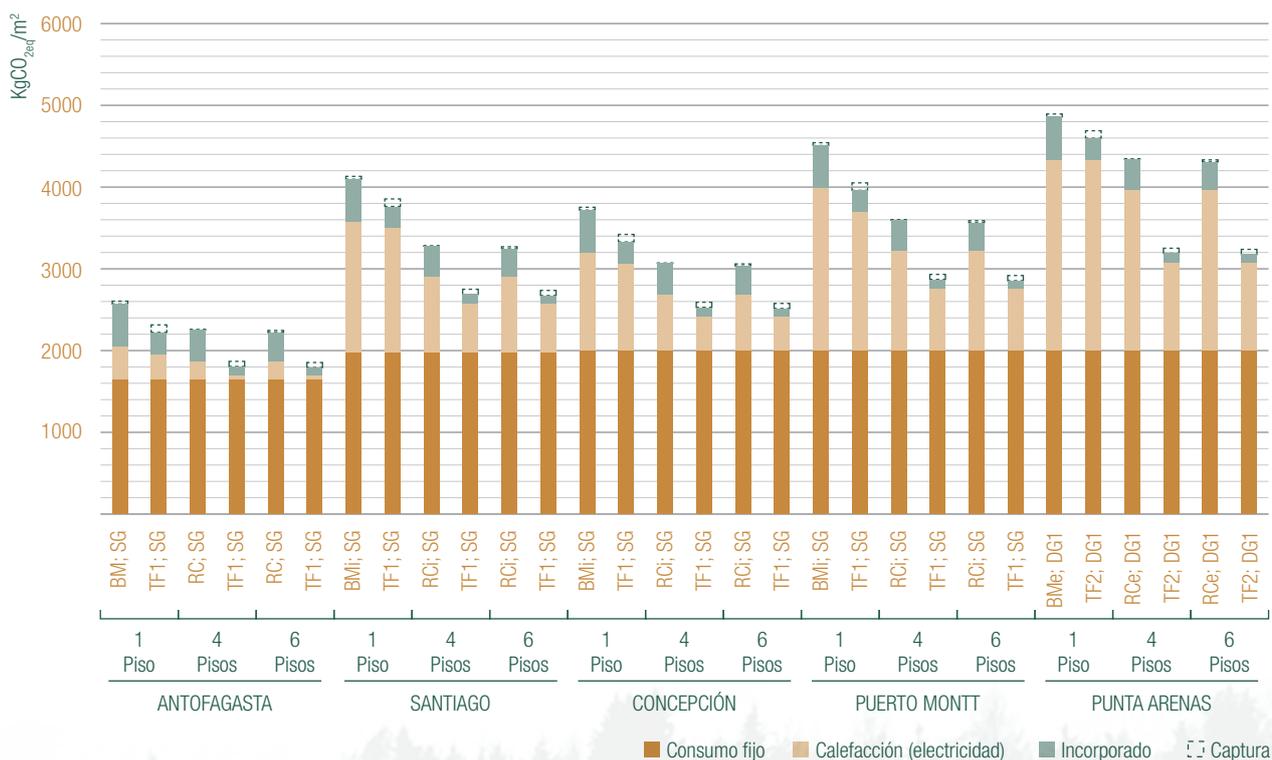


Figura 58: Carbono incorporado en el ciclo de vida.

Con el fin de cuantificar el impacto ambiental de las emisiones de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ , se han implementado iniciativas que asignan un valor monetario al carbono generado, valorizando en parte el impacto en el cambio climático. Estas iniciativas aún son insuficientes, ya que la mayoría de los precios establecidos están por debajo de los precios congruentes con el logro del Acuerdo de París, cuyos valores deseados van entre los 40 a los 80 USD/ $\text{tCO}_{2\text{eq}}$  para el 2020 y entre 50 y 100 USD/ $\text{tCO}_{2\text{eq}}$  para el 2030. En este escenario, el denominado “impuesto verde” en el contexto chileno asigna un valor muy inferior: 5 USD/ $\text{tCO}_{2\text{eq}}$  para las emisiones fijas de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  (World Bank Group, 2019). Si bien el país tiene como objetivo establecer un costo de mercado en torno a 32 USD/ $\text{tCO}_{2\text{eq}}$ , y así converger a un estándar más cercano a los compromisos internacionales, esto

a la fecha no se ha concretado. Cabe mencionar, además, que este “impuesto verde” en la actualidad se establece con un método “aguas abajo”, por lo que es necesario también revisar una metodología “aguas arriba” que permita cubrir los efectos de toda la cadena (BCN, 2018a; Ministerio del Medio Ambiente & GIZ, 2019). En este contexto, si tomamos en cuenta las metas base del acuerdo de París al 2030, de 50 USD/ $\text{tCO}_{2\text{eq}}$ , se calcula que en el escenario de viviendas de 66 m<sup>2</sup> en edificios (considerando circulaciones públicas) de 4 pisos construidas con hormigón versus madera, hay una diferencia de 612 kg $\text{CO}_{2\text{eq}}$ /m<sup>2</sup> considerando el carbono incorporado y el gasto operacional por calefacción durante 60 años de operación. Por lo tanto, por vivienda se tiene un impacto económico en torno a las 56,8 UF más para la materialidad de hormigón.

### 3.3. SIMULACIÓN DE COSTOS DE UN EDIFICIO DE 6 PISOS EN LA ZONA CENTRAL

Se comparan los costos de dos materialidades, madera con un sistema industrializado y hormigón armado tradicional, en un mismo proyecto de viviendas de 66 m<sup>2</sup> para un edificio de 6 pisos, evaluado a 60 años de vida útil, ubicado en la zona

central de Chile y considerando un estándar mínimo de aislación térmica según la normativa vigente. Además, se consideran tres escenarios para la evaluación de costos, con una tendencia hacia la valorización de la madera y sus beneficios.

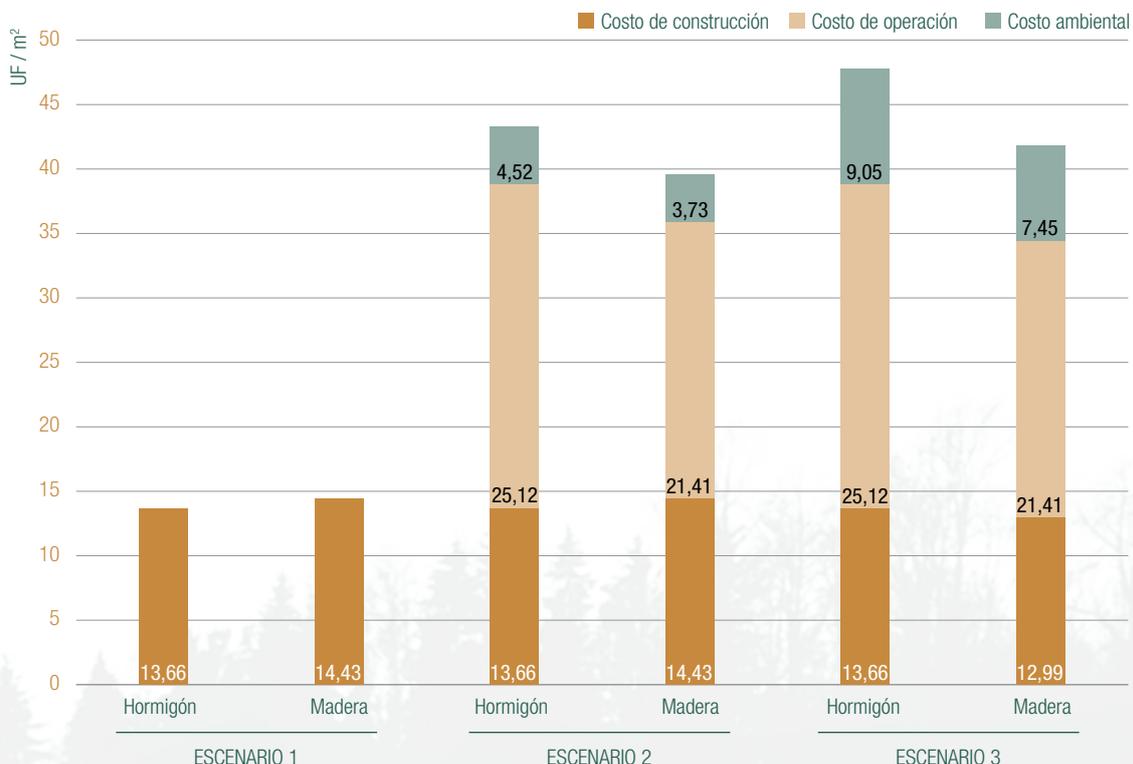


Figura 59: Comparación de costos en 3 escenarios, para las materialidades de hormigón y madera.

**El escenario 1 corresponde a seguir la tendencia actual**, en la que las inmobiliarias se centran en el costo de construcción de las viviendas, en la que la madera es solo un 5,3% más costosa, lo que es equivalente a 51 UF más por vivienda. La diferencia se produce cuando se piensa en el cliente final, quien habitará la vivienda y costeará su operación. Para reflejar esto, se presenta el escenario 2.

**El escenario 2 corresponde a las mismas condiciones técnicas del escenario 1, pero se agrega el costo de operación de la vivienda**, el cual es simulado en base a calefacción con electricidad. En este caso, como se menciona en el escenario 1, el costo de construcción es un poco menor para el hormigón, pero el costo de operación es un 17% menor para la madera, por lo que esta termina siendo un 8,2% más económica.

**Además, al escenario 2 se le suma un costo adicional por “impuesto verde” según acuerdo de París al 2030**, por lo que se fija el monto base de 50 US/tonCO<sub>2eq</sub>, el que se aplica tanto a las emisiones provocadas en la construcción del edificio como las producidas por la operación de este. Al agregar esta variable la diferencia económica es de un 9,5% a favor de la madera, lo que se traduce en 247 UF por vivienda.

**En el escenario 3, el impuesto verde se considera de 100 US/tonCO<sub>2eq</sub> según umbral máximo de acuerdo de París al 2030, se suma una reducción en los costos de construcción en**

**madera, suponiendo un cambio de tendencia estructural y la actualización de algunos requerimientos normativos para edificaciones.** Esto significa aproximadamente un 8,5% de los costos de construcción, a lo que se suma un 2,5% de reducción de costos por métodos de producción en masa, con mayores niveles de estandarización y de trabajo en fábricas, aumentando así la productividad. Por lo tanto, en este escenario los costos de construcción son un 10% menores que en los escenarios anteriores, y podría ser más en caso de conseguir mejores resultados de productividad y reducción de adicionales. En este escenario, la madera industrializada podría llegar a ser un 14,3% más económica, lo que por vivienda significa una disminución en el costo total de 394 UF.

**Finalmente, la construcción con madera en edificios de 6 pisos es competitiva si se analiza el panorama completo, es decir, los costos de construcción, operación y ambientales.** Además, si se piensa en una tendencia a construir con madera como un cuarto escenario, en la que además de revisar las normativas de construcción, se incorporen las externalidades ambientales de los productos; se mejore la tecnología a gran escala y la productividad aumente, obteniendo madera de mejor calidad producto de incentivos para los proveedores; se esperaría un panorama aún más alentador para las construcciones en madera, pero que por el momento es difícil de cuantificar.

### 3.4.

## LÍNEAS DE FINANCIAMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN CHILE

### INSTRUMENTOS BANCARIOS Y DE SEGUROS

**El sistema financiero chileno, durante las últimas décadas, ha presentado una estabilidad importante**, beneficiada por una base legislativa, regulatoria e institucional de supervisión prudencial que favorece una adecuada gestión y contención de riesgos, además de una sólida situación macroeconómica (Banco Central, 2018). En este escenario se ha desarrollado una industria financiera sofisticada, con servicios altamente competitivos e instrumentos atractivos, favoreciendo el desarrollo de mercados como los del sector de la construcción. Así, productos como los créditos o mutuos hipotecarios

ofertados en Chile por instituciones como bancos, agencias administradoras de mutuos hipotecarios endosables y cooperativas, han incrementado sus proyecciones al amparo de las regulaciones normativas establecidas por la Comisión para el Mercado Financiero (CMF).

**Asimismo, está normativa define las responsabilidades de los actores y los requerimientos para este tipo de productos financieros, tanto para su emisión como para el otorgamiento.** De esta manera, y en el marco de estas regulaciones y con el fin de resguardar el patrimonio de los involucrados, todo producto hipotecario debe contar con seguros obligatorios asociados de desgravamen e incendio, regulados por la CMF a

través de pólizas y entregados por compañías de seguros, compañías de reaseguro, corredores de seguros, liquidadores de seguros, agentes de seguros y agentes administradores de mutuos hipotecarios endosables, que cubren la deuda hipotecaria en caso de una eventualidad. Lo anterior no impide la

emisión de otros seguros complementarios asociados al producto hipotecario; como seguros ante sismo, caída de objetos, inundaciones, siniestros, cesantía, hogar, vida u otro, los que pueden ir a cubrir la deuda hipotecaria y/o parte del valor comercial del inmueble.

STOCK DE CRÉDITOS HIPOTECARIOS

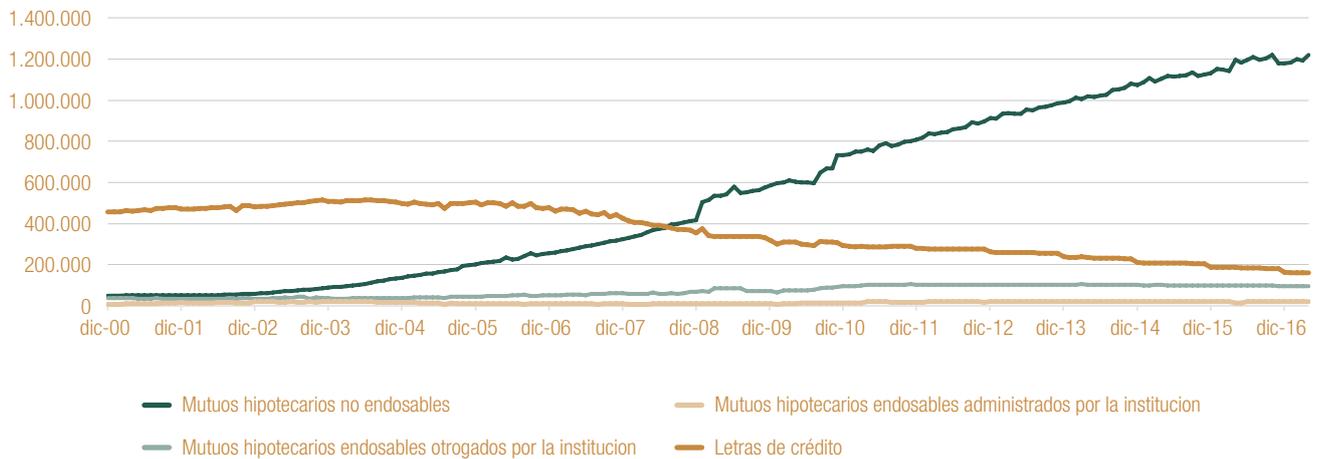


Figura 60: Stock de créditos hipotecarios en Chile, según tipo, entre los años 2000 y 2006. Fuente: (SERNAC, 2017)

**Los instrumentos hipotecarios en Chile, regidos bajo la normativa del CMF, no hacen distinción respecto a la materialidad del inmueble en forma específica.** En cambio, evalúan otras características del solicitante y de la propiedad mediante una comisión dedicada para estos fines, de cara al otorgamiento del crédito y la definición de las condiciones como tasas de interés y plazos. Por otra parte, los seguros obligatorios y complementarios ante sismo, si bien no hacen distinción en cuanto al uso de madera en la estructura del inmueble, sí presentan restricciones con sistemas constructivos como el adobe o adobillo. A modo de ejemplo, la póliza N°120131490 para productos hipotecarios ante siniestros de incendio, regulada por la CMF, si bien menciona cierta discreción en temas de materialidad que pueda tener la entidad emisora, no hace distinción específica respecto a la materialidad del inmueble para su otorgamiento o cobertura.

**Con relación a los seguros voluntarios, complementarios al crédito hipotecario, se identifican algunas barreras para productos de seguros ante incendio para inmuebles, los que en algunos casos pueden poner requisitos para estructuras de madera para su cobertura, pero bajo condiciones claramente definidas.** A modo de ejemplo, existen seguros de incendio que requieren que el inmueble se encuentre en una zona urbana para una rápida respuesta de los cuerpos de socorro, o que

tenga menos de un cierto porcentaje de estructura de madera, o que usualmente esté habitada a fin de dar pronto aviso en caso de siniestro. Como se desprende de lo anterior, si bien existen algunos requisitos en este tipo de seguros para inmuebles de uso esporádico que se encuentren en zonas rurales, como viviendas vacacionales que se encuentren aisladas y lejos de algún cuerpo de bomberos, estos requerimientos no aplican generalmente a inmuebles que cumplan con los requerimientos normativos en zonas urbanas. De igual forma, tanto los inmuebles de madera como de cualquier otra materialidad que no cumplan con los requerimientos normativos mínimos establecidos en la OGUC no podrán optar a ninguna cobertura por seguros o postular a instrumentos hipotecarios.

**También es importante destacar la presencia en el mercado chileno de instituciones financieras y aseguradoras internacionales con amplia presencia en países desarrollados donde el uso de la madera es masivo.** Así, bancos como Scotiabank, provenientes de Canadá; el Banco Santander, con presencia en buena parte de Europa; la compañía de seguros Liberty estadounidense o la aseguradora suiza Zúrich, entregan este tipo de productos en distintas partes del mundo. De esta manera, el mercado financiero chileno cuenta con instrumentos sólidos para la compra de inmuebles en madera, siempre que cumplan con todos los requisitos normativos mínimos y

los resguardos propios de un buen diseño y ejecución. Es más, instituciones bancarias, como el Banco Estado, cuentan con productos llamados “hipotecarios verdes”, los que entregan condiciones más favorables a las propiedades que cuenten con mayor eficiencia energética, y en los cuales las edificaciones en madera destacan por sobre otras materialidades.

**Es importante mencionar que, el sector privado entrega el financiamiento de un proyecto contra resultados visibles en obra, lo que puede dificultar el avance de un proyecto industrializado en madera.** Las instituciones bancarias generalmente autorizan la entrega de fondos para el desarrollo de una edificación, según los avances esperados en obra y velando por la calidad del producto según estándares previamente acordados. Esto para las obras industrializadas puede ser un obstáculo importante, ya que, al darse la mayor parte del avance en las plantas de prefabricación, la empresa constructora no recibirá ningún financiamiento. Así, solo las empresas que cuenten con capacidad económica suficiente podrán abordar este tipo de proyectos, de no mediar un acuerdo entre las partes; en este sentido es necesario que la industria financiera actualice sus protocolos en esta materia, de manera de facilitar el desarrollo de construcción industrializada.

## SUBSIDIOS HABITACIONALES O INCENTIVOS PÚBLICOS

**Las políticas de Estado se han encargado desde principios del siglo pasado de buscar atender las necesidades habitacionales de los sectores más vulnerables del país, aunque la vivienda no sea un derecho garantizado por la constitución chilena.** Así, se han creado diferentes iniciativas y programas de subsidio con el propósito de reducir el déficit habitacional nacional, las que han tenido bastante éxito en la reducción de la brecha durante las últimas décadas. De esta manera, en la actualidad, el subsidio entregado por el estado se entiende como un aporte económico a las familias que requieren apoyo para financiar la compra de su primera vivienda. Este aporte estatal, a diferencia de un crédito hipotecario, no considera intereses o su restitución por parte de los beneficiados, por lo que los interesados solamente deben cumplir con los requisitos mínimos establecidos por los llamados de subsidio para su postulación, en las fechas que el MINVU establece para cada programa habitacional.

Los subsidios vigentes, a la fecha del presente informe, consideran los programas de los decretos supremos D.S. N°49, D.S. N°10, D.S. N°1, D.S. N°19 y D.S. N°120. Es importante mencionar que ninguno de estos

instrumentos restringe el uso de alguna materialidad en específico, por lo que esto queda solamente sometido a los requerimientos técnicos que establece la OGUC y cada decreto en particular.

**Programa subsidio D.S. N°49:** este programa se encuentra destinado a familias sin vivienda, que viven en situación de vulnerabilidad social y pertenecen al 40% de la población con menos recursos, de acuerdo con la calificación socioeconómica establecida en el Registro Social de Hogares (RSH). Así, el apoyo estatal permite adquirir una vivienda, casa o departamento, sin crédito hipotecario, cuyo valor no puede superar las 950 unidades de fomento (UF). También es posible destinar este programa de subsidio a viviendas disponibles en proyectos de construcción existentes, en cuyo caso los montos del subsidio son igual a los montos regulares de un proyecto nuevo.

**Los montos de aportes de dinero entregados por este instrumento pueden oscilar entre las 314 UF y las 794 UF** dependiendo de los subsidios complementarios que se adjudiquen según las características del proyecto habitacional y las condiciones de la postulación de las familias interesadas. A modo de ejemplo, proyectos que consideren características como densificación o complejidades en su ejecución, al igual que familias numerosas o con integrantes con movilidad reducida, entre otros, podrían optar a aportes complementarios.

Tabla 7: Cuadro aportes D.S.N°49. Fuente: (BCN, 2018b)

| Opciones de subsidio | Valor máx. de la vivienda* | Monto máx e subsidio*     | Ahorro mínimo |
|----------------------|----------------------------|---------------------------|---------------|
| Compra               | 950 UF                     | desde 314 UF hasta 794 UF | 10 UF         |

**Programa subsidio D.S. N°10:** El Programa de Habitabilidad Rural, correspondiente al decreto D.S. 10, tiene por objeto mejorar las condiciones de habitabilidad de familias que residan en cualquier lugar del territorio nacional, excluidas las localidades urbanas de 5.000 o más habitantes, y de acuerdo con los datos que provea el Instituto Nacional de Estadísticas, atendiendo a sus particularidades geográficas y culturales. Tratándose de áreas rurales, este instrumento debe cumplir con lo dispuesto en el artículo 55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, en relación con condiciones de subdivisión, urbanísticas y constructivas, cuando corresponda.

**Los montos que cubre este subsidio van desde las 150 UF a las 570 UF, más un ahorro que va desde las 10 UF a 50 UF.** Además, dependiendo de los subsidios complementarios que se adjudiquen, pueden considerarse hasta 500 UF adicionales, llegando a un total en torno a las 1.120 UF para la adquisición de viviendas de máximo 1.400 UF. El programa está

destinado preferentemente a atender a las personas que presenten condiciones de déficit de habitabilidad en sectores rurales, bajo una categorización establecida en el decreto según niveles alto, medio o bajo.

Tabla 8: Cuadro aportes D.S.N°10 Fuente: (BCN, 2018b)

| Construcción en Sitio Residente             |                         |                     |               |
|---|-------------------------|---------------------|---------------|
| Tramos del Registro Social de Hogares (RSH) | Valor máx. vivienda (1) | Monto subsidio base | Ahorro mínimo |
| 0% hasta 40%                                | 1400 UF                 | 500 UF              | 10 UF         |
| 41% hasta 60%                               |                         | 450 UF              | 30 UF         |
| 61% hasta 80%                               |                         | 300 UF              | 50 UF         |
| 81% hasta 100%                              |                         | 150 UF              |               |

| Construcción en Conjunto Habitacional       |                         |                     |               |
|---|-------------------------|---------------------|---------------|
| Tramos del Registro Social de Hogares (RSH) | Valor máx. vivienda (1) | Monto subsidio base | Ahorro mínimo |
| 0% hasta 40%                                | 1400 UF                 | 570 UF              | 10 UF         |
| 41% hasta 60%                               |                         | 500 UF              | 30 UF         |
| 61% hasta 80%                               |                         | 300 UF              | 50 UF         |
| 81% hasta 100%                              |                         | 150 UF              |               |

**Programa subsidio D.S. N°1:** está destinado a familias de sectores medios que no son propietarias de una vivienda, que tienen capacidad de ahorro y posibilidad de complementar el valor de la vivienda con recursos propios o créditos hipotecarios. Este apoyo del Estado permite comprar una vivienda nueva o usada, o construir una vivienda nueva de hasta 140 mt<sup>2</sup>, en sitio propio o densificación predial (construcción de una vivienda donde ya existe una), tanto para sectores urbanos como rurales.

**Para poder acceder a este beneficio, los postulantes deben pertenecer a la población ubicada entre el segmento 60% y 90% más vulnerable del país,** de acuerdo con la calificación socioeconómica RSH. De igual forma, las viviendas a las cuales se le aplique este subsidio no podrán superar los 2.200 UF para viviendas normales y los 2.400 UF para viviendas insulares ubicadas en la Isla de Chiloé, considerando aportes de subsidio que irán entre las 125 UF y 60 0UF, con un ahorro del postulante que puede variar entre las 30 UF y 80 UF.

