UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO - CHILE

TITULO

"ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA MADERA INDUSTRIALIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS SOCIALES MEDIANTE PANELES PREFABRICADOS"

PABLO MONJE SAZO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE CONSTRUCTOR CIVIL

PROFESOR GUÍA: SR. FRANCISCO LAGOS P.

2022

DEDICATORIA

A mi Lela y a mi Tata.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, a mis amigos y a Javiera por su amor y apoyo incondicional.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal, plantear una solución constructiva alternativa para abordar el déficit habitacional de manera sustentable y amigable con el medio ambiente considerando el rápido y catastrófico avance del cambio climático. Como propuesta se empleará la utilización de un sistema constructivo industrializado basado en el aprovechamiento de la madera, elemento con diversas características físicas y mecánicas que lo sitúan como un material idóneo para resolver la problemática.

En primera instancia se plantean las problemáticas relacionadas al déficit habitacional en Chile, entregando antecedentes actuales respecto de la creciente necesidad de crear soluciones habitacionales, estudiando los entes responsables de generarlas. Además, se demuestra empíricamente que el Cambio Climático corresponde a un fenómeno de consecuencia humana y se argumenta porque Chile es un país considerado de alto riesgo considerando todas las consecuencias que este fenómeno trae consigo.

En la etapa siguiente de este estudio, se demuestra porque la madera industrializada es el material más idóneo para resolver la problemática, exponiendo sus características físicas y mecánicas, su aplicación en países desarrollados y sus limitantes con la normativa chilena.

Finalmente, se evaluará la factibilidad de ejecutar un proyecto de vivienda social con el método planteado, simulando la construcción de este y comparándolo con un sistema tradicional, evaluando y comparando los costos, plazos y la huella de carbono asociada a la construcción y a la vida útil del mismo.

ABSTRACT

The main purpuse of this study is to propose an alternative constructive solution to satisfy the housing shortage in a sustainable and environmentally friendly way, considering the rapid and catastrophic advance of global climate change. As a proposal, it will be considered the use of an industrialized construction method based on the exploitation of timber, an element with various physical and mechanical characteristics that place it as an ideal material to solve the problem.

In the first instance the problems related to the housing deficit in Chile are studied and exposed, providing current background about the growing need to create housing solutions, analyzing the governmental entities responsible for generating them. In addition, it is empirically demonstrated that Climate Change corresponds to a phenomenon of human consequence, and it is argued that Chile is a country considered to be at high risk considering all the consequences that this phenomenon brings with it.

In the next stage of this study, it is shown why the industrialized timber construction is the most suitable material to solve the problem, exposing its physical and mechanical characteristics, its utilization in developed countries and its limitations with Chilean regulations.

Finally, the feasibility of executing a social housing project with the proposed method will be evaluated, simulating its construction, and comparing it with a traditional system, comparing costs, terms and the carbon footprint associated with construction and useful life.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **ii**

AGRADECIMIENTOS ..... **iii**

RESUMEN ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TABLA DE CONTENIDO ..... **vi**

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES GENERALES **3**

1.1 Antecedentes y Fundamentación **3**

1.2 Problemática **5**

1.3 Objetivos **12**

1.3.1 Objetivo General 12

1.3.2 Objetivos Específicos 12

1.4 Alcance **13**

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO **14**

2.1 Vivienda Social y Política Habitacional en Chile **14**

2.1.1 Política Habitacional 15

2.1.2 Déficit Habitacional 18

2.2 Cambio Climático **22**

2.2.1 Contexto Nacional 27

2.3 Madera **31**

2.3.1 El rol de la industrialización y las ventajas de construir con madera 34

2.3.2 Métodos constructivos con madera industrializada 40

2.3.3 Mercado Forestal Chileno 44

2.4 Marco Normativo Chileno 45

2.4.1 Resistencia al fuego 48

2.4.2 Desempeño Acústico de Elementos 50

2.4.3 Aislamiento Térmico de Elementos Constructivos 51

2.4.4 Normativa de Estabilidad Estructural y Sísmica 55

2.4.5 Normativa específica en relación con el uso de madera en construcción 56

2.4.6 Actualización de normas nacionales 58

2.5 Entidades Asociadas 59

2.5.1 Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) 59

2.5.2 Servicio de Vivienda y Urbanización (SERVIU) 60

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 62

3.1 Tipo de investigación 62

3.2. Diseño de la investigación 62

3.3 Presentación del Proyecto 63

3.2 Descripción vivienda mediante paneles prefabricados de madera 67

3.2.1 Obra Gruesa 67

3.2.2 Terminaciones 74

3.2.3 Instalaciones 75

3.2.4 Proceso constructivo 75

3.3 Descripción vivienda mediante albañilería 77

3.3.1 Generalidades 77

3.3.2 Obra Gruesa 78

3.3.3 Terminaciones 78

3.3.4 Proceso constructivo 79

CAPÍTULO IV DESARROLLO.....81

4.1 Análisis económico 81

4.2 Análisis plazos de construcción 86

4.2.1 Obra gruesa.....86

4.2.2 Terminaciones 89

4.2.3 Instalaciones 90

4.3 Análisis huella de carbono.....92

4.3.1 Etapa de producción 93

4.3.2 Etapa de construcción 96

4.2.3 Etapa de uso.....97

4.2.4 Etapa fin de vida 98

CONCLUSIONES.....100

BIBLIOGRAFÍA.....106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Emisiones de CO2 por sector 6

Figura 2 Productividad según sector productivo 9

Figura 3 Tasa de innovación por sector en Chile 10

Figura 4 Porcentaje de viviendas construidas con madera 11

Figura 5 Déficit periodo 2015 v/ s2017 21

Figura 6 Evolución histórica campamentación en Chile 22

Figura 7 Evolución variación de temperatura terrestre 1850-2018.....24

Figura 8 Emisión de CO2 para la producción de energía periodo 1900-2020.....24

Figura 9 Emisión de CO2 totales (kt) por sector, 1990-2018..... 1029

Figura 10 Comparación del CO2 producido por distintos materiales 33

Figura 11 Isométrico proyecto Villa Verde 2164

Figura 12 Isométrico paneles de madera 224

Figura 13 Isométrico paneles sistema marco-plataforma 65

Figura 14 Planta primer nivel sin ampliación 1066

Figura 15 Planta segundo nivel sin ampliación 66

Figura 16 Estructura muro perimetral 2168

Figura 17 Estructura muro medianero 229

Figura 18 Estructura entrepiso..... 63

Figura 19 Estructura techumbre…….....71

Figura 20 Entramado muros 1073

Figura 21 Secuencia constructiva madera industrializada 77

Figura 22 Secuencia constructiva albañilería 2180

Figura 23 Carta Gantt obra gruesa Vivienda Industrializada 87

Figura 24 Carta Gantt Obra Gruesa Albañilería……. …….……88

Figura 25 Carta Gantt terminaciones vivienda industrializada 1089

Figura 26 Carta Gantt terminaciones Albañilería 89

Figura 27 Carta Gantt instalaciones vivienda industrializada 2190

Figura 28 Carta Gantt instalaciones albañilería 91

Figura 29 Etapas ciclo de vida …… ……93

Figura 30 Carbono incorporado en obra gruesa / m2…….....95

Figura 31 Comparación carbono incorporado 1095

Figura 32 Kg Co2 eq según tipo de transporte 97

Figura 33 Kg Co2 eq según fuente energética 2198

Figura 34 Kg Co2 eq liberado según tipo de construcción 98

Figura 35 Carbono incorporado madera industrializada v/s albañilería…….……...99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componente del déficit habitacional cuantitativo 19

Tabla 2 Componente del déficit habitacional cualitativo 20

Tabla 3 Resistencia al fuego requerida para elementos de construcción 49

Tabla 4 Exigencia de acondicionamiento térmico 53

Tabla 5 Actualizacón normativa chilena 58

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Chile la construcción de viviendas con madera se asocia a soluciones habitacionales transitorias que presentan bajos estándares de bienestar habitacional, lo que ha generado una suerte de rechazo por parte de las personas a adquirir este tipo de viviendas, no obstante, presentan buenas bondades cuando son construidas en forma industrial bajo un buen diseño, lo que puede llevar a obtener viviendas de excelente calidad a un bajo costo.

Es así como el Sistema Constructivo Modular Industrializado (SCMI), inscrito en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), permite construir viviendas con estructura de madera en forma industrializada. Este Sistema Constructivo asegura altos niveles de calidad, facilidad y rapidez de construcción, una menor emisión de gases de efecto invernadero, buen comportamiento acústico y de resistencia al fuego, y un excelente comportamiento sísmico debido a su menor peso estructural (CORMA, 2007).

Además, experiencias realizadas por Fundación Chile, resaltan las bondades de este tipo de construcción industrializada de viviendas, donde se destaca el buen comportamiento térmico que presentan por sobre las viviendas tradicionales de ladrillo y hormigón, lo que genera un importante ahorro energético y un muy buen confort térmico.

La preocupación de proveer vivienda a un precio accesible para una amplia población es una preocupación en todos los países. En muchos de estos las preocupaciones por el déficit de viviendas vienen dadas fundamentalmente por el alto precio del suelo y la construcción de las viviendas, mientras que en otros la preocupación fundamental radica en la escaza

capacidad de ingresos y ahorros para la compra de viviendas de un porcentaje significativo de la población.

Frente a esta problemática, los países han seguido diferentes enfoques en sus políticas habitacionales, combinando adicionalmente, cada vez más dichas políticas con perspectivas de sustentabilidad medio ambiental e innovación tecnológica. Particularmente en este último campo, no son pocos los gobiernos que han implementado políticas específicas para incentivar la construcción de viviendas económicas usando “nuevas” tecnologías constructivas como los son las viviendas industrializadas.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Antecedentes y Fundamentación

Durante el último siglo la población mundial ha incrementado de manera exponencial, donde se estima que esta cantidad ha aumentado al doble respecto del año 1968, alcanzando en la actualidad, los 7 mil millones de habitantes. Estudios recientes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), indican que para el año 2100 se espera que esta cifra, siga aumentando hasta alcanzar los 11 mil millones de personas (ONU, 2019).

Las consecuencias de este fenómeno traen consigo diversos efectos negativos sobre el planeta y la sociedad, incidiendo directamente en el impacto ambiental, la disponibilidad de recursos y la desigualdad social. En este contexto según proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la población en Chile para el año 2035 superará los 21 millones de habitantes, requiriendo en consecuencia, la creación de aproximadamente 2.7 millones de nuevas soluciones habitacionales (CCHC, 2020).

Por otro lado, la desigualdad socioeconómica en Chile continúa siendo un problema presente. A pesar de tener un Producto Interno Bruto (PIB) per cápita de 13.231 USD (BM, 2019). Chile es uno de los países más desiguales de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), según el Índice de Gini[1], coeficiente utilizado para medir

[1] El índice o coeficiente de Gini es una medida muy utilizada en el sector económico a través de la cual se calcula la desigualdad de ingresos entre los ciudadanos de un territorio determinado, aunque lo cierto es que es un índice utilizado, normalmente, entre los ciudadanos de un país.

la desigualdad, se sitúa en el puesto N° 24 de 159 países con datos disponibles, estableciéndose como el país más desigual de la OCDE al año 2019.

Una de las distintas manifestaciones tangibles de la desigualdad se presenta en el acceso a condiciones mínimas de bienestar, como la salud y la vivienda (Paniagua, 2021).

De acuerdo a lo mencionado, se puede inferir que Chile puede enfrentar una crisis habitacional, afectando cerca del 10% de la población (TECHO-Chile, 2021). Se entiende por déficit habitacional como el conjunto de necesidades habitacionales insatisfechas dentro de una determinada población y suele distinguirse entre un déficit cuantitativo, que corresponde a la necesidad de crear viviendas nuevas, producto del aumento de la población y otros factores que se comentaran posteriormente, y un déficit cualitativo, el cual tiene relación con aquellos hogares no cuentan con estándares mínimos de materialidad y habitabilidad y que, en consecuencia, requieren reemplazo (CEPAL-CELADE, 1996).

Se estima que actualmente en Chile existen 81.643 familias viviendo en campamentos y otras 500.000 viviendo en condición de allegada, es decir, un 74% más que en 2019, siendo la cifra más alta desde el año 2016 (Social, 2020). Es por esto que se hace indispensable lograr satisfacer la demanda habitacional de forma eficiente, y mejorar la respuesta mediante el trabajo colaborativo entre el sector público, las organizaciones de la sociedad civil y las empresas privadas.

Es así, como el poder encontrar y analizar distintos materiales constructivos, en pos de una mejora en los procesos de construcción, en su trato con el medio ambiente, y en la eficiencia general.

1.2 Problemática

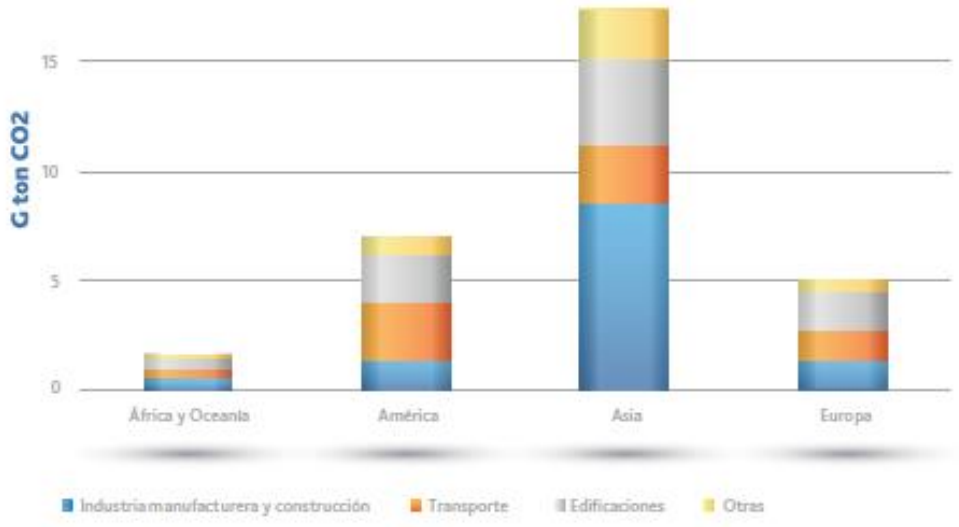
El cambio climático es uno de los mayores desafíos que ha debido enfrentar la humanidad a lo largo de la historia, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la tendencia al calentamiento que vivimos actualmente es inequívoca y se estima con una probabilidad mayor al 95% que la mayor parte de él sea el resultado de la actividad humana, principalmente detonado por la excesiva emanación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el Monóxido de Carbono (CO), desde mediados del siglo XX y que se encuentra avanzando a un ritmo sin precedentes.

Se puede evidenciar este fenómeno cada vez con más frecuencia y severidad principalmente con el incremento de la temperatura global, el aumento del nivel del mar y su temperatura, y en consecuencia el derretimiento y disminución del volumen glacial Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), provocando un clima cada vez más inestable, poniendo en riesgo la integridad de los ecosistemas y la humanidad (NOAA, 2022).

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA), y con respecto a las emisiones provenientes de la quema de combustibles, al 2016, Asia tendría una participación del 56% de las emisiones de CO_2 globales, resultado en que inciden mayormente las emisiones de China, India y Japón. Los sectores con mayor contribución a la emisión serían la generación de electricidad y calor (cerca de 43%) y el transporte (cerca del 21%). Las edificaciones de uso residencial, comercial y para servicios públicos, contribuyen con cerca del 9% de las emisiones (UN, 2022).

Luego de asignar las emisiones de la generación de electricidad y calor a través de los sectores, la industria manufacturera y construcción contribuye con un 38% de las emisiones, mientras que las edificaciones (lo construido) y el transporte contribuyen con el 27% y un 22%, respectivamente. Reforzando este punto, según la agencia internacional *Global Alliance for Buildings and Construction,* el sector de la construcción acumula cerca del 40% total de emisiones de CO_2, del cual, un 70% se explica por la emisión en el proceso constructivo y el tiempo operativo o vida útil (UN, 2022). Respecto de la situación Nacional, según el Tercer Informe Bienal de actualización sobre Cambio Climático (2018), durante el año 2012 Chile contribuyó con el 4.7% de las emisiones de la región, acumulando los 87,9 miles de [kt] de CO_2, aumentando cerca de cuatro veces en los últimos 30 años.

Figura 1 Emisiones de CO2 por sector



Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2019

En Chile, no existe claridad en cuanto a las cifras oficiales por parte de las autoridades que den cuenta con exactitud cuál es la incidencia de la construcción en la emisión de gases de efecto invernadero, no obstante, a partir del Tercer Informe Bienal de actualización de Chile sobre cambio climático (2019) es posible aproximarse a una estimación de esta relación entre la industria de la construcción y la emisión de GEI donde se estima que la industria incide en un 22,8% en la totalidad de emisiones de gases de efecto invernadero del país considerando en este total, las emisiones producidas por la importación de cemento, transportes de carga, el uso de maquinaria pesada y especializada y además , las relacionadas al uso de energía del sector comercial, publico y residencial.

Luego de haber realizado este análisis de emisiones del país en el contexto global y nacional y una estimación de las emisiones del sector construcción, es posible establecer el grado de vulnerabilidad del país ante el cambio climático. Para esto, se han establecido diferentes criterios que permiten categorizar el nivel de vulnerabilidad de cada territorio, es así como en 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992) estableció 9 criterios:

- Ser un país con zonas costeras bajas.
- Ser un país con zonas áridas o semiáridas, o con bosques y áreas expuestas al deterioro forestal.
- Ser un país con territorios susceptibles a desastres naturales.
- Ser un país con zonas expuestas a la sequía y a la desertificación.
- Ser un país con zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica.
- Ser un país con zonas de ecosistemas frágiles, como los ecosistemas montañosos.