Tabla 9: Cuadro aportes D.S. N°1. Fuente: (BCN, 2018b)

| Regiones de Coquimbo a Los Lagos |                           |                    |               |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|
| Opciones de Subsidio             | Valor máx. de la vivienda | Monto subsidio     | Ahorro mínimo |
| Título I tramo 1                 | 1.000 UF                  | 500 UF (fijo)      | 30 UF         |
| Título I tramo 2                 | 1.400 UF                  | entre 516 y 200 UF | 40 UF         |
| Título II                        | 2.200 UF                  | entre 350 y 125 UF | 80 UF         |

| Provincia de Chiloé  |                           |                    |               |
|----------------------|---------------------------|--------------------|---------------|
| Opciones de subsidio | Valor máx. de la vivienda | Monto de subsidio  | Ahorro mínimo |
| Título I tramo 1     | 1.000 UF                  | 600 UF (fijo)      | 30 UF         |
| Título I tramo 2     | 1.600 UF                  | entre 589 y 225 UF | 40 UF         |
| Título II            | 2.400 UF                  | entre 450 y 140 UF | 80 UF         |



**Programa subsidio D.S. N°19:** El Programa de Integración Social y Territorial D.S. N°19, que proviene del decreto transitorio D.S. N°116, considera la realización de llamados a entidades desarrolladoras para la concreción de nuevos proyectos que permitan a las familias postulantes adquirir una vivienda en barrios bien localizados y cercanos a servicios, con estándares de calidad en diseño, equipamiento y áreas verdes. Las familias que pueden acceder a estos

proyectos habitacionales son aquellas que tienen un subsidio habitacional, pero no han podido aplicarlo, o bien, aquellas que se encuentran dentro de los tramos de vulnerabilidad socioeconómica exigidos, de acuerdo con RSH. Los valores máximos de las viviendas a postular van desde las 1.100 UF, para familias ubicadas en el segmento 50% más vulnerable, y de 2.200 UF para familias ubicadas entre el 50% y 90% de vulnerabilidad social.

**🌿 Precio de las viviendas: aumento de precios máximos de vivienda**  
(Zona Norte, extremo Sur, Provincia de Chiloé y Plan de Desarrollo de Territorios Rezagados.)

**Ahorro de las familias:**

- Según su calificación socioeconómica CSE.
- Según Precio de la Vivienda.

**Subsidio Habitacional:**

- Familias hasta el 50% CSE: 800 UF
- Familias desde 50% al 90% CSE: subsidio base del DS 1.

**Crédito Hipotecario:**

- Subvención al Pago oportuno del dividendo.
- Seguro de desempleo por todo el periodo de la deuda con subsidio para pagar la prima.

| Familias                | Precio de Vivienda | Monto de Subsidio | Ahorro mínimo |         |
|-------------------------|--------------------|-------------------|---------------|---------|
|                         |                    |                   | 40% CSE       | 50% CSE |
| Hasta el 50% CSE        | Hasta 1.200 UF     | 900 UF            | 20 UF         | 30 UF   |
|                         |                    |                   | 40 UF         |         |
| Entre el 50% al 90% CSE | 1.300 UF           | 288 UF (*)        | 40 UF         |         |
|                         | 1.500 UF           | 338 UF (*)        |               |         |
|                         | Hasta 2.400 UF     | 140 UF            | 80 UF         |         |

(\*) Monto de subsidio según zona de emplazamiento artículo 3° DS 19.

Figura 61: cuadro aportes. D.S.N°19 Fuente: (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2016)

**Programa subsidio D.S. N°120:** este instrumento, también llamado Subsidio de Leasing Habitacional, puede ser solicitado por mayores de 18 años que no tengan capacidad de ahorro para postular a otros subsidios; aunque sí debe ser sujeto de crédito, no

ser dueño de un inmueble y contar con un contrato de arriendo con promesa de compraventa. Así, el postulante podrá ser merecedor de un apoyo estatal único que varía según valor de la propiedad y emplazamiento, entre 125 UF y 600 UF.

Tabla 10: Cuadro aportes Leasing habitacional Fuente: (BCN, 2018b)

| Emplazamiento de la Vivienda  | Precio de la vivienda en UF | Monto máximo subsidio UF | Monto mínimo subsidio UF |
|---|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Viviendas emplazadas en todas las regiones, provincias y comunas del país, excepto las señaladas más abajo  | hasta 2.000 UF              | 425                      | 125                      |
| Viviendas emplazadas en las regiones de Arica y Parinacota, de Tarapacá, de Antofagasta y de Atacama  |                             | 475                      |                          |
| Viviendas ubicadas en la provincia de Chiloé  | Hasta 2.200 UF              | 525                      | 140                      |
| En viviendas situadas en las regiones de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo; Magallanes y Antártica Chilena; provincia de Palena; las comunas de Isla de Pascua y Juan Fernández |                             | 600                      |                          |

Es importante mencionar que los subsidios de nueva vivienda buscan fomentar los procesos de diseño participativo con los beneficiados, los que pueden poner reparos respecto a la materialidad escogida para su futura vivienda. En este sentido, en muchas zonas del país existe cierto estigma respecto a la edificación en madera, debido a su uso en viviendas mínimas de emergencia, edificaciones temporales y/o construcción de estándar inferior que no cumplen con las normativas. Esto a significado que muchos beneficiados por subsidios, al no conocer como son las viviendas de madera de estándares adecuados, no reciban con buenos ojos este tipo de edificaciones. De esta manera, es necesario poder avanzar en pilotos de este tipo de vivienda, a fin de que los beneficiarios puedan conocer de primera mano el alto estándar de este tipo de construcciones, cuando son ejecutadas considerando todos los parámetros normativos y condiciones propias de un buen diseño.

En el caso de la vivienda pública, se identifica una dificultad en el financiamiento de edificaciones industrializadas similar al detectado en las viviendas con financiamiento privado. Los subsidios entregados para la construcción de viviendas nuevas consideran los estados de pago entregados por SERVIU, según el avance en terreno y lo detallado en el Manual de Inspección Técnica en Obra (MITO). Este manual, si bien no impide la construcción industrializada, si presenta algunas barreras para su correcto desarrollo y aprovechamiento de los beneficios asociados a estos procesos; sumado a la dificultad para constatar avances en obras, que podrían terminar por demorar los estados de pago asociados a los proyectos y dificultar el correcto desarrollo de éstos.

## CONCLUSIONES CAPITULO 3

Al contrastar la información levantada de las vías de financiamiento privadas y públicas; con los costos de construcción y operación; y las externalidades ambientales y cadena de valor; se puede identificar las siguientes condiciones y brechas:

- La madera es un material altamente competitivo en costo, para edificaciones de 1 a 2 pisos, tendiendo a ser una alternativa más económica frente a otras materialidades como la albañilería. Lo que explica su uso mayoritario en viviendas de baja altura en Chile.
- Al considerar exclusivamente el costo directo de construcción de edificaciones en madera de media altura, se identifica que estas tienden a ser levemente más caras que sus pares en hormigón. Esto se acentúa en edificaciones de 5 y 6 pisos, donde un salto en las tecnologías de conectores estructurales se traduce en mayores costos de la obra gruesa del edificio. Así, de no mediar modificaciones normativas que permitan estructuras de maderas más flexibles, los edificios de 3 y 4 pisos de alturas con sistemas de anclaje más simples presentan un mayor potencial de competencia en costos frente a edificios de hormigón.
- Construir en madera no es necesariamente más económico que construir en otros materiales, contrario a la creencia popular que puede existir asociada a edificaciones de madera de menor estándar y que muchas veces no cumplen con los requerimientos normativos mínimos. Así, edificaciones en madera que cumplan con todos los requerimientos normativos, y cautelas propias de un buen diseño y ejecución, pueden presentar costos iguales o superiores a otras materialidades. Sin embargo, las viviendas en madera de alto estándar tienden a presentar mayores beneficios y confort que sus pares en otras materialidades. Además, de considerar procesos industrializados, que reduzcan los tiempos de ejecución e incrementen la productividad, estas pueden de igual forma llegar a presentar costos más competitivos que viviendas construidas con materiales tradicionales.
- Las edificaciones de vivienda en madera pueden llegar a reducir en hasta un 65% sus costos de calefacción, en contraste con construcciones en hormigón, producto de una envolvente con un mejor estándar de aislamiento térmico. Esto se traduce en que, si bien un edificio de madera de 6 pisos en Santiago puede llegar a costar 100 UF más por departamento, que uno en hormigón el primero puede generar ahorros por cerca de 300 UF en calefacción durante 60 años de vida del inmueble.
- Para un edificio de vivienda de 6 pisos de altura, construido en madera u hormigón, se espera que el primer material signifique un incremento en el costo directo de construcción en torno al 5%. Sin embargo, de considerar los costos asociados a calefacción y valorización de emisiones de  $CO_{2eq}$  entre materialidades, durante un periodo de 60 años, se estima que la situación se revertiría a favor del edificio en madera, con costo global un 9% más económico que el edificio de hormigón.
- La madera es un material con emisiones de  $CO_{2eq}$  nulas o negativas, a diferencia de las altas emisiones de materiales como el hormigón y el acero. Sin embargo, este beneficio ambiental no es normalmente valorizado al momento de ejecutar un proyecto, o abordado por alguna regulación que limite las emisiones de  $CO_{2eq}$ ; permitiendo que sistemas constructivos de igual costo o más económicos que la madera, pero con mayores emisiones de  $CO_{2eq}$ , sean muchas veces más atractivos desde un punto de vista económico.
- En Chile existe una importante brecha de información y trazabilidad respecto al impacto de los materiales de construcción en el medio

ambiente, sus requerimientos energéticos y sus emisiones de CO<sub>2eq</sub> asociadas; dificultando el trabajo de valorizar los costos, del impacto en el cambio climático, de proyectos de edificación que se desarrollen en el país.

- Considerando las metas de carbono neutralidad de Chile al 2050 y los compromisos internacionales frente al cambio climático, es fundamental avanzar en gravámenes a las emisiones de CO<sub>2eq</sub> en la construcción; a la vez que, se crean beneficios significativos a la reducción de las emisiones de gases de cambio climático en las nuevas edificaciones. En esta línea, viviendas de madera en altura con menores emisiones de CO<sub>2eq</sub> asociadas al material y la operación del inmueble, según estándares internacionales de 50 US/tonCO<sub>2eq</sub>, debería considerar una valorización de este beneficio en torno a las 56.8 UF por sus menores emisiones.
  - Se destaca en el caso chileno, para la obtención de financiamiento público y/o privado, el proyecto debe contar con todos los requerimientos normativos aplicables y condiciones propias de un buen diseño y ejecución en obra. Esto, independiente del material que se utilice para la construcción del inmueble en cuestión, no existiendo distinción entre la madera y otros materiales como el hormigón o el acero
  - En el mercado nacional existen instrumentos financieros altamente competitivos, regulados estrictamente a través de instituciones públicas como el CMF, que permiten la adquisición de viviendas a través de créditos o mutuos hipotecarios, con sus seguros obligatorios de incendio y desgravamen. A su vez, estos instrumentos no hacen alguna distinción directa respecto a la materialidad usada en la construcción, salvo por casos específicos como el adobe y adobillo, y no discriminan en lo referente al uso de la madera en estructura y/o terminaciones.
- Adicionalmente, si bien algunos seguros de incendio complementarios, no obligatorios, hacen referencia a condiciones para la cobertura de edificaciones en madera, estas se enmarcan bajo condiciones específicas y no usuales para inmuebles ubicados en entornos urbanos.
- De igual forma que en el sector financiero privado, los instrumentos de subsidios público no hacen referencias específicas sobre alguna restricción en la adquisición de viviendas construidas en madera. Si cabe mencionar que, los instrumentos asociados a estos subsidios, como normas técnicas e itemizados, pueden solicitar especificaciones técnicas según materialidad y su uso en los proyectos. Esto en un marco asociadas a buenas prácticas de diseño y ejecución en obra.
  - Se destaca que los instrumentos de subsidio, disponibles en la actualidad, entregan montos de financiamiento ajustados para el caso de viviendas de madera en altura. Esto considerando que un departamento en madera, de carácter social, puede tener un costo neto de alrededor 1.200 UF, sin considerar costos indirectos. Así, sólo subsidios como el programa D.S. N°19, con aportes estatales de hasta 1.070 UF, son capaces de cubrir totalmente el valor de la vivienda.
  - Es importante trabajar con las familias beneficiadas por subsidios, de manera que puedan conocer los beneficios de la construcción en madera y no verse influenciadas por prejuicios asociados a viviendas de bajo estándar y que no cumplen con los requerimientos normativos.

# 04.

## ANÁLISIS DE BARRERAS Y OPORTUNIDADES DE CARA A UNA HOJA DE RUTA O PLAN DE ACCIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN MADERA

### RESUMEN CAPITULO

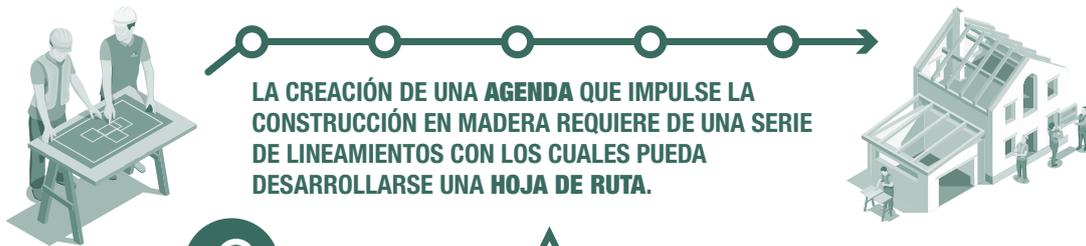
Se realiza un levantamiento de brechas de forma cuantitativa, por medio de la aplicación de una encuesta, y de forma cualitativa, través de la revisión de proyectos emblemáticos y entrevistas a actores relevantes. Esto permite que se puedan identificar lineamientos para la elaboración de recomendaciones de cara a una hoja de ruta o plan de acción, según sea requerido, en torno a una agenda que promueva la construcción en madera. Así, está podrá ser confeccionada, en base a oportunidades que se revelan en los resultados del levantamiento y análisis presentado en capítulos anteriores.

La encuesta considera 166 encuestados, identificando como una de las principales barreras, la falta de difusión de las ventajas de la construcción en madera. Se realiza un análisis agregado de 21 barreras presentadas en encuesta, agrupadas en cuatro grupos de macro brechas; (1) brecha cultural, enfocada en percepciones respecto al material y su uso en construcción; (2) brecha tecnológica, que considera capacidades técnicas y de conocimiento respecto a la construcción de edificaciones de viviendas en madera; (3) brecha sector público, que considera los incentivos, normativas y regulaciones en torno a la construcción en madera; (4) brecha del sector privado, enfocada en el interés de los desarrolladores y financiamiento de proyectos, entre otros. Identificándose, como las brechas más relevantes según los encuestados, las asociadas al sector público, tecnológicas, sector privado y cultural, respectivamente.

Por otra parte, a través de la priorización de estas macro brechas como un problema para el desarrollo de la construcción en madera en el país, los encuestados perciben como la mayor barrera a la brecha cultural. De lo anterior se infiere que, a pesar de que las brechas del sector público y tecnológicas se identifican como el mayor problema, la percepción generalizada de los encuestados identifica como la principal barrera la brecha cultural.

De igual forma, la visión y análisis de los actores clave entrevistados, tienden a enfocarse en brechas normativas y vinculadas a la falta de incentivos provenientes del sector público. A la vez que, en forma transversal, declaran la importancia del desarrollo de proyectos gatilladores que permitan avanzar en el cierre de brechas en torno a la construcción en madera. Además, las entrevistas muestran un análisis cualitativo de la situación actual, en la que, si bien las brechas identificadas son similares a las detectadas en la encuesta, se percibe un ambiente mucho más optimista respecto al desarrollo de la construcción en madera, especialmente de cara a la reactivación post-pandemia.

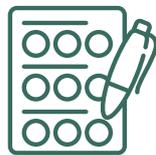
Es fundamental contar con una mesa de trabajo transversal, a nivel país, que vincule a los sectores público y privado en una hoja de ruta o plan de acción conjunto para potenciar el desarrollo de la construcción en madera. Esta mesa de trabajo, liderada por un agente aglutinante como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, a través de sus múltiples convenios con entidades vinculadas al sector construcción en madera, deberá llevar una agenda enfocada en ejes clave como: (1) Avanzar en estándares de sustentabilidad en la construcción, con un rol fundamental de materiales con bajas emisiones de CO<sub>2eq</sub> como la madera, similares a los de países desarrollados; (2) Avanzar en una agenda de actualización regulatoria y normativa, que considere el estado del arte de la construcción en madera actual y las necesidades de la sociedad; (3) Potenciar la construcción industrializada en madera de alto valor, fortaleciendo empresas industrializadoras de alta tecnología y generación de capital humano avanzado; (4) Propiciar el desarrollo de proyectos de edificios y urbanos detonantes, de manera de generar difusión sobre los beneficios de la madera y realizar levantamiento sobre sus ventajas competitivas; (5) Apoyar programas de incentivo a la reactivación económica, generando iniciativas que promuevan el empleo y desarrollo social, tanto a nivel local, como a nivel nacional.



LA CREACIÓN DE UNA **AGENDA** QUE IMPULSE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA REQUIERE DE UNA SERIE DE LINEAMIENTOS CON LOS CUALES PUEDA DESARROLLARSE UNA HOJA DE RUTA.

**IDENTIFICAR LAS BRECHAS EXISTENTES DENTRO DE LA INDUSTRIA.**

DOS ARISTAS



**ARISTA CUANTITATIVA**  
(ENCUESTA)

- BRECHAS CULTURALES**  
(DE PERCEPCIÓN DEL MATERIAL)
- BRECHAS TECNOLÓGICAS**  
(CAPACIDAD TÉCNICA Y CONOCIMIENTO)
- BRECHAS DESDE EL SECTOR PÚBLICO**  
(INCENTIVOS Y REGULACIONES)
- BRECHAS DESDE LO PRIVADO**  
(INTERÉS DE LOS DESARROLLADORES Y FINANCIAMIENTO)



HA SIDO POSIBLE IDENTIFICAR COMO LA **MAYOR BRECHA A LA CULTURAL, LA DESINFORMACIÓN Y EL DESCONOCIMIENTO**



**ARISTA CUALITATIVA**  
(ENTREVISTAS)

- VISIÓN DE ACTORES CLAVES**
- BRECHAS NORMATIVAS**
- FALTA DE INCENTIVO PÚBLICO**



PARA EL GRUPO CONSULTADO, **LOS PROYECTOS SON CLAVES PARA ACORTAR ESTAS BRECHAS**

ES FUNDAMENTAL UNA MESA DE TRABAJO QUE VINCULE LOS SECTORES PARA POTENCIAR LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA, DEBE ENFOCARSE EN:

**ACADEMIA**



**SECTOR PRIVADO**    **SECTOR PÚBLICO**

- ACTUALIZAR NORMATIVAS**
- MEJORAR ESTÁNDARES SUSTENTABLES**
- POTENCIAR LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA**
- PROYECTOS DETONANTES QUE GENEREN DIFUSIÓN**
- DE IMPULSAR PROGRAMAS DE INCENTIVO A LA REACTIVACIÓN ECONÓMICA**



## Construcción en madera

El Centro UC de Innovación en Madera, con el apoyo del Banco Mundial, se encuentra realizando un levantamiento de brechas y oportunidades en torno a la construcción en madera en Chile. Para lo cual estamos solicitando contestar una breve encuesta, de 4 secciones, que no deberá demorar más de 5 a 7 minutos.

Se destaca que los datos obtenidos de esta encuesta serán utilizados de manera confidencial, y en el marco del estudio presentado.

De antemano damos las gracias por responder esta encuesta, y le informamos que realizaremos un sorteo entre todos los encuestados de dos libros sobre construcción en madera, para poder hacer entrega en caso de que resultes ganador necesitamos que ingreses tu correo electrónico.

Dirección de correo electrónico

Tu respuesta

*Figura 62: Encuesta sobre brechas en la construcción en madera*

## INTRODUCCIÓN

El presente capítulo corresponde a un levantamiento de avances, lecciones aprendidas, problemáticas y recomendaciones en torno a la construcción de viviendas en madera en Chile. Esta información se ha generado a través de revisión de casos, una encuesta y una serie de entrevistas a actores clave del sector. Así, se obtiene un reporte cuantitativo y cualitativo para poder establecer un diagnóstico que permita identificar los lineamientos preliminares que serán necesarios para la construcción de una hoja de ruta o plan de acción, en la medida de lo requerido, que permita avanzar en la agenda de la construcción sustentable en madera.

Por un lado, la encuesta consiste en la valorización de las barreras expuestas, lo que permite analizar de

forma cuantitativa cuales son los principales obstáculos para el fomento de la construcción en madera en Chile. Esta se difunde entre la base de datos del CIM UC alcanzando un número de 166 personas encuestadas. Por otra parte, en base a las entrevistas realizadas, se pueden identificar lineamientos para orientar iniciativas que apunten a promover la construcción en madera en Chile. Considerando opiniones y visiones de los entrevistados, como actores de influencia y representantes de instituciones del sector público y privado, complementando los resultados obtenidos de las encuestas, y generando un panorama más completo del contexto nacional.

## 4.0

# ANÁLISIS DE LECCIONES APRENDIDAS EN BASE A PROYECTOS REALIZADOS

**A partir de la revisión de casos de construcción de viviendas y otras estructuras de madera, a través de revisión de distintos antecedentes, se presentan de manera general las principales lecciones aprendidas en cada proyecto.** Lo anterior, con el fin de transmitir experiencia para fomentar una mejora continua en el rubro y favorecer la construcción industrializada de proyectos con sistemas constructivos industrializados con madera, los que son abordados con mayor detalle en Anexo D. Así, se consideran los proyectos: barrios Oasis de Chañaral y El Salado, Villa verde, Pabellón Expo Milán y Torre Experimental Peñuelas.

**A partir de la experiencia del barrio Oasis de Chañaral, si bien las viviendas resultantes presentan estándares y calidad por sobre proyectos similares, se pudo identificar varias dificultades en la etapa de ejecución en obra, dónde la industrialización del sistema constructivo pudo haber sido abordada de una mejor forma.** Las lecciones aprendidas apuntan a mantener una mejor comunicación con los distintos actores, especialmente entre arquitectura y la empresa constructora, fomentando la planificación en etapas tempranas con el fin de reducir o eliminar los gastos de imprevistos y/o intersecciones en el proyecto. Además, para lograr un alto grado de industrialización, se deben evitar cuellos de botella asociados a los procesos de diseño y ejecución en obra, para lo cual es necesario al menos (1) generar un correcto espacio de acopio y almacenamiento de materiales, (2) planificar el proceso de montaje en obra, (3) llevar un control de las líneas de producción en sus distintas etapas, (4) tener un stock crítico de materiales siempre disponible con los proveedores.

**Es necesario contar con un catálogo amplio de soluciones constructivas, de acceso público, validadas del punto de vista normativo y que sean fácilmente industrializables.** En el contexto de la construcción industrializada, en el caso de los proyectos Oasis de Chañaral y Villa Verde, una de las principales lecciones se sitúa en torno a la optimización de soluciones constructivas y la necesidad de contar con los ensayos normativos respectivos. De esta manera, a modo de ejemplo, el proyecto Oasis de Chañaral se vio forzado a utilizar cadenas en muros y maderas de mayor costo, debido a que no existían en el momento ensayos normativos disponibles sin

estos elementos, aumentando costos y dificultando el proceso de industrialización; situación que si pudo ser modificadas en proyectos como Villa Verde, donde las soluciones constructivas fueron optimizadas para evitar estos elementos difíciles de industrializar, mediante el uso de placas arriostrantes, reduciendo adicionalmente los costos de construcción.

**Por otro lado, otro tipo de proyectos como el Pabellón Expo Milán, demuestra la importancia del contexto geográfico de las estructuras y como se diseña para proteger adecuadamente los elementos de madera.** En este caso el pabellón se montó en Milán para permanecer durante un periodo acotado de tiempo en el marco de una exposición. Sin embargo, este fue posteriormente redestinado a la ciudad de Temuco, donde el destino de uso y condiciones ambientales son muy diferentes. Así, la estructura de madera expuesta se vio afectada en forma considerable por la acción del tiempo y condiciones ambientales, impactando de forma negativa los costos de mantenimiento, y llevando a pensar en la incorporación de soluciones adicionales que permitan proteger la estructura de factores como la alta humedad y lluvia. De este punto, es que es fundamental incorporar estrategias de diseño en madera, que prevean el destino y condiciones en las que estará inmersa una edificación en madera, de manera que esta se desempeñe de manera óptima y no genere gastos adicionales durante su operación.

**Respecto al caso de la Torre Peñuelas, edificación en madera más alta de Latinoamérica, éste demuestra la necesidad de realizar avances tecnológicos para la validación y masificación de nuevas tecnologías de construcción en madera.** Esta torre de 6 pisos en estructura de entramado de madera es la primera en la región en utilizar tecnologías como los sistemas de anclaje estructural ATS, con el fin de alcanzar la altura deseada, y mostrar la importancia de las etapas de logística y montaje en este tipo de edificaciones. Así, la construcción de casos emblemáticos, que demuestren la funcionalidad de las estructuras de madera en el mundo real, permite avanzar en las brechas tecnológicas y normativas existentes en el país, a la vez que generan un cambio cultural respecto a la percepción de la madera y sus beneficios.

## 4.1

## ANÁLISIS DE ENCUESTA DE BRECHAS PERCIBIDAS EN TORNO A LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA EN CHILE

La encuesta realizada alcanza una tasa de respuestas del 16%, equivalente a 166 encuestas válidas y completas, que para un análisis específico se divide por sector, y por área de desarrollo. Se hace una caracterización de la muestra correspondiente a 166 encuestados, de un universo de 1008 personas a las cuales se les envió la encuesta, equivalente a una tasa de respuesta del 16%. El área profesional, se divide en dos grandes grupos: AIC, arquitectos, ingenieros y constructores; otros, gestor inmobiliario,

entidad patrocinante, proveedor de productos, docente/investigador, estudiantes y otros. Los 8 encuestados que se identificaron con otra área profesional, son tres ingenieros comerciales, dos diseñadores, un proyectista, un empresario y un analista de gestión. El área profesional AIC representa un 75% de la muestra con un “n” igual a 125 y el área “otros” representa el 25% restante con un “n” igual a 41. La otra división de la muestra se realiza por sector: académico (n=38, 23%), privado (n=98, 59%) y público (n=30, 18%).

Tabla 11: Composición de las brechas expuestas.

|                        |   |
|------------------------|---|
| Brecha cultural        | Madera material de calidad inferior                                   |
|                        | Costos de mantenimiento   |
|                        | Costos de seguros y/o hipotecarios                                    |
|                        | Riesgo de incendios   |
|                        | Desconocimiento de beneficios ambientales de la madera                |
| Brecha tecnológica     | Desconocimiento de tecnologías de construcción en madera              |
|                        | Desconocimiento por parte de profesionales                            |
|                        | Constructoras con experiencia en madera                               |
|                        | M.O. calificada y formación técnica limitada                          |
|                        | Madera de calidad para la construcción                                |
|                        | Red de industrializadoras de alta tecnología                          |
| Brechas sector público | Normativas gubernamentales  |
|                        | Incentivos gubernamentales  |
|                        | Normativas municipales  |
|                        | Incentivos municipales  |
|                        | Difusión de los beneficios de la construcción en madera               |
| Brechas sector privado | Desinterés por parte de desarrolladores                               |
|                        | Los compradores no prefieren la madera por sobre otras materialidades |
|                        | Problemas asociados a postventa                                       |
|                        | Obtención de financiamiento de proyectos                              |
|                        | Desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera          |

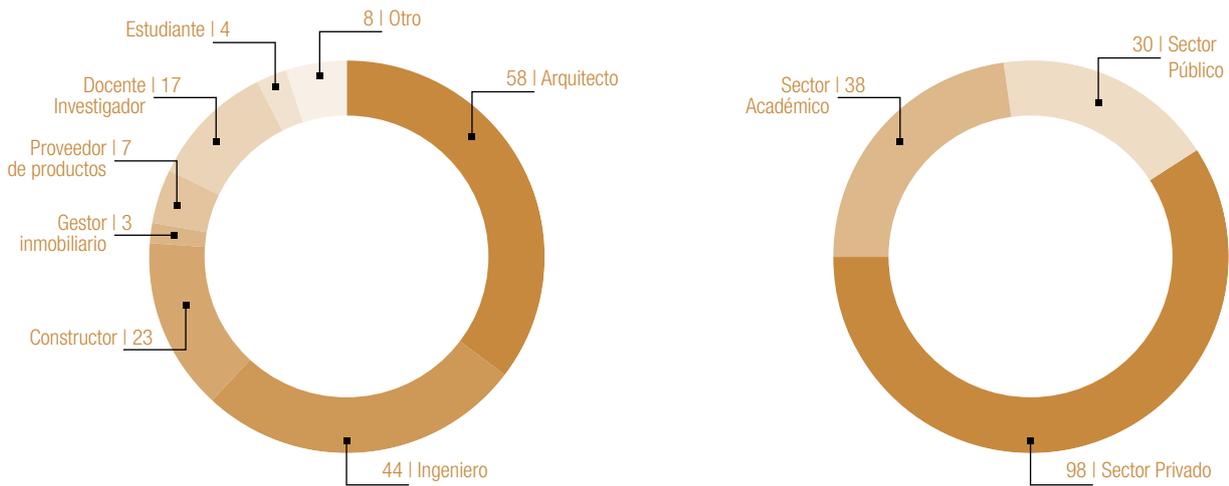


Figura 63: Composición de la muestra encuestada. A la izquierda caracterización del área profesional y a la derecha sector al que pertenece. Se observa una participación mayor del grupo AIC (75%), y sector privado (59%).

Las 4 macro brechas expuestas, son valorizadas con promedios sobre 4, en una escala del 1 al 7, siendo todas identificadas como brechas por parte de los encuestados, situándose como más relevantes las brechas tecnológicas y del sector privado, y menos relevante las brechas del sector público y brecha cultural. En general los cuatro grupos de brecha son identificados como tales, ya que tienen promedios sobre 4, es decir, todos se consideran una barrera para el desarrollo de la construcción en madera en Chile. Por otra parte, si bien las cuatro secciones presentan promedios similares, en orden de un mayor a menor obstáculo, los asociados a las brechas tecnológicas y brechas del sector privado se sitúan primero con igual promedio, para luego dar paso a las brechas asociadas al sector público y finalmente las brechas culturales.

Para la brecha cultural, la barrera más relevante es el riesgo de incendios y las barreras con menor promedio, es decir menos relevantes, son la percepción de la madera como material de calidad inferior y sus costos de mantenimiento. Se tiene que la visión de la madera como material de calidad inferior tiene un promedio de 4.6 que, junto a los costos de mantenimiento son los obstáculos menos relevantes dentro de la brecha cultural, esto contrasta con otros resultados bibliográficos donde se menciona que la percepción de la madera como material de calidad inferior tiene una relevancia mayor debido a que siempre es mencionada como barrera (Construye 2025, 2016). Por otro lado, se presenta con el mayor promedio de barrera el riesgo de incendios, punto que deja en evidencia la necesidad de avanzar en una mayor difusión de las propiedades de la madera y soluciones constructivas ante el fuego.

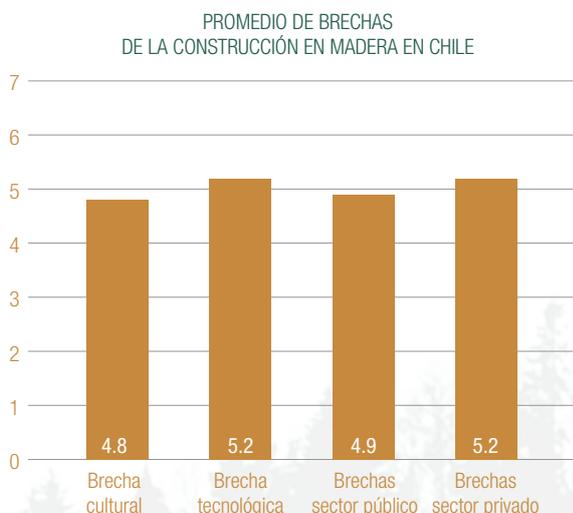


Figura 64: Promedios generales obtenidos por cada brecha de la construcción en madera en Chile. Los valores sobre 4 indican que la sección es una barrera, por lo tanto, todas son barreras y las brechas del sector privado y tecnológica son las que representan un obstáculo mayor en promedio.

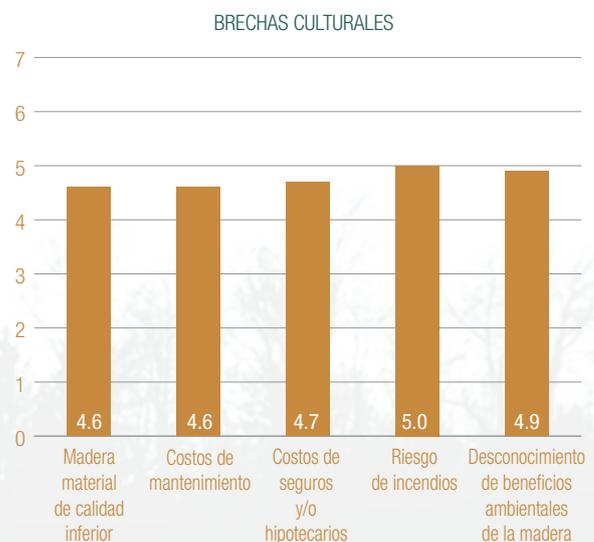


Figura 65: Promedio de las barreras correspondientes a las brechas culturales. Valorizadas del 1-7 con un n=166. Se observa que todos los promedios son sobre 4, por lo tanto, son identificados como barrera. La mayor relevancia la tiene el riesgo de incendios y la menos la madera como material de calidad inferior y los costos de mantenimiento.

En general el grupo AIC valoriza las barreras con un número menor que el grupo otros. Al analizar los resultados anteriores separando las respuestas por área de desarrollo según AIC y otros, se tiene que el grupo AIC valoriza las barreras con un número menor, debido a que en promedio un 27% de ellos no considera la brecha cultural como barrera, versus el 19% del grupo otros, es decir, para los AIC las aseveraciones presentadas en la encuesta son una menor barrera que para el grupo otros, excepto en el último punto, de desconocimiento de los beneficios ambientales de la madera dónde el grupo AIC valoriza con un número mayor la brecha.

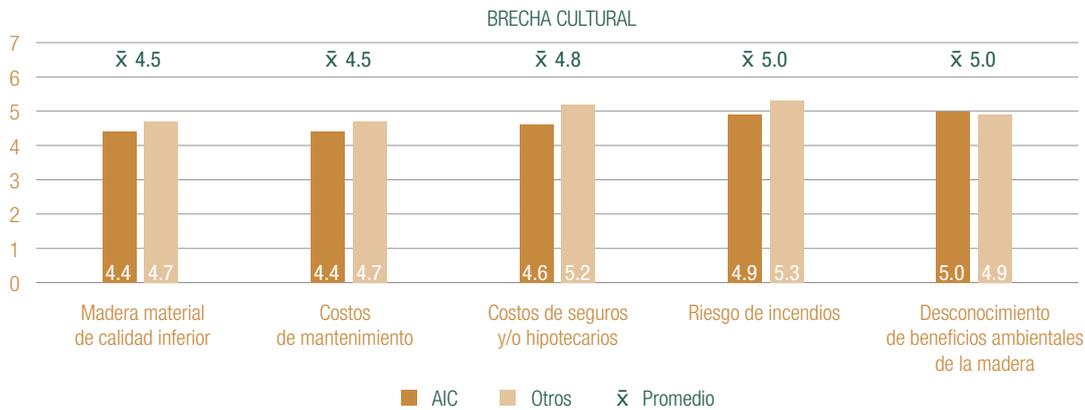


Figura 66: Promedios por área profesional agrupada en AIC (n=125) y otros (n=41), evaluado en una escala del 1 al 7. En general el grupo AIC tiene promedios menores, siendo las brechas para ellos menos relevantes.

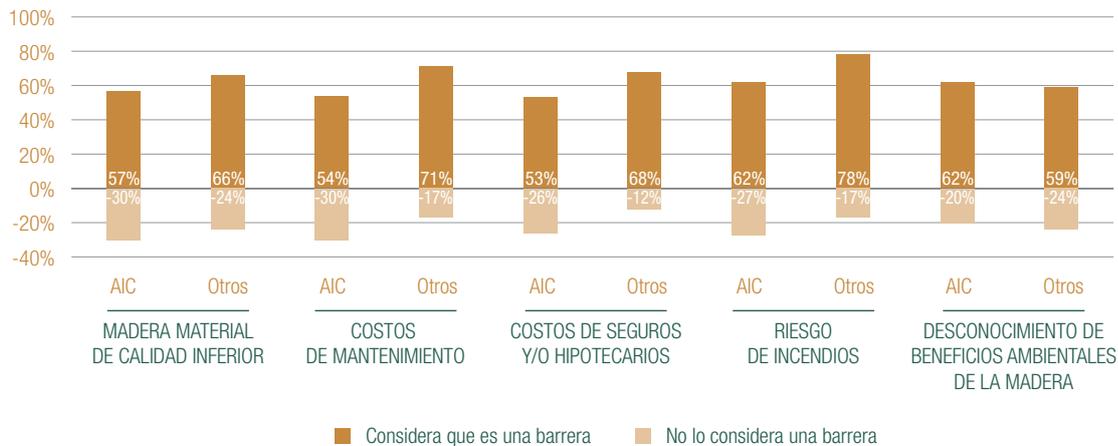


Figura 67: Brecha cultural, analizada por área de desarrollo de los encuestados dónde AIC es igual a un n=125 y otros un n=41. En promedio se tiene que no considerar la aseveración como barrera representa un 27% para el sector AIC y un 19% para el sector otros. Y si considerarlas como barrera representa en promedio un 57% para el sector AIC y un 68% para el sector otros.

Las barreras en general son menos relevantes para el sector privado que para el sector público y sector académico. Analizando las respuestas por cada sector, se tiene que el sector privado es el que valoriza los obstáculos con un promedio menor, así, un 27% no considera las aseveraciones como barreras y solo el 57% las considera como tal. Luego un 22% del sector público considera, en promedio, que las

aseveraciones no son barreras, mientras que un 63% las declara de esta manera. Finalmente, la evaluación más alta respecto a la percepción de barrera es entregada por el sector académico, en el cual un 19% no percibe las declaraciones entregadas como barrera, mientras que un 65% indica que las aseveraciones son una barrera relevante.

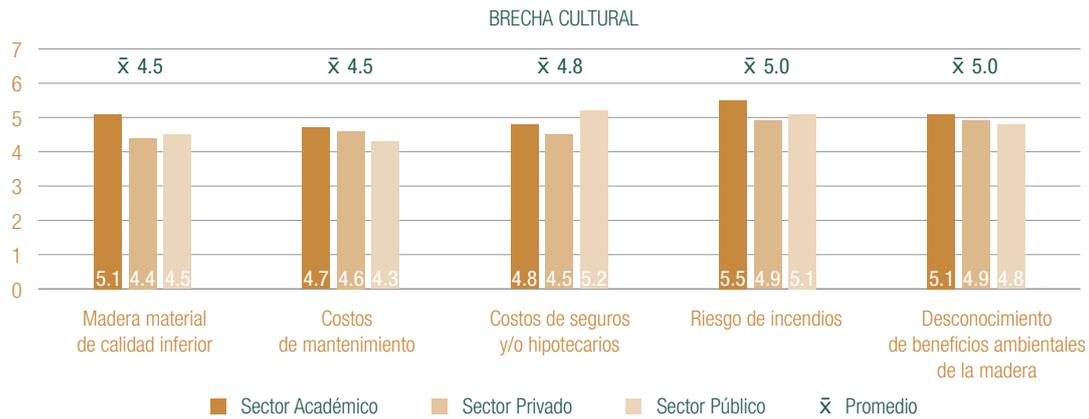


Figura 68: promedio de las barreras de la brecha cultural analizadas por sector. El sector privado (n= 98) tiene el menor promedio y el sector público (n=30) y sector académico (n=38) tienen promedios muy similares.

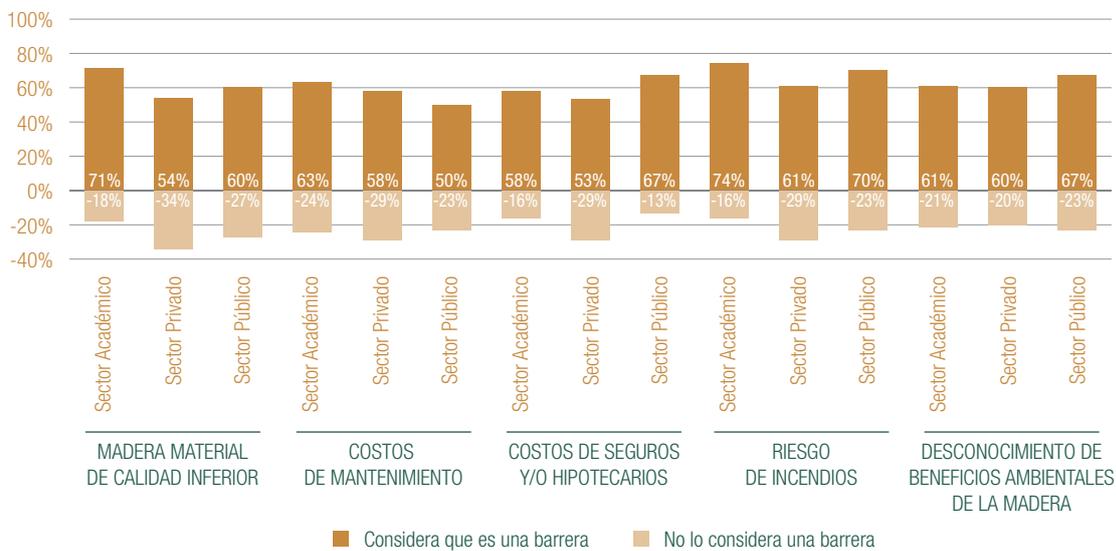


Figura 69: percepción de barreras de la brecha cultural por sector, dónde en promedio la valoración como barrera es de un 65% para el sector académico (n=38), 57% para el sector privado (n=98) y 63% para el sector público (n=30).

En cuanto a la brecha tecnológica, se puede identificar que los encuestados no perciben como brecha relevante la madera de calidad, y la mayor importancia se la dan a la falta de constructoras con experiencia en la construcción en madera. Como ya ha sido mencionado antes en este documento hay estudios que estiman que solo

un 0,25% la madera aserrada estructural que se vende cuenta con certificado de algún laboratorio acreditado para la clasificación de la madera (INFOR, 2020) lo que demuestra que ésta es una brecha muy relevante. Por otro lado, para esta sección el obstáculo percibido como más relevante es el no contar con constructoras con experiencia en construcciones en madera.

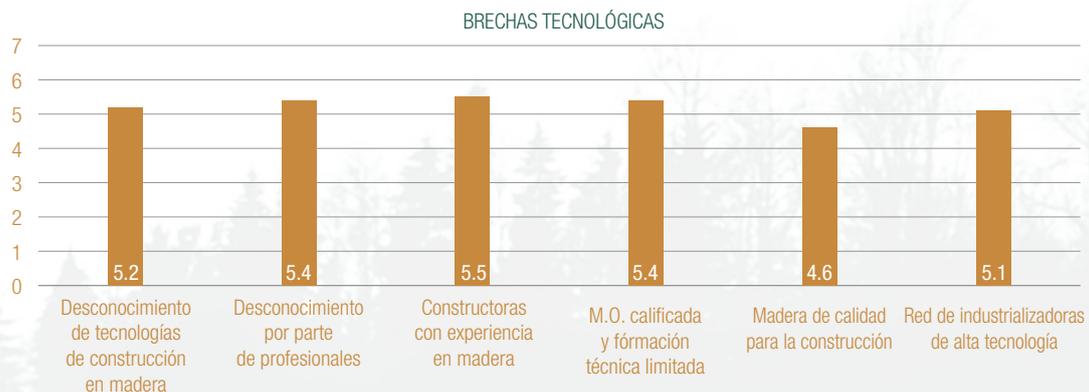


Figura 70: promedio de las barreras correspondientes a las brechas tecnológicas. Valorizadas del 1-7 con un n=166. Se observa que todos los promedios son sobre 4, por lo tanto, son identificados como barrera. La mayor relevancia la tiene las constructoras sin experiencia en madera y la menor la madera de calidad para la construcción.

Cuando se analizan los resultados por área profesional se tiene que la percepción es bastante similar por cada brecha, pero la relevancia de ellas es un 10% mayor para el sector otros. Resulta relevante ver que, la

percepción del sector AIC sobre la madera de calidad para la construcción, no es una barrera para el 37% lo que se opone a la realidad expuesta por INFOR (2020), quienes estiman que solo un 6% de la madera aserrada en Chile es de uso estructural.

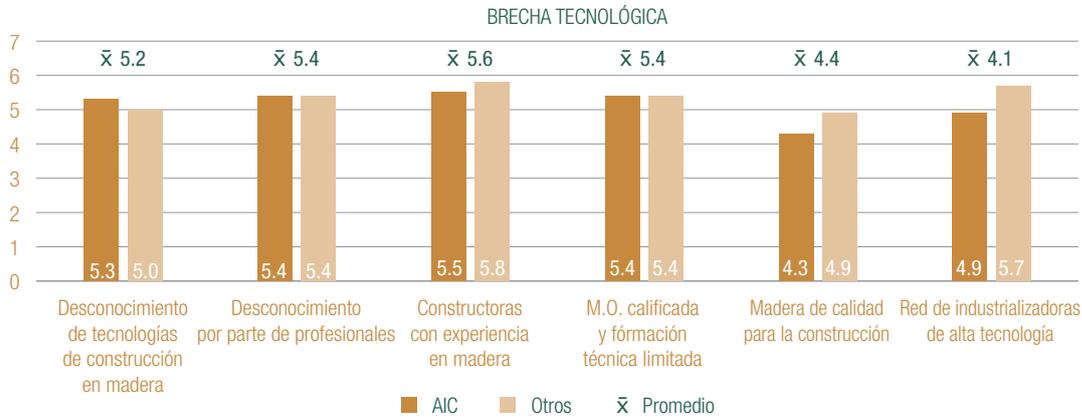


Figura 71: Promedios por área profesional agrupada en AIC (n=125) y otros (n=41). En general el grupo AIC tiene promedios menores, siendo las brechas menos relevantes para ese grupo.

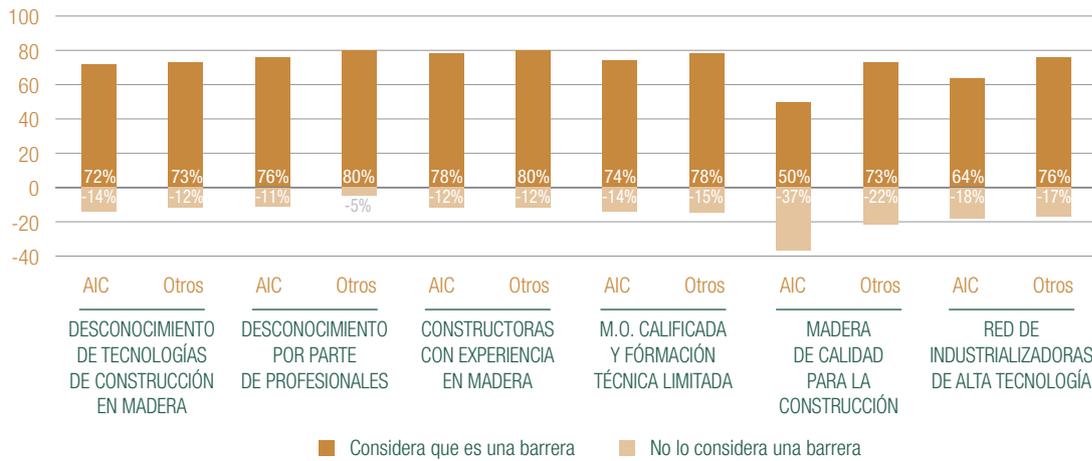


Figura 72: Brecha tecnológica, analizada por área de desarrollo de los encuestados dónde AIC es igual a n=125 y otros un n=41. Donde se observa que todas las aseveraciones se consideran como barrera. Pero para el 37% sector AIC la madera de calidad para la construcción no es una barrera.

Al analizar la brecha tecnológica por sector, los resultados son bastante similares entre los tres sectores analizados. De esta manera la mayor diferencia, con un 7% en la percepción promedio

de brechas, se da entre el sector privado y el sector académico, donde este último es el que valoriza como un obstáculo más relevante a todas las barreras expuestas.