- Ser un país cuya economía depende en gran medida de los ingresos generados por la producción, el procesamiento y la exportación de combustibles fósiles y productos asociados de energía intensiva, de su consumo.
- Ser un país insular y pequeño.
- Ser un país sin litoral o un país de tránsito.

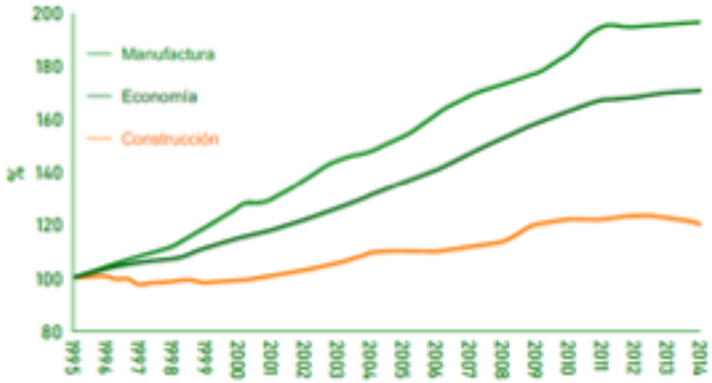
Chile cumple con 7 de estos 9 criterios, por lo que se clasifica como un país altamente vulnerable a los efectos adversos que provoca el cambio climático, es por lo anterior que se hace indispensable aplicar nuevas tecnologías, metodologías y materialidades para satisfacer la profunda crisis habitacional que atraviesa el país, minimizando el impacto que esto pudiese tener en el planeta, para esto, la construcción de vivienda e infraestructura debe ir en línea con un desarrollo sostenible, aprovechando los recursos disponibles de manera responsable y asegurando una mejora en la calidad de vida de las personas.

A pesar de lo anterior y de que la industria de la construcción es de los sectores productivos más relevantes económicamente, también es uno de las que menos ha variado o se ha adaptado a las nuevas tecnologías dentro de los distintos sectores, y muestra el peor desempeño en todos los aspectos de la sostenibilidad económica, ambiental y social (Autodesk, 2013).

Adicionalmente a esto, la construcción se encuentra entre los sectores menos digitalizados del mundo según el índice de digitalización de McKinsey. En la industria nacional esta tendencia se mantiene, ya que presenta una tasa de innovación por debajo del promedio a pesar de representar cerca del 7% del PIB.

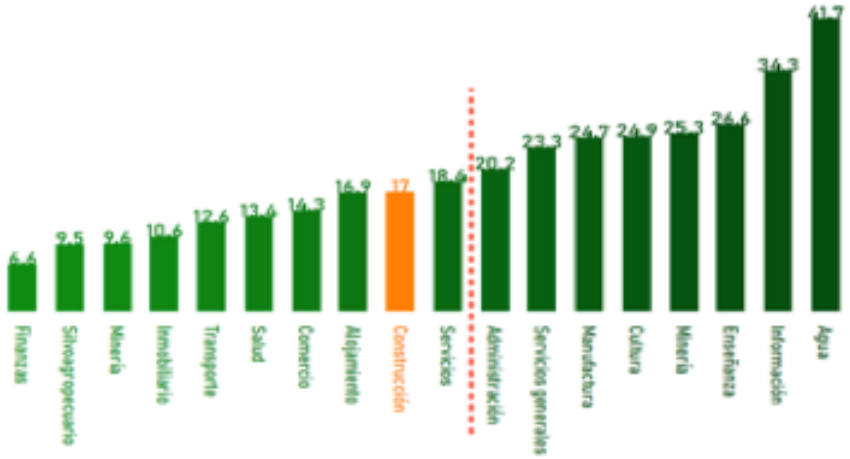
De acuerdo con el *McKinsey Global Institute,* por ejemplo, el sector de la construcción invirtió el 0.7% de su valor agregado bruto anual entre 1991 y 2007 en activos digitales. En comparación al 4,3% invertido en la intermediación financiera y un 1,8% en manufactura. (Autodesk, 2013)

Figura 2 Productividad según sector productivo



Fuente: McKinsey global Institute analysis, 2016.

Figura 3 Tasa de innovación por sector en Chile



Fuente: Décima encuesta nacional de innovación

Según esta misma agencia, existen dos alternativas para avanzar en materia productiva. La primera se refiere a un cambio incremental, lo cual implica mejorar todos los aspectos de los procesos actuales, mejorando la tecnología y capacitando a los trabajadores, sin embargo, esta medida solo provocaría un incremento del 50 % en la productividad.

La segunda posibilidad es avanzar hacia la industrialización de la construcción; la prefabricación en conjunto con la aplicación de distintas metodologías y estrategias, en entornos controlados permite mejorar la seguridad laboral, disminuir costos y tiempos de ejecución, reducir considerablemente la cantidad de residuos y desechos y aumentar la productividad en por lo menos un 500%.

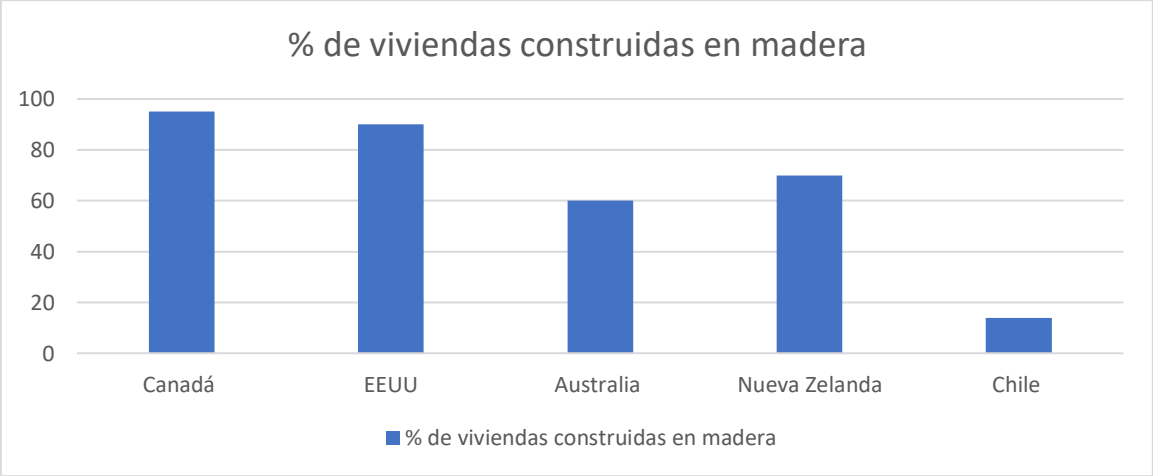
Para llevar a cabo la prefabricación, actualmente se cuenta con tres alternativas de materiales estructurales diferentes, estos son: hormigón, acero y madera. De estos tres, el que presenta

mejor evidencia de sostenibilidad es la madera. Dentro de sus características se tiene que es un material renovable, reciclable, con bajo impacto energético, presenta buenas características como aislante térmico y acústico, es carbono negativo y además liviana, pero, además, altamente resistente (Zilic, 2018).

Sus características mecánicas, hacen que este material sea particularmente adecuado para la industrialización dado que es más precisa y fácil de manipular y montar.

La industrialización en base a madera es una de las tendencias en de la construcción sostenible a nivel global, y su crecimiento se da tanto por la demanda del cliente final como por el avance de las políticas públicas. Se estima que en chile cerca de un 14% de las soluciones habitacionales son construidas con madera como material estructural predominante, mientras que en países desarrollados y líderes en materia forestal como Canadá o Estados Unidos (MINVU) más de un 90% de las viviendas son construidas con este material.

Figura 4 Porcentaje de viviendas construidas con madera



Fuente: MINV, 2019.

Las tendencias y desafíos globales en materia medioambiental, demográfica, laboral y digital están fuertemente marcadas por la sostenibilidad como vector principal de crecimiento y ofrecen a su vez grandes oportunidades para dinamizar la industria, en este caso de estudio particular, se pretende analizar la madera industrializada como material de construcción para satisfacer la demanda habitacional que requiere el País y de esta manera dar solución de manera amigable con el medio ambiente, aumentando la productividad y eficiencia, dándole valor agregado a un producto del cual se dispone ilimitadamente, en la medida que se utilice con responsabilidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar una propuesta alternativa de construcción de viviendas sociales mediante la utilización de madera industrializada en paneles prefabricados.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar el proceso de construcción tradicional de viviendas sociales en la actualidad.
- Determinar los factores y características relevantes que conlleva la construcción y uso de madera industrializada.

- Realizar un análisis comparativo entre el uso de sistema constructivo tradicional y sistema constructivo con madera industrializada en las viviendas sociales.

1.4 Alcance

Conocer la viabilidad de construir viviendas sociales con madera industrializada, con el fin de promover la utilización de este material estudiando sus características, materiales, métodos constructivos y aplicación según la normativa vigente en Chile.

Para efectos de demostrar que la madera industrializada responde a las necesidades antes planteadas, se estudiará un proyecto habitacional con madera como material predominante, diseñado por el arquitecto Alejandro Aravena, y se hará un comparativo económico y medioambiental manteniendo su diseño y cambiando su materialidad por albañilería confinada.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Vivienda Social y Política Habitacional en Chile

Existen diversos significados para lo que se conoce como vivienda social, según Haramoto, se conoce como "*el lugar adecuado que aloja a la familia humana permitiendo su desarrollo pleno en cumplimiento con sus fines, necesidades y aspiraciones*", además incluye en su definición que no solo se compone por la unidad en sí, si no que representa a escala, las unidades y las agrupaciones habitacionales ubicadas dentro de un contexto urbano o rural en toda la extensión del país (Haramoto, 1980).

Asimismo, se puede entender vivienda social, como aquella vivienda destinada al mejoramiento de la situación habitacional de los grupos más desposeídos de la sociedad. Para el autor, la política habitacional es la expresión oficial del Estado sobre el modo de orientar, encauzar o dirigir la acción habitacional mediante la formulación de principios, objetivos y estrategias que son implementadas mediante planes y programas dentro de ciertos marcos jurídicos, institucionales y financieros, es decir, la política habitacional no debe ser comprendida solamente como la entrega de la vivienda como un fin, sino que existen elementos transversales a esta, como lo son determinadas concepciones institucionales y financieras que juegan un rol clave dentro del desarrollo de esta política de gran escala, la cual juega además un rol clave en la historia de Chile (Haramoto, 1980).

En Chile, actualmente existen dos instituciones estatales encargadas de implementar la Política Habitacional nacional, a continuación, se indican algunas características del

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) vinculada a la creación de políticas y el Servicio de Vivienda y Urbanización encargado de aplicarlas.

2.1.1 Política Habitacional

La entidad gubernamental encargada de las políticas habitaciones y de la supeditación de las mismas, es el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), del cual se extrae un nuevo enfoque dado por los siguientes puntos:

- **Nuevas políticas de arriendo**: Desde el 2014 existe el **Programa de Arriendo** el cual apunta principalmente a familias jóvenes, mejorando el alcance y la oferta, contribuyendo a la integración social y urbana. Este programa propone un Arriendo Protegido, fomentando la utilización de suelos fiscales para luego concesionar mediante licitación pública, la construcción de viviendas para arriendo bajo la condición de contemplar un porcentaje de estas a beneficiaros del subsidio de arriendo.
- **Atención a la clase media:** Mediante el Programa de Subsidio para Sectores Medios del MINVU se pretende entregar subsidios habitacionales con el fin de apoyar la compra o construcción de una vivienda a núcleos familiares que tiene la posibilidad de ahorrar o la posibilidad de complementar mediante créditos hipotecarios o recursos propios.

- **Más integración social:** A través del Programa de Integración Social y Territorial se busca fomentar la integración social mediante la construcción de conjuntos habitacionales son diversidad social, destinando el 27% de las viviendas para las familias más vulnerables de la población.
- **Vivienda sin deuda: El Fondo Solidario de Elección de Vivienda,** dispuesto para las familias más vulnerables, contribuye a reducir con fuerza el déficit cuantitativo de viviendas, asignando anualmente recursos para la adquisición de viviendas o construcción de proyectos habitacionales.
- **Mejoramiento de vivienda y barrio:** Mediante el **Programa Mejoramiento de Vivienda y Barrios**, se busca mejorar la mirada sobre el patrimonio individual poniendo principal énfasis en la mejora de la calidad residencial de personas y el mejoramiento de los entornos.

En cuanto a los campamentos, mediante un conjunto de medidas se pretende como prioridad, no solo atender las necesidades de familias que viven en asentamientos irregulares, sino también la creación de herramientas para reducir la inserción de nuevas familias. Para esto, en el año 2018 se implementó un Nuevo Catastro Nacional de Campamentos, el cual entrega datos más actualizados mediante la aplicación de metodologías e instrumentos tecnológicos que permiten obtener información más precisa que las versiones anteriores.

Junto con la anterior, se ha establecido en conjunto con entidades privadas e instituciones sociales, una mesa de trabajo denominada Compromiso País con el objetivo de dar nuevas soluciones para eliminar los campamentos, entregando más subsidios de adquisición de

vivienda para proyectos ya ejecutados, desarrollar proyectos nuevos de para el cierre de campamentos y modernizar herramientas de selección.

Por otro lado, mediante la Política Nacional de Parques Urbanos se trabaja en el desarrollo de una política que permita un acuerdo nacional respecto del acceso de las áreas verdes, proponiendo a la vez, un programa que promueva el diseño, construcción y mantención de más áreas verdes urbanas.

La instauración de políticas habitacionales en Chile no corresponde a proceso reciente, sino que corresponde a un proceso de larga data cuyos inicios se remontan al año 1906 donde el estado de aquel entonces, presionado por los serios problemas de insalubridad que enfrentaba a la clase obrera y el aumento exponencial de la población, provocado principalmente por el éxodo campo-ciudad, decide dictar la Ley de habitaciones obreras, la cual establece estándares mínimos de higiene y sanidad (Correa, 2016).

Luego de lo anterior, estos estándares evolucionarían a un mínimo común, regulado gracias a la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC) promulgada en el año 1925 y la creación de la Caja de habitación Popular en 1935, mediante la cual se iniciaría la construcción de los primeros proyectos de vivienda social en altura (blocks) con financiamiento estatal, orientado principalmente a la clase media y baja del país (Rivera, 2012).

De esta manera, se comienza a desarrollar un particular modelo de construcción de viviendas sociales en altura, las cuales irían variando en cuanto a su estilo arquitectónico, urbanístico y económico, de acuerdo con los procesos políticos que el país viviese.

Sin embargo, el desarrollo de políticas habitacionales y urbanísticas sufriría un cambio drástico luego de la dictadura militar, donde el estado terminaría desligándose de sus funciones de gestión habitacional, dejándolas en manos del sector privado, generando una nueva tendencia en la vivienda social, la cual dejaría de ser un derecho y pasaría a convertirse en un bien de consumo, para el cual las familias podrían acceder ahorrando (modelo subsidiario) y cuya valorización dependería del mercado (Rivera, 2012).

Bajo esta perspectiva institucional y la desregulación de la economía nacional, se comenzó la construcción masiva de viviendas sociales en zonas donde los terrenos eran más baratos como en la periferia y de muy baja calidad, con el fin de construir masivamente a fin de reducir el déficit habitacional existente. De esta manera durante la dictadura militar, se dio origen a la construcción de grandes conjuntos de viviendas sociales, los cuales han continuado proliferando, como una respuesta al déficit habitacional heredado por el régimen militar y al modelo neoliberal implantado en el país (Rivera, 2012).

2.1.2 Déficit Habitacional

Sin duda, uno de los más grandes desafíos en materia de políticas públicas y habitacionales en las últimas décadas ha sido la persistencia de familias que forman parte del déficit de habitacional y que, a pesar de los esfuerzos en materia de producción de nuevas unidades habitacionales por parte del MINVU, esta problemática continúa afectando a cerca de un 10% de la población chilena (Minvu, 2019).

Para Irarrázaval (2019), el déficit habitacional suele ser separado en dos tipos: el cuantitativo y el cualitativo. El primero corresponde a una variable que indica el número de viviendas requeridas para cubrir la demanda de hogares y habitantes que la necesitan por el hecho de vivir en una vivienda irrecuperable, allegamiento y/o por formar parte de núcleos familiares allegados viviendo en condición de hacinamiento. Por otro lado, el déficit cualitativo indica el número de viviendas que requieren reparaciones, mejoras, ampliaciones o provisión de servicios básicos y que no responden a las normativas vigentes para asegurar la calidad de estas (Irarrazaval, 2019).