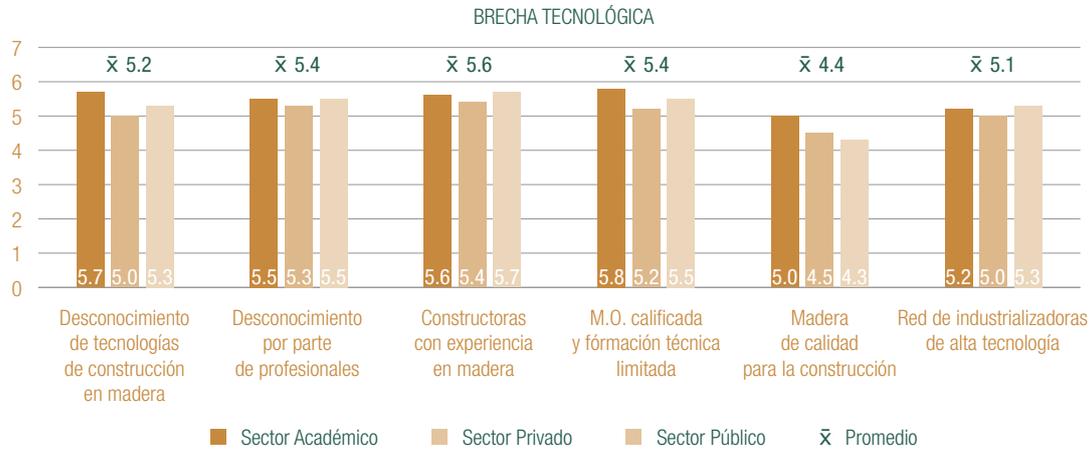


Figura 73: promedio de las barreras de la brecha tecnológica analizadas por sector. El sector privado (n= 98) tiene el menor promedio y el sector público (n=30) y sector académico (n=38) tienen promedios muy similares.

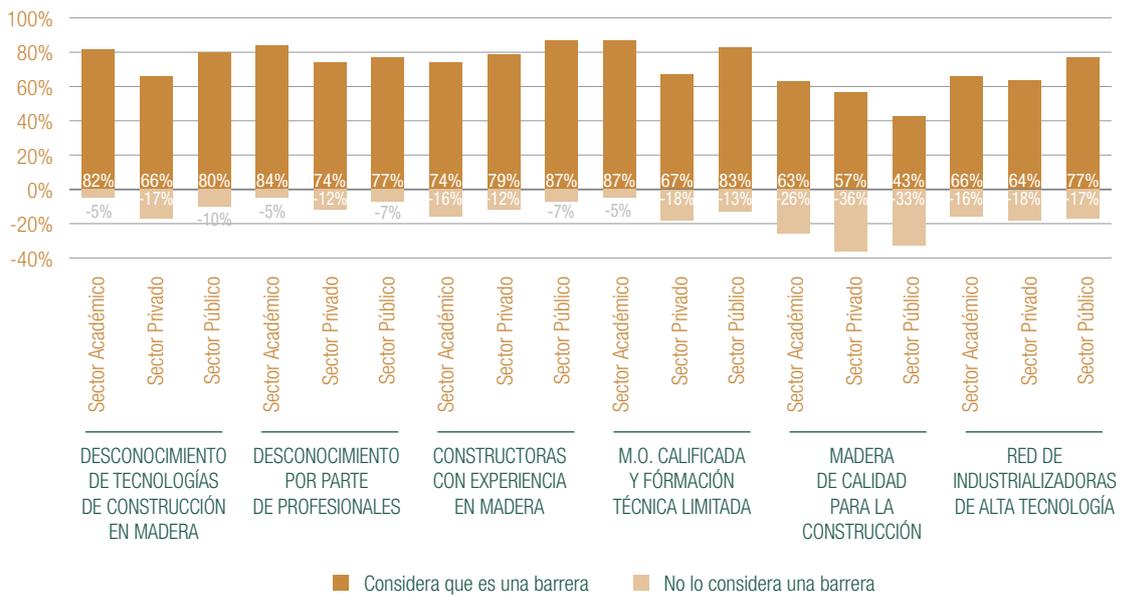


Figura 74: Brecha tecnológica, analizada por sector dónde sector académico tiene un n=38, privado n=98 y público n=30. Se destaca que la barrera menos considerada como tal es la madera de calidad para la construcción, brecha que es relevante basándose en datos de INFOR.

En cuanto a las brechas del sector público, la mayor brecha identificada es la difusión de los beneficios de la construcción en madera y los incentivos gubernamentales. Por otra parte, el obstáculo menos relevante identificado corresponde a las normativas municipales, seguido de las brechas asociadas a normativas gubernamentales e incentivos municipales.



Figura 75: promedio de las barreras correspondientes a las brechas del sector público. Valorizadas del 1-7 con un n=166. Se observa que todos los promedios son sobre 4, por lo tanto, son identificados como barrera. La mayor relevancia la tienen los incentivos gubernamentales y la difusión de los beneficios de la madera y la menor las normativas gubernamentales.

Cuando se analiza por área de desarrollo, se tiene que la barrera de difusión de los beneficios de la madera es la más relevante, y que el grupo AIC percibe como obstáculo mayor a la falta de incentivos gubernamentales. En este sentido, en el sector otros, la percepción entre incentivos y

normativas es más uniforme. Mientras que para el grupo AIC, la falta de incentivos gubernamentales son la mayor barrera del sector público, condicionándose con un escenario en el que el mercado y políticas públicas, no reconoce los beneficios ambientales y de habitabilidad de las edificaciones en madera.

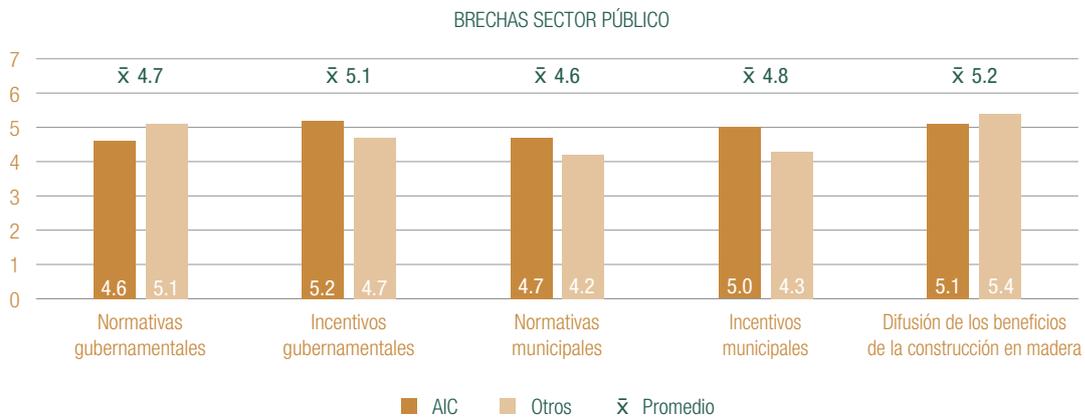


Figura 76: Promedios por área profesional agrupada en AIC (n=125) y otros (n=41). En general el grupo AIC tiene promedios menores, siendo las brechas menos relevantes. Se destaca que la mayor brecha para el sector AIC son los incentivos gubernamentales pero el mayor promedio es para la brecha de difusión de los beneficios de la madera.

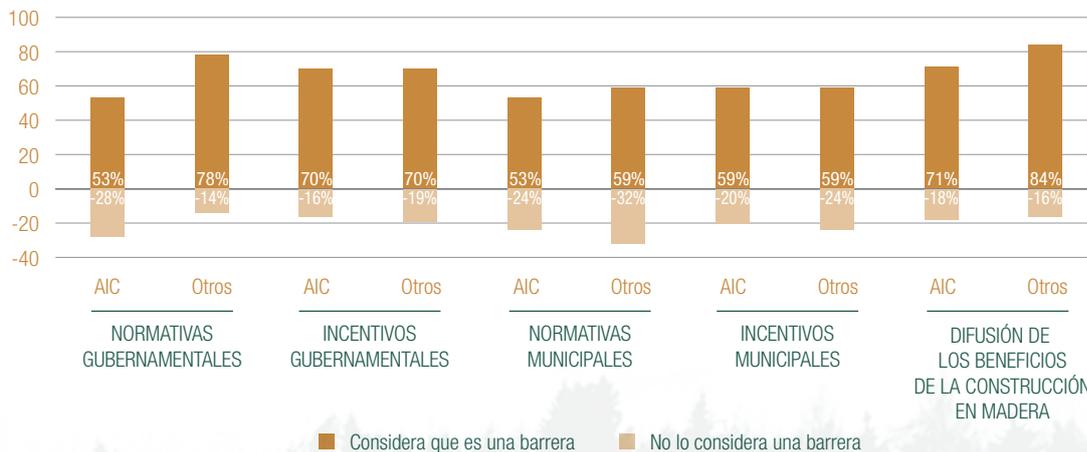


Figura 77: Brechas del sector público, analizada por área de desarrollo de los encuestados donde AIC es igual a n=125 y otros un n=41.

Al analizar por sector, se tiene que en general los resultados nuevamente no presentan mayores diferencias, siendo una vez más los sectores académicos y públicos los que consideran las barreras con una mayor relevancia, indicando un promedio de 62% y 63% respectivamente. Por otra parte, el sector privado tiene un promedio de 58%, lo que, si bien indica una menor percepción de brecha por este sector, también muestra que esta solo varía en un 5%. Sin embargo, al revisar los porcentajes de encuestados por sector que no perciben las

aseveraciones como brechas, si bien se identifica la misma tendencia anterior, la dispersión es mayor. De esta manera un 23% del sector privado, un 18% del sector público y un 12% del sector académico, no percibe las declaraciones entregadas como brechas. Un punto a destacar es que, la difusión de los beneficios de la construcción en madera es uno de las principales brechas identificadas en toda la encuesta, llegando a no ser identificada como tal por solo el 3% del sector público.



Figura 78: promedio de las barreras de las brechas del sector público analizadas por sector. El sector privado (n= 98) tiene el menor promedio y el sector público (n=30) y sector académico (n=38) tienen promedios muy similares.

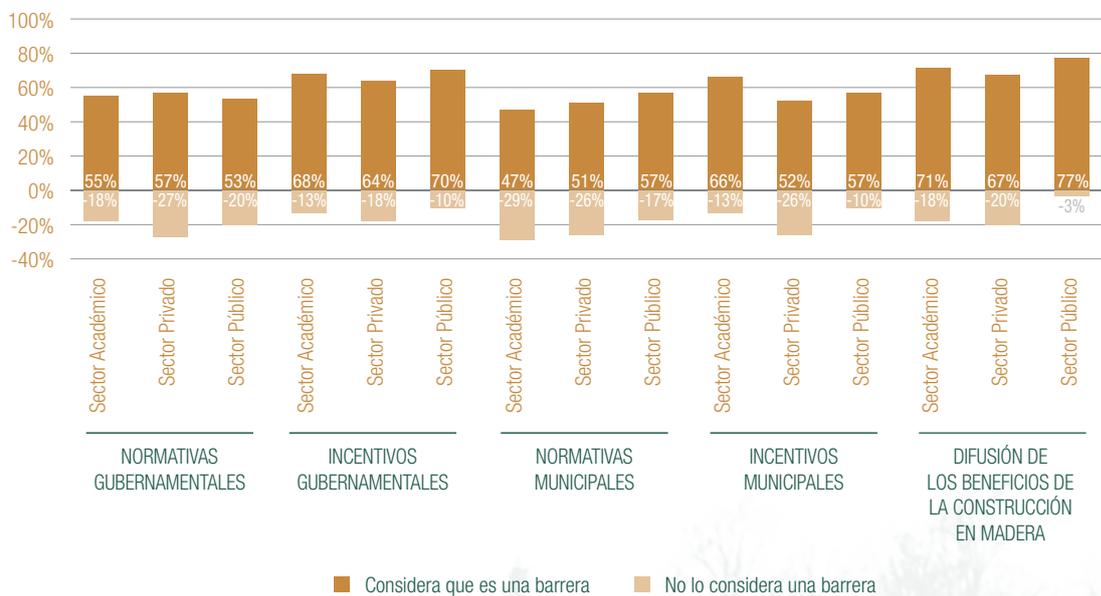


Figura 79: Brechas del sector público, analizada por sector dónde sector académico tiene un n=38, privado n=98 y público n=30.

Las brechas en torno al sector privado muestran la mayor diferencia de promedios, dónde el obstáculo menos relevante son los problemas asociados a postventa, y la brecha más relevante de la encuesta es el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera. Así, el promedio más alto equivalente a una nota de 5.8 y donde el 88% de los encuestados lo considera como una barrera, se relaciona con el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera. También se destaca nuevamente que, la principal brecha corresponde a la desinformación, por una vez más queda en evidencia la necesidad de promover instancias de difusión y educación sobre la construcción en madera y sus beneficios.

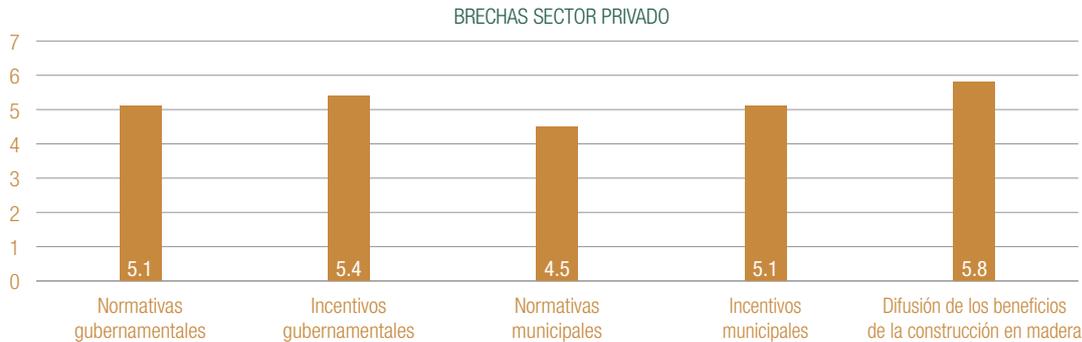


Figura 80: promedio de las barreras correspondientes a las brechas del sector público. Valorizadas del 1-7 con un n=166. Se observa que todos los promedios son sobre 4, por lo tanto, son identificados como barrera. La mayor relevancia la tienen el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera y la menor relevancia los problemas asociados a postventa.

Para el área de desarrollo AIC, relativo a las brechas del sector privado, se tienen nuevamente los promedios más bajos y como ha sido la tendencia en toda la encuesta. De esta manera el porcentaje promedio que considera como barrera las aseveraciones es de un 64% para el grupo AIC y de un

70% para el grupo otros; a la vez que en el sector AIC, un 22% de sus encuestados no creen que las brechas descritas sean realmente una barrera para el desarrollo de la construcción en madera, en comparación al 14% del sector otros.

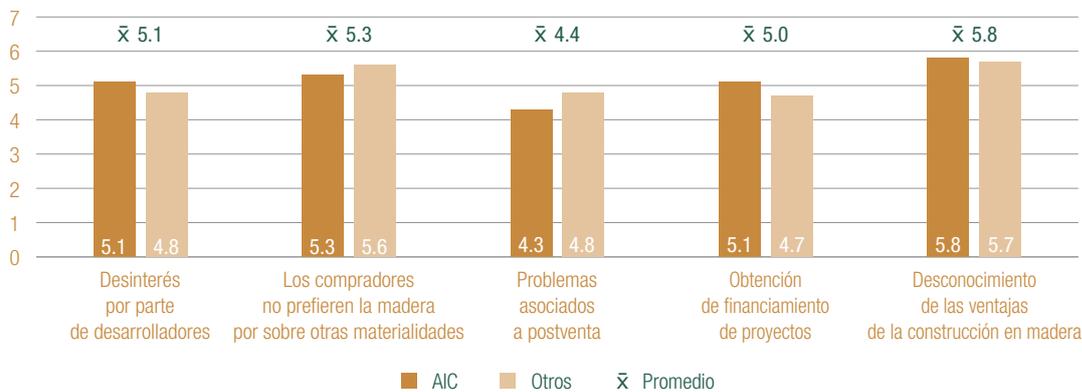


Figura 81: Promedios por área profesional agrupada en AIC (n=125) y otros (n=41). En general el grupo AIC tiene promedios menores, siendo las brechas menos relevantes. Se destaca que la mayor brecha para el sector AIC son los problemas asociados a la postventa y el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera.

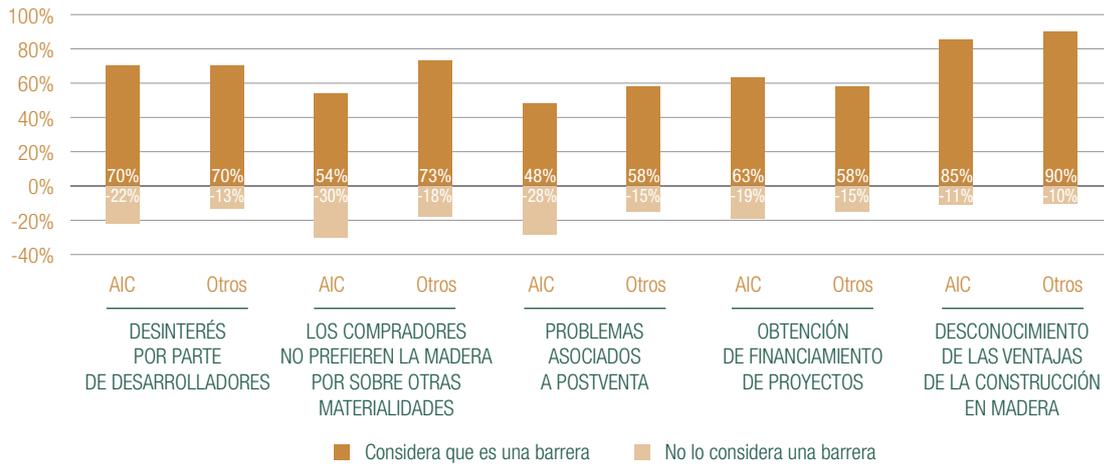


Figura 82: Brechas del sector privado, analizada por área de desarrollo de los encuestados dónde AIC es igual a un n=125 y otros un n=41.

El 74% del sector público considera que las brechas del sector privado son un obstáculo para la construcción en madera, pero el promedio más alto, es decir, la mayor relevancia a las brechas lo entrega el sector académico con una nota de 5,3. El sector privado por su parte, si bien reconoce que todas las aseveraciones son una barrera, las clasifica con notas menores, siendo menos importantes las barreras

de su propio sector, pero la diferencia de evaluación con los otros sectores es solo del 3% por lo tanto no se considera significativa. Es relevante mencionar que en el sector público cree en un 97% que el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera es una barrera y ningún grupo cree que no lo sea, siendo la única aseveración en esa condición.

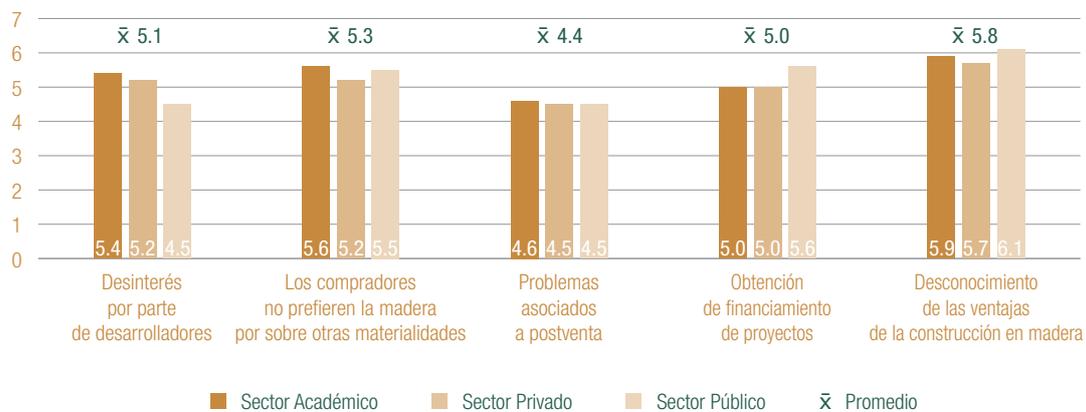


Figura 83: promedio de las barreras de las brechas del sector privado analizadas por sector. El sector privado (n= 98) tiene el menor promedio y el sector público (n=30) y sector académico (n=38) tienen promedios muy similares.

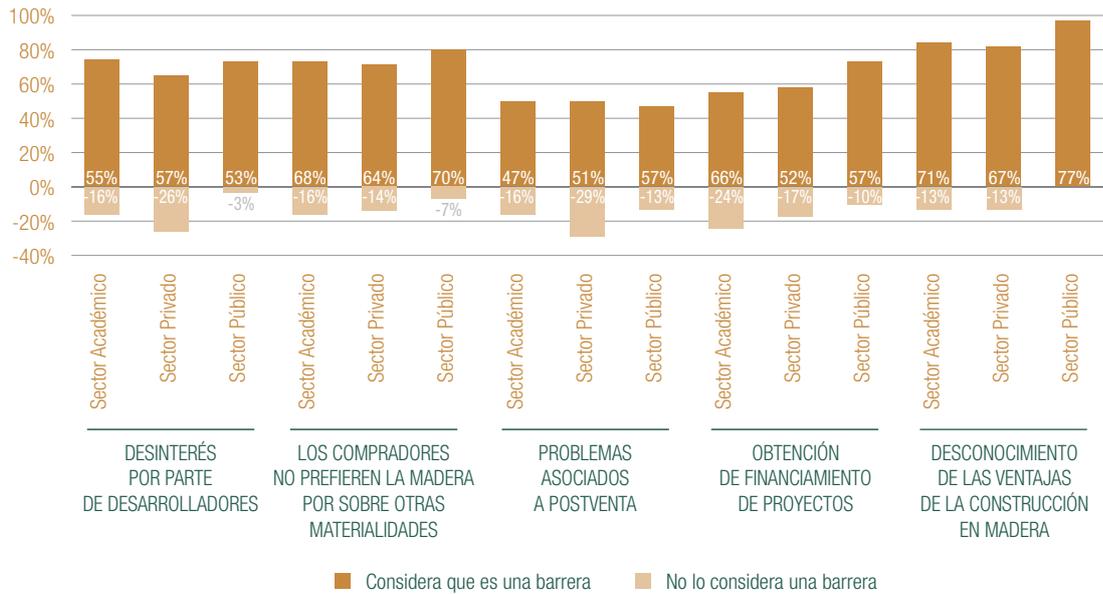


Figura 84: Brechas del sector privado, analizada por sector dónde sector académico tiene un n=38, privado n=98 y público n=30. Se destaca que nadie del sector público piensa que el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera no sea una barrera.

Las 21 aseveraciones presentadas en las 4 macro brechas son clasificadas como barrera, el mayor obstáculo se identifica en el sector público y corresponde al desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera con un promedio de 5.8. Por otra parte, la menor barrera identificada también es del sector público y corresponde a problemas asociados con la post venta, seguido por la percepción de la madera como material de calidad inferior, los costos de mantenimiento y la madera de calidad para la construcción. En general las brechas del sector privado y la brecha tecnológica tienen los mayores promedios siendo estas más influyentes como obstáculo para la construcción en madera en Chile, y las brechas culturales y del sector público tienen menores promedios, lo que indica que son obstáculos menos relevantes.

En general, los resultados de valorización no identifican a la brecha cultural como la

barrera más relevante para el desarrollo de la construcción en madera, aunque los encuestados al priorizar las brechas definen a ésta como la más significativa en el país. En contraste con los resultados de valorización de barreras, que destacan a las brechas públicas y tecnológicas; se identifica que en la sección 5 de la encuesta, de priorización general de brechas, a la cultural como la macro brecha más relevante. Esto se puede explicar, en parte a un estigma social de la madera asociado a edificaciones precarias o transitorias, que se ha dado en Chile en torno a los sectores sociales más vulnerables y a procesos de reconstrucción posteriores a desastres provocados por eventos naturales; mientras que al hacer un análisis más objetivo y meditado de las verdaderas brechas de la construcción en madera, se identifican a los instrumentos de política pública y técnicos como los obstáculos en torno a su desarrollo.