Tabla 1 Componente del déficit habitacional cuantitativo

Componente	Descripción
Vivienda irrecuperable	Hogares principales residentes en viviendas consideradas como irrecuperables según índice de calidad global de la vivienda.
Hogares allegados	Número de hogares adicionales al hogar encuestado según lo reportado por hogar principal en la encuesta.
Núcleos allegados hacinados	Número de núcleos familiares adicionales al núcleo principal del hogar y que presenten niveles de hacinamiento medio, alto o crítico.
Déficit Cuantitativo Total	Viviendas irrecuperables + Hogares allegados + Núcleos allegados hacinados

Fuente: CASEN 2015

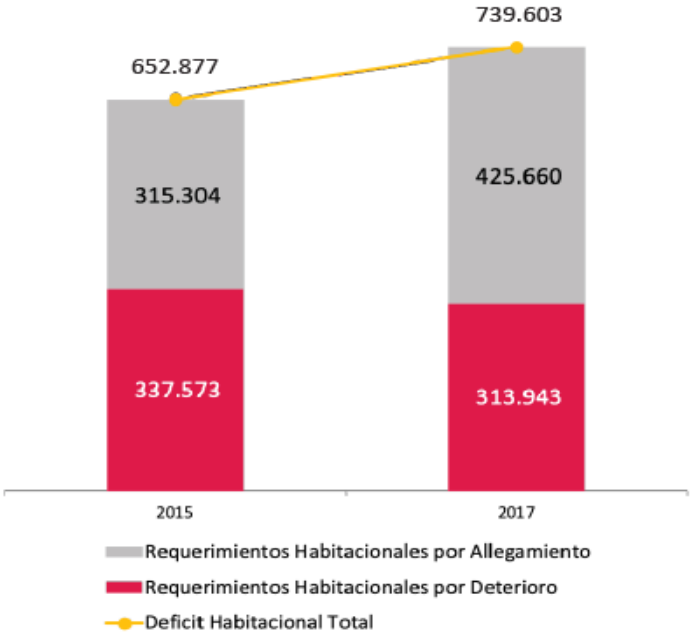
Tabla 2 Componente del déficit habitacional cualitativo

Componente	Descripción
Déficit de ampliación	Hogares principales que presentan hacinamiento medio, alto o crítico y que no tienen allegamiento interno (núcleos allegados hacinados) (excluidas viviendas irrecuperables)
Déficit de servicios básicos	Hogares principales que presentan saneamiento deficitario (excluidas viviendas irrecuperables)
Déficit de mejoramiento material y conservación	Hogares principales que presentan materialidad recuperable y/o estado de conservación malo (excluidas viviendas irrecuperables)
Déficit Cualitativo Total	Número de hogares con 1, 2 y 3 requerimientos considerando los componentes indicados anteriormente, no excluyentes entre sí.

Fuente: CASEN 2015

Según el Ministerio de Desarrollo Social, el déficit cuantitativo presentaba un índice a la baja entre los años 2009 y 2015, sin embargo, luego de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) del año 2017 se evidenció que existen 739.603 familias en busca de una solución habitacional, habiendo sufrido un aumento del 13% respecto del año 2015 afectando de esta manera a 2.218.809 habitantes. Según este mismo estudio, se concluye que para el año 2017 se necesitaban 425.660 soluciones habitacionales para satisfacer el déficit cuantitativo y 313.943 para suplir el déficit cualitativo.

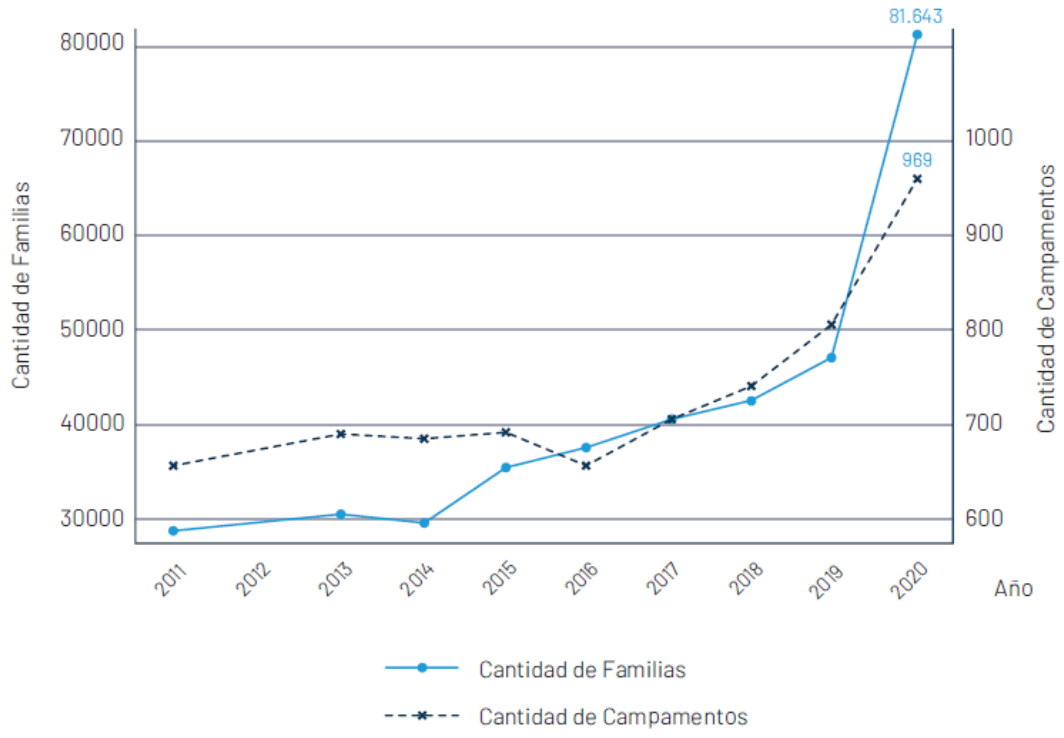
Figura 5 Déficit periodo 2015 v/ s2017



Fuente: CChC, 2017

Actualmente, a causa de la crisis económica, social y sanitaria como consecuencia de la pandemia, que agudizó la vulnerabilidad en miles de familias, y el aumento de población inmigrante, se han elevado aún más estos valores. Se estima que al 2021 el déficit cuantitativo requiere la construcción de al menos 500.000 soluciones. Respecto de este último valor, se estima que puede ser aún mayor llegando a los 600.000 requerimientos debido a las dificultades para llevar a el estudio durante la pandemia. Junto con lo anterior encuesta CASEN del año 2020 en Chile existen 81.643 familias viviendo en campamentos, es decir, un 74% más que en 2019, siendo la cifra más alta desde el año 2016 (Social, 2020).

Figura 6 Evolución histórica campamentación en Chile



Fuente: Catastro campamentos 2021

Los datos mostrados muestran que luego de una reducción considerable del déficit hasta el año 2015, se produjo un aumento importante a partir del año 2017, lo que se explica por un aumento en el allegamiento, es decir hogares independientes que comparten una vivienda.

2.2 Cambio Climático

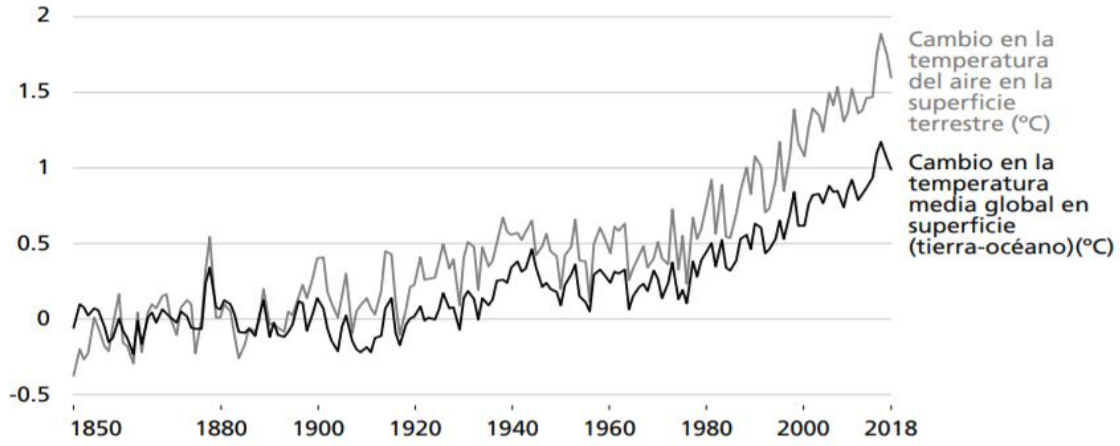
A lo largo de la historia el clima se ha mantenido naturalmente cambiante, estimando que en los últimos 650.000 años la Tierra ha sufrido siete periodos de avances y retrocesos glaciales

finalizando con la última era glacial alrededor de 11.700 años atrás. La teoría más aceptada para justificar dichas variaciones atribuye estos cambios a pequeñas variaciones en la órbita terrestre que incidieron directamente en la cantidad de energía solar recibida (NOAA)

Pese a que los cambios climáticos han sido periódicos a lo largo de la historia del planeta, en los últimos siglos, muchas de estas variaciones observadas en el clima no tienen precedentes en cientos de miles de años y algunas de estas, como el incremento en el nivel del mar, de mantenerse, no se podrán revertir hasta dentro de varios siglos o milenios. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC), existe una probabilidad mayor al 95% de que la mayor parte de estas alteraciones climáticas sean el resultado de la incidencia humana desde mediados del siglo XX y que se encuentra avanzando a un ritmo sin igual (Marin, 2016).

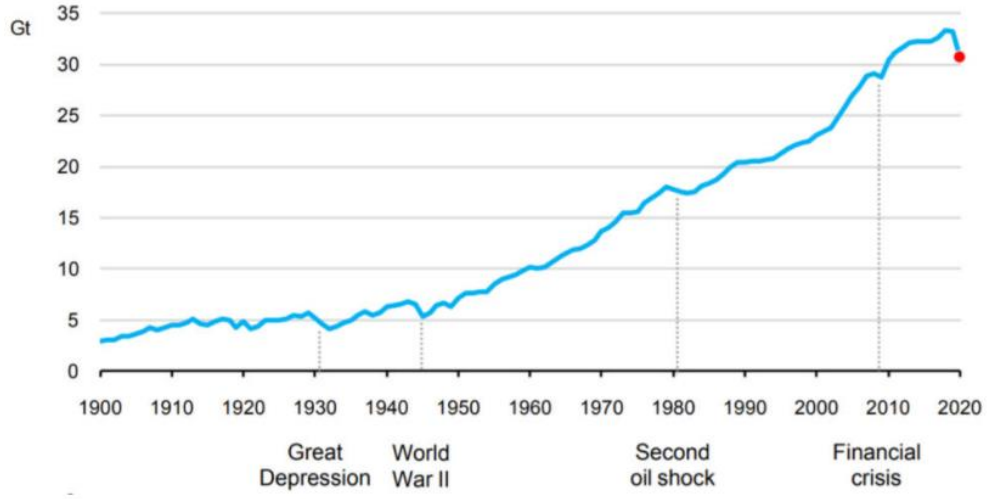
La mayor evidencia para afirmar que el ser humano es inequívocamente el responsable del cambio climático corresponde al incremento de emisiones antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), las cuales han ido en constante aumento desde la primera revolución industrial, principalmente por el aumento de la población y el fomento de la actividad industrial de las grandes economías. Estos gases en la atmósfera naturalmente bloquean el calor que es irradiado por el sol en la superficie y no permiten que escape, elevando en consecuencia la temperatura media terrestre. Según el informe de del IPCC 2021 el dióxido de carbono (CO_2) corresponde al gas con más incidencia en el cambio climático con un 76% de incidencia en él, lo sigue el metano (CH_4) con un 13%, y posteriormente el óxido nitroso (N_2O) y el clorofluorocarbono (CFC_5) con un 6% y 5% respectivamente (IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Quinto Informe de Evaluación (IE5), 2021).

Figura 7 Evolución variación de temperatura terrestre 1850-2018



Fuente: IPCC, 2018

Figura 8 Emisión de CO2 para la producción de energía periodo 1900-2020



Fuente: Global Bank, 2020

Si bien, existía un consenso de que la temperatura global iba en aumento, no se sabía si esto era por causas naturales o por la intervención humana, o ambas. No obstante, Hegerl (IPCC,

2003), establece que, aunque existan causas naturales, es inequívoco que la influencia de la actividad a jugada un rol importante en el calentamiento de la temperatura global.

Entre las causas que se le atribuyen al ser humano se encuentran (Greenpeace, 2019):

- Consumo creciente de fuentes energéticas fósiles (gas natural, carbón mineral, petróleo y sus derivados).
- Deforestación desmesurada y, en consecuencia, disminución de la capacidad de almacenamiento de CO_2.
- Aumento de conversión de suelos forestales en agrícolas y excesivo uso de aerosoles y pesticidas.
- Últimos estudios atribuyen gran parte de las emisiones de GEI a la industria ganadera. Se estima que cerca de un 14% del total de emisiones corresponde a la ganadería industrial debido al crecimiento exponencial de estas explotaciones, es decir, es equivalente al total de emisiones del transporte a nivel mundial.

Ante la necesidad mundial de crear conciencia sobre el cambio climático en 1992 nace la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) con el fin de regular la emisión de los gases de efecto invernadero. Es por lo anterior que se crea la Conferencia de las Partes (COP), órgano supremo de la convención y de la agrupación de países asociados, la cual realiza reuniones anuales en las que participan expertos, científicos y autoridades para discutir temas relevantes respecto del cambio climático.

Desde mediados de los noventa, estas conferencias se han realizado periódicamente, siendo los hitos que se presentan a continuación, los más relevantes:

- En 1997 se firma el protocolo de Kioto para 37 países industrializados, en el cual se establecía que los países desarrollados debían reducir en cinco años sus emisiones de GEI en un 5% respecto al nivel de 1990, sin embargo, EE. UU. y China, dos de los países más contaminantes del mundo, no ratificaron el documento.
- En 2009, en la COP15 en Copenhague, se acuerda reducir en un 50% las emisiones de CO2 equivalente para el año 2050 en relación con el año 1990, sin embargo, nuevamente los países más contaminantes como EE. UU., China, Brasil e India decidieron invalidar estos acuerdos. Posteriormente en la COP16, se crea el Fondo Verde Climático, con el cual, los países más ricos realizarían aportes para que los de menos recursos financien los costos de la lucha contra el cambio climático.
- Posteriormente y en uno de los hitos más relevantes, se realizaría la COP21 del 2015 en la cual se adopta el Acuerdo de Paris, que tiene como objetivo limitar el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2°C mediante el compromiso de reducir sustancialmente la emisión de GEI de los países

Siguiendo esta línea y en el contexto de las metas globales por reducir las emisiones de GEI en el año 2019, Chile anunció, sobre la base del Acuerdo de Paris, que se comprometía a alcanzar la emisión cero de huella de carbono para el año 2050. Esta medida, también conocida como carbono neutralidad significa que, mediante le implementación de medidas de disminución y mitigación, Chile va a compensar las emisiones para llegar a un balance igual a cero. Esta meta claramente impone un gran desafío, incentivar el desarrollo y crecimiento más sustentable en los distintos sectores productivos

2.2.1 Contexto Nacional

Según lo mencionado, la Agencia Internacional de Energía (IEA) y con respecto a las emisiones generadas por el consumo y producción de energías fósiles, Asia resulta ser el principal emisor de CO_2 con un 56% del total de emisiones en el planeta. Así mismo, se estima que los sectores productivos con mayor contribución a la emisión de GEI sería la generación de electricidad y calor con cerca del 43% del total de emisiones, el transporte en tanto aportaría el 21% del total. Las edificaciones de uso residencial y comercial contribuyen a su vez con un 9% de las emisiones (Marin, 2016)

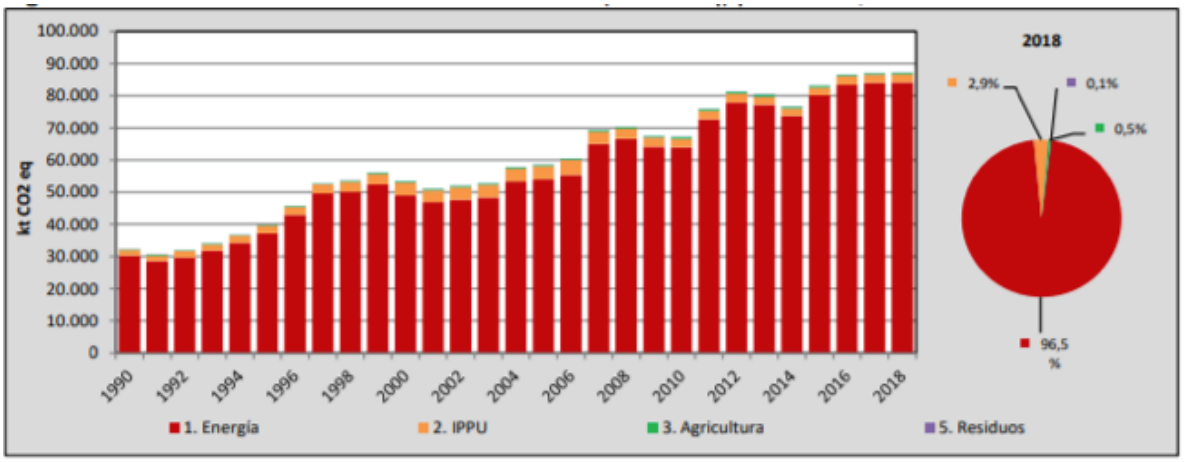
Es así como en el año 2015, Chile se comprometió a reducir en un 30% sus emisiones de GEI para el año 2030 en comparación con los registros del año 2017 (CEPAL-OCDE, 2017). Estos compromisos fueron asumidos por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA), ente encargado de encausar las políticas públicas para alcanzar este objetivo. Se estima que el total de emisiones de gases de efecto invernadero han registrado un aumento de 114,7% desde el año 1990 (MMA, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. TERCER INFORME BIENAL DE ACTUALIZACIÓN DE CHILE SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO 2018, 2018) y un 20% respecto del 2007 (MMA, 2020).

A pesar de los esfuerzos de Chile por alcanzar estos objetivos, existe aún mucha preocupación por fortalecer los compromisos de mitigación considerando lo enunciado por el *Panel on Climate Change* (IPCC) y el objetivo de limitar el aumento de la temperatura de 1,5 °C. Es por esto que Chile busca camino para alcanzar la neutralidad de GEI al año 2050 como lo establece el proyecto de Ley Marco de Cambio Climático (MMA, 2020).

Así mismo, se estima que el rubro de la construcción incide directamente en el 30% del total de emisiones por sector industrial (producción de materiales, proceso constructivo, etc.), esto sin considerar las emanaciones provocadas por los proyectos una vez ejecutadas, es decir durante su vida útil, de esta manera, según la agencia *Internacional Global Alliance for Buildings and Construction* (2018), el sector de la construcción incide en cerca del 40% del total de emisiones a nivel global relacionadas a la generación de energía de los cuales, aproximadamente un 70% se explica por las emanaciones durante el proceso productivo y el tiempo operativo o vida útil.

En Chile, se estima que el total de emisiones de CO_2 se ha cuadruplicado en los últimos 30 años, alcanzando los 87,9 miles de kt en el año 2016, en contraste con los 20 miles de kt al año 1980. A nivel internacional, Chile contribuyó el año 2012 con un 0,25% de las emisiones globales, mientras que, a nivel latinoamericano, su contribución fue de cerca de un 5%. Es importante mencionar que la contribución de Chile en el PIB de la región es de un 5,7%, lo que indica que la actividad económica chilena es menos incidente en cuanto al aporte de emisiones GEI que el promedio global.

Figura 9 Emisión de CO2 totales (kt) por sector, 1990-2018



Fuente: Inventario general de emisiones GEI Chile

Si bien no existen cifras claras que den cuenta de la incidencia del rubro de la construcción en el total de emisiones de GEI en Chile, a partir del Tercer Informe Bienal de actualización de Chile sobre el Cambio Climático (2018) es posible acercarse a una estimación de estas. De esta manera, asumiendo que el total de la producción de materiales como el cemento, hierro, acero vidrio y asfalto es utilizado en la construcción, la elaboración y producción de insumos alcanzaría un 7,5% de las emisiones totales del país. Si a este valor se le suma la importación de cemento, esta cifra alcanzaría el 8,3%. Finalmente, si se agregan las emisiones relacionadas al uso de energía en el sector comercial, público y residencial alcanzaría un total de 22,8% del total de emisiones de GEI en el país.

Es evidente que la industria de la construcción forma parte importante del total de emisiones de GEI en Chile y el mundo, por esta razón y en pro de avanzar hacia el carbono neutralidad, es indispensable innovar tanto el proceso productivo como en la vida útil de las

construcciones, buscando materiales que permitan disminuir la huella de carbono de los proyectos de construcción.

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.

Por otro lado, es necesario mencionar que los bosques chilenos contribuyen sustancialmente a reducir el total de emisiones de CO_2eq. Durante el año 2016 el balance del país alcanzo los 46.185 ktCO_2eq gracias a que los bosques forestales pudieron capturar cerca de -65.500 ktCO_2eq (MMA, 2018), permitiendo la reducción de cerca de un 59% el total de emisiones, esto demuestra la capacidad de los bosques para permitir alcanzar los objetivos anteriormente planteados, principalmente la carbono-neutralidad para el año 2050.

Para el año 2050 se espera alcanzar la carbono-neutralidad, es decir que el total de emisiones de CO_2 sea capturado, para esto es necesario reducir la cantidad de emisiones en base a diferentes medidas, como, por ejemplo, la construcción sustentable. Dentro de los objetivos principales se establece el manejo sustentable de los bosques, la recuperación de 200.000 Ha de bosque principalmente nativo, el cual posee el mayor potencial de captura de CO_2 (Acuña, 2019).

Los esfuerzos de reforestación y el manejo de bosques plantados bajo altos estándares de sustentabilidad son la principal herramienta chilena de cara al carbono neutralidad (BM, 2019). Por esta razón es necesario avanzar en productos forestales de mayor valor agregado

que tengan como propósito, su uso construcción, para que, de esta manera, los nuevas edificaciones y viviendas funcionen como grandes depósitos de carbono.

2.3 Madera

En los últimos años las problemáticas ligadas a la sostenibilidad en la construcción han salido a la luz debido principalmente a los acuerdos internacionales por disminuir el impacto ambiental en las distintas industrias que componen la producción humana. Esta mirada a largo plazo es la que sitúa a la madera como un material idóneo y le han devuelto la atención e interés a un material olvidado con el paso del tiempo. Este interés ha posicionado a la madera como el material sostenible del futuro.

En la actualidad, no existe otro material de construcción que al ser utilizado permita reducir el CO_2 de la atmosfera, contribuyendo de esta manera a mitigar el cambio climático. Esta particular característica permite situar a la madera como la alternativa constructiva con menor huella de carbono[2], ya que, por medio de la fotosíntesis los árboles consumen o absorben dióxido de carbono fijándolo en sus paredes celulares. La extracción y manufactura de madera consume notoriamente menor cantidad de energía que la elaboración de otros materiales, además que la mayor parte de la producción de ella se obtiene de fuentes renovables (Ramage, 2017).

[2] Unidad de medida para cuantificar y generar un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático.

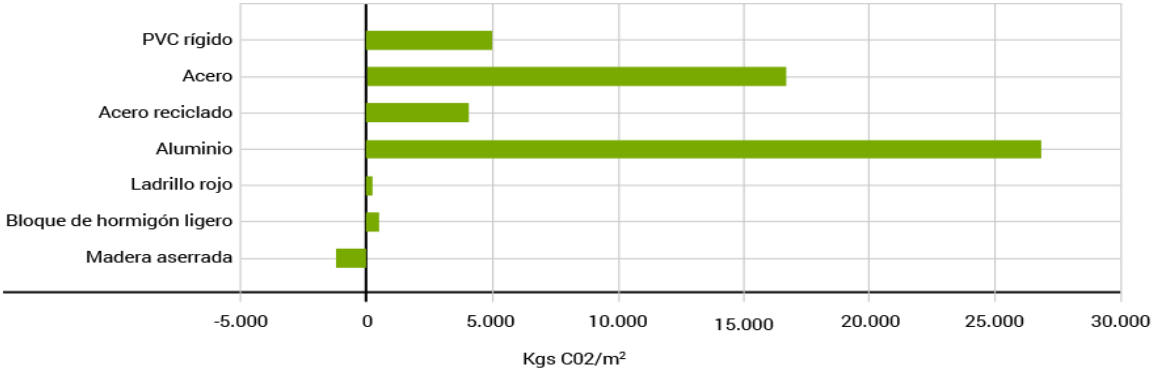
La producción de cemento, vidrio y acero, requieren de muy altas temperaturas para su elaboración. Para esto, son necesarias grandes cantidades de energía provenientes de combustibles fósiles. En consecuencia, de lo anterior la energía requerida para producir 1 ton de estos materiales convencionales, puede multiplicarse hasta por 24 veces a la requerida para producir la misma cantidad de madera. De esta manera, el volumen de CO_2 liberado a la atmosfera durante estos procesos es sustancialmente menor en el caso de la madera.

A lo anterior se suma que la mayoría de los procesos en la industria forestal han logrado reducir las notoriamente las pérdidas y residuos sólidos en su etapa de producción, ya que, prácticamente toda la materia prima puede ser utilizada en productos útiles, como paneles reconstituidos, fibras y combustibles derivados de la madera.

En chile el 70% de las plantaciones cuentan con un sello que acredita su manejo sustentable y que además asegura que la tasa de plantación supere siempre a la tasa de cosecha (Marin, 2016). De esta forma la madera utilizada en una edificación puede potencialmente ser carbono neutral, ya que el CO_2 capturado durante el crecimiento del árbol puede "contrarrestar" el CO_2 emitido durante su procesamiento en una edificación u otra aplicación, pudiendo alcanzar, este ciclo, los 500 años de duración en un ecosistema urbano (Ramage, 2017).

Asumiendo que la madera se obtiene a partir de plantaciones manejadas, los criterios de desempeño sostenible del material superan con creces los de las otras soluciones de estructuración como el acero y el hormigón.

Figura 10 Comparación del CO2 producido por distintos materiales



Fuente: Timber, 2019

Otra de las características destacables de la madera, corresponde a sus buenas características físicas y mecánicas sumada a baja densidad, con un excelente desempeño térmico en relación con otros materiales estructurales. Esto la convierte en una de las alternativas estructurales más livianas e idóneas para ser utilizada en procesos industrializados, los cuales permiten reducir desperdicios y acortar tiempos de construcción in situ, entre otras ventajas que también serán expuestas en el capítulo siguiente.

Complementando lo anterior, recientes estudios de la universidad de Cambridge, Inglaterra 2020, concluyen que las edificaciones de madera son capaces de reducir entre un 34% y un 84% el impacto en el cambio climático respecto de un edificio de hormigón armado (Skullestad, 2016). Además, otros estudios relacionados con sistemas constructivos en Reino Unido han demostrado que, implementado sistemas modulares en base a marcos modulares de madera panelizada fuera del lugar de construcción, pueden reducir en hasta un 50% y 35% el CO_2 y energía requerida en comparación con los métodos tradicionales antes mencionados.

2.3.1 El rol de la industrialización y las ventajas y limitaciones de construir con madera

En los últimos años se ha presentado un creciente interés por parte de los países desarrollados hacia sistemas de construcción industrializados como respuesta a los nuevos requerimientos de "construcción limpia" para suplir la gran demanda de viviendas e infraestructura (Acuña, 2019). Todas las problemáticas anteriormente expuestas, junta con la necesidad de reducir costos han mostrado a la prefabricación como una alternativa viable dentro del rubro de la construcción.

La prefabricación o construcción industrializada se conoce como la metodología de producir y fabricar elementos de una estructura fuera del sitio de construcción para luego transportar los componentes completos o semi armados a los lugares de emplazamiento definitivo del proyecto para luego, mediante métodos mecanizados, ensamblar para crear edificaciones. Todo lo anterior, incluye también trabajo conjunto con tecnologías digitales que permiten planificar y controlar los procesos. De esta manera este sistema ha traído la atención mundial por su potencial para satisfacer los problemas de la actualidad de una manera más eficiente y sostenible. La industrialización y sus procesos han presentado

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).

Los objetivos principales que busca la construcción industrializada son los siguientes:

- Aumentar la productividad
- Sustituir mano de obra por procesos mecanizados
- Acelerar la tasa de construcción
- Disminuir tiempo en adjudicación de proyectos
- Reducir costos
- Mejorar calidad y sustentabilidad de los proyectos

Actualmente existen cinco tendencias que en conjunto componen el concepto de construcción industrializada (Autodesk, 2013), sin embargo, para el caso concreto de este estudio, se ahondará principalmente en la prefabricación, ya que se relaciona directamente al tema en cuestión.

1. Prefabricación

Se define como prefabricación como la construcción *off-site*, es decir, la construcción de elementos y ensambles en una fábrica fuera del lugar de emplazamiento del proyecto, para luego ser transportados y montados en terreno. Según *Canadian Manufactured Housing Institute* se logran distinguir 4 métodos de construcción prefabricada: modular, manufacturadas, panelizadas, y pre - Ingeniería.

En un sistema modular, se distinguen los componentes previamente ensamblados en forma de “cajas” (tres dimensiones) que posteriormente son instalados en terreno, se espera que dichos módulos contengan gran parte las instalaciones y terminaciones tanto interiores como exteriores. El tiempo de instalación dependerá del tamaño y condiciones en terreno.

Las casas manufacturadas o prefabricadas son esencialmente secciones completas de una vivienda que ya están previamente ensambladas, es decir, basta con instalarla en terreno, por sobre las fundaciones previamente construidas in situ, para hacer uso de ella. Generalmente están construidas en una sección, pero dependiendo del tamaño pueden ser construidas a partir de dos secciones. Generalmente y dependiendo del diseño, pueden ser reubicadas.

La construcción panelizada en tanto, consiste en secciones de muro, losa y techumbre previamente manufacturadas en una fábrica para luego ser montadas y ensambladas mediante uniones que dependerán de la materialidad de dichos paneles. La composición de las partes dependerá netamente del diseño, puesto que se pueden formar planchas simples y otras completamente terminadas, con aislación e instalaciones eléctricas, sanitarias, etc. A diferencia de la construcción modular, este tipo de paneles presenta una ventaja en relación al transporte, debido a que, por su forma, ocupan menos volumen y son más fáciles de almacenar.

2. Additive manufacturing

Additive manufacturing o comúnmente conocido como impresión 3D, corresponde a un proceso de fabricación el cual consiste en la construcción de objetos tridimensionales a través de distintas capas ultrafinas, de material que puede ser diverso, desde plástico o metal hasta hormigón u otros materiales compuestos. La industria de la construcción se a acercado bastante a esta tecnología, la cual permite elaborar productos personalizados con gran detalle y elaboración. Esto permite a los contratistas, encontrar soluciones para los proyectos con el uso más eficiente del material. (Acuña, 2019).

3. Robótica

Se conoce robótica como la ciencia del diseño y fabricación mediante la utilización de robots para desarrollar el trabajo aplicando en conjunto procesos mecánicos, eléctricos, computacionales e industriales. Comúnmente se ha utilizado esta tecnología para elaborar tareas sencillas y monótonas, actualmente gracias a los avances, la tecnología en la construcción ha avanzado notoriamente. Podemos encontrar desde robots demoledores, hasta impresoras 3D o albañilería robótica (Zilic, 2018)

El objetivo principal es fabricar mediante un proceso mecanizado y sincronizado, mejorando directamente la calidad de vida de los trabajadores, haciendo su labor más segura y menos demandante físicamente. La robótica permite además almacenar bases de datos acerca de los procesos en los que se trabaja, utilizando así la información recopilada para obtener la máxima eficiencia y precisión (Autodesk, 2013)

4. Big data y Análisis Predictivo

Actualmente el análisis de datos por medio de nuevos de gestión Informáticos como BIM u otras herramientas tecnológicas está siendo usado en gran cantidad en la industria de la construcción. Big data y análisis predictivo permite procesar gran cantidad de información de distintos proyectos y extraer la que sea útil para el nuestro. Esto es posible, analizando los patrones repetitivos de distintas fuentes identificando de manera más fácil posibles fallas o tendencias al error que proyecto pueda tener.

5. Internet of Thing (IoT)

Se conoce como IOT, a una red de objetos físicos que utilizan aparatos electrónicos, tales como sensores o computadores que permiten almacenar información y procesarla de tal manera de hacer lo más eficiente posible los diferentes sistemas. Esta red permite generar un *feedback* para hacer más fácil la toma de decisiones. El sistema se refiere comúnmente como la telemática en la industria de la construcción y puede ser incorporada en sistemas constructivos para monitorear las condiciones de la operación, rendimiento o estado físico de la obra. Esta tecnología cambia la manera en la que se construye, ocupa y mantiene un proyecto y utiliza como principal motor la conectividad.

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 (Marin, 2016).}

Si bien el Centro de Investigación de la Madera de la Pontificia Universidad Católica de Chile destaca la competitividad que representan las estructuras de madera, se pueden diferenciar actualmente 4 brechas importantes relativas al uso de la madera como material de construcción. Según una encuentra realizada por este mismo centro, las 4 limitantes principales para la construcción con esta metodología son brechas tecnológicas, brechas del

sector público, brechas del sector privado y brechas culturales y se consideran importantes a para el desarrollo de la construcción con madera en Chile.

Para la brecha cultural, las barreras más importantes corresponden al riesgo de incendios, costos de mantenimiento, costos de seguros y/o hipotecario, desconocimiento de las ventajas de la madera como material altamente calificado para la construcción y al desconocimiento de los beneficios ambientales. Esto se explica 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 post catástrofes naturales haciendo esta limitante la mas importante a la hora del desarrollo de estas tecnologías.

Respecto a las brechas de los sectores públicos se tienen las normativas gubernamentales y municipales que impiden el desarrollo de edificaciones de madera e incentivan escasamente la construcción con este método constructivo, además de la escasa difusión de los beneficios de la construcción en madera. En tanto el sector privado presenta bajo interés en el desarrollo de estas tecnologías ya que la brecha cultural se refleja en una escasa demanda de soluciones en madera por lo que pareciera ser un negocio poco rentable además que el sector público apoya insuficientemente el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos. (World Bank, 2020)

Otra brecha importante corresponde a la limitante tecnológica, ya que existen estudios que estiman que solo un 0,25% de la madera aserrada estructural que se vende en el mercado presenta certificación de algún laboratorio acreditado para la clasificación de la madera (INFOR, 2020) .Otra limitante corresponde a la escasa preparación o desconocimiento de los profesionales y M.O calificada para la construcción con estas tecnologías lo que se traduce en una escasa oferta y poca experiencia de constructoras especializadas en este tema.

De acuerdo con lo anterior, las brechas público/privadas y tecnológicas requieren de políticas públicas especificas e inversión para ser eliminadas. Estas políticas deben promover el uso de materiales sustentables que beneficien el medio ambiente (como la captura del CO2) en miras a la carbono neutralidad al año 2050, poniendo valor a la sustentabilidad en los llamados públicos y privados y agregar subsidios e incentivos para proyectos específicos en madera que incentiven y fomenten su difusión. Además, debe existir una actualización normativa que permita simplificar los procesos de certificación de soluciones complejas de entramados de madera. (World Bank, 2020)

2.3.2 Métodos constructivos con madera industrializada

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 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Así, este tipo de sistemas es descrito en la normativa nacional, aportándose detalles en reglamentación de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (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.

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.

- Sistema marco – plataforma

Es un sistema constructivo conformado por plataformas y tabiques. Las plataformas corresponden a los entramados horizontales del sistema, constituidos por envigados y elementos de rigidización (tablero contrachapado u OSB). Los tabiques soportantes, también denominados muros estructurales, corresponden a los entramados verticales del sistema, cuya altura equivale a la de un piso, y están configurados por una solera inferior, pies derechos, una solera superior y una placa de rigidización, que puede ser un tablero contrachapado u OSB. El sistema de unión fundamental es el clavo y uniones metálicas mediante pletinas de acero.

- 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 almacenaje de CO_2, 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

Actualmente en el país existen muy pocas empresas produciendo este producto. El CLT provisto por estas empresas, aun no es caracterizado según normativa para su uso estructural en edificio, por lo que su aplicación se ha limitado a cerramientos no estructurales. 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 iguales;

unidas entre sí con adhesivos de calidad estructural y resistencia a las condiciones climáticas. Al estar constituida su fabricación por piezas delgadas, estas pueden ser curvadas previamente, lo que permite elaborar elementos de formas variadas, obteniendo productos con diversos diseños arquitectónicos, que presentan excelentes condiciones estructurales y estéticas. Se destacan así la posibilidad de elaborar elementos constructivos como arcos y vigas complejas.