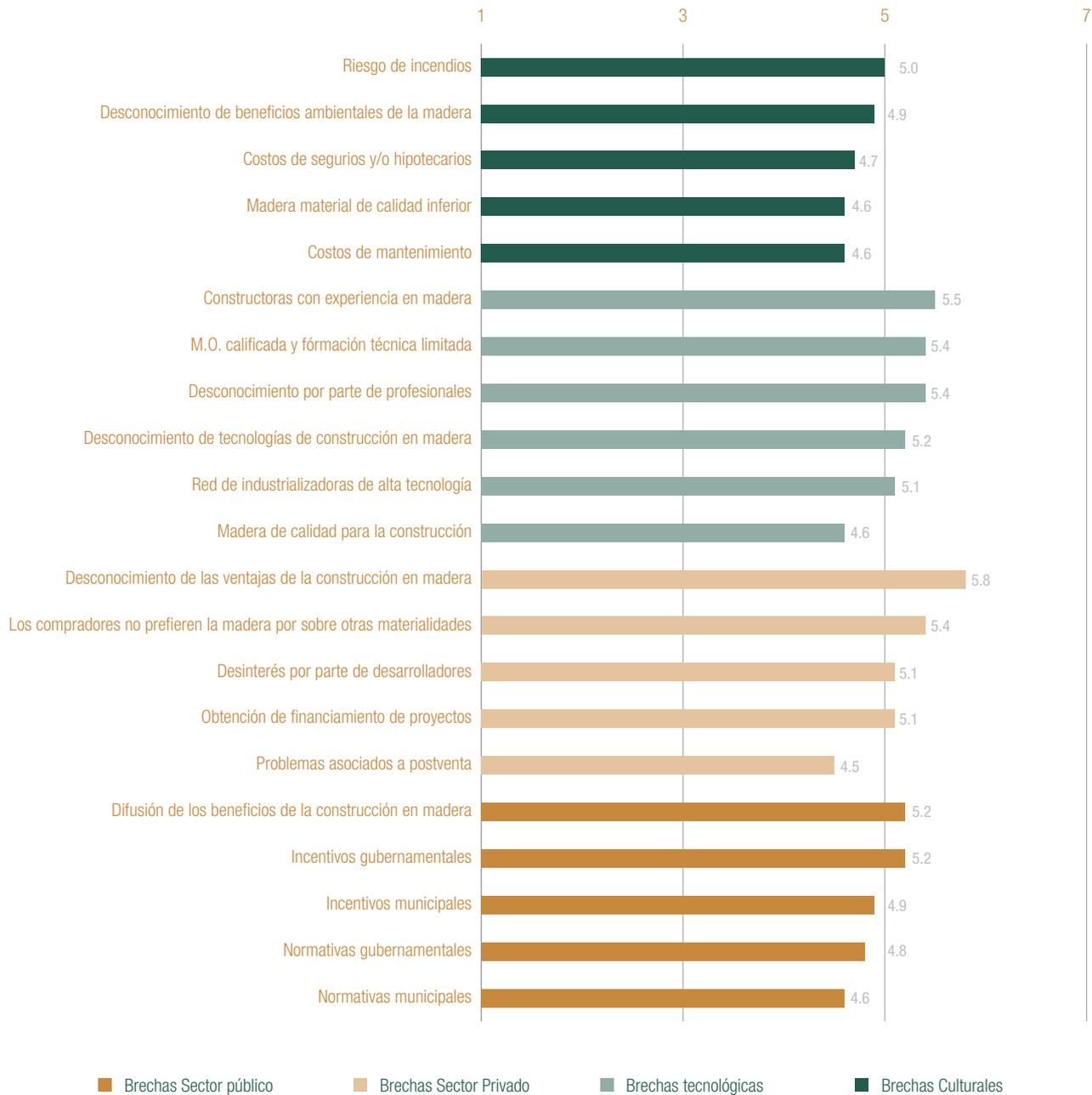


Figura 85: Desglose brechas generales identificadas ordenadas por macro brecha y promedio, de forma decreciente siendo el promedio más alto un obstáculo mayor, con una escala de 1 a 7. El n total de la encuesta es de 166 encuestados siendo estos resultados representativos solo de la muestra.

Tabla 12: Resultados de la sección de orden de prioridad de las brechas, comparando el promedio general con los sectores académico, privado y público; y con las áreas de desarrollo AIC y otros.

| Brechas                | Promedio | Sector Académico | Sector Privado | Sector Público | AIC | Otros |
|------------------------|----------|------------------|----------------|----------------|-----|-------|
| Brecha cultural        | 1        | 1                | 1              | 1              | 1   | 1     |
| Brechas tecnológicas   | 2        | 2                | 2              | 4              | 3   | 2     |
| Brechas sector público | 3        | 3                | 3              | 3              | 2   | 3     |
| Brechas sector privado | 4        | 4                | 4              | 2              | 4   | 4     |

**Los resultados de priorización de brechas presentan una alta dispersión, dificultando su análisis y entrega de un diagnóstico generalizado, sin embargo, se puede identificar a la brecha cultural como la principal brecha declarada por los encuestados.** De esta manera, la dispersión es alta entre los encuestados, siendo la brecha cultural el primer puesto indicado por el 49% (n=81); el segundo puesto es la brecha tecnológica, con solo el 31% de los encuestados clasificándola en el segundo puesto; las brechas del sector público son la tercera prioridad, con un 37% de votos situándolas en este lugar; y finalmente la cuarta prioridad son las brechas del sector privado con una representatividad del 39%.

**Otras brechas que fueron definidas por los encuestados, declaradas en el apartado comentarios de la encuesta, también se relacionan con difusión y la entrega de información.** De esta manera se declaran brechas como; la percepción del manejo forestal y aumento de la deforestación por extracción de materiales; la falta de una integración entre la industria y la academia, generando círculos de profesionales dedicados a la madera; y la percepción de que iniciar un proyecto inmobiliario en madera es algo arriesgado.

**En general, a lo largo del análisis de las diferentes secciones de la encuesta, se destaca que la principal barrera encontrada es la desinformación y falta de difusión.** Así, se identifica como la mayor brecha, el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera y según la sección 5, las brechas culturales. Para atacar estos obstáculos, es necesario abordar campañas de difusión de estudios y casos de éxito basado en proyectos gatilladores; al igual que avanzar en iniciativas locales que efectivamente den cuenta de los beneficios de la madera. Además, se debe hacer público material informativo sobre la construcción en madera y sus ventajas, promoviendo la disponibilidad de

información y educación, aminorando así las brechas culturales y de desconocimiento.

**Por otro lado, las brechas tecnológicas y del sector público/privado, requieren de políticas públicas específicas e inversión para poder ser eliminadas.**

Estas políticas deben promover el uso de materiales sustentables, beneficios ambientales como la captura del CO<sub>2eq</sub> en miras de la carbono neutralidad al 2050, poner en valor el tema de la sustentabilidad en los llamados públicos y privados, agregar subsidios e incentivos a proyectos específicos de madera fomentando su difusión. También debe existir una actualización normativa, simplificando los procesos de certificación de soluciones complejas de entramado ante requerimientos de desempeño a la resistencia al fuego y aislamiento acústico. Al igual que se debe fortalecer el trabajo entre sectores público, privado y académico, en torno a capacitaciones que busquen aumentar las competencias técnicas de constructoras y la generación de capital humano avanzado.

**Para generar una hoja de ruta o plan de acción, para el desarrollo de una agenda que promueva la construcción en madera, se deben considerar como insumo clave las aspiraciones y desafíos identificados en la sección 4 de este documento, siendo muy importante tener un diagnóstico claro y lineamientos estratégicos definidos.**

Para esto se recomienda trabajar en torno a hojas de ruta afines, ya establecidas y ampliamente aceptadas, o utilizar metodologías reconocidas como la IFM de la Universidad de Cambridge que busca identificar las tendencias en torno a los principales *stakeholders*, definiendo primero ¿Dónde queremos llegar? Segundo ¿Dónde estamos ahora? Y por último ¿Cómo llegamos?, declarando objetivos en el corto, mediano y largo plazo, en base al diagnóstico previamente realizados, como los expuestos en el presente documento.

## 4.2 PERCEPCIÓN, IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS Y OPORTUNIDADES DE ACTORES CLAVES ENTREVISTADOS

**La percepción generalizada de actores clave; ligados a la construcción, elaboración de productos de construcción en base a madera y desarrollo de políticas públicas asociadas; es que Chile se encuentra en un punto de inflexión para el desarrollo de edificaciones de madera de media altura y se espera que su número crezca en forma importante durante los próximos años.**

En forma conjunta al levantamiento de brechas elaborado a través de encuestas, se realiza también entrevista a actores relevantes del sector público/privado<sup>31</sup> relacionados al rubro de la construcción y que tengan relación al desarrollo de políticas públicas que permitan fomentar la construcción en madera. Estas entrevistas reflejan una visión favorable para la construcción en madera en el país, considerando el impulso que tiene este material en países más desarrollados, y especialmente en el contexto de un plan de reactivación “verde” post-COVID-19.

*“...estamos en un punto de inflexión con una curva de crecimiento mucho más rápida (construcción en madera), gracias a una industria más sofisticada, un sector profesional activado, nuevas capacidades de industrialización, y la meta de la carbono neutralidad... como nunca se ha creado una sinergia entre actores...”*

*“... durante los últimos años se han generado las bases para una industria moderna de construcción en madera y ahora estamos en punto de inflexión... Nuevos productos y empresas de industrialización de alta tecnología permitirán el desarrollo del sector durante la próxima década...”*

**La agenda de la construcción en madera, según los diferentes actores del rubro, debería estar liderada por un esfuerzo conjunto entre el sector público y privado, para lo cual se hace necesario generar una hoja de ruta o plan de acción conjunto.** En general los entrevistados señalan que las iniciativas en torno a potenciar la construcción en madera deben ser lideradas por instituciones públicas como MINVU, empresas del sector construcción, industrialización y proveedores de madera. Además de considerar un foco en torno a reducir el déficit

cuantitativo y cuantitativo de las viviendas chilenas, a través de una mejora de la productividad por medio de la incorporación de procesos industrializados. Sin embargo, en la actualidad no se identifican mesas de trabajo transversales y nacionales que aborden esta agenda, existiendo iniciativas aisladas que carecen de una coordinación adecuada.

*“... La madera ES ahora y DEBE ser el material del futuro, posee grades beneficios, que aportan especialmente a un mayor confort y salud de las personas. La madera se debe enfocar especialmente en proyectos de construcción de escala humana, como vivienda, escuelas, jardines infantiles. Tarea para la cual será clave el contar con insumos de calidad y certificados... Esta agenda debería ser liderada por una alianza entre el sector público y privado, con instituciones como MINVU a través de su división técnica (DITEC) y organismos orientados a la construcción industrializada como CCI y/o Construye 2025...”*

**La falta de productividad en la construcción y los mayores estándares constructivos producto de los desafíos del cambio climático, hacen necesario modernizar el sector y avanzar a sistemas industrializados de construcción sustentable en madera.** Según algunos de los entrevistados el sector construcción presenta una resistencia al cambio, lo que le ha impedido dar respuesta adecuadas. Así, se requiere avanzar en generar nuevas capacidades en capital humano avanzado y soluciones de construcción industrializada en madera sustentable para hacer frente a los desafíos presentes y futuros.

*“...la construcción no ha ganado productividad por culpa de la falta de materiales industrializables, que entreguen unan mayor productividad... cuando tu comparas, la madera es de los pocos materiales que pueden ayudar a ganar productividad en procesos industrializados...”*

*“...tenemos que generar un encadenamiento productivo bajo dos ejes: capital humano avanzado y otro de oferta se soluciones constructivas sustentables... generando así, confianza para el usuario final...”*

<sup>31</sup> Se entrevista a líderes gremiales del sector construcción y maderero; gerentes de empresas inmobiliarias, constructoras, madereras, proveedoras de productos para la construcción e industrializadoras; a jefes de divisiones de ministerios y profesionales técnicos del sector público.

**Para el ingreso de nuevas inmobiliarias y constructoras al mundo de la madera, ligadas a la construcción tradicional en otras materialidades, éstas identifican la necesidad de la generación de nuevos incentivos normativos o instrumentos públicos que faciliten el cambio.** Las constructoras, sin experiencia en edificación en madera, perciben un riesgo principalmente comercial respecto al desarrollo de nuevas edificaciones en madera de media altura. De esta manera indican la necesidad de generar incentivos e instrumentos normativos u similares que atraigan a nuevos actores, como bonificación en la altura máxima del proyecto altura, incremento del área edificable, flexibilidad urbanística, prioridad en revisión de proyecto en dirección de obras, entre otras iniciativas. Adicionalmente se ven oportunidades en que instrumentos de subsidio para vivienda pública entregan mayores beneficios para materialidades con menor impacto ambiental como la madera, a modo de ejemplo se señala que subsidios de integración, como los DS19, podrían entregar un mayor puntaje de selección y/o entregar mayores montos y plazos para los créditos de enlace asociados a los proyectos. También destacan la necesidad de generar condiciones favorables para los compradores, considerando beneficios como acceso a créditos hipotecarios preferenciales y/o beneficios tributarios en torno al pago de contribuciones del bien raíz.

*“...existen incertidumbres sobre el costo de la construcción industrializada en madera y se necesitan incentivos tanto para las constructoras y los compradores... se podrían generar beneficios tributarios para las constructoras y de pago de contribuciones o patentes para los compradores...”*

**Se deben actualizar de forma profunda herramientas legales e instrumentos que no consideren conceptos como la sustentabilidad, y que no faciliten el trabajo en torno a una agenda transversal de este tema en el sector público.** Leyes como la LGUC, no consideran conceptos de sustentabilidad en su génesis, dificultando la incorporación de estos conceptos en instrumentos posteriores como la OGUC. De igual forma los modelos de asignación presupuestaria a proyectos de inversión pública, no recogen de forma adecuada el análisis de la sustentabilidad e impacto ambiental de los proyectos, dificultando el desarrollo en estas áreas en el sector público.

*“... es necesario realizar una actualización a la Ley General de Urbanismo y Construcción, de manera de incorporan conceptos de sustentabilidad en su origen... de esta manera estos podrán mandar a reglamentos como la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción...”*



*“...también se hace necesario revisar, como se incorporan conceptos de sustentabilidad a en el Sistema de Inversión Pública, de manera que estos se reflejen luego en programas como los asociados a la vivienda social... ahí hay un elemento clave sobre el que generar un trabajo conjunto ente el Ministerio de Desarrollo Social, MINVU, MOP, MMA y otros servicios que desarrollen obra”*

**Según la industria de la construcción industrializada en madera nacional, Chile tiene el potencial para convertirse en un referente de nivel internacional en el corto plazo, sin embargo, hace falta modernizar instrumentos públicos y privados para alcanzar este objetivo.** Durante los últimos años el sector de construcción industrializada en madera ha avanzado en la incorporación de mayores capacidades y tecnologías de última generación, lo que, sumado a un potencial forestal de primer nivel, posiciona al país en una situación preferente para convertirse en un referente a nivel internacional. Por este motivo, algunas empresas prevén triplicar su producción actual en los próximos años, expandiendo sus operaciones incluso a otras regiones del país. Aunque para esto, señalan que se hace urgente que instrumentos en torno a la gestión de la construcción tradicional se modernicen, facilitando la masificación de estas tecnologías. Así, se identifican dificultades en los sistemas financieros público/privados en torno al financiamiento de obras industrializadas con avances en fábrica que no son reconocidos para sus estados de pago o metodologías de inspección en obra que no están preparadas para procesos industrializados.

*“...En la actualidad estamos más preparados, contamos con mejor tecnología y condiciones mucho mejores para convertirnos en referentes de la construcción en madera a nivel mundial. Contamos con los recursos forestales y tecnología equiparable a países desarrollados... Se deben actualizar principalmente temas relacionados a la normativa vigente, ejemplo de esto son los requerimientos asociados al comportamiento ante sismos. En este sentido las edificaciones de madera deben cumplir estándares de edificios rígidos como el hormigón, los que encarecen las estructuras en forma innecesaria, dificultando el desarrollo de edificios de media y gran altura... Otro ejemplo de brecha en el ámbito normativo es el Manual de Inspección Técnica en Obra (MITO) de MINVU, donde la industrialización no está explícitamente mencionada... De igual forma se hace necesario iniciativas como el rotulado de la madera, de manera que todos los actores involucrados en el sector construcción en madera, cumplan a lo menos con los estándares mínimos requeridos por la normativa.”*

**Si bien Chile cuenta con un potencial de producción forestal de nivel mundial, se hace necesario avanzar en dar un mayor valor agregado a los productos en base a madera y aumentar los estándares de la madera aserrada usada en construcción.** La mayor parte de la madera presente en el mercado nacional es de bajo valor y no apta para su uso estructural en construcción, haciéndose urgente en avanzar en normas como el “rotulado” de la madera aserrada con el fin de entregar una trazabilidad de los productos en el mercado. Por otra parte, se busca generar un mayor valor agregado a los productos de madera en la construcción, existiendo importantes proyectos de inversión en torno a la madera ingeniería y fabricación de productos como el CLT en el contexto local. De igual forma se hace presente entre los actores del sector que es necesario avanzar en regulaciones que cuantifiquen las externalidades ambientales de los materiales de construcción, generando impuestos verdes a los materiales que emitan mayor CO<sub>2eq</sub> o tengan un impacto negativo en el medio ambiente.

*“...la industria necesita crear valor en los productos forestales, ya que la ventaja de la madera barata ha empezado a declinar por la entrada al mercado de otros países más competitivos, como la fibra producida en Brasil...”*

**Es necesario generar proyectos emblemáticos que abran el camino del uso de la madera en la construcción, cambiando la percepción de este material, de cara a la masificación de edificaciones de media altura en Chile.** En forma transversal, todos los actores involucrados en el desarrollo de la construcción en madera entrevistados concordaron en la importancia de generar proyectos detonantes que ayuden a avanzar en esta agenda. Se indica que son estos proyectos los que ayudan a avanzar en actualizaciones normativas, certeza en procesos constructivos, evaluación de costos, cambiar percepción de compradores entre otros. Sin embargo, de igual forma se señala que estos proyectos deben considerar un apoyo adicional al de un proyecto tradicional, con el fin de poder concretarse y ser capaces de levantar lecciones e identificar oportunidades.

*“.. se necesita avanzar en tres ejes clave... (1) visibilizar la madera apta para construcción, donde el rotulado es clave, no se cuenta con información clara de la madera para consumidor y retail... (2) normativas en términos de eficiencia energética, necesitando mejores estándares como en países desarrollados... (3) generar más proyectos icónicos para materializar experiencia real y así acercar y derribar mitos o recuerdos históricos de soluciones precarias...”*

## CONCLUSIONES CAPITULO 4

Se identifica la necesidad de generar una mesa de trabajo transversal, entre el sector público, privado y academia, en torno al desarrollo de una agenda que promueva la construcción en madera. De la revisión de información y análisis abordados en capítulos previos, junto a la revisión de brechas cuantitativas y cualitativas de este capítulo; se identifica como una de las principales dificultades para el desarrollo de políticas públicas efectivas, la falta de conformación de una mesa de trabajo a nivel nacional, entre todos los sectores vinculados a la construcción industrializada en madera. Así, si bien existen instancias de trabajo en torno a la construcción en madera como la agenda de la madera liderada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo; o el Programa Estratégico Meso Regional Industria de la Madera de Alto Valor, iniciativa liderada por CORFO y el sector privado en regiones del centro sur del país; o el Centro UC de Innovación en Madera (CIM UC), que alberga a empresas proveedores del sector construcción en madera, entidades gremiales como CORMA y la Pontificia Universidad Católica de Chile; o incluso iniciativa entre universidades, con agendas específicas, como Polo Madera de la Universidad de Concepción; en la práctica no existe en Chile, como si se ha identificado en países desarrollados, una mesa de trabajo transversal que se encargue de impulsar una agenda país. Es más, la falta de participación de actores claves como la Cámara Chilena de la Construcción o la banca, en las instancias mencionadas, reflejan una desconexión importante con el rubro de la construcción.

Se destaca el avance realizado por el MINVU en la agenda de construcción en madera, y su capacidad de aglutinar organismos relevantes, volviéndolo un actor clave para liderar una hoja de ruta o plan de acción, en torno a la construcción sustentable en madera. De los actores involucrados en la agenda madera chilena, MINVU y su división técnica DITEC, han conseguido liderar el avance en torno a la construcción en este material. Así, en los últimos años han fortalecido sus iniciativas en apoyo al desarrollo de obras icónicas en madera; validación de soluciones constructivas en madera según requerimientos de ensayos normativos; fortalecimiento de alianza con instituciones como CIM UC, el instituto forestal (INFOR), laboratorios y programas estratégicos; liderazgo en actualizaciones normativas relacionadas a la madera; entre otros. Así, también se destaca el trabajo llevado por algunos Servicios de Vivienda de MINVU, donde resalta el trabajo realizado en la Región de O'Higgins, para el futuro desarrollo de un edificio de madera de 6 pisos de altura y que se convertiría en el edificio residencial en madera más alto de Latinoamérica.

Así mismo, cabe mencionar la ambiciosa agenda en torno a la carbono neutralidad impulsada por el Ministerio del Medio Ambiente, presentando una oportunidad para el fomento de construcciones con bajas emisiones como la madera. Se ha mencionado anteriormente, que esta agenda al 2050, presenta una oportunidad para el fomento de bosques y la construcción en madera. Por esta razón, se hace relevante evaluar puntos de trabajo conjunto en torno a la agenda de iniciativas lideradas por MINVU y MMA, de cara a la próxima década. Ejemplo de esto último es el trabajo realizado en torno a la agenda de economía circular, que busca potencia un desarrollo más sustentable en torno a este ámbito y que cobra especial sentido al hablar de un avance hacia una bioeconomía.

Se recomienda trabajar en 5 ejes clave, a tener presente para la confección de una eventual hoja de ruta o plan de acción, que fomente el desarrollo de una construcción de calidad y sustentable en madera, en torno a edificaciones de vivienda de media altura. De los análisis realizados y la experiencia internacional, se definen 5 ejes de trabajo para una hoja de ruta o plan de acción, en torno a la construcción de edificaciones de vivienda en madera, haciendo hincapié en edificios de media altura. Estos son:

- **Avanzar en estándares de sustentabilidad en la construcción**, con un rol fundamental de materiales con bajas emisiones de  $CO_{2eq}$  y energía incorporada, como la madera, similares a los de países desarrollados. Se recomienda revisar algunas iniciativas como; (1) evaluar instrumentos que limiten las emisiones de  $CO_{2eq}$  de los materiales y procesos de construcción, junto con las emisiones asociadas a la operación y fin de vida del edificio; (2) revisar herramientas como “impuestos verdes” asociados a emisiones en el sector construcción, que busquen nivelar el juego con materiales más contaminantes; (3) evidenciar a través de etiquetados de productos, el impacto de los materiales asociados a la construcción de viviendas; (4) limitar o gravar los residuos producidos en obra; (5) incrementar los estándares normativos de desempeño energético y ambiental interior de inmuebles.
- **Avanzar en una agenda de actualización regulatoria y normativa**, que considere el estado del arte de la construcción en madera actual y las necesidades de la sociedad contemporánea. Se recomienda explorar iniciativas como; (1) avanzar en la revisión de normas e instrumentos

regulatorios que rigen la construcción en madera; (2) actualizar normativa específicas que no toman en consideración las características de la construcción en madera moderna, como la norma NCh1198 que no entrega disposiciones que permitan a un ingeniero calcular la resistencia y la rigidez de un edificio estructurado con muros de madera, o la norma NCh433 que impone límites de deformación máxima de entrepiso asociados a estructuras rígidas de hormigón; (3) actualizar manuales técnicos y protocolos de revisión en el sector público, como el Manual de Inspección Técnica en Obra (MITO) de MINVU, que requiere aclaraciones respecto a su uso en procesos de construcción industrializados; (4) avanzar en generar, al igual que existe en normativa vigentes para edificaciones de 1 y 2 pisos, instrumentos prescriptivos para el desarrollo de edificaciones de media altura; (5) generar herramientas que permitan simplificar la validación de soluciones constructivas con múltiples capas como los entramados de madera, haciendo que no sea necesario realizar múltiples y costos ensayos de desempeño ante el fuego y de aislamiento acústico.