- 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.

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 dos pisos con entretecho habitable.

2.3.3 Mercado Forestal Chileno

Chile es uno de los 8 mayores productores forestales del mundo, siendo pieza fundamental de los mercados de Norteamérica, Asia, Europa y Oceanía (FAO, 2019). Pese a que mundialmente existen países con superficies forestales mayores a la chilena, Chile ha sido capaz de generar un sector industrial exitoso el cual se ha manejado de manera sostenible a lo largo de los años (CORMA, 2020). De esta manera, el sector forestal representa cerca del 2% del PIB nacional, acumulando durante el año 2019 el 9% del total de exportaciones (CORMA, 2020).

Según el Banco Mundial, al año 2020 el 70% de la madera industrial producida en el país proviene de bosques con certificación de manejo sustentable (BM, 2019) cubriendo una superficie aproximada de 2,3 millones de hectáreas, donde las especies que predominan son el Pino Radiata 56% y el Eucaliptus 38%, lo que corresponde a cerca del 14% del total de superficie forestal de Chile. Así, la superficie total de bosques chilenos alcanza las 17.9

millones de hectáreas de las cuales, 14.6 millones corresponde a bosque nativo, protegidos en su mayoría, por organismos públicos y entidades privadas (CORMA, 2020).

Respecto de la producción de la industria primaria forestal, un 36,8% del total de producción se destina a pulpa y un 34,8% a la madera aserrada. De esta última, un 34% del total producido se destina a exportación (8,1 millones de metros cúbicos). Además de lo anterior, la producción de tableros de madera y chapas representa el 10,2% de la producción nacional, de los cuales cerca de un 50% se exporta fuera del país (CORMA, 2020).

Es necesario mencionar que a pesar de que el rubro forestal y su mercado sea parte incidente de la economía nacional el principal destino de estos productos es el mercado internacional. Los productos de mejor calidad son derivados al extranjero donde se requieren estándares de entrada mayores para su uso, 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.

Junto con lo anterior, se estima que solo el 6% de la madera aserrada en Chile se usa como material para uso estructural y solo el 0,25% se vende con alguna certificación (INFOR, 2020). Además, solo el 53% de la madera aserrada considera secado en planta y un 4% de la madera aserrada es impregnada. Ambos requerimientos son necesarios para su utilización estructural según estándares normativos en la construcción chilena.

2.4 Marco Normativo Chileno

Chile posee uno de los marcos normativos en proyectos de construcción más completos de Latinoamérica al regirse por la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC). Esta

corresponde al cuerpo legal que contiene principios, atribuciones, potestades, facultades, responsabilidades, derechos, sanciones y demás normas que al mismo tiempo regulan entidades, funcionarios, profesionales en las acciones de planificación urbana, urbanización y las construcciones que se ejecuten en el país. Asimismo, la LGUC se rige por un reglamento denominado Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), la cual contiene disposiciones reglamentarias de la ley, regulando procesos administrativos, planificación urbana, urbanización de terrenos, construcción y estándares técnicos de diseño y construcción para la ejecución de proyectos de construcción (Minvu, 2019).

Los municipios por medio de sus Direcciones de Obras Municipales (DOM) son los encargados del control y cumplimiento de los reglamentos y cuadros legales establecidos por la LGUC en sus respectivas comunas. Además, a través de los Planes Reguladores Comunales cada municipio puede definir sus instrumentos de planificación territorial, limitando, por ejemplo, aturas máximas, distanciamientos mínimos, perfiles de calles, rasantes además de delimitar zonas de trabajo, equipamiento, residenciales, equipamiento y esparcimiento (Minvu, 2019). Para ejecutar cualquier proyecto la DOM requerirá de permisos de edificación y de recepción definitiva, en los cuales se verifica el cumplimiento de lo antes mencionado.

Los cuadros normativos chilenos se encuentran en manuales específicos y/o documentos de Normativa Técnica Chilena (Nch) elaboradas por el Instituto Nacional de Normalización (NIN) las cuales se requieren como exigencia según el tipo de construcción, materialidad, etc. De esta manera, cualquier edificación en Chile deberá cumplir con los requerimientos normativos mínimos para su ejecución y aprobación. Algunos de estos requerimientos pueden tener una mayor exigencia dependiendo de la materialidad escogida.

En cuanto al gran impacto que genera la industria forestal, conjugando sostenibilidad económica, social y medioambiental, la mayor parte de los países en los que la actividad forestal juega un rol importante en su economía han desarrollado políticas y programas para promover la utilización de madera como material predominante en edificación y construcción habitacional.

En el caso de algunos países cuya tradición maderera ha perdurado a lo largo de los años, como Canadá, Finlandia, Francia, y Australia, entre otros, se ha normado exitosamente permitiendo la masificación de su uso en los entornos urbanos. Sin embargo, esta se había limitado solo a la construcción de viviendas unifamiliares y solo en los últimos años se ha comenzado a avanzar en los edificios multifamiliares de varios pisos. Esto se debe principalmente a la desactualización de los marcos normativos respectivos a los requerimientos de seguridad contra incendios junto a otros requerimientos técnicos y estructurales.

La organización de las naciones unidas (ONU) ha destacado la contribución de la madera en la construcción para el desarrollo de edificaciones más sostenibles y que ayuden a reducir las brechas de déficit habitacional existentes en el mundo. Mediante el informe *Status Of Public Policies Encouraging Wood Use*, se recalcó la importancia del desarrollo de políticas públicas que promuevan el uso de la madera en construcción, sin embargo, en este mismo documento se señala que en la actualidad la promoción de estas políticas en innovaciones solo está concentrado en los países más desarrollados, dejando a los países en vías de desarrollo, que concentran la mayor demanda de viviendas, la necesidad de que sus gobiernos apoyen e incentiven este tipo de iniciativas (FAO, 2019).

A nivel internacional, las mayores brechas para para el desarrollo de la construcción con madera, se encuentran, la resistencia del sector construcción, el desconocimiento sobre el uso de la madera, falta de políticas públicas en países en vías de desarrollo y restricciones en códigos normativos (FAO, 2019). Como estrategia para abordar estas brechas, países desarrollados como Francia han optado por implementar políticas que fomenten la utilización de la madera como material estructural en proyectos públicos, en donde se debe considerar la utilización de al menos un 50% de uso de materiales orgánicos como la madera (The Times, 2020).

A continuación, se presentan los principales requerimientos normativos que presentan mayores limitantes para el desarrollo de una construcción con madera.

2.4.1 Resistencia al fuego

Según la OGUC en sus artículos 4.3.3 y 4.3.4, la protección al fuego se basa en el tiempo necesario para lograr evacuar a los ocupantes de una vivienda o edificación en caso de incendio, frente a un posible colapso de la estructura. es necesario mencionar que la resistencia al fuego corresponde según la normativa, a una característica de una solución constructiva considerando todas las capas que la componen e independiente de su materialidad, ya que es el conjunto de capas el que contribuye y constituye finalmente la resistencia al fuego.

La OGUC hace referencia a dos sistemas:

- Protección activa: Corresponde al uso de sistemas que logran detectar incendios automáticamente y combatirlo, por ejemplo, a través de sensores de detección de incendio.
- Protección pasiva: Se basa en la capacidad de las soluciones constructivas, que según su configuración es capaz de resistir a un incendio protegiendo la estructura durante un periodo de tiempo determinado. Esta dependerá exclusivamente de los materiales empleados en la construcción de la edificación.

De acuerdo a lo anterior, se requerirán distintos tiempos de resistencia según corresponda denominada "F-", seguido del tiempo de resistencia en minutos, según la función del elemento constructivo, número de pisos, destino de recintos, etc.

Tabla 3 Resistencia al fuego requerida para elemento de construcción en viviendas

N° 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

Fuente: OGUC, 2009

Según el cuadro expuesto, los requerimientos de resistencia para estructuras o viviendas más pequeñas, como las viviendas sociales, son bastante menores que los de estructuras de varios pisos, lo que se traduce en consecuencia en un aumento de los costos de construcción para edificaciones poli familiares de más de 3 pisos en madera puesto que es necesario emplear

soluciones más complejas que permitan entregan la protección necesaria. Soluciones multicapas como el caso del entramado de madera necesitan más ensayos o estudios para su aprobación normativa, a diferencia de un sistema monolítico como la albañilería y el hormigón.

Para establecer la resistencia al fuego de una solución constructiva la DOM podría exigir alguno de los siguientes requerimientos:

- Informe de ensayo elaborado por laboratorio certificado y registrado en MINVU según norma Nch 935/1 – Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción general. Actualmente en único laboratorio facultado es el IDIEM de la Universidad de Chile.
- Solución inscrita en el listado oficial de comportamiento al fuego del MINVU. Actualmente la versión corresponde al año 2014.
- Certificado de asimilación basado en informe emitido por institución especialista en el área con registro en MINVU.

2.4.2 Desempeño Acústico de Elementos

Según el marco normativo chileno esta exigencia responde a al requerimiento de un desempeño acústico de los elementos que componen la estructura y serán aplicables a los que separen o dividan la edificación y a los que separen una edificación de otra, definido en los artículos 4.1.5 y 4.1.6 de la OGUC.

Las exigencias normativas establecidas en los artículos antes mencionados buscan ofrecer condiciones de confort acústico mínimo estableciendo así un índice de reducción de ruido aéreo de 45 [dB] en estructuras divisorias y de 75 [dB] de ruido por impacto en estructuras horizontales y diagonales. Los resultados dependerán al igual que la normativa anterior de la solución aplicada en su conjunto, considerando todas las capas del sistema.

Para establecer la resistencia al fuego de una solución constructiva la DOM podría exigir alguno de los siguientes requerimientos:

- Informe de ensayo acústico según Nch 2786 para índice de reducción acústica ponderado
- Informe de inspección en terreno según norma 2785.
- Solución inscrita en listado oficial de soluciones constructivas para aislamiento acústico según MINVU.

2.4.3 Aislamiento Térmico de Elementos Constructivos

Estos requerimientos dicen relación con el desempeño de aislamiento térmico para elementos de la envolvente de viviendas, los cuales se rigen por la OGUC según el artículo 4.1.0 considerando la zonificación de siete zonas térmicas, basada en metodologías establecidas por el Manual de aplicación Reglamentación térmica del MINVU. (MINVU, 2006).

Definiciones y generalidades

La ***conductividad térmica*** es la cantidad de calor que pasa por unidad de tiempo a través de una unidad de área de un determinado material homogéneo, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en W/(mK), y se determina experimentalmente según la norma NCh850 "Aislación térmica – Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas – Aparato de placa caliente de guarda", o según la NCh851 según las siguientes definiciones:

• La resistencia térmica total es la suma de las resistencias de cada capa del elemento.

• La resistencia térmica de un elemento o capa le confiere su capacidad de aislación.

• La resistencia térmica **R** de una capa de material según la NCh 853, artículo 4.6.1, para capa de caras planas y paralelas, de espesor e, conformada por un material homogéneo de conductividad térmica λ, la resistencia térmica, R, queda dada por:

$$R = e/\lambda \text{ (Se expresa en } m^2K/W).$$

De esta manera la capacidad de aislamiento térmico que tendrá una determinada solución constructiva puede definirse como la cualidad de reducir el paso de calor de un recinto interior a uno exterior. De esta manera, se consideran aislantes térmicos específicos las soluciones que poseen conductividad térmica especifica $\lambda < 0{,}08$ W/m°C, como es el caso de la lana mineral, lana de vidrio, poliestireno expandido, entre otros. De igual manera, mientras menor sea la conductividad térmica y mayor sea el espesor, mayor será la resistencia térmica y en consecuencia menor la transmitancia térmica de la solución constructiva.

Por otro lado, la resistencia total de una determinada solución se denomina RT y se considera como el inverso de la transmitancia térmica Rt=1/U. La transmitancia térmica en tanto (U) se define como el flujo de calor que pasa de una superficie a otra por el gradiente térmico entre una capa y otra. Esta característica no depende solo de un material si no del conjunto de materiales que componen la solución constructiva

Con la finalidad de facilitar el entendimiento y la correcta utilización de los conceptos la normativa define R100 (factor de resistencia térmica) como la resistencia térmica que presenta un material de construcción, multiplicado por 100.

$$R100 = e/\lambda \; x \; 100 = R \; x \; 100 \; [\; {}_2K/W \;]$$

En el art 4.1.10 de la OGUC se indica el requerimiento térmico especifico para las soluciones constructivas que compongan un determino elemento de la vivienda, como lo son techumbre, muros y pisos ventilados. Estos variarán según las distintas zonas térmicas, las cuales a su vez varían según localización geográfica, clima, microclima y/o altitud.

Tabla 4 Exigencia de acondicionamiento térmico

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/M²K	RT M²K/W	U W/M²K	RT M²K/W	U W/M²K	RT M²K/W
1	0.84	1.19	4.00	0.25	3.60	0.28
2	0.60	1.67	3.00	0.33	0.87	1.15
3	0.47	2.13	1.90	0.53	0.70	1.43
4	0.38	2.63	1.70	0.59	0.60	1.67
5	0.33	3.03	1.60	0.63	0.50	2.00
6	0.28	3.57	1.10	0.91	0.39	2.56
7	0.25	4.00	0.60	1.67	0.32	3.13

Fuente: OGUC, 2019.

En general, a medida que las solicitudes o requerimientos térmicos son mayores, la madera posee mayores ventajas respecto de otros métodos constructivos. Lo anterior se debe

principalmente a que en entramados estructurales de mayor sección es posible instalar más aislación perimetral. Además en comparación a otros materiales, la madera posee menor conductividad térmica que otros elementos como el acero, de esta manera, la madera, como el pino, posee una conductividad térmica que entra en un rango de 0,104 W/mK v/s el hormigón con 1,63 W/mK o el acero con 58 W/mk.

Para establecer la resistencia térmica de una solución constructiva la DOM podría exigir alguno de los siguientes requerimientos:

- Incorporación de un material aislante etiquetado con R100 según norma Nch 2251.
- Certificado de ensayo otorgado por laboratorio demostrando cumplimiento de transmitancia o resistencia térmica total del sistema constructivo empleado.
- Cálculo realizado por profesional y de acuerdo con la Nch 853.
- Solución inscrita en listado de MINVU

Se espera que, en un futuro, instrumentos como los 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, permitan potenciar el uso de la madera, al ser un recurso limpio, eficiente y renovable especialmente en edificaciones en altura.

2.4.4 Normativa de Estabilidad Estructural y Sísmica

La OGUC establece y define las condiciones de análisis de estabilidad estructural que se deben cumplir en una edificación, independiente de su materialidad, en cuanto a la resistencia requerida según los requerimientos sísmicos.

Los requerimientos respecto a las edificaciones de más de dos pisos, hacen referencia específicamente a alas variables de carga y materialidad. Dichas estipulaciones se encuentran en la norma Nch 433 Diseño sísmico de edificios, la cual abarca la variable de carga, tomando en consideración distintas zonas geográficas (factor sísmico), condiciones climáticas de viento o nieve y análisis de cargas muertas y vivas, como el peso muerto o sobrecargas de uso. Por otro lado, las estructuras de madera se norman en cuanto a su materialidad y su sistema constructivo por la norma NCh 1198 Madera – Construcción en madera – Cálculo, la cual define diseño de elementos y uniones, diferenciando distintas solicitudes y características estructurales respecto del tipo de madera, ya sean maderas aserradas, laminadas y postes. Pese a lo anterior, aun no existen referencias especificas respecto del diseño estructural de muros de madera y no presenta normativa respecto del tipo de diseño marco o de madera masiva.

Según la OGUC los proyectos estructurales para edificaciones deben considerar normas mínimas como:

- 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 radiara.

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)

2.4.5 Normativa específica en relación con el uso de madera en construcción

Según su materialidad predominante y tipo de estructuras, existen distintas clases de estructuras de madera según la OGUC, en particular en el Capítulo 3 articulo 5.3.1. Se distinguen las siguientes clases:

Clase E: Construcciones con estructura soportante de madera, paneles de madera, fibrocemento, yeso cartón o similar, incluidas las tabiquerías de adobe y entrepisos de madera.

Clase H: Construcciones prefabricadas de madera, paneles de madera, fibrocemento, yeso cartón o similar.

Es importante mencionar que no existen clases para sistemas constructivos en base a paneles SIP, madera industrializada, madera masiva, entre otras soluciones de mayor complejidad estructural.

En el capítulo 6 de la OGUC se mencionan las condiciones y normas mínimas para construcciones de madera de no más de 2 pisos, sin necesidad de cálculo estructural. De esta manera los requerimientos mínimos para el diseño y construcción se pueden encontrar en las siguientes normas:

- NCh 1989 Maderas: Agrupamiento de especies madereras según su resistencia y 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.

2.4.6 Actualización de normas nacionales

Todas las normativas asociadas a la OGUC se han sometido a diversas revisiones y actualizaciones, siendo la última, la del año 2019 precedida por la actualización del año 2018. En la actualidad se destacan las actualizaciones en curso de la normativa respectiva a la resistencia al fuego, desempeño acústico, desempeño higrotérmico y de ventilación.