- **Fomentar y potenciar la construcción industrializada en madera de alto valor**, fortaleciendo empresas industrializadoras de alta tecnología y generación de capital humano avanzado. Se recomienda evaluar iniciativas tales como; (1) avanzar a la obligatoriedad del rotulado de madera para construcción, entregando a la vez herramientas para que pymes puedan aprovechar el valor agregado de la madera estructural; (2) generación de instrumentos que permitan que pequeñas constructora, industrializadoras y aserraderos puedan realizar transformaciones necesarias para avanzar a procesos de industrialización de alto estándar; (3) generar redes entre proveedores de materiales para la construcción en madera, industrializadoras, inmobiliarias, constructoras, entidades públicas, centros tecnológicos y universidades, que propicien el desarrollo de la construcción en madera a través de productos y sistemas con valor agregado; (4) desarrollo de programas que permitan la formación de capital humano avanzado, en torno a la construcción industrializada en madera; (5) generar modelos de transferencia, que fomenten la adopción de nuevas tecnologías de construcción en madera en empresas constructoras.
- **Propiciar el desarrollo de proyectos de edificios y urbanos detonantes**, de manera de generar difusión sobre los beneficios de la madera y realizar levantamiento sobre sus ventajas competitivas. Se recomienda estudiar instancias como; (1) realización de llamados, a

través de instrumentos públicos de subsidios, que especifiquen el uso de la madera como material de construcción; (2) fomentar la concreción de proyectos I+D, en relación a edificaciones de vivienda en madera; (3) generar políticas públicas locales y/o nacionales que, fomenten el uso de la madera en la construcción de vivienda, tales como flexibilidad urbana o una mayor densificación; (4) explorar instrumentos de MINVU o SERVIU, para la entrega de beneficios en torno al desarrollo de proyectos con fondos públicos, que consideren la construcción de viviendas sustentable en madera; (5) promover una agenda del sector privado, en torno al desarrollo de edificación de viviendas de media altura en madera.

- **Apoyar programas de incentivo a la reactivación económica**, generando iniciativas que promuevan el empleo y desarrollo social, tanto a nivel local, como a nivel nacional. Se sugiere revisar estrategias como; (1) desarrollo de una agenda corta de reactivación económica, en torno a la construcción de viviendas sustentables en madera; (2) elaboración de instrumentos que faciliten una aprobación expedita de proyectos de viviendas sustentable en madera; (3) promoción del uso de sistemas de construcción industrializada en madera, en el marco del plan de reactivación económica de MINVU; (3) generar un instrumento de subsidio DS19 “verde”, que genere condiciones favorables para proyectos de vivienda en el marco de la reactivación económica, y que promueva estrategias de construcción sustentable con madera; (4) crear instrumentos como garantías estatales al pago del pie de créditos hipotecarios “verdes”, que fomenten la construcción sustentable en madera; (5) impulsar el desarrollo de proyectos de vivienda en madera de media altura, bajo modalidad de subsidio de arriendo.
- **Es importante que la definición de una hoja de ruta o plan de acción transversal sea fruto de un consenso entre todas las partes.** Es relevante para el éxito de una futura hoja de ruta o plan de acción, el confeccionarlo bajo un modelo colaborativo entre los actores del sector público, privado y académico involucrados. Así, los actores deberán acordar metas a corto, mediano y largo plazo; definiendo responsables, en base a las capacidades que tenga de cada uno de los participantes. Para esto el presente documento prevé un trabajo preliminar, durante dos eventos relacionados a la construcción en madera en Chile, la Semana de la madera 2020 y la *World Conference on Timber Engineering 2020*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Accoya. (n.d.). *The Timber Transport CO<sub>2</sub> Calculator - Accoya*. Retrieved June 10, 2020, from <https://www.accoya.com/sustainability/the-timber-transport-co2-calculator/>
- AIA, USDA FLP, & FPInnovations. (2015). *Off-Site Studies Solid Timber Construction*.
- Australian Government. (2019). *Housing and other residential building commencements*. <https://www.agriculture.gov.au/abares/research-topics/forests/forest-economics/forest-wood-products-statistics/housing-and-building-commencements>
- Asap. (n.d.). *Nuevo Campamento Perez Caldera – Los Bronces* | ASAP Soluciones Integrales en Chile.
- avontuura. (2020). *The world's tallest timber tower rises in Brumunddal, Norway* | ÅVONTUURA. <https://www.avontuura.com/mjostarnet-by-voll-arkitekter/>
- Banco Central. (2018). *Avances pendientes para un mercado financiero más robusto*. 71–73.
- Banco Central de Chile. (2020). *IMACEC*. <https://www.bcentral.cl/web/banco-central/areas/estadisticas/imacec>
- Banco Mundial. (2016). *Centroamérica 6C Estudio de la Urbanización en Centroamérica, oportunidades de una Centroamerica urbana*. 198.
- Banco Mundial. (2020). *Los bosques de Chile: Pilar para un desarrollo inclusivo y sostenible*.
- Bari, N. A. A., Abdullah, N. A., Yusuff, R., Ismail, N., & Jaapar, A. (2012). Environmental Awareness and Benefits of Industrialized Building Systems (IBS). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 50(July), 392–404. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.044>
- BCN. (2018a). *Implementación del Impuesto Verde en Chile*.
- BCN. (2018b). *Subsidios estatales para acceder a la vivienda en Chile*.
- Bowyer, J., Bratkovich, S., Howe, J., Fernholz, K., Frank, M., Hanessian, S., Groot, H., & Pepke, E. (2016). Modern Tall Wood Buildings: Opportunities for innovation. *Dovetail Partners Inc.: Minneapolis, MN, USA*.
- Branz. (2019). Multi-storey light timber-framed buildings in New Zealand - Engineering Design. *New Zealand*.
- C40. (2020). *“No Return to Business as Usual”: Mayors Pledge on COVID-19 Economic Recovery*. [https://www.c40.org/press\\_releases/taskforce-principles](https://www.c40.org/press_releases/taskforce-principles)
- calificacionenergetica. (2020). *¿Qué es la CEV? | Calificación Energetica de Viviendas*. <https://www.calificacionenergetica.cl/que-evalua-la-calificacion-energetica-de-viviendas/>
- Canadian Wood Council. (2014). *Canadian Wood-Frame House Construction*. In *Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC)* (Vol. 3).
- Canadian Wood Council. (2020). *Building Codes & Standards - The Canadian Wood Council - CWC : The Canadian Wood Council*. <https://cwc.ca/how-to-build-with-wood/codes-standards/>
- Canadian Forest Industries. (2019). Final Cut: Canada leads in forest certification - Wood Business. <https://www.woodbusiness.ca/final-cut-canada-leads-in-forest-certification/>
- Cao, X., Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2015). A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 109, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120>

- Catalogoarquitectura.cl. (2018). *Clasificación de las construcciones y alturas exigidas por la OGUC*.  
<https://www.catalogoarquitectura.cl/cl/oguc/clasificacion-de-las-construcciones-y-alturas-exigidas-por-la-oguc>
- CChC. (2020). Informe de macroeconomía y construcción (MACH 52). *Gerencia de Estudios, MACH 52*.
- CChC. (2017). *Déficit habitacional*.
- CDT. (2010). *Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial*.  
 404. [http://dataset.cne.cl/Energia\\_Abierta/Estudios/Minerg/Usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector de residencial de Chile.pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/Usos_finales_y_curva_de_oferta_de_conservacion_de_la_energia_en_el_sector_de_residencial_de_Chile.pdf)
- CEPAL, & OCDE. (2016). *Evaluaciones del desempeño ambiental*. Vol. (5)2 (Issue 2).
- Chapple, P. (2011). Construcción de media altura. *Revista BIT*, 79, 20–28.
- Cheng, Z., Li, L., & Liu, J. (2017). Industrial structure, technical progress and carbon intensity in China's provinces. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(June 2016), 2935–2946.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.103>
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E., & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), 269–276.  
<https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- CIM UC. (2019a). *Análisis del estado de la construcción en madera en Chile : Estadísticas de elección de materialidad y costos de construcción*.
- CIM UC. (2019b). *Estudio comparativo de costos de operación para edificaciones en chile. centro uc de innovación en madera*.
- CIM UC. (2019c). *Fabricación y montaje torre Peñuelas*.
- CIM UC. (2019d). *Barrio Oasis de Chañaral y El Salado*. Retrieved August 4, 2020, from  
<https://madera.uc.cl/es/transferencia/proyectos-de-transferencia/225-barrio-oasis-de-chanaral-y-el-salado>
- circular ecology. (2019, November). *Embodied Carbon Footprint Database - Circular Ecology*.  
<https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>
- CitecUBB, & Decon UC. (2014). *Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones*.
- CLAPES. (2018). *Productividad Laboral en la Construcción en Chile : Comparación Internacional*.
- Comisión Nacional de Energía. (2018). *Anuario estadístico de energía 2018*.
- Comisión Nacional de Productividad. (2019). *Informe anual 2019*.
- Construye 2025. (2016). *Iniciativa industrialización y prefabricación*.
- Construye 2025. (2017). *INFORME FINAL - Construcción Plan de Acción Consejo Construcción Industrializada - Etapa I*.
- Csustentable. (2020). *Certificación de Vivienda Sustentable*.  
<https://csustentable.minvu.gob.cl/item/sello-de-construccion-sustentable-de-viviendas-en-chile/--->
- DECON. (2019). *Parte 3: Comparativo de Presupuestos*.

- Department of Engineering, C. U. (n.d.). *Strength - Density*. Retrieved August 3, 2020, from [http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive\\_charts/strength-density/basic.html](http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/strength-density/basic.html)
- DITEC. (2009). *Antecedentes necesarios para la aprobación de sistemas constructivos*. 2009.
- energia.gob. (n.d.). *Indicadores Ambientales - Factor de emisiones GEI del Sistema Eléctrico Nacional | Ministerio de Energía*. Retrieved June 15, 2020, from <https://www.energia.gob.cl/indicadores-ambientales-factor-de-emisiones-gei-del-sistema-electrico-nacional>
- E2E. (2019). *E2E - Horizonte del Pacífico - Concepción*. <http://www.e2echile.com/horizonte-del-pacifico-concepcion.html>
- FAO. (2019). *Base de datos FAOSTAT-Forestal*.
- FAO. (2020). Status of public policies encouraging wood use in construction – an overview. April.
- Forestal Maderero. (2017). *Las estructuras de altura en madera tiene grandes riesgos de incendio*. <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/las-estructuras-de-altura-en-madera-tiene-grandes-riesgos-de-incendio.html>
- GascalPanels. (n.d.). *Panels OSB SIP | Gascal Panels - Paneles SIP en Rancagua | Gascal Panels Chile*. Retrieved June 17, 2020, from <https://gascalpanels.cl/panels-osb-sip-gascal-panels/>
- Gibb, A. G. (1999). *Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*.
- Gómez, D. R., Watterson, J. D., Americano, B. B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., Namayanga, L. N., Osman-Elasha, B., Saka, J. D. K., & Treaton, K. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. In *Institute for Global Environmental Strategies, Kamiyamaguchi Hayama, Japan*. (p. 47).
- Green, M., & Karsh, E. (2012). The case for tall wood buildings. Canadian Wood Council on behalf of the Wood Enterprise Coalition by Forestry Innovation Investment. *North Vancouver, BC, Canada*.
- Hempel, R. (2017). La “Vivienda Pasiva” En Madera En Chile. *Congreso CLEM CIMAD*, 1, 1–10.
- Hildebrandt, J., Hagemann, N., & Thrän, D. (2017). The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in europe. *Sustainable Cities and Society*, 34(June), 405–418. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.013>
- Hong, J., Shen, G. Q., Li, Z., Zhang, B., & Zhang, W. (2018). Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost–benefit analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172, 649–660. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.171>
- Hong, J., Shen, G. Q., Mao, C., Li, Z., & Li, K. (2016). Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: An input-output-based hybrid model. *Journal of Cleaner Production*, 112(2016), 2198–2207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.030>
- Howes, R. (2002). Industrialized housing construction—The UK experience. *Advances in Building Technology*, 1(1998), 383–390. <https://doi.org/10.1016/b978-008044100-9/50050-4>
- Hu, Q., Dewancker, B., Zhang, T., & Wongbumru, T. (2016). Consumer Attitudes Towards Timber Frame Houses in China. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216(October 2015), 841–849. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.081>
- Huo, X., & Yu, A. T. W. (2017). Analytical review of green building development studies. *Journal of Green Building*, 12(2), 130–148. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.12.2.130>
- Hurmekoski, E. (2016). Long-term outlook for wood construction in Europe. In *Dissertationes Forestales* (Vol. 2016, Issue 211). <https://doi.org/10.14214/df.211>

- Hurmekoski, E. (2017). How Can Wood Construction Reduce Environmental Degradation? *European Forest Institute*, 12.
- IEA. (2019a). *Energy Technology Perspectives, buildings model*. [www.iea.org/buildings](http://www.iea.org/buildings)
- IEA. (2019b). *Global Alliance for Buildings and Construction*.
- IEA. (2019c). *World Energy Statistics and Balances*. [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics)
- INE. (2002). *Censo 2002*.
- INE. (2017). *Censo 2017*.
- INFOR. (2015). El dilema de la leña, ¿cómo reducir la contaminación del aire sin incrementar el costo en calefacción? *Boletín BES, Bosques - Energía - Sociedad*. Año 1 N°1. Octubre 2015., 28, 75–87. <https://doi.org/DOI: 10.13140/RG.2.1.1006.2161>
- INFOR. (2019). *ANUARIO FORESTAL 2019*.
- INFOR. (2020). *El Mercado de la Madera Aserrada para Uso Estructural en Chile*.
- Johansson, M., & Schauerte, T. (2015). *Nine storey residential timber construction and the wood building strategy of Växjö municipality Neun Geschosse in einem Wohngebiet aus Holz und die kommunale Holzbaustrategie der Stadt Växjö*. 1–10.
- Jonsson, R. (2009). *Prospects for timber frame in multi-storey house building in England, France, Germany, Ireland, the Netherlands and Sweden*. 52, 31. <https://doi.org/10.13140/2.1.1356.4486>
- Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1171–1183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>
- Leskinen, P., Cardellini, G., González García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C. E., Stern, T., & Verkerk, H. (2018). Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. *From Science to Policy*, 7(November), 28. <https://www.efi.int/publications-bank/substitution-effects-wood-based-products-climate-change-mitigation>
- Lu, W., Chen, K., Xue, F., & Pan, W. (2018). Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework. *Journal of Cleaner Production*, 201, 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.319>
- Madera21. (2018). *Sewell: un panorama de patrimonio arquitectónico para estas vacaciones*. <https://www.madera21.cl/sewell-un-panorama-de-patrimonio-arquitectonico-para-estas-vacaciones/>
- Madera21.cl. (2019). » *E2E y su apuesta por industrializar la construcción en madera*. 10 Abril 2019. <https://www.madera21.cl/e2e-y-su-apuesta-por-industrializar-la-construccion-en-madera/>
- Madera21. (2017). *Iglesias de Chiloé: un ejemplo de arquitectura religiosa en madera único en el mundo*. <https://www.madera21.cl/iglesias-de-chiloe-un-ejemplo-de-arquitectura-religiosa-en-madera-unico-en-el-mundo/>
- Madera21. (2020). *Normas chilenas de construcción en madera*. <http://normastecnicas.minvu.cl/>
- Maderas-uv. (n.d.). *MADERA CONTRALAMINADA CLT - Maderas-UV*. Retrieved June 17, 2020, from <https://maderas-uv.weebly.com/madera-contralaminada-clt.html>
- Maesano, M., Ottaviano, M., Lidestav, G., Lasserre, B., Matteucci, G., Mugnozza, G. S., & Marchetti, M. (2018). Forest certification map of Europe. *IForest*, 11(4), 526–533. <https://doi.org/10.3832/ifer2668-011>
- McKinsey. (2017). Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity. *McKinsey*, February, 20. <https://doi.org/10.1080/19320248.2010.527275>

- Meacham, B. J. (2010). Performance-Based Building Regulatory Systems-Principles and Experiences. *Inter-Jurisdictional Regulatory Collaboration Committee ...*, 174. <https://doi.org/ISBN 978 0 7559 9238 6>
- Milestone, S. N., & Kremer, P. D. (2019). Encouraging Councils and Governments Around the World to Adopt Timber-First Policies: A Systematic Literature Review. *Mass Timber Construction Journal* | [www.Masstimberconstructionjournal.Com](http://www.Masstimberconstructionjournal.Com) *Mass Timber Construction Journal* |, 1(8). [www.masstimberconstructionjournal.com](http://www.masstimberconstructionjournal.com)
- Ministerio de Agricultura, & CONAF. (2017). *Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017 - 2025*.
- Ministerio de Bienes Nacionales. (2019). *Extracción ilegal de áridos - Ministerio de Bienes Nacionales*. <http://www.bienesnacionales.cl/?p=34472>
- Ministerio de Desarrollo Social (2017). *Encuesta CASEN, vivienda y entorno*.
- Ministerio de Energía. (2018). *Informe final de usos de la energía de los hogares Chile 2018*.
- Ministerio de Energía. (2019). *Desafíos de Eficiencia Energética en el Sector Residencial*.
- Ministerio de Energía, C. (2015). Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción. *Gobierno de Chile.*, 110. [http://www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/2016/03/politica\\_leña\\_2016\\_web.pdf](http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2016/03/politica_leña_2016_web.pdf)
- Ministerio de Energía. (2020). NDC y Plan de Carbono Neutralidad 2050. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/20200407\\_Ministro-Jobet\\_NDC\\_V5.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/20200407_Ministro-Jobet_NDC_V5.pdf)
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2016). *Programa de Integración Social y Territorial*.
- Ministerio del Medio Ambiente, & GIZ. (2019). Impuestos verdes en Chile. *Observatorio Económico*, 136, 1–12. <https://doi.org/10.11565/oe.vi136.11>
- MINVU. (2006a). *Manual Reglamentación Acústica*.
- MINVU. (2006b). *Manual De Aplicación Reglamentación Térmica*
- MINVU. (2016). *Resolución exenta N° 01369*.
- MINVU (2020a). *Ley General de Urbanismo y Construcciones LGUC*. Diario Oficial.
- MINVU (2020b). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones OGUC. Decreto 47*.
- MINVU (2020c). *Plan MINVU para impulsar la actividad económica y social, julio 2020*.
- MMA. (2014). *Planes de descontaminación atmosférica estrategia 2014-2018*.
- MMA. (2018). *Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático*. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf>
- MMA. (2020). *Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC) de Chile Actualización 2020*.
- Moelven. (2019). *Annual Report 2018*. 4(1), 166–169. <https://doi.org/10.3934/Math.2019.1.166>
- Moya, J. Q. de L., Rodrigo, B. G., Cervera, M. L., Fernández, C. V., & Guinea, V. G. (2010). *Conceptos básicos de la construcción con madera: Documento de aplicación del CTE*.
- NHBC. (2012). *Housing Market Report*.
- Nordic Council of Ministers. (2019). *Wood in Construction - 25 cases of Nordic Good Practice*.

- Oliebana.com. (2012, September 23). *Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la Construcción – Digital Transformation in Engineering & Construction*. <https://oliebana.com/2012/09/23/analisis-de-ciclo-de-vida-acv-en-la-construccion/>
- Oliver, C. D., Nassar, N. T., Lippke, B. R., & McCarter, J. B. (2014). Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests. *Journal of Sustainable Forestry*, 33(3), 248–275. <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.839386>
- ONU. (2015). *The World Population Prospects: 2015 Revision*.
- Östman, B., & Källsner, B. (2011). National building regulations in relation to multi-storey wooden buildings in Europe. *SP Träteknik och Våxjö University, Sweden*, 60, 1–26. [https://cms.lnu.se/polopoly\\_fs/1.42301!Wooden Eco-buildings Report 5 \(Building regulations\)-final.pdf](https://cms.lnu.se/polopoly_fs/1.42301!Wooden Eco-buildings Report 5 (Building regulations)-final.pdf)
- Plataforma & arquitectura. (2008, April). *BIP Computers / Alberto Mozó | Plataforma Arquitectura*. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/610130/bip-computers-alberto-mozo>
- Plataforma & Arquitectura. (2018). *Pabellón de Chile Expo Milán 2015 / Undurraga Devés Arquitectos | Plataforma Arquitectura*. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/892049/pabellon-de-chile-expo-milan-2015-undurraga-deves-arquitectos>
- plataformaarquitectura.cl. (2008). *Puente peatonal en Zapallar / Enrique Browne | Plataforma Arquitectura*. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-14201/puente-peatonal-en-zapallar-enrique-browne>
- Quartz. (2019). *Quartz - Open data for a healthier, more sustainable future*. <http://www.quartzproject.org/q>
- Ramage, M. H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P. F., & Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(September 2016), 333–359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>
- Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42(10), 1592–1600. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>
- Reynoso, O. F., de la Rosa, A. B., Salinas, M. F., & Ambriz, A. C. (2017). Wood frame house construction project in Mexico. *Revista de La Construcción*, 16(2), 307–322. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.2.307>
- Rostami, A., Sommerville, J., Wong, L. I., & Lee, C. (2015). Engineering , Construction and Architectural Management Article information : *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(1), 91–107. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/09699981111098711> Downloaded
- Santa María, H. (2016). Contexto en Chile para cálculo en altura con madera (sistema marco y plataforma). *Presentación, Seminario Ingeniería, Semana de La Madera*.
- Schmidt, J., & Griffin, C. T. (2013). Barriers to the design and use of cross-laminated timber structures in high-rise multi-family housing in the United States. *Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges - Proceedings of the 2nd International Conference on Structures and Architecture, ICSA 2013*, 2225–2231. <https://doi.org/10.1201/b15267-304>
- SERNAC. (2017). *Guía Explicativa: Créditos Hipotecarios*.
- Sidewalktoronto. (2020). *Home - Sidewalk Toronto*. <https://www.sidewalktoronto.ca/>
- Skullestad, J. L., Bohne, R. A., & Lohne, J. (2016). High-rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure - A Comparative LCA of Structural System Alternatives. *Energy Procedia*, 96(1876), 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.112>
- Smith, R. E. (2010). *Prefab architecture: A guide to modular design and construction*. John Wiley & Sons.

- Steko-latinoamerica. (n.d.). *STEKO® Paredes | STEKO® Building Systems*. Retrieved October 16, 2020, from <https://www.stekosouthamerica.com/especificaciones/descripcion-de-los-modulos/?lang=es>
- Strongtie. (n.d.). *Simpson Strong-Tie | Homepage*. Retrieved June 17, 2020, from <https://www.strongtie.com/>
- Tam, V. W. Y., Fung, I. W. H., Sing, M. C. P., & Ogunlana, S. O. (2015). Best practice of prefabrication implementation in the Hong Kong public and private sectors. *Journal of Cleaner Production*, 109, 216–231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.045>
- Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ng, W. C. Y. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, 42(10), 3642–3654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>
- Teng, Y., Mao, C., Liu, G., & Wang, X. (2017). Analysis of stakeholder relationships in the industry chain of industrialized building in China. *Journal of Cleaner Production*, 152, 387–398. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.094>
- The Times. (2020). *Macron: Use more wood in our buildings | World | The Times*. [https://www.thetimes.co.uk/article/macron-use-more-wood-in-our-buildings-wmlrf2f3g?wgu=270525\\_54264\\_16026994350726\\_f8f77e94ab&wgexpiry=1610475435&utm\\_source=planit&utm\\_medium=affiliate&utm\\_content=22278](https://www.thetimes.co.uk/article/macron-use-more-wood-in-our-buildings-wmlrf2f3g?wgu=270525_54264_16026994350726_f8f77e94ab&wgexpiry=1610475435&utm_source=planit&utm_medium=affiliate&utm_content=22278)
- Think Wood. (2019, September). *Home Advantage: Mass Timber a Differentiator for Multi-Family Developers | Think Wood*.
- UBiobio.cl. (2020, April 15). *Portal de Actualidad Universidad del Bío-Bío Cinco pisos tendrá primer edificio 100% de CLT construido en Chile - Portal de Actualidad Universidad del Bío-Bío*. <http://noticias.ubiobio.cl/2020/04/15/cinco-pisos-tendra-primer-edificio-100-de-clt-construido-en-chile/>
- United Nations. (2016). *Progress towards the Sustainable Development Goals. Economic and Social Council*. [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=E/2016/75&Lang=E](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/2016/75&Lang=E)
- US Census Bureau, MCD, R. C. B. (2018). *Characteristics of New Housing*.
- Veilleux, L., Gagnon, S., & Dagenais, C. (2015). *Mass Timber Buildings of Up to 12 Storeys: Directives and Explanatory Guide* (2015 Régie du bâtiment du Québec (ed.)).
- Weller, R., & Hands, T. (2014). *Building the Global Forest | Scenario Journal*. <https://scenariojournal.com/article/building-the-global-forest/>
- Wiegand, E. (2019). Towards a Tall Wooden Built Environment: the impact of policy instruments on the first generation of pioneer projects. *Building Research & Information*, September.
- WoodSolutions. (2016). *Fire Design*.
- WoodWorks. (2019). *Tall Wood Buildings in the 2021 IBC Up to 18 Stories of Mass Timber*. <https://www.woodworks.org/>
- Word Bank Group. (2019). *State and Trends of Carbon Pricing 2019*. In *State and Trends of Carbon Pricing 2019* (Issue June). <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1435-8>
- Wu, G., Yang, R., Li, L., Bi, X., Liu, B., Li, S., & Zhou, S. (2019). Factors influencing the application of prefabricated construction in China: From perspectives of technology promotion and cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 219, 753–762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.110>
- Www.tribunadelbiobio.cl. (2020). *San Pedro de la Paz tendrá primeros edificios de madera contruidos con sistema industrializado*. [http://www.tribunadelbiobio.cl/portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=14758&Itemid=1](http://www.tribunadelbiobio.cl/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=14758&Itemid=1)

Xia, B., O'Neill, T., Zuo, J., Skitmore, M., & Chen, Q. (2014). Perceived obstacles to multi-storey timber-frame construction: An Australian study. *Architectural Science Review*, 57(3), 169–176. <https://doi.org/10.1080/00038628.2014.912198>

Zabalza B, I., Valero C, A., & Aranda U, A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 46(5), 1133–1140. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>



# LISTADO DE FIGURAS

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Figura 1:</b>  | Vista proyecto Smartcity Quayside neighborhood development in Toronto, Sidewalklab. Fuente: <a href="https://www.sidewalktoronto.ca/">https://www.sidewalktoronto.ca/</a>  | 16 |
| <b>Figura 2:</b>  | Cambios en la superficie, población, uso de energía residencial y emisiones relacionadas con la energía. Fuente: derivado de IEA (2019a), World Energy Statistics and Balances 2019, <a href="http://www.iea.org/statistics">www.iea.org/statistics</a> and IEA (2019b) Energy Technology Perspectives, buildings model, <a href="http://www.iea.org/buildings">www.iea.org/buildings</a> P.9.   | 17 |
| <b>Figura 3:</b>  | Tres escenarios en relación con el carbono en la atmosfera capturados en la tierra. A la izquierda, el proceso natural de millones de años de captura de carbono en la tierra; al centro, la masiva liberación de carbono a la atmósfera por la industria humana en un escenario de construcción en materiales altamente contaminantes como el acero y hormigón; a la derecha, un escenario en el cual la humanidad se vuelca a bio-productos que permiten almacenar el carbono en la atmosfera y reducir su contenido a largo plazo. Fuente: Churkina et al, 2020.. | 18 |
| <b>Figura 4:</b>  | Comparación resistencia y densidad de diferentes materiales de construcción, presentando la ventaja de la madera al contar con un alta resistencia y baja densidad. Fuente: Department of Engineering, Cambridge University, 2020, <a href="http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/strength-density/basic.html">http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/strength-density/basic.html</a>   | 19 |
| <b>Figura 5:</b>  | Edificio Origine Fuente: Think Wood, 2019  | 22 |
| <b>Figura 6:</b>  | Edificio Bridport House Fuente: Fuente: (AIA et al., 2015)   | 23 |
| <b>Figura 7:</b>  | Edificio Strandparken Fuente: (Nordic Council of Ministers, 2019).   | 23 |
| <b>Figura 8:</b>  | Edificio Ubc Earth Systems Science Building Fuente: (AIA et al., 2015)   | 23 |
| <b>Figura 9:</b>  | Carlisle Lane Fuente: (AIA et al., 2015)   | 24 |
| <b>Figura 10:</b> | Planta E2E Fuente: (Madera21.cl, 2019)   | 24 |
| <b>Figura 11:</b> | Indicador mensual de actividad económica, IMACEC marzo 2019 a marzo 2020, se aprecian importantes caídas en los meses de octubre de 2019 (crisis social) y mayo de 2020 (crisis COVID-19) . Fuente: Banco Central de Chile, 2020.  | 25 |
| <b>Figura 12:</b> | Materialidad predominante por cantidad de pisos construidos, se identifica el avance de la madera en el segmento de edificaciones de 1 y2 pisos; y su presencia casi inexistente en el segmento de 3 a 6 pisos. Fuente: CIM UC en base a Base de datos Formulario Único de Estadísticas de Edificación, INE 2002 a 2017.   | 26 |
| <b>Figura 13:</b> | Hitos que afectan la construcción de viviendas, efectos como mayores requerimientos de desempeño térmico y normativos estructurales asociados a sismos, favorece el uso de la madera en la construcción. Fuente: CIM, 2019a  | 28 |
| <b>Figura 14:</b> | Ejemplo de estructura de entramado de Madera y art. OGUC. Fuente: (Catalogoarquitectura.cl, 2018)  | 29 |
| <b>Figura 15:</b> | Ensayos técnicos Fuente: (DITEC, 2009)   | 29 |
| <b>Figura 16:</b> | Sentido de fibra y en CLT Fuente: (Maderas-uv, n.d.)   | 30 |
| <b>Figura 17:</b> | Torre Experimental PymeLab a la izquierda y Edificio Polo madera a la derecha. Fuente: (UBiobio.cl, 2020)  | 30 |
| <b>Figura 18:</b> | Puente Madera Laminada, Zapallar a la izquierda y gimnasio Villarica a la derecha. Fuente: ( <a href="http://plataformaarquitectura.cl">plataformaarquitectura.cl</a> , 2008)  | 31 |
| <b>Figura 19:</b> | Ficha Técnica LP I- Joists. LP Chile.  | 31 |
| <b>Figura 20:</b> | Panel OSB tipo Fuente: (GascaIPanels, n.d.)  | 32 |
| <b>Figura 21:</b> | Sistema Constructivo STEKO Fuente: <a href="http://www.steko-latinoamerica.com">www.steko-latinoamerica.com</a>  | 32 |
| <b>Figura 22:</b> | Iglesia de Chiloé a la izquierda y campamento minero de Sewell a la derecha. Fuente: UNESCO, 2019; Madera21, 2018.   | 32 |
| <b>Figura 23:</b> | Villa verde a la izquierda y Oasis de Chañaral a la derecha. Fuente: Plataforma & Arquitectura; CIM, 2019.   | 33 |
| <b>Figura 24:</b> | Oficinas de BIP Computers, Santiago a la izquierda y Escuela de Arquitectura UC a la derecha. Fuente: Plataforma & Arquitectura, 2008.; Claro, 2017.   | 33 |
| <b>Figura 25:</b> | Pabellón de Chile Expo Milán a la izquierda y Campus Corporativo de CMPC, Los Ángeles, a la derecha. Fuente: Plataforma & Arquitectura, 2018; Madera21, 2019.  | 33 |
| <b>Figura 26:</b> | Campamento minero Los Bronces a la izquierda y Conjunto Horizonte del Pacífico a la derecha Fuente: <a href="http://asap.cl">asap.cl</a> , 2019; <a href="http://e2echile.com">e2echile.com</a> , 2020.  | 34 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 27:</b> INGEI de Chile: balance de GEI (ktCO <sub>2</sub> eq) por sector, serie 1990-2016, se evidencia el aporte forestal en indicador Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) . Fuente: MMA (2018). Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático. P.81.  | 35 |
| <b>Figura 28:</b> Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (ktCO <sub>2</sub> eq) por sus principales subcomponentes, serie 1990-2016, presentando mayor aporte en captura de CO <sub>2</sub> de plantaciones forestales, con relación a parques y reservas nacionales. Fuente: MMA (2018). Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático. P.98. | 35 |
| <b>Figura 29:</b> Escenario carbono neutralidad periodo 2020-2050, se indica que al 2050 a lo menos un 50% de las emisiones de CO <sub>2</sub> eq serán contrarrestadas por los bosques. Fuente: Ministerio de Energía, 2020.   | 36 |
| <b>Figura 30:</b> Superficie global de bosques y áreas protegidas. Fuente: Weller et al., 2014.   | 36 |
| <b>Figura 31:</b> Superficie de bosques total y por sub-uso. Fuente: Elaboración en base a datos de INFOR, 2019.  | 37 |
| <b>Figura 32:</b> Cantidad de m <sup>3</sup> de madera producida y su destino. Fuente: elaboración propia en base a datos de INFOR, 2019.   | 38 |
| <b>Figura 33:</b> Edificio Mjöstårnet de 18 pisos de altura en madera, alberga viviendas y oficinas, entre otros programas de uso. Fuente: <a href="https://www.avontuura.com/mjostarnet-by-voll-arkitekter/">https://www.avontuura.com/mjostarnet-by-voll-arkitekter/</a> .  | 44 |
| <b>Figura 34:</b> Evolución de la altura de edificaciones en madera en Europa. Fuente: (Östman & Källsner, 2011)  | 47 |
| <b>Figura 35:</b> Ensayo NCh 935/1, estructura entrepiso a la izquierda) y muro a la derecha). Fuente: Idiem, 2018  | 56 |
| <b>Figura 36:</b> Ensayo NCh 2786 muro divisorio, sala receptora a la izquierda y sala emisora a la derecha. Fuente: CPIA, 2017   | 58 |
| <b>Figura 37:</b> Evolución de la normativa chilena de acondicionamiento térmico de edificios. (elementos en color están vigentes). Fuente: elaboración propia más datos recuperados de EMB Construcción, 2016.   | 60 |
| <b>Figura 38:</b> Planes de descontaminación atmosférica estrategia 2014-2018, se presentan las ciudades con instrumentos vigentes. Fuente: MMA, 2014.  | 60 |
| <b>Figura 39:</b> Construcción edificio Horizonte del Pacífico por empresa E2E Chile Fuente: <a href="http://www.tribunadelbiobio.cl">www.tribunadelbiobio.cl</a>   | 68 |
| <b>Figura 40:</b> Distribución viviendas tipo estudio CIM UC. Fuente: (DECON, 2019).  | 70 |
| <b>Figura 41:</b> Costos netos (UF/m <sup>2</sup> ) en distintas materialidades y grados de industrialización por cantidad de pisos. Fuente: Elaboración propia en base a datos de (CIM UC, 2019a).   | 72 |
| <b>Figura 42:</b> Costos estructura de madera para 3 a 6 pisos, cambio tecnología entre 4 y 5 pisos. Fuente: (CIM UC, 2019a).   | 73 |
| <b>Figura 43:</b> Plazo de ejecución en meses para edificios de 3 a 6 pisos contra gastos generales. Fuente: (CIM UC, 2019a).   | 73 |
| <b>Figura 44:</b> Sistema Holdown a la derecha y sistema ATS a la izquierda. Fuente: (Strongtie, n.d.).   | 74 |
| <b>Figura 45:</b> Costos netos (UF/m <sup>2</sup> ) en distintas materialidades y grados de industrialización por zona. Fuente: Elaboración propia, en base a datos de (CIM UC, 2019a).   | 75 |
| <b>Figura 46:</b> Planta edificio 5 pisos para sectores vulnerables (1.33 2m <sup>2</sup> ) arriba y sectores emergentes (2.183 m <sup>2</sup> ) abajo. Fuente: (CIM UC, 2019a).  | 77 |
| <b>Figura 47:</b> Plazos y costos edificio de 5 pisos para sectores vulnerables, con plazos de ejecución de 5,5 meses. Fuente: (CIM UC, 2019a).   | 78 |
| <b>Figura 48:</b> Plazos y costos edificio de 5 pisos para sectores emergentes, con plazos de ejecución de 6,8 meses. Fuente: (CIM UC, 2019a).  | 78 |
| <b>Figura 49:</b> Escantillones de soluciones constructivas para albañilería. Fuente: (CIM UC, 2019b)   | 80 |
| <b>Figura 50:</b> Escantillones de soluciones constructivas para hormigón armado. Fuente: CIM UC, 2019.   | 80 |
| <b>Figura 51:</b> Escantillones de soluciones constructivas para madera. Fuente: (CIM UC, 2019b)  | 80 |
| <b>Figura 52:</b> Costos de construcción, energéticos y de calefacción con construcción con nivel de aislamiento mínimo. Fuente: (CIM UC, 2019b).   | 80 |
| <b>Figura 53:</b> Costos de construcción, energéticos y de calefacción con construcción con nivel de aislamiento ideal. Fuente: (CIM UC, 2019b).  | 81 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 54:</b> Etapas ciclo de vida. Fuente: (Oliebana.com, 2012).  | 82  |
| <b>Figura 55:</b> Carbono incorporado en obra gruesa por m2. Fuente: Elaboración propia en base a datos de CIM UC 2019 y Quartz, 2019.   | 83  |
| <b>Figura 56:</b> kgCO <sub>2</sub> equivalente a la calefacción con electricidad.   | 85  |
| <b>Figura 57:</b> Promedio de emisiones de kgCO <sub>2</sub> eq por fuente energética y por zona.  | 85  |
| <b>Figura 58:</b> Carbono incorporado en el ciclo de vida.   | 86  |
| <b>Figura 59:</b> Comparación de costos en 3 escenarios, para las materialidades de hormigón y madera.   | 87  |
| <b>Figura 60:</b> Stock de créditos hipotecarios en Chile, según tipo, entre los años 2000 y 2006. Fuente: (SERNAC, 2017)  | 89  |
| <b>Figura 61:</b> Cuadro aportes. D.S.N°19 Fuente: (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2016)  | 92  |
| <b>Figura 62:</b> Encuesta sobre brechas en la construcción en madera  | 98  |
| <b>Figura 63:</b> Composición de la muestra encuestada. A la izquierda caracterización del área profesional y a la derecha sector al que pertenece. Se observa una participación mayor del grupo AIC (75%), y sector privado (59%).  | 101 |
| <b>Figura 64:</b> Promedios generales obtenidos por cada brecha de la construcción en madera en Chile. Los valores sobre 4 indican que la sección es una barrera, por lo tanto, todas son barreras y las brechas del sector privado y tecnológica son las que representan un obstáculo mayor en promedio.  | 101 |
| <b>Figura 65:</b> Promedio de las barreras correspondientes a las brechas culturales. Valorizadas del 1-7 con un n=166. Se observa que todos los promedios son sobre 4, por lo tanto, son identificados como barrera. La mayor relevancia la tiene el riesgo de incendios y la menos la madera como material de calidad inferior y los costos de mantenimiento.                              | 101 |
| <b>Figura 66:</b> Promedios por área profesional agrupada en AIC (n=125) y otros (n=41), evaluado en una escala del 1 al 7. En general el grupo AIC tiene promedios menores, siendo las brechas para ellos menos relevantes.   | 102 |
| <b>Figura 67:</b> Brecha cultural, analizada por área de desarrollo de los encuestados dónde AIC es igual a un n=125 y otros un n=41. En promedio se tiene que no considerar la aseveración como barrera representa un 27% para el sector AIC y un 19% para el sector otros. Y si considerarlas como barrera representa en promedio un 57% para el sector AIC y un 68% para el sector otros. | 102 |
| <b>Figura 68:</b> Promedio de las barreras de la brecha cultural analizadas por sector. El sector privado (n= 98) tiene el menor promedio y el sector público (n=30) y sector académico (n=38) tienen promedios muy similares.   | 103 |
| <b>Figura 69:</b> Percepción de barreras de la brecha cultural por sector, dónde en promedio la valoración como barrera es de un 65% para el sector académico (n=38), 57% para el sector privado (n=98) y 63% para el sector público (n=30).   | 103 |
| <b>Figura 70:</b> Promedio de las barreras correspondientes a las brechas tecnológicas. Valorizadas del 1-7 con un n=166. Se observa que todos los promedios son sobre 4, por lo tanto, son identificados como barrera. La mayor relevancia la tiene las constructoras sin experiencia en madera y la menor la madera de calidad para la construcción.                                       | 103 |
| <b>Figura 71:</b> Promedios por área profesional agrupada en AIC (n=125) y otros (n=41). En general el grupo AIC tiene promedios menores, siendo las brechas menos relevantes para ese grupo.  | 104 |
| <b>Figura 72:</b> Brecha tecnológica, analizada por área de desarrollo de los encuestados dónde AIC es igual a un n=125 y otros un n=41. Donde se observa que todas las aseveraciones se consideran como barrera. Pero para el 37% sector AIC la madera de calidad para la construcción no es una barrera.   | 104 |
| <b>Figura 73:</b> Promedio de las barreras de la brecha tecnológica analizadas por sector. El sector privado (n= 98) tiene el menor promedio y el sector público (n=30) y sector académico (n=38) tienen promedios muy similares.  | 105 |
| <b>Figura 74:</b> Brecha tecnológica, analizada por sector dónde sector académico tiene un n=38, privado n=98 y público n=30. Se destaca que la barrera menos considerada como tal es la madera de calidad para la construcción, brecha que es relevante basándose en datos de INFOR.  | 105 |
| <b>Figura 75:</b> Promedio de las barreras correspondientes a las brechas del sector público. Valorizadas del 1-7 con un n=166. Se observa que todos los promedios son sobre 4, por lo tanto, son identificados como barrera. La mayor relevancia la tienen los incentivos gubernamentales y la difusión de los beneficios de la madera y la menor las normativas gubernamentales.           | 106 |
| <b>Figura 76:</b> Promedios por área profesional agrupada en AIC (n=125) y otros (n=41). En general el grupo AIC tiene promedios menores, siendo las brechas menos relevantes. Se destaca que la mayor brecha para el sector AIC son los incentivos gubernamentales pero el mayor promedio es para la brecha de difusión de los beneficios de la madera.                                     | 106 |
| <b>Figura 77:</b> Brechas del sector público, analizada por área de desarrollo de los encuestados dónde AIC es igual a un n=125 y otros un n=41.   | 106 |

- Figura 78:** Promedio de las barreras de la brechas del sector público analizadas por sector. El sector privado (n= 98) tiene el menor promedio y el sector público (n=30) y sector académico (n=38) tienen promedios muy similares. 107
- Figura 79:** Brechas del sector público, analizada por sector dónde sector académico tiene un n=38, privado n=98 y público n=30. 107
- Figura 80:** Promedio de las barreras correspondientes a las brechas del sector público. Valorizadas del 1-7 con un n=166. Se observa que todos los promedios son sobre 4, por lo tanto, son identificados como barrera. La mayor relevancia la tienen el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera y la menor relevancia los problemas asociados a postventa. 108
- Figura 81:** Promedios por área profesional agrupada en AIC (n=125) y otros (n=41). En general el grupo AIC tiene promedios menores, siendo las brechas menos relevantes. Se destaca que la mayor brecha para el sector AIC son los problemas asociados a la postventa y el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera. 108
- Figura 82:** Brechas del sector privado, analizada por área de desarrollo de los encuestados dónde AIC es igual a un n=125 y otros un n=41. 109
- Figura 83:** promedio de las barreras de las brechas del sector privado analizadas por sector. El sector privado (n= 98) tiene el menor promedio y el sector público (n=30) y sector académico (n=38) tienen promedios muy similares. 109
- Figura 84:** Brechas del sector privado, analizada por sector dónde sector académico tiene un n=38, privado n=98 y público n=30. Se destaca que nadie del sector público piensa que el desconocimiento de las ventajas de la construcción en madera no sea una barrera. 110
- Figura 85:** Desglose brechas generales identificadas ordenadas por macro brecha y promedio, de forma decreciente siendo el promedio más alto un obstáculo mayor, con una escala de 1 a 7. El n total de la encuesta es de 166 encuestados siendo estos resultados representativos solo de la muestra. 111

# LISTADO DE TABLAS

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Tabla 1:</b>  | Resistencia al fuego requerida para elementos de construcción en viviendas.<br>Fuente: OGUC, 2009   | 55  |
| <b>Tabla 2:</b>  | Matriz de casos a estudiar para establecimiento de costos referenciales. Fuente: (CIM UC, 2019a).   | 69  |
| <b>Tabla 3:</b>  | Soluciones constructivas para cada escenario. Fuente: (CIM UC, 2019b)   | 79  |
| <b>Tabla 4:</b>  | Impacto en CO <sub>2eq</sub> por transporte. Fuente: (Accoya, n.d.)   | 84  |
| <b>Tabla 5:</b>  | kgCO <sub>2eq</sub> por kWh producido según fuente energética.  | 84  |
| <b>Tabla 6:</b>  | kgCO <sub>2eq</sub> del consumo fijo por zona. Fuente: Elaboración propia.  | 84  |
| <b>Tabla 7:</b>  | Cuadro aportes D.S.N°49. Fuente: (BCN, 2018b)   | 90  |
| <b>Tabla 8:</b>  | Cuadro aportes D.S.N°10 Fuente: (BCN, 2018b)  | 91  |
| <b>Tabla 9:</b>  | Cuadro aportes D.S.N°1. Fuente: (BCN, 2018b)  | 91  |
| <b>Tabla 10:</b> | Cuadro aportes Leasing habitacional Fuente: (BCN, 2018b)  | 93  |
| <b>Tabla 11:</b> | Composición de las brechas expuestas.   | 100 |
| <b>Tabla 12:</b> | Resultados de la sección de orden de prioridad de las brechas, comparando el promedio general con los sectores académico, privado y público; y con las áreas de desarrollo AIC y otros. | 112 |
| <b>Tabla 13:</b> | Composición del universo de muestra de la base de datos de CIM UC   | 137 |

# ANEXOS

## ANEXO A: ACTUALIZACIÓN DE NORMAS TÉCNICAS NCH ASOCIADAS A LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA.

\*Normas en proceso de actualización por DITEC MINVU

- \*NCh 433 Diseño sísmico de edificios
- \*NCh 1198 Madera – Construcción en Madera – Calculo
- NCh 1990 Madera – Tensiones admisibles para madera estructural
- NCh 2151 Madera laminada encolada estructural – Vocabulario
- \*NCh 2165 Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata.
- NCh 1989 Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia - procedimiento.
- NCh 1970/1 Maderas - Parte 1: Especies latifoliadas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh 1970/2 Maderas - Parte 2: Especies coníferas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- \*NCh 1207 Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad
- NCh 1079 Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
- NCh 789/1 Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.
- \*NCh 819 Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según uso y riesgo en servicio y muestreo.
- NCh3390 Madera - Metodología de medición de emisión de formaldehído por micro cámara.
- NCh3391 Madera - Tableros de fibra y tableros de partículas – Límite máximo de emisión de formaldehído
- NCh762 Planchas y tableros a base de madera - Determinación del contenido de humedad.
- NCh2148 Madera laminada encolada estructural - Requisitos, métodos de muestreo e inspección.
- NCh790 Madera - Preservación - Clasificación, composición y requisitos de los preservantes para madera
- NCh1969/1 Maderas - Especies latifoliadas - Clasificación visual por despiece o aprovechamiento - Parte 1: Madera aserrada o cepillada proveniente de bosques secundarios nativos de las especies coigüe, raulí y roble.
- NCh3223 Maderas - Especies latifoliadas - Clasificación visual de trozas provenientes de bosques secundarios nativos de las especies coigüe, raulí y roble
- NCh3226 Madera - Bosques secundarios nativos de las especies coigüe, raulí y roble - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad
- NCh3222 Madera - Especies latifoliadas - Clasificación visual de árboles en pie de bosques secundarios nativos de las especies coigüe, raulí y roble.
- NCh3177 Madera-Plástico - Determinación de propiedades físicas y mecánicas - Métodos de ensayo.
- \*NCh173 Madera - Terminología general
- NCh1969 Madera - Especies latifoliadas - Clasificación visual por despiece o aprovechamiento.
- NCh3028/2 Madera estructural - Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia - Parte 2: Muestreo y evaluación de los valores

- característicos de piezas en tamaño estructural.
- NCh3112 Adhesivos - Clasificación de adhesivos termoplásticos para madera de uso no estructural.
- NCh3079 Madera - Uniones realizadas con elementos de unión mecánicos - Determinación de las características de resistencia y deformación - Principios generales
- NCh3060 Preservantes de la madera - Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas - Método de laboratorio.
- NCh980 Madera - Determinación de la contracción e hinchamiento volumétrico.
- NCh3053 Madera - Determinación del hinchamiento radial y tangencial.
- \*NCh174 Maderas - Unidades, dimensiones nominales, tolerancias y especificaciones.
- NCh177 Madera - Planchas de fibra de madera – Especificaciones.
- NCh3065 Madera - Especies latifoliadas - Madera para muebles - Requisitos y clasificación.
- NCh3028/1 Madera estructural - Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia - Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural.
- NCh775:1980 Paneles a base de madera - Tableros - Extracción de muestras y probetas y determinación de las dimensiones de las probetas.
- NCh1207:2005 Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh3004 Madera - Métodos de ensayo para determinar las propiedades mecánicas de madera de chapas laminadas para uso estructural.
- NCh3005 Madera - Evaluación estructural de madera de chapas laminadas.
- NCh3003 Adhesivos - Adhesivos para madera de chapas laminadas de uso exterior (uso húmedo) - Requisitos y métodos de ensayo.
- NCh2957/0 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 0: Producción y comercialización.
- NCh2957/1 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 1: Requisitos generales para Pino radiata.
- NCh2957/2 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 2: Requisitos generales para Eucalyptus globulus y Eucalyptus nitens
- NCh2957/4 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 4: Requisitos generales para pino Oregón.
- NCh760 Madera - Tableros de partículas – Especificaciones.
- NCh351/3 Construcción - Escalas - Parte 3: Requisitos para las escalas de madera.
- NCh2999 Maderas - Madera aserrada de álamo – Requisitos.
- NCh793 Madera - Planchas y tableros lignocelulósicos - Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento después de la inmersión en agua.
- NCh794 Madera - Planchas y tableros lignocelulósicos - Determinación de la resistencia a la flexión
- NCh2059 Madera - Tableros de fibra de densidad media y tableros de partículas - Determinación del contenido de formaldehído - Método de extracción denominado del perforador.
- NCh999 Andamios de madera de doble pie derecho – Requisitos.
- NCh2957/5 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 5: Requisitos generales para Raulí.
- \*NCh178 Madera aserrada de pino radiata - Clasificación por aspecto.
- NCh2122 Maderas - Postes de pino radiata - Especificaciones y dimensiones.
- \*NCh354 Hojas de puertas lisas de madera - Requisitos generales.
- \*NCh723 Hojas de puertas lisas de madera - Métodos de ensayo.
- \*NCh2824 Maderas - Pino radiata - Unidades, dimensiones y tolerancias.