A continuación, se detallarán los principales cambios en las normas antes mencionadas:

Tabla 5 Actualización normativa chilena

ACTUALIZACIÓN	DETALLE	OBJETIVO
Actualización de requerimientos frente al fuego	Se trabaja en la intencion de transitar a una metodologia de calculo para la estimacion de resistencia al fuego de elementos constructivos.	Simplificacion en la implementacion de metodos que requieran ensayos de laboratorio.
	Segunda parte Nch 1198/2 Maera - construcciones de madera- Cálculo parte 2: Cálculo de estructuras expuestas al fuego-	Se facilitara la especificacion de elementos multi capa como el entramado de madera.
Actualización de requerimientos acústicos	Se prevé adicionar nuevos requerimientos de desempeño acustico en viviendas y fachadas para reducir el ruido urbano.	Se incluirá el estudio y caracterización del desempeño de diferentes tipos de elementos.
Actualización normativa de análisis de estabilidad estructural para construcciones de madera	Actualización norma NCh 1198 Madera - Construcciones en madera - Cálculo	Se incluirán variantes de entramado de muro y losa para edificaciones de hasta 6 pisos y sistemas de madera masiva como el CLT .
	Actualización de norma Nch 433	Se proppone aumentar parámetros de desplazamiento horizontal para edificos en altura, permitiendo la edificación con madera.

Fuente: Elaboración propia

Además de los cambios mostrados, mediante un decreto impulsado por MINVU y el Ministerio de Economía, se busca propiciar la disponibilidad de madera de alto valor para la construcción y de esta manera, fomentar una mayor calidad en las construcciones con este material. Así, se establecerá mediante un rotulado, que tipo de madera es, si es de uso estructural o no, además de sus características principales como, proveedor, país de origen, terminación, especie, dimensiones, preservantes, calidad estructural y contenido de humedad.

2.5 Entidades Asociadas

2.5.1 Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)

Ministerio del Estado de Chile, encargado de la planificación, desarrollo y construcción de viviendas, además urbanizar y normar el uso de los espacios de los centros urbanos, haciéndolos apropiados para vivir.

Su misión es recuperar la ciudad, poniendo en el centro de su misión la integración social, avanzando hacia una calidad de vida urbana y habitacional, que responda no solo a las nuevas necesidades y demandas de los chilenos, sino también al compromiso con la sostenibilidad de la inversión pública, el medioambiente y la economía del país, con foco en la calidad de vida de las personas más vulnerables, pero también de los sectores medios.

Unas de las tareas prioritarias de este organismo es hacer frente al déficit habitacional, del cual se profundizará más adelante, esta realidad requiere priorizar acciones que permitan aumentar la cobertura y calidad de la acción habitacional para satisfacer las necesidades de

la población haciendo frente a fenómenos como el aumento de los precios de las viviendas, la escasez del suelo, el aumento de la migración y otros factores.

Respecto de su conformación, se encuentra la Subsecretaria de Vivienda; 15 Secretarías Regionales Ministeriales (SEREMI) de Vivienda; 15 Servicios de Vivienda y Urbanización (SERVIU); y la Administración del Parque Metropolitano de Santiago.

2.5.2 Servicio de Vivienda y Urbanización (SERVIU)

El servicio de Vivienda y Urbanización corresponde a una entidad autónoma del estado para cada Región del Chile cuya misión corresponde a materializar los planes y programas derivados de la política habitacional de integración social, aprobados por el MINVU, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los hombres y mujeres de las distintas regiones del país y sus familias, respetando la diversidad y considerando sus requerimientos ciudadanos: asegurando viviendas de mejor calidad, que favorezcan la integración social y la reducción de inequidades, mejorando el entorno barrial, fortaleciendo la participación ciudadana e impulsando ciudades integradas social y territorialmente, competitivas y sustentables". Sin embargo, dicha autonomía con la que cuenta el SERVIU en materia presupuestaria y de personal, depende directamente del MINVU.

Sus objetivos estratégicos son:

- Ejecutar los programas de inversión según lo defina la política habitacional dispuesta por el MINVU, teniendo en cuenta los requerimientos, necesidades y prioridades regionales.

- Administrar eficientemente los programas de inversión y desarrollo urbano de acuerdo a lo establecido por le MINVU.
- Desarrollar comunicación efectiva entre comunidad para entender de mejor manera sus necesidades mejorando la calidad y oportunidad de los productos y servicios.
- Asegurar compromisos profesionales y humanos de todos los funcionarios del servicio con los desafíos institucionales, que permitan optimizar y fortalecer procesos de modernización y cambio institucional.

Así mismo, el SERVIU se presenta como el principal ejecutor y en este rol debe apuntar su acción hacia un desarrollo de "barrio" y comunidad, que permita crear un hábitat que mejore la calidad de vida de los habitantes, articulando y materializando las acciones de las personas y aportes estatales para su ejecución (Marin, 2016).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

Para describir y dar explicación a la metodología de estudio utilizada en el presente trabajo, se ha establecido que se ha realizará una investigación del tipo descriptiva cualitativa, la cual cumple con el atributo de información para realizar la propuesta.

3.2. Diseño de la investigación

Bajo la dinámica establecida se busca aplicar e implementar diferentes metodologías y técnicas que serán representadas en una propuesta constructiva bajo una metodología definida, según lo revisado en el marco teórico.

Bajo este prisma, se tomará un proyecto de construcción de viviendas sociales, y se mostrará la construcción tradicional y la propuesta, identificando puntos relevantes diferenciadores y otros similares. Esto permitirá identificar un costo monetario y medioambiental (huella de carbono) aproximado esclareciendo de mejor manera las ventajas y desventajas de construir con una tipología u otra.

Por otro lado, se analizarán los factores determinantes para poder generar un punto decisivo en la posterior propuesta.

3.3 Presentación del Proyecto

El proyecto estudiado consiste en un conjunto de viviendas sociales diseñadas por el arquitecto Alejandro Aravena el año 2009, en la localidad de Villa Verde, Constitución. Fue desarrollado para la empresa Arauco, con el motivo de apoyar a sus trabajadores y contratistas a tener acceso a una vivienda definitiva luego del terremoto del 27 de febrero del 2010.

Específicamente, se acogieron metodologías y tipologías de viviendas dentro del marco de la política habitacional chilena vigente tanto para el Fondo Solidario de Vivienda I, como para el Fondo Solidario de Vivienda II, es decir, con un precio máximo de la vivienda de 950 [UF].

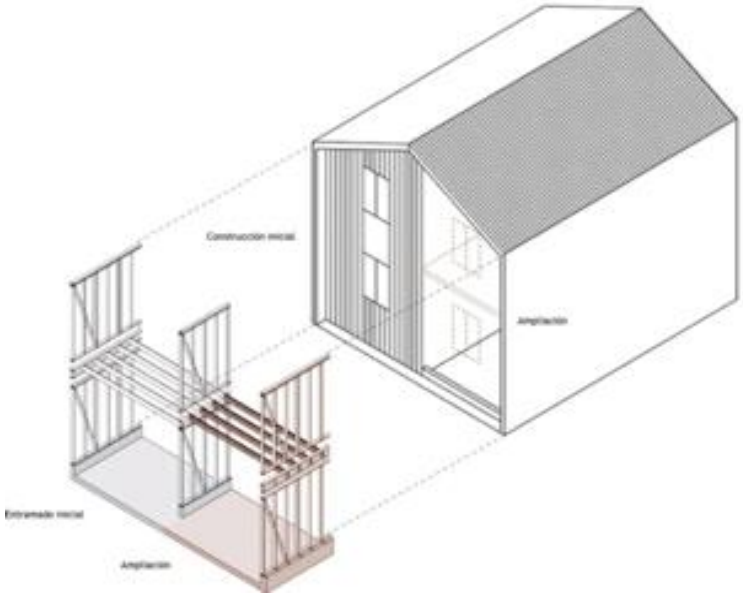
La idea principal del proyecto fue la de construir solo la mitad de una casa (56 m^2) dejando la posibilidad de ampliarla a 85,1m^2 en la medida que sus residentes puedan solventar los costos de la ampliación.

Por otro lado, el proyecto contempla una construcción por módulos repetitivos los cuales en su planta baja poseen un baño y una cocina, mientras que en el segundo piso se contemplan dos habitaciones y un espacio vacío idéntico en tamaño al ya construido, como muestra la Figura 11.

Figura 11 Isométrico proyecto Villa Verde, Elemental 2009

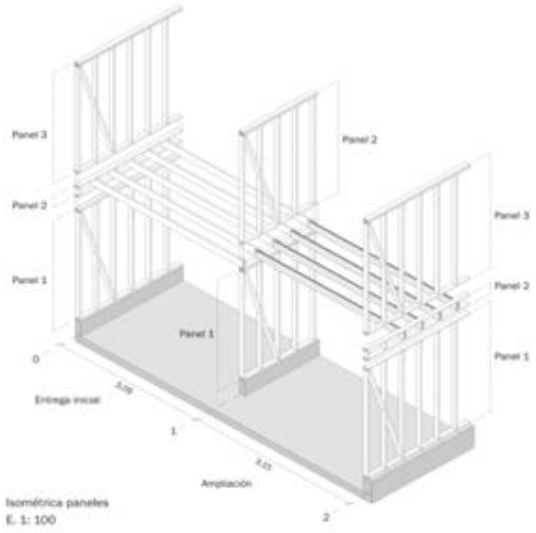
Fuente: Elemental, 2017

Figura 12 Isométrico paneles de madera



Fuente: Elemental, 2017

Figura 13 Isométrico paneles sistema marco-plataforma



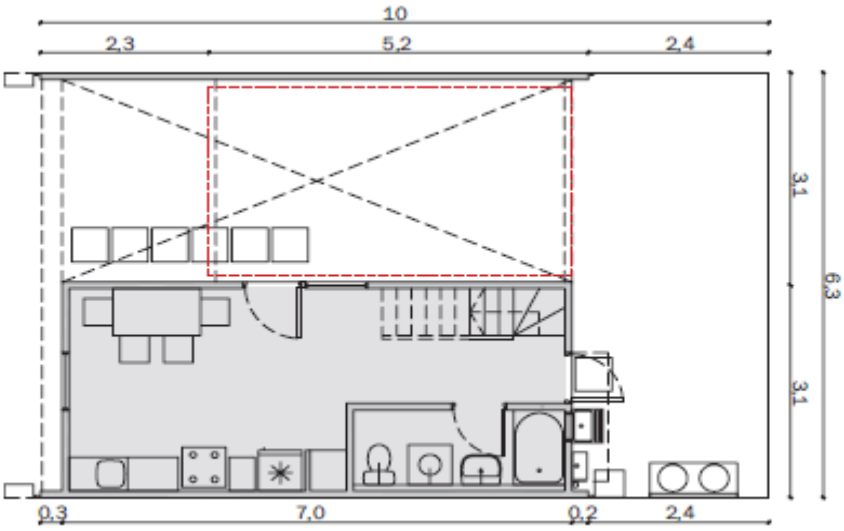
Fuente: Elemental, 2017

La vivienda en estudio es de madera como materialidad predominante y se concibe mediante la unión de paneles de madera prefabricados con el sistema marco-plataforma de dos pisos. Este sistema, consiste principalmente en montar diferentes paneles de manera vertical y horizontal, generando una estructura donde todos los elementos en conjunto entregan un sistema de rigidez lateral y vertical lo suficientemente rígidas para estructurar edificios de hasta seis pisos. (Cárcamo, 2017).

La vivienda dispone de dos niveles los cuales a su vez se distribuyen de la siguiente manera:

- Nivel 1: Tiene una superficie total de 22,39 m^2 los cuales se distribuyen en un baño de 1,2 x 3m y un mono ambiente de 18,8 m^2 el cual se subdivide en una cocina y un living-comedor. Junto con lo anterior, el primer nivel contiene un espacio de iguales dimensiones habilitado para en la posterioridad y en la medida que los residentes tengan la solvencia económica, poder ampliar la vivienda.

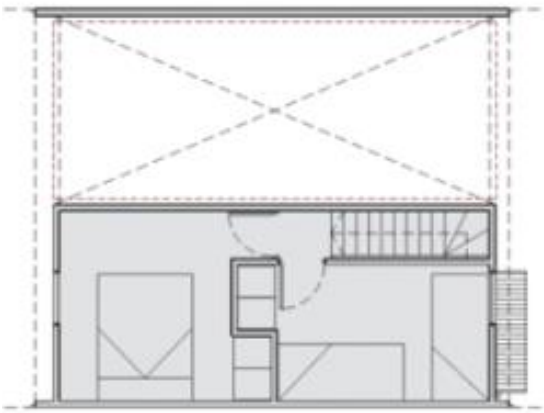
Figura 14 Planta primer nivel sin ampliación



Fuente: Elemental, 2017

- Nivel 2: Tiene una superficie total de 22,39 m^2 los cuales se distribuyen dos dormitorios de aproximadamente 11m^2 cada uno. Además, al igual que en el piso 1, contiene un espacio de 22,4m^2 para intervenir y ampliar la vivienda.

Figura 15 Planta segundo nivel sin ampliación



Fuente: Elemental, 2017

Por otro lado, para efectos de la comparación entre un método y otro, se adecuaran los planos originales a un sistema de construcción tradicional mediante albañilería confinada manteniendo el diseño arquitectónico original y variando el sistema estructural a fin de poder analizar variables como tiempos de construcción, costos de construcción y huella de carbono entre un proceso constructivo con madera industrializada y otro tradicional.

3.2 Descripción vivienda mediante paneles prefabricados de madera

3.2.1 Obra Gruesa

En cuanto a los cimientos, se edificará sobre fundaciones corridas 40x60cm, con cimientos corridos, sobrecimientos de 20x20cm y radier de hormigón G17 (H20) de 10 cm de espesor.

El principal elemento para comparar en este proyecto corresponde a la estructura principal de la vivienda. Como material estructural se utilizó madera tipo MSD Estructural, la cual, es una madera clasificada de acuerdo a la norma chilena NCh1207- Clasificación visual para uso estructural, diseñada especialmente para usos donde se requiere cubrir hasta 4,88 m, como vigas y tijerales. Especialmente indicada para usos de envigados, tijerales, escaleras, muros estructurales y estructuras en general. De esta manera la configuración de los paneles prefabricados es la siguiente:

- **Muro perimetral:**

A) Revestimiento interior: Plancha de yeso-cartón RF e=15mm

B) Barrera de vapor: Barrera hidrófuga Tyvek

C) Entramado:

- Pie derecho pino radiata 2x4” (41x90 mm) @ 40cm
- Solera: pino radiata 2x4” (41x90mm) @ 40cm

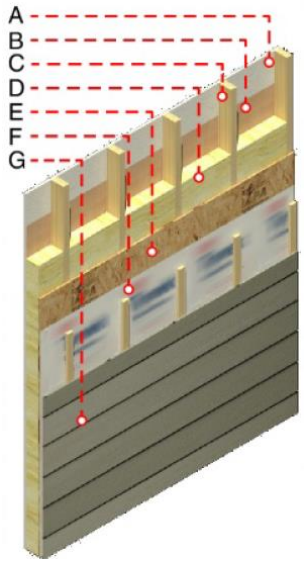
D) Aislación térmica: Lana vidrio (11 kg/m2) e= 80cm

E) Placa arriostrante: Tablero Osb e= 11,1mm

F) Barrera de humedad

G) Revestimiento exterior: Smartpanel 9,5 mm sobre distanciamiento pino radiata 1x2” (19x41mm)

Figura 16 Estructura muro perimetral



Fuente: CIM UC, 2020

- **Muro medianero**

A) Revestimiento interior: 2 Plancha de yeso-cartón RF e=15mm

B) Placa arriostrante: Tablero Osb e= 11,1mm

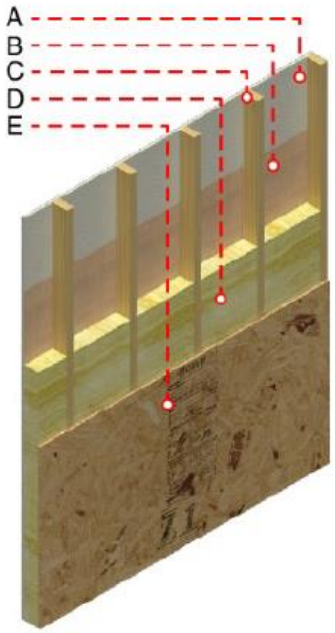
C) Entramado:

- Pie derecho pino radiata 2x4” (41x90 mm) @ 40cm
- Solera: pino radiata 2x4” (41x90mm) @ 40cm

D) Absorbente acústico: Lana de vidrio (11kg/m3) e= 50cm

E) Placa arriostrante: Tablero Osb e= 11,1mm

Figura 17 Estructura muro medianero



Fuente: CIM UC, 2020

- **Entrepiso**

A) Placa arriostrante: Terciado estructural e= 12mm

B) Aislante acústico: Membrana impactodan e=5mm

C) Placa arriostrante: Terciado estructural e= 15mm

D) Estructura envigado de piso:

- Vigas pino radiata 2x8” (41x185mm) @ 40cm

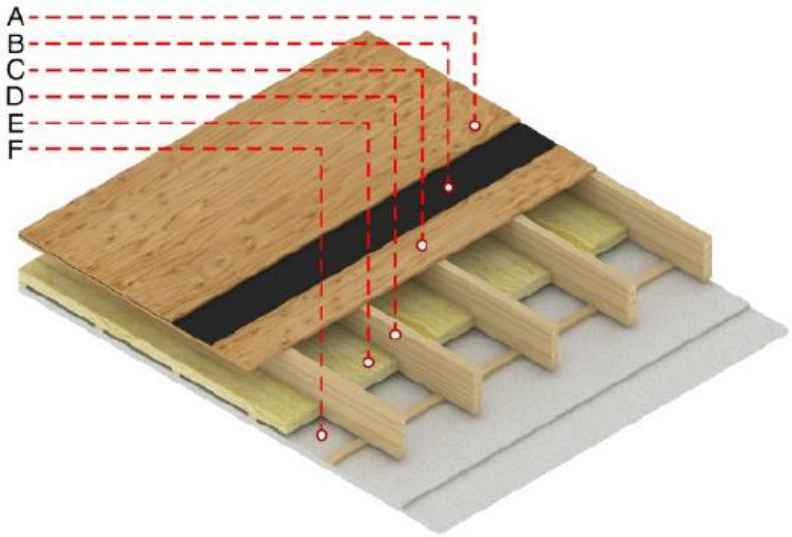
- Cadenetas pino radiata 2x8 (41x185mm) @40cm

E) Absorbente acústico: Lana de vidrio (11kg/m3) e= 50cm

F) Terminación de cielo:

- 2 placas de yeso cartón RF e= 15mm sobre distanciamientos pino radiata 1x2” (19x41mm) @ 40cm.