- \*NCh2827 Calibración y uso de xilohigrómetros portátiles
- \*NCh631 Madera preservada - Extracción de muestras.
- \*NCh176/1 Madera - Parte 1: Determinación del contenido de humedad.
- NCh2100 Madera - Molduras - Designación, perfiles y dimensiones.
- NCh2093 Madera - Tableros de fibra de densidad media y tableros de partículas - Límites del contenido de formaldehído total extraíble.
- \*NCh630 Madera - Preservación – Terminología.
- NCh1438 Madera preservada - Preparación de la muestra, por incineración húmeda, para análisis químico
- \*NCh755 Madera - Preservación - Medición de la penetración de preservantes en la madera.
- NCh763/2 Madera - Preservación - Parte 2: Método estándar de madera tratada y soluciones de tratamiento mediante espectrofotometría de absorción atómica.
- NCh763/1 Maderas - Preservación - Parte 1: Análisis de madera preservada y soluciones preservantes mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X.
- NCh1439 Madera - Preservación - Preservantes hidrosolubles - Análisis químico clásico.
- NCh2284 Maderas - Preservantes - Métodos de muestreo.
- \*NCh2150 Madera laminada encolada - Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata.
- NCh2149 Madera - Madera aserrada - Determinación del módulo de elasticidad en flexión - Método de ensayo no destructivo.
- \*NCh1970/1 Maderas - Parte 1: Especies latifoliadas – Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- \*NCh1970/2 Maderas - Parte 2: Especies coníferas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh176/2 Madera - Parte 2: Determinación de la densidad.
- NCh1989 Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia – Procedimiento.
- \*NCh789/1 Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.
- NCh968 Madera - Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas.
- \*NCh969 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Condiciones generales para los ensayos.
- \*NCh973 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de compresión paralela.
- \*NCh974 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de compresión perpendicular a las fibras.
- \*NCh975 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de tracción perpendicular a las fibras.
- \*NCh976 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de cizalle paralelo a las fibras.
- NCh724 Paneles a base de madera - Tableros – Vocabulario.
- NCh795 Tableros de partículas - Determinación de la tracción perpendicular al plano.
- \*NCh977 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de clivaje.
- \*NCh978 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de dureza.
- \*NCh979 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de extracción de clavo.
- \*NCh986 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de tenacidad.
- \*NCh987 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de flexión estática.
- NCh176/3 Madera - Parte 3: Determinación de la contracción radial y tangencial.

- NCh792 Paneles a base de madera - Tableros - Determinación de la densidad.
- NCh761 Paneles a base de madera - Tableros - Determinación de las dimensiones y de la forma.
- \*NCh993 Madera - Procedimiento y criterios de evaluación para clasificación.
- NCh1320 Madera destinada a preservación – Requisitos.
- NCh356 Parquet.
- \*NCh992 Madera - Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de medición.
- \*NCh355 Ventanas de madera.
- \*NCh1989:2017 Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia – Procedimiento, pendiente oficialización
- \*NCh1990 Madera - Tensiones admisibles para madera estructural, pendiente oficialización.
- \*NCh3028/1 Madera estructural - Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia - Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural.
- \*NCh3028/2 Madera estructural - Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia - Parte 2: Muestreo y evaluación de los valores característicos de piezas en tamaño estructural.
- \*NCh3390 Madera - Metodología de medición de emisión de formaldehído por microcámara.
- \*NCh3391 Madera - Tableros de fibra y tableros de partículas - Límite máximo de emisión de formaldehído.
- NCh2369 Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.
- NCh3617 Madera contrachapada estructural.



## ANEXO B: TABLA RESUMEN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN EL CICLO DE VIDA, POR ESCENARIO Y TIPOLOGÍA DE VIVIENDA. GRAFICADO EN LA FIGURA 57: CARBONO INCORPORADO EN EL CICLO DE VIDA.

Tabla resumen de datos

| Esc. | N° Pisos | Solución constructiva | kgCO <sub>2eq</sub> Consumo fijo | kgCO <sub>2eq</sub> Electricidad Calefacción | kgCO <sub>2eq</sub> GLP Calefacción | kgCO <sub>2eq</sub> GN Calefacción | kgCO <sub>2eq</sub> Leña Calefacción | kgCO <sub>2eq</sub> Incorporado | kgCO <sub>2eq</sub> Capturado |
|------|----------|-----------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1    | 1 Piso   | BM; SG                | 1.639                            | 405  | 430                                 | 437                                | -                                    | 526                             | 35                            |
|      |          | TF1; SG               | 1.639                            | 315  | 335                                 | 341                                | -                                    | 268                             | 92                            |
|      | 4 Pisos  | RC; SG                | 1.639                            | 231  | 245                                 | 249                                | -                                    | 384                             | 2                             |
|      |          | TF1; SG               | 1.639                            | 49   | 52                                  | 53                                 | -                                    | 118                             | 62                            |
|      | 6 Pisos  | RC; SG                | 1.639                            | 231  | 245                                 | 1.328                              | -                                    | 351                             | 25                            |
|      |          | TF1; SG               | 1.639                            | 49   | 52                                  | 1.167                              | -                                    | 103                             | 63                            |
| 2    | 1 Piso   | BMI; SG               | 1.965                            | 1.605  | 1.704                               | 1.734                              | -                                    | 526                             | 35                            |
|      |          | TF1; SG               | 1.965                            | 1.53   | 1.624                               | 1.653                              | -                                    | 268                             | 92                            |
|      | 4 Pisos  | RCi; SG               | 1.965                            | 929  | 987                                 | 1.004                              | -                                    | 384                             | 2                             |
|      |          | TF1; SG               | 1.965                            | 605  | 642                                 | 653                                | -                                    | 118                             | 62                            |
|      | 6 Pisos  | RCi; SG               | 1.965                            | 929  | 987                                 | 1.328                              | -                                    | 351                             | 25                            |
|      |          | TF1; SG               | 1.965                            | 605  | 642                                 | 1.167                              | -                                    | 103                             | 63                            |
| 3    | 1 Piso   | BMI; SG               | 1.992                            | 1.2  | 1.274                               | 1.297                              | -                                    | 526                             | 35                            |
|      |          | TF1; SG               | 1.992                            | 1.069  | 1.135                               | 1.155                              | -                                    | 268                             | 92                            |
|      | 4 Pisos  | RCi; SG               | 1.992                            | 692  | 735                                 | 748                                | -                                    | 384                             | 2                             |
|      |          | TF1; SG               | 1.992                            | 419  | 445                                 | 453                                | -                                    | 118                             | 62                            |
|      | 6 Pisos  | RCi; SG               | 1.992                            | 692  | 735                                 | 1.328                              | -                                    | 351                             | 25                            |
|      |          | TF1; SG               | 1.992                            | 419  | 735                                 | 1.167                              | -                                    | 103                             | 63                            |
| 4    | 1 Piso   | BMI; SG               | 1.992                            | 1.99   | 2.113                               | 2.15                               | -                                    | 526                             | 35                            |
|      |          | TF1; SG               | 1.992                            | 1.7  | 1.805                               | 1.837                              | -                                    | 268                             | 92                            |
|      | 4 Pisos  | RCi; SG               | 1.992                            | 1.221  | 1.296                               | 1.319                              | -                                    | 384                             | 2                             |
|      |          | TF1; SG               | 1.992                            | 760  | 806                                 | 821                                | -                                    | 118                             | 62                            |
|      | 6 Pisos  | RCi; SG               | 1.992                            | 1.221  | 1.296                               | 1.328                              | -                                    | 351                             | 25                            |
|      |          | TF1; SG               | 1.992                            | 760  | 806                                 | 1.167                              | -                                    | 103                             | 63                            |
| 5    | 1 Piso   | BMe; DG1              | 1.992                            | 2.341  | 2.486                               | 2.53                               | -                                    | 526                             | 35                            |
|      |          | TF2; DG1              | 1.992                            | 2.337  | 2.481                               | 2.525                              | -                                    | 268                             | 92                            |
|      | 4 Pisos  | RCe; DG1              | 1.992                            | 1.229  | 1.305                               | 1.328                              | -                                    | 384                             | 2                             |
|      |          | TF2; DG1              | 1.992                            | 1.08   | 1.147                               | 1.167                              | -                                    | 118                             | 62                            |
|      | 6 Pisos  | RCe; DG1              | 1.992                            | 1.229  | 1.305                               | 1.328                              | -                                    | 351                             | 25                            |
|      |          | TF2; DG1              | 1.992                            | 1.08   | 1.147                               | 1.167                              | -                                    | 103                             | 63                            |

## ANEXO C: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA DE REALIZACIÓN DE LA ENCUESTA DE PERCEPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA.

Se realiza esta encuesta para visualizar la percepción de las barreras y/o brechas que enfrenta la construcción en madera en Chile, estar al tanto el escenario actual y así poder priorizar y encauzar los esfuerzos para potenciar el rubro. Por lo tanto, la pregunta principal de la encuesta sería ¿cuáles son los mayores obstáculos para la construcción de edificaciones en madera en Chile? Así se podrán identificar las oportunidades generadas para la construcción en madera en el país.

Como referencia de metodología se utilizó un trabajo realizado en Australia cuyo objetivo es el de identificar obstáculos para la construcción en madera identificados por diferentes profesionales y personas del rubro (Xia et al., 2014) además este artículo, expone algunas barreras similares a las chilenas, generando una buena base para la elaboración de la encuesta.

Se espera identificar la percepción de las brechas por área de desarrollo y por sector del encuestado. Para esto el CIM UC difunde la encuesta con su base de datos compuesta por 1008 personas, según la clasificación descrita en la siguiente tabla. La difusión de la encuesta se realiza mediante una campaña enviada por correo electrónico el cual contiene el enlace de la encuesta que se realizó con una herramienta de Google. El primer correo se envió el día 2 de julio, luego se envía un recordatorio el día 8 de julio para finalmente cerrar el formulario de respuestas el día 9 de julio a las 23:59 consiguiendo un total de 166 respuestas válidas. Para conseguir una tasa de respuesta mayor se utilizó el incentivo de sorteo de premios equivalente a dos libros sobre construcción en madera.

Los datos recopilados se manejan de forma agregada con el propósito de obtener información de grupos particulares de personas, por lo tanto, la información personal de cada encuestado es protegida asegurando la anonimidad de los datos obtenidos.

La estructura de la encuesta se compone de 5 secciones de preguntas más una sección de identificación del encuestado, pensando en un tiempo promedio de respuesta entre 5 y 7 minutos. Las cuatro primeras secciones tienen la misma forma donde se identifica una brecha general que es el encabezado de la sección y luego se presentan 5 o 6 aseveraciones las cuales deben ser categorizadas

Tabla 13: Composición del universo de muestra de la base de datos de CIM UC

| Base de datos                     | Cantidad    |
|-----------------------------------|-------------|
| Académicos CIM UC                 | 45          |
| Académicos Construcción Civil     | 62          |
| Construcción                      | 126         |
| Empresas constructoras            | 142         |
| Empresas de arquitectura y diseño | 25          |
| Diplomado                         | 308         |
| Interno CIM UC                    | 23          |
| Gobierno SERVIUS                  | 61          |
| Inmobiliarias                     | 18          |
| Madereras                         | 5           |
| Prefabricadoras                   | 25          |
| Académicos arquitectura           | 155         |
| Académicos diseño                 | 9           |
| Académicos estudios urbanos       | 4           |
| <b>TOTAL</b>                      | <b>1008</b> |

con un nivel de obstáculo para la construcción en madera en Chile, cuya escala va del 1 al 7 donde 1 corresponde a que la aseveración no es un obstáculo y 7 es un obstáculo muy importante, además se hace una pregunta abierta por sección donde el encuestado identifica si existe otra brecha del sector que no haya sido mencionada. Las secciones son: brecha cultural, brechas tecnológicas, brechas sector público y brechas sector privado.

Luego la quinta sección corresponde a ordenar por prioridad cual es la brecha más importante para el desarrollo de la construcción en madera en Chile, se muestran los títulos de las cuatro secciones previas y el encuestado debe poner números del 1 al 4 ordenando por prioridad, donde 1 es la brecha más significativa y 4 la menos significativa.

Por último, se hacen dos preguntas de identificación del encuestado donde se define área profesional, entregando las siguientes opciones: arquitecto, ingeniero, constructor, gestor inmobiliario, entidad patrocinante, proveedor de productos, docente/ investigador, estudiante u otro. Y sector en el que se desempeña, cuyas opciones son: sector académico, sector privado o sector público.

## ANEXO D: CASOS DE ESTUDIO DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN MADERA, RELEVANTES EN EL CONTEXTO CHILENO DE LA ÚLTIMA DÉCADA

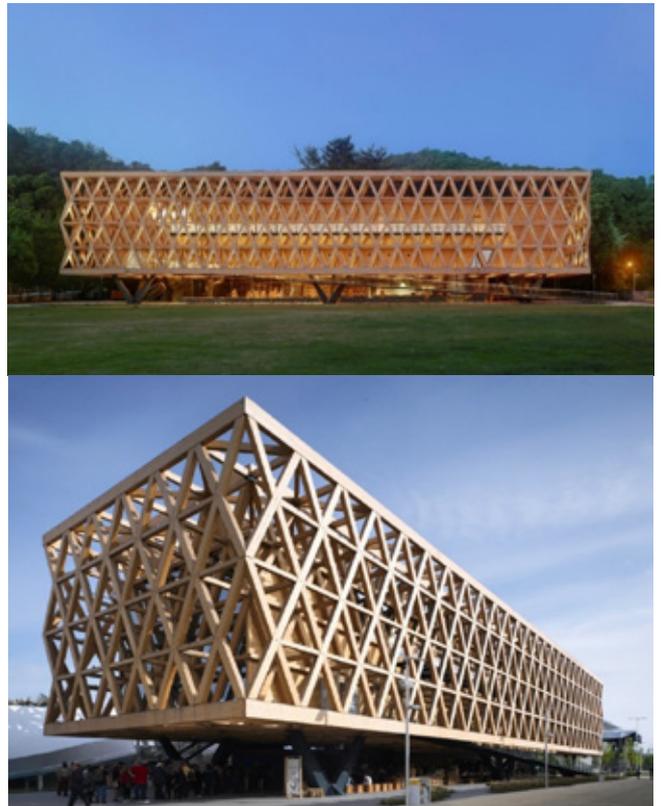
|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| Nombre de la obra:     | Pabellón Expo Milán         |
| Diseño arquitectura:   | Undurraga Devés Arquitectos |
| Año:                   | 2015                        |
| Ubicación:             | Milán, Italia               |
| Estructura:            | Madera Laminada Encolada    |
| Superficie construida: | 1720 m <sup>2</sup>         |

### Descripción general:

El diseño de este edificio consiste en una estructura mecano racional y sencilla, la cual permite un rápido montaje y desmontaje de la obra, ideal para permitir su posterior traslado y reconstrucción de regreso a Chile, para luego poder adquirir un nuevo uso.

### Lecciones aprendidas y brechas:

Si bien el proyecto considera una facilidad de montaje y desmontaje, al haber sido diseñado para ser emplazado en Milán durante un período de 6 meses entre primavera y verano, no tomó en consideración que una vez que fuera trasladado a Temuco, el edificio tanto en su montaje y construcción como en su operación se podría ver afectado por las diferencias drásticas del clima por la humedad ambiental y las precipitaciones de la zona, no solo por la exposición directa de la madera y sus posibles cambios de porcentaje de humedad, y por tanto de su estabilidad dimensional, sino que también por la eventual acumulación de agua en los encuentros inferiores entre diagonales.



Es por esto que requerirá de una inspección y mantención adecuada, y además de un diseño de algún elemento o sistema que proteja la madera.

Fuentes:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/892049/pabellon-de-chile-expo-milan-2015-undurraga-deves-arquitectos>

|                        |  |
|------------------------|--|
| Nombre de la obra:     | Villa Verde  |
| Diseño arquitectura:   | Elemental  |
| Año:                   | 2010   |
| Ubicación:             | Concepción, Chile  |
| Estructura:            | Madera, marco-plataforma   |
| Superficie construida: | 5688 m <sup>2</sup>  |
| Superficie vivienda:   | 56,44 m <sup>2</sup> vivienda tipo A<br>56,88 m <sup>2</sup> vivienda tipo B |

### Descripción general:

El proyecto, realizado por encargo de la empresa Arauco, fue diseñado para dar acceso a trabajadores de la empresa a una vivienda definitiva, utilizando madera MSD estructural de la misma empresa, y aplicando, además, el principio de vivienda incremental, considerando dentro del lote y la estructura de la vivienda el espacio para permitir la ampliación de la vivienda, aproximadamente 18 m<sup>2</sup> para la vivienda A y 28 m<sup>2</sup> la vivienda B.

### Lecciones aprendidas y brechas:

La estructura no hizo uso de placas estructurales, utilizando en su lugar diagonales y cadenetas, y requirió de la instalación en obra de terminaciones como placas de yeso-cartón y fibrocementos. Para maximizar la eficacia de la aislación, se utilizó celulosa proyectada, la cual se adapta sin problemas a las cavidades resultantes entre los pies derechos, cadenetas, vigas y similares.

Dada la gran cantidad de viviendas estandarizadas y la cercanía del proyecto a recursos forestales e industria, este hoy en día en Chile podría construirse de forma totalmente industrializada en madera mediante el



panelizado de los elementos como muros, entrepisos y techos, optimizando aún más los recursos, control de calidad y tiempos de ejecución. Además, la utilización de placas estructurales permitiría no solo facilitar la fabricación y manipulación de los paneles, sino que también la instalación de las barreras de humedad/viento.

Fuentes:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-309072/villa-verde-elemental>

<http://www.elementalchile.cl/>

|                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Nombre de la obra:</b>     | Torre Experimental Peñuelas       |
| <b>Diseño arquitectura:</b>   | Centro de Innovación en Madera UC |
| <b>Año:</b>                   | 2018                              |
| <b>Ubicación:</b>             | Peñuelas, Chile                   |
| <b>Estructura:</b>            | Modular en madera                 |
| <b>Superficie construida:</b> | 24 m2 por piso                    |

### Descripción general:

La torre, a diferencia de un sistema modular convencional de 6 caras, está diseñada con un módulo de 4 caras: 3 muros y un entrepiso. De esta forma el módulo permite su replicabilidad tanto horizontal como verticalmente eliminando la existencia de entrepisos y muros dobles.

Incorpora el uso de tecnología StrongRod de Simpson Strongtie, también conocidos como ATS, la cual consiste en cables de acero en los extremos de los muros, los cuales recorren el edificio desde las fundaciones hasta el último piso, y su fin es reducir los esfuerzos de levantamiento de los muros producidos por cargas de sismos o viento, transformándolas en cargas de compresión que bajen a través de los muros.

Todos los elementos de madera, incluyendo revestimientos, fueron preparados para tener una gran durabilidad, y por lo tanto, requieren de poco mantenimiento.

### Lecciones aprendidas y brechas:

En la torre se estudiarán principalmente las variables de confort interior y eficiencia energética, y el comportamiento de la estructura frente a sismos. Además, se aprovecha la torre para la difusión de las características de este tipo de construcción, a la



vez que, por medio de una encuesta a los asistentes a visitas guiadas, se realiza un estudio de percepción inmobiliaria para este tipo de construcción.

*Fuentes:*

<https://www.madera21.cl/primer-edificio-en-madera-de-chile-se-inauguro-en-penuelas/>

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Nombre de la obra:     | Barrios Oasis de Chañaral y El Salado |
| Diseño arquitectura:   | Centro de Innovación en Madera UC     |
| Año:                   | 2018                                  |
| Ubicación:             | Chañaral, Chile                       |
| Estructura:            | Madera, marco-plataforma              |
| Superficie construida: | 19360 m2                              |

### Descripción general:

Este proyecto entrega en conjunto 352 viviendas para las múltiples familias que perdieron las suyas a raíz de los temporales del norte de Chile en el 2015.

Este contiene edificaciones de estructura íntegramente en madera, en sistema marco-plataforma, con alturas de 2 y 3 pisos. Incorpora múltiples estrategias de diseño y uso de energías renovables para aumentar el confort interior de las viviendas, constituyéndose como el primer conjunto de vivienda social de esta escala en obtener la calificación energética de vivienda A y A+, lo que se traduce en un ahorro de un 84 y un 91% en consumos de calefacción y enfriamiento de la vivienda. Además, reutiliza aguas grises del proyecto para el riego de huertos comunitarios, fortaleciendo las redes en la comunidad.

### Lecciones aprendidas y brechas:

Este proyecto lidió con éxito ante múltiples desafíos:

El primero de estos fue de diseño, él cómo construir en madera en el norte para evitar el sobrecalentamiento y mantener el confort interior. Luego fue el de la aceptación cultural del proyecto por parte de sus futuros usuarios, dada la tradición local de construir en albañilería, adobe y en hormigón. Además, estaban presentes los problemas de acceso al material constructivo y a mano de obra calificada,



recurriendo entonces a: la prefabricación de elementos y su traslado a la obra, y la búsqueda de dicho tipo de mano de obra para el montaje, trabajo de instalaciones, terminaciones, entre otros.

Así, el Oasis de Chañaral demostró en Chile los altos estándares de calidad de una construcción en madera bien diseñada.

Fuentes:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-309072/villa-verde-elemental>

<http://www.elementalchile.cl/>

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Nombre de la obra:</b>     | Barrio Sustentable El Morro Talcahuano                                       |
| <b>Diseño arquitectura:</b>   | CITEC Universidad del Bío Bío  |
| <b>Año:</b>                   | Proyecto en desarrollo   |
| <b>Ubicación:</b>             | Chañaral, Chile  |
| <b>Estructura:</b>            | 1er piso hormigón armado y<br>3 pisos superiores madera,<br>marco-plataforma |
| <b>Superficie construida:</b> | Proyecto en desarrollo   |



### Descripción general:

El proyecto consiste en viviendas sustentables de madera en 14 torres de 4 pisos en el sector El Morro. Este tiene un total de 140 departamentos, que consideran huertos urbanos y áreas verdes, vinculando al conjunto habitacional y sus vecinos con el medio urbano.

El proyecto se ubica en el borde costero afectado por los tsunamis tras el terremoto del 27 de febrero del 2010, por lo que opta en construir el primer piso como un espacio no habitable, de pilotes y muros de hormigón armado, imitando la forma de los palafitos.

### Lecciones aprendidas y brechas:

El proyecto busca ser el pionero en la construcción de conjuntos de vivienda en madera de mediana altura completamente industrializados. Si bien esto presenta un avance tecnológico y para la difusión de la densificación de la edificación en madera, la estructura de madera propiamente tal es de 3



pisos, lo cual ya ha estado presente en el contexto chileno, especialmente en el caso del Barrio Oasis de Chañaral, donde ya se desarrollaron edificaciones de madera sustentables y de 3 pisos de altura. Aún falta dar el paso hacia los edificios de 4 a 6 pisos con al menos cuatro o más de estos construidos en madera.

*Fuentes:*

*<http://noticias.ubiobio.cl/2016/11/11/ubb-realizara-estudios-tecnicos-primer-eco-barrio-sustentable-madera-la-region-del-biobio/?print=print>*



**BANCO MUNDIAL**

BIRF • AIF | GRUPO BANCO MUNDIAL

América Latina y el Caribe

*Oportunidades para todos*



## LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN MADERA EN CHILE

Un pilar para el desarrollo sostenible y la agenda de reactivación