Figura 18 Estructura entrepiso



Fuente: CIM UC, 2020

- **Techumbre**

A) Cubierta: Panel cintac A-2, e= 0,4mm

B) Cámara ventilada:

- Listones transversales pino radiata 1x2 (19x41 mm) @ 40cm
- Distanciadores: Pino radiata 1x2” (19x41 mm) @ 40cm.

C) Barrera de humedad: Fieltro asfáltico

D) Placa arriostrante: Tablero Osb 11,1 mm

E) Cercha @ 60cm pino 2x6”.

F) Costaneras Pino radiata 2x4” (41x90 mm) @ 40cm

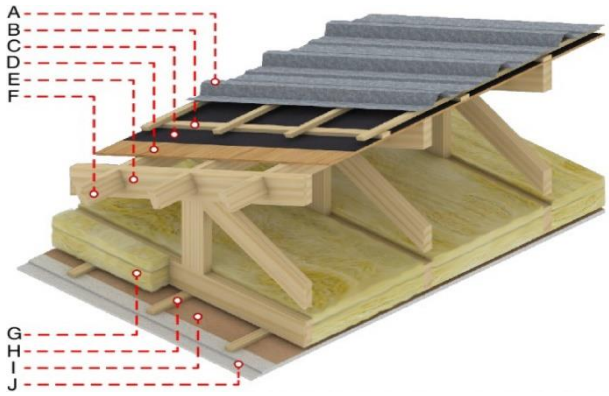
G) Aislante térmico: lana de vidrio 11kg/m2

H) Barrera de vapor: Papel Kraft

I) Distanciadores: Pino radiata 1x2 “

J) Terminación de cielo: 2 placas yeso-cartón RF e=12.5mm

Figura 19 Estructura techumbre



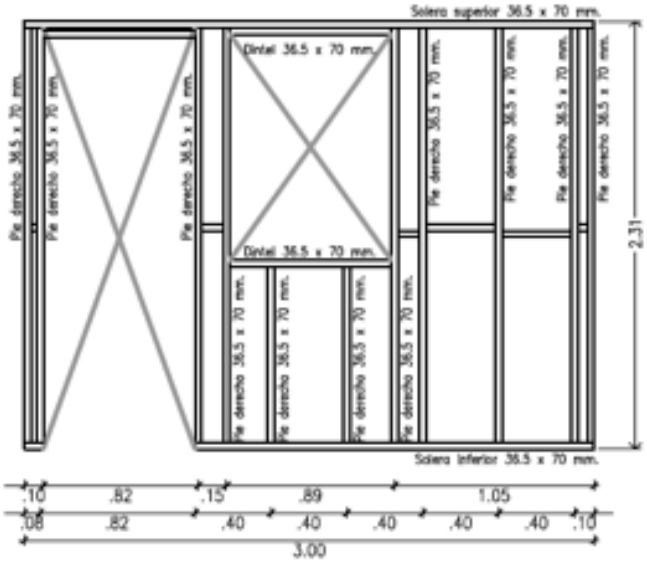
Fuente: CIM UC, 2020

Notas: Todos los elementos de pino radiata consideran:

- Grado estructural G16
- Cepillado
- Seco, contenido de humedad 12 y 15%.
- Impregnado

El diseño propuesto contempla el ensamble de paneles prefabricados mediante la metodología constructiva “marco-plataforma”. Los entramados verticales de la vivienda están conformados por piezas estructurales, verticales y horizontales de madera de Pino radiata de 2x4”, con uniones a tope con dos clavos mínimo para evitar la rotación de las piezas. Los pie derecho de los tabiques, se ubican 40 cm al eje. Además, se añade un tablero estructural arriostrante de terciado fenólico u O.S.B de 11,1 mm. (*Oriented Strand Board*).

Figura 20 Entramado muros



Fuente: Elemental, 2017

Por otro lado, los sistemas de plataforma o entramados de primer piso estarán compuestos por vigas principales y secundarias de 2x8” distanciadas a 40 cm entre sí y cadenetas, las cuales cumplen la función de arriostrar las vigas y evitar flexiones, se ubican perpendicularmente a 40cm y son de 2x8” de escuadría.

La estructura de techumbre estará compuesta por cerchas unidas mediante paneles de OSB en módulos prefabricados. Las vigas serán de pino de 2x6” arriostradas mediante placas de Osb de 11.1mm. Tanto en el exterior como en el interior se deben incluir placas arriostrante de OSB para entre ellos instalar aislante térmico de lana de vidrio de 11 kg/m2. Además, se incluyen costaneras de 2x4” de pino para arriostrar a cubierta de zinc de 0.4 mm de espesor.

3.2.2 Terminaciones

Los paneles de tabiquería interior estarán revestidos con dos placas de yeso-cartón de 15 mm ST en zonas secas como living, comedor y habitaciones, mientras que en zonas húmedas se utilizarán paneles prefabricados con dos placas de yeso-cartón RH. Ambos paneles verticales estarán revestidos en su exterior con placas tipo Smartpanel de 9,5mm como terminación la cual será instalada in-situ para una mejor terminación. Estas configuraciones permiten alcanzar la normativa F – 60 para estructuras verticales de madera. En cielos de zonas secas se utilizarán 2 planchas de yeso cartón RH de 12,5 mm incluidos en los paneles de plataforma. Las planchas interiores tendrán como terminación esmalte al agua color blanco lo cuales serán pintados *in situ*, mientras que en zonas secas tendrán yeso-cartón ST de 12,5 mm con la misma terminación antes mencionada.

Los pavimentos en zonas húmedas serán de piso vinílico previo hormigonado de radier de 10 cm. Mientras que en zonas secas como living y dormitorios se utilizará piso flotante de 8mm por sobre el radier en el primer piso y por sobre el terciado de la plataforma del segundo piso.

Se distinguen, además, dos tipos de puertas, exteriores e interiores. La puerta exterior será de pino de 80x200 cm mientras que las interiores que incluyen puertas de baños y dormitorios, serán de 75x200 [cm] de placarol. Las ventanas serán de termopanel de 6mm con marcos, contramarcos y molduras general serán de pino *finger* de 1” de ancho.

La hojalatería, corresponde principalmente a canaletas y bajadas de aguas lluvia, será instalada perimetralmente desde los niveles superiores al terreno, tal como se consideraría en una vivienda tradicional.

3.2.3 Instalaciones

Una de las principales diferencias entre un método constructivo y otro es que los paneles prefabricados cuentan en su interior con redes y tuberías de agua potable y electricidad, los cuales solo deben ser unidos entre si una vez que el montaje de los paneles se haya terminado. Para esto se deben dejar paneles sin revestimiento interior para luego poder unir las conexiones in situ y asegurar buenas conexiones hidráulicas y eléctricas.

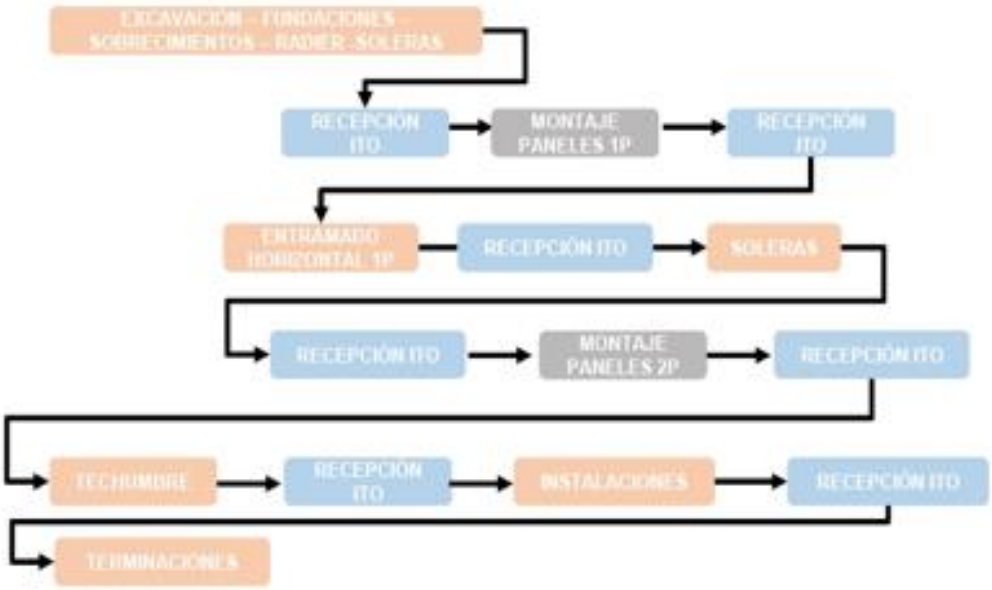
3.2.4 Proceso constructivo

A diferencia de los procesos tradicionales como el que se expondrá más adelante, la construcción con paneles prefabricados implica gran parte del tiempo de ejecución, fuera de la construcción en sí, es decir *off-site*. El ensamble de las piezas que componen los elementos verticales y horizontales se realiza fuera del sitio de construcción y solo en terreno deben montarse mediante la utilización de un camión grúa y fijaciones, otras partidas como excavaciones, moldajes, hormigones deben realizarse en terreno al igual que revestimientos de cubierta, ya que de esta manera se asegura una mejor uniformidad y terminación de estos elementos.

Se inicia la construcción mediante el replanteo, excavaciones y hormigonado de las fundaciones cuidando dejar la pasada de 110mm que se conectará a la última cámara de inspección. Posteriormente se debe hormigonar el radier uniendo también las tuberías sanitarias que provienen de los artefactos sanitarios. Una vez fraguado el hormigón se comienza con el montaje de los paneles perimetrales los cuales se unen mediante soleras a los sobrecimientos que ya están ejecutados. Se debe tener especial cuidado en montar según planimetría, puesto que de esto dependerá la correcta unión de las canalizaciones eléctricas y sanitarias, las cuales se encuentran embebidas en los tabiques, sin revestimiento interior para lograr la unión. Posterior al montaje de los tabiques perimetrales y sus respectivos aplomes, se procede a montar la estructura de piso horizontal la cual se une mediante uniones de acero y apernadas a los paneles verticales. Al igual que en el primer piso, se procede a instalar los panaeles del segundo piso que posteriormente recibirán la estructura prefabricada de techo, la cual solo debe recibir in situ, el revestimiento de techumbre.

Posterior a la unión de las canalizaciones antes mencionadas y al montaje de la estructura de obra gruesa se procederá a la colocación de los revestimientos interiores en zonas donde se hayan hecho uniones, para posteriormente empastar y pintar. Luego se revestirán los muros y pavimentos según indiquen EETT para terminar con la colocación de molduras y cornisas. En el exterior también se deberán realizar los remates de las planchas de Smartpanel.

Figura 21 Programación de obra tipo Estructura Madera Industrializada



Fuente: Oportunidades de MA para la construcción en Madera, 2018.

3.3 Descripción vivienda mediante albañilería

3.3.1 Generalidades

La vivienda propuesta posee las mismas características arquitectónicas que la vivienda de madera, puesto que son idénticas en superficie y en distribución interior. La principal diferencia radica en la materialidad utilizada la cual fue adaptada a las normativas vigentes de construcción con albañilería confinada según la Nch 2123 Of. 1997 modificada en 2003.

3.3.2 Obra Gruesa

La estructura será albañilería reforzada con ladrillo hecho a máquina tipo Titán cm, pegados con mortero de dosificación 1:3 con refuerzo de escalerillas metálicas cada 4 hiladas. Al igual que el sistema descrito anteriormente se edificará sobre fundaciones corridas 60x40cm, con cimientos corridos, sobrecimientos de 15x25cm y radier de hormigón G17 (H20) de 10 cm de espesor con muros de albañilería armada y refuerzos acero de 12 mm y confinada con cadenas según la normativa vigente Nch 2123 of 2003 albañilería confinada – requisitos de diseño y calculo.

La tabiquería interior de estructurara en base a perfiles de Metalcon tipo C90 y revestimiento con placas de yeso cartón manteniendo las terminaciones del sistema anteriormente expuestas. Respecto de la estructura de techo, se modulará con cerchas reticuladas de vulcometal C90, conservando mismas dimensiones que las del sistema prefabricado. Para la aislación térmica se utilizará lana mineral de igual espesor que en el caso anterior. Al igual que en el sistema anterior se ejecutará cielo falso para ocultar el entramado de vulcometal.

En cuanto a la plataforma del segundo piso, esta será de hormigón armado de 10 cm de espesor con doble malla Acma C92.

3.3.3 Terminaciones

En cuanto a las terminaciones, estas se mantendrán idénticas a las del sistema anteriormente descrito, es decir, se mantendrán las materialidades dependiendo del sector de la vivienda.

Tanto pisos, como revestimientos y cielos se mantendrán iguales conservando espesores y características de planchas de yeso cartón, pisos vinílicos, cielos falsos y tipos y color de pinturas.

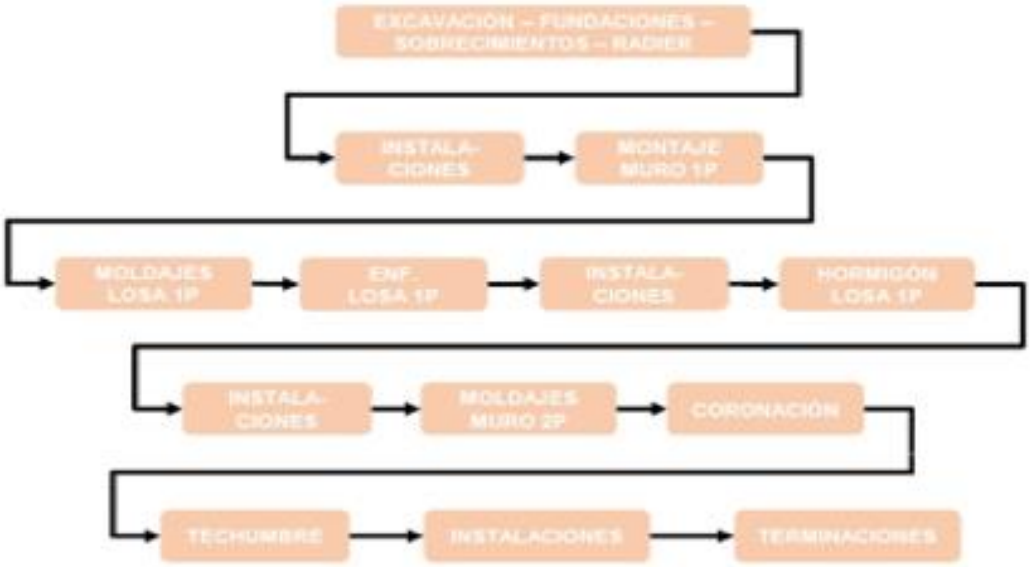
3.3.4 Proceso constructivo

Al igual que el método anteriormente descrito, la construcción con albañilería comienza con el replanteo del terreno, su posterior trazado y excavación según indique el proyecto de ingeniería para finalmente rellenar con hormigón. Es importante mencionar que durante el hormigonado de las fundaciones se deben dejar las pasadas de la tubería de 110mm de PVC sanitario al cual se hacen las descargas desde los artefactos sanitarios para posteriormente hormigonar el radier. Una vez fraguado el hormigón se debe proceder a colocar la albañilería según indiquen los planos mientras tanto se trabaja en la enfierradura de pilares, para que, una vez estén listos los paños de ladrillos, se proceda a hormigonar los pilares y luego cadenas y vigas. Terminado el proceso anterior se colocan alzaprimas y moldajes para comenzar con el hormigonado de la losa de hormigón la cual una vez fraguada recibirá la estructura del segundo piso (hormigón y albañilería). Para finalizar con la obra gruesa se debe montar la estructura de metalcon de cielo, tijerales, costaneras para posteriormente recibir las placas de OSB y el revestimiento de cubierta. Es importante mencionar que todas las canalizaciones eléctricas y sanitarias se deben ejecutar a medida que se avanza con la obra gruesa, por lo que, por lo general son las partidas de mayor duración dentro del proyecto.

Una vez terminado esto se procede a ejecutar las terminaciones, esto quiere decir, estuco, empaste y pintura para el caso de los muros de cerámica para zonas húmedas y piso flotante para los pavimentos secos.

Finalmente se procederá a conectar y empalmar a los servicios de agua potable, alcantarillado y eléctricos.

Figura 22 Secuencia constructiva tipo Estructura Albañilería Tradicional



Fuente: Oportunidades de MA para la construcción en Madera, 2018.

CAPÍTULO IV DESARROLLO

4.1 Análisis económico

Para el análisis de los costos asociados a la ejecución del proyecto se estudiaron las partidas que cambiarían entre un sistema estructural tipo marco-plataforma de madera industrializada y otro de albañilería. Principalmente esto se refiere a partidas de obra gruesa las cuales se clasificaron en el caso de la madera industrializada en entramados horizontales y verticales a diferencia de los de albañilería que contempla partidas de hormigonado, enfierradura y moldaje para elementos de muro estructural además de la ejecución de paños de albañilería. La mayoría de los costos asociados a terminaciones permanece igual debido a que no implica mayores diferencias para un método y otro.

Luego de esto se realizaron cubicaciones de ambos proyectos, según las características propias de cada uno.

La obtención de precios de mercado de los paneles de madera industrializada se realizó en base diferentes cotizaciones de empresas del rubro las cuales fabrican y montan paneles en diferentes regiones del país. Todos los valores de las demás partidas se obtienen a partir de tablas referenciales de precios unitarios del MINVU y del manual de precios ONDAC del año 2022 y fueron convertidos a U.F.

Tabla 6 Presupuesto General Vivienda Madera Industrializada

PRESUPUESTO MODELO MADERA INDUSTRIALIZADA						
	PARTIDA	**UN**	**CANT**	**PU (UF)**	**TOTAL (UF)**	
A	**OBRAS PREELIMINARES**					
A.1	Instalación de faenas	gl	1	2,95	$	2,95
B	**OBRA GRUESA**					
B.1	**FUNDACIONES**					
B.1.1	Replanteo, trazado y niveles	ml	30	0,10	$	3,00
B.1.2	Excavaciones	m3	5,4	0,25	$	1,35
B.1.3	Emplantillado	m3	0,8	1,25	$	1,00
B.1.4	Hormigón fundaciones	m3	5,4	2,45	$	13,23
B.1.5	Enfierradura	kg	270	0,05	$	14,58
B.1.6	Moldajes (2 usos)	m2	20	0,28	$	5,54
B.2	**RADIER**					
B.2.1	Cama de ripio 8cm	m2	28	0,06	$	1,68
B.2.3	Hormigón Radier	m3	2,8	2,30	$	6,44
B.2.4	Enfierradura	kg	291,2	0,05	$	15,72
B.3	**ENTRAMADOS VERTICALES**					
B.3.1	Tabiquería tipo Muro perimetral	m2	30,6	2	$	61,20
B.3.2	Tabiquería tipo Muro medianero	m3	32,2	2	$	64,40
B.4	**ENTRAMADOS HORIZONTALES**					
B.4.1	**Estructura de entrepiso**	m2	28	2,5	$	70,00
B.4.2	**Estructura de techumbre**					
B.4.2.1.	Estructura de techumbre	m2	26,32	4	$	105,28
B.4.2.2	Vigas pino MSD 4m	un	8	0,59	$	4,75
B.4.2.3	Osb estructural	m2	28	0,65	$	18,24
B.5	**CUBIERTA**					
B.5.1	Cubierta Zinc Alum	m2	52,64	0,25	$	13,16
B.6	**HOJALATERIA**					
B.6.1	Hojalatería	ml	29,6	0,35	$	10,36
C	**TERMINACIONES**					
C.1	**REVESTIMIENTOS INTERIORES**					
C.1.1	Remates yeso-cartón	m2	15	0,25	$	3,75
C.1.2	Cerámica muros zonas húmedas	m2	19,8	0,49	$	9,70
C.2	**PAVIMENTOS**					
C.2.1	Piso flotante 7 mm	m2	51,5	0,48	$	24,72
C.2.2	Cerámica zonas húmedas 30x30 cm	m2	4,5	0,49	$	2,21
C.3	**PUERTAS Y VENTANAS**					
C.3.1	Puertas exteriores	un	2	3,75	$	7,50
C.3.2	Puertas interiores	un	3	2,81	$	8,43
C.3.3	Ventana PVC termopanel	m2	6,35	5,5	$	34,93

C.4	**MOLDURAS**					
C.4.1	Guardapolvos	ml	56	0,12	$	6,72
C.4.2	Cornisas	ml	56	0,12	$	6,72
C.5	**PINTURAS**					
C.5.1	Esmalte al agua zonas secas	m2	51,5	0,18	$	9,23
C.5.2	Barniz para madera	m2	10	0,12	$	1,20
D	**INSTALACIONES**					
D.1	**ARTEFACTOS SANITARIOS**					
D.1.1	Wc con estanque	un	1	2,9	$	2,90
D.1.2	Lavamanos	un	1	1,67	$	1,67
D.1.3	Ducha	un	1	5,5	$	5,50
D.1.4	Lavaplatos	un	1	3,5	$	3,50
D.1.5	Griferias	un	4	4,5	$	18,00
D.2	**RED AGUA POTABLE**					
D.2.1	M.A.P	UN	1	16	$	16,00
D.2.2	Red interior agua fría y caliente	GL	1	20	$	20,00
D.3	**ALCANTARILLADO**					
D.3.1	Red interior	GL	1	59,4	$	59,40
D.4	**INSTALACIONES ELECTRICAS**					
D.4.1	Medidor y empalme	un	1	25	$	25,00
D.4.2	Tablero	un	1	4	$	4,00
D.4.3	Centros	un	15	1,3	$	19,50
D.4.4	Termo eléctrico	un	1	6	$	6,00
		SUBTOTAL			**$**	**709,45**
		GASTOS GENERALES 37%			**$**	**156,00**
		UTILIDAD 10%			**$**	**70,95**
		SUBTOTAL NETO			**$**	**936,40**
		IVA 19%			**$**	**177,92**
		TOTAL			**$**	**1.114,31**

Tabla 7 Presupuesto General vivienda Albañilería

PRESUPUESTO MODELO ALBAÑILERIA						
ITEM	PARTIDA	UN	CANT	PU (UF)	TOTAL (UF)	
A	**OBRAS PREELIMINARES**					
A.1	Instalación de faenas	gl	1	2,95	$	2,95
B	**OBRA GRUESA**					
B.1	**FUNDACIONES**					
B.1.1	Replanteo, trazado y niveles	ml	30	0,10	$	3,00
B.1.2	Excavaciones	m3	5,4	0,43	$	2,32
B.1.3	Emplantillado	m3	0,8	1,25	$	1,00

B.1.4	Hormigón fundaciones	m3	5,4	2,45	$	13,23
B.1.5	Enfierradura	kg	270	0,05	$	14,58
B.1.6	Moldajes (2 usos)	m2	20	0,28	$	5,54
B.2	**RADIER**					
B.2.2	Cama de ripio 8cm	m2	28	0,06	$	1,68
B.2.4	Hormigón Radier	m3	2,8	2,30	$	6,44
B.2.5	Enfierradura	kg	291,2	0,05	$	15,72
B.3	**MUROS**					
B.3.1	Hormigón vigas, cadenas y pilares	m3	3,2682	3,50	$	11,44
B.3.2	Enfierradura	kg	390,87672	0,05	$	21,11
B.3.3	Moldajes	m2	33,4024	0,28	$	9,26
B.4	**ALBAÑILERIA**					
B.4.1	Ladrillo	m2	90,9	1,047	$	95,17
B.5	**LOSA 2DO PISO**					
B.5.1	Hormigón	m3	4,2	3,14	$	13,19
B.5.2	Enfierradura	kg	504	0,05	$	27,22
B.5.3	Moldajes	m2	42	0,28	$	11,64
B.6	**TECHUMBRE**					
B.6.1	Estructura volcometal	m2	26,32	1,21	$	31,72
B.6.2	Perfil omega	m2	26,32	0,38	$	10,05
B.6.3	OSB	m2	59,72	0,65	$	38,91
B.7	**CUBIERTA**					
B.7.1	Cubierta Zinc Alum	m2	52,64	0,25	$	13,16
B.8	**HOJALATERIA**					
B.8.1	Hojalatería	ml	29,6	0,35	$	10,36
C	**TERMINACIONES**					
C.1	**REVESTIMIENTOS INTERIORES**					
C.1.2	Empastes y estucos	m2	112,9	0,34	$	38,38
C.1.3	Yeso-cartón RH 15 mm	m2	21	0,3482	$	7,31
C.1.3	Cerámica	m2	19,8	0,49	$	9,70
C.2	**REVESTIMIENTOS EXTERIORES**					
C.2.1	Sistema EIFS	m2	109,08	1,24	$	135,26
C.3	**PAVIMENTOS**					
C.3.1	Piso flotante 7 mm	m2	51,5	0,48	$	24,72
C.3.2	Cerámica zonas húmedas 30x30 cm	m2	4,5	0,49	$	2,21
C.4	**PUERTAS Y VENTANAS**					
C.4.1	Puertas exteriores	un	2	3,75	$	7,50
C.4.2	Puertas interiores	un	3	2,81	$	8,43
C.4.3	Ventana PVC termopanel	m2	6,35	5,5	$	34,93
C.5	**MOLDURAS**					
C.5.1	Guardapolvos	ml	75	0,12	$	9,00
C.5.2	Cornisas	ml	85	0,12	$	10,20
C.6	**PINTURAS**					

C.6.1	Esmalte al agua zonas secas	m2	51,5	0,18	$	9,23
C.6.2	Barniz para madera	m2	10	0,12	$	1,20
D	**INSTALACIONES**					
D.1	**ARTEFACTOS SANITARIOS**					
D.1.1	Wc con estanque	un	1	2,9	$	2,90
D.1.2	Lavamanos	un	1	1,67	$	1,67
D.1.3	Ducha	un	1	5,5	$	5,50
D.1.4	Lavaplatos	un	1	3,5	$	3,50
D.1.5	Griferias	un	4	4,5	$	18,00
D.2	**RED AGUA POTABLE**					
D.2.1	M.A.P	UN	1	16	$	16,00
D.2.2	Red interior agua fría y caliente	GL	1	20	$	20,00
D.3	**ALCANTARILLADO**					
D.3.1	Red interior	GL	1	59,4	$	59,40
D.4	**INSTALACIONES ELECTRICAS**					
D.4.1	Medidor y empalme	un	1	25	$	25,00
D.4.2	Tablero	un	1	4	$	4,00
D.4.3	Centros	un	15	1,3	$	19,50
D.4.4	Termo eléctrico	un	1	6	$	6,00
		SUBTOTAL			**$**	**839,23**
		GASTOS GENERALES 10%			**$**	**299,89**
		UTILIDAD 10%			**$**	**83,92**
		SUBTOTAL NETO			**$**	**1.223,04**
		IVA 19%			**$**	**232,38**
		TOTAL			**$**	**1.455,42**

A modo de comparación las partidas en clasifican en los siguientes ITEM:

A. OBRAS PREVIAS

B. OBRA GRUESA

C. TERMINACIONES

D. INSTALACIONES

A continuación, se presenta un cuadro comparativo de los valores según partida de cada sistema constructivo

Tabla 8 Resumen comparativo Vivienda Industrializada v/s Albañilería

RESUMEN PRESUPUESTO	MADERA INDUSTRIALIZADA (UF)	ALBAÑILERIA (UF)
SUBTOTAL OBRAS PREELIMINARES (A)	$ 2,95	$ 2,95
SUBTOTAL OBRA GRUESA (B)	$ 409,94	$ 356,74
SUBTOTAL TERMINACIONES (C)	$ 115,10	$ 298,06
SUBTOTAL INSTALACIONES (D)	$ 181,47	$ 181,47
GASTOS GENERALES	$ 156,00	$ 300,00
UTILIDADES 10 %	$ 70,95	$ 83,92
TOTAL	$ 936,40	$ 1.223,15
IVA	$ 177,92	$ 232,40
TOTAL	$ 1.114,31	$ 1.455,55
UF/m2	$ 16,72	$ 21,84

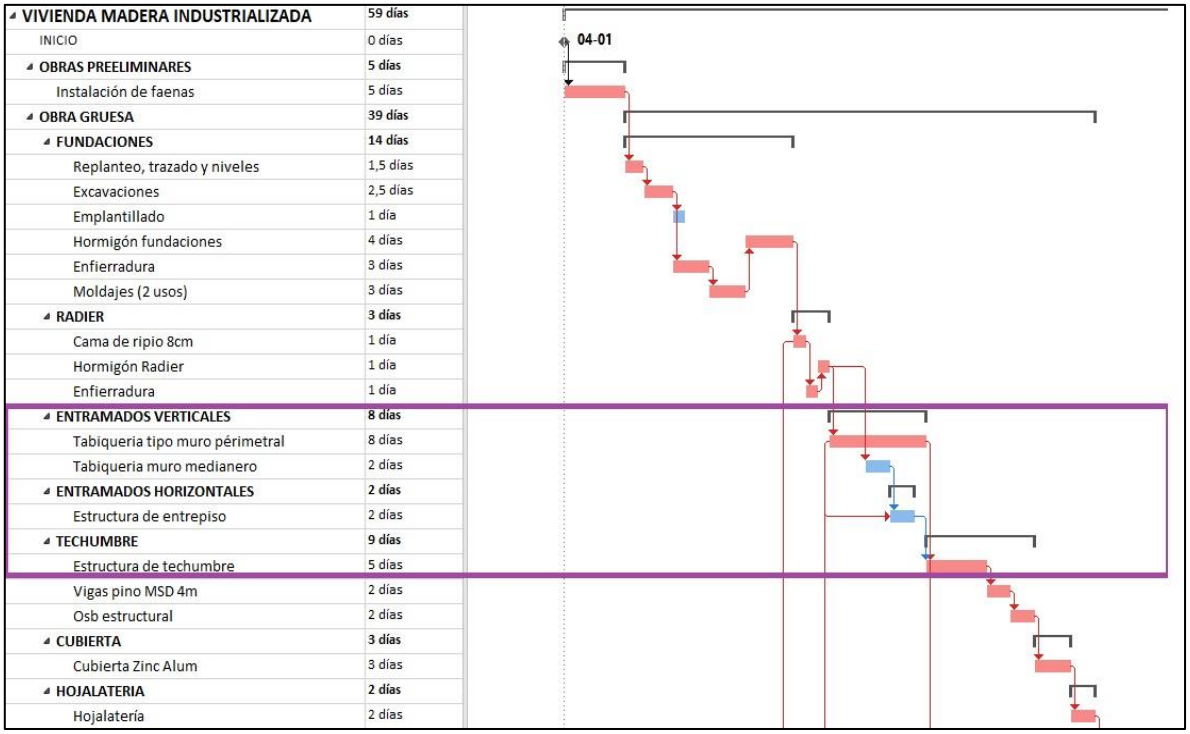
4.2 Análisis plazos de construcción

Para el análisis de los plazos se realizaron programaciones de obra mediante carta Gantt en base a rendimientos promedio de manuales como el ONDAC y tablas de rendimiento del SERVIU. Para el caso de los paneles de madera industrializada, se estimaron los rendimientos en base a información otorgada por el fabricante de estos, la empresa E2E.

4.2.1 Obra gruesa

Para el caso de estudio, la principal diferencia puede observarse en la etapa de Obra gruesa de los proyectos:

Figura 23 Carta Gantt Obra Gruesa Vivienda Madera Industrializada

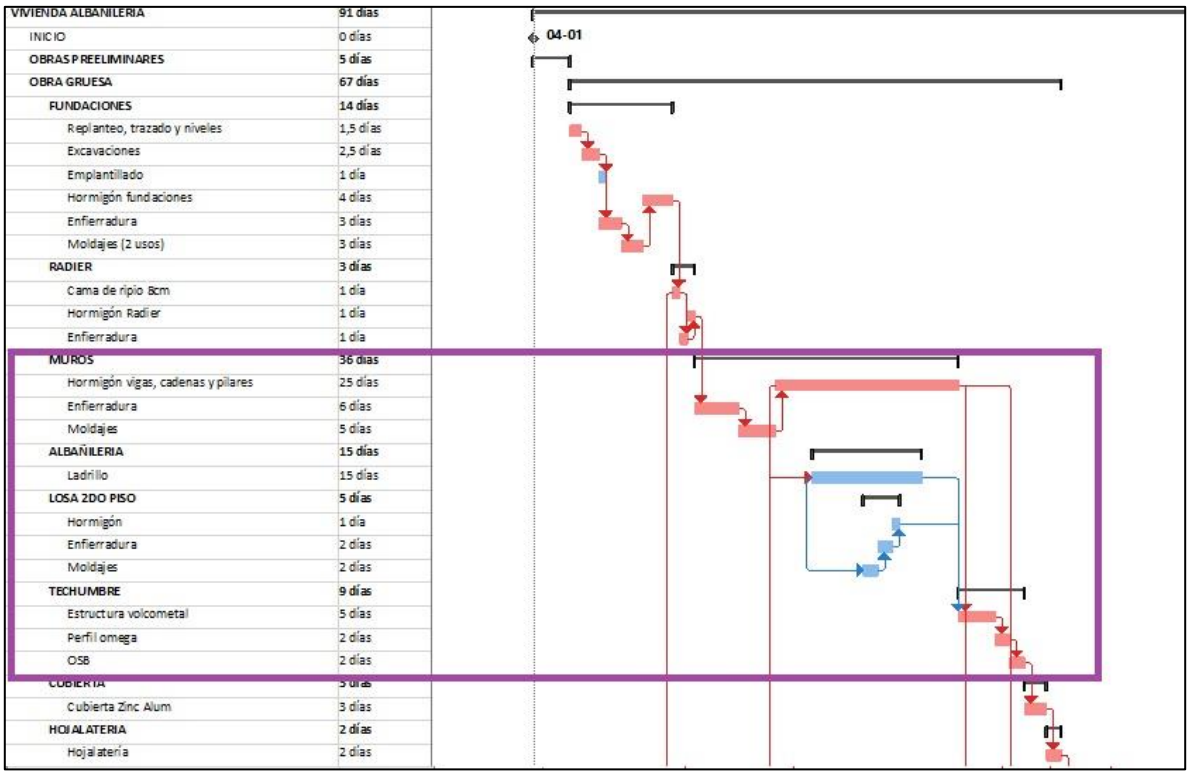


Fuente: Elaboración propia

Según el fabricante y en base a experiencia anterior de proyectos de similares características, se pueden montar los paneles perimetrales, estructura de entrepiso y techumbre en 13 días, esto sumado a la duración de todas las partidas que involucran la ejecución de la obra gruesa (fundaciones, techumbre, revestimiento de cubierta y hojalatería) se obtiene un plazo de 39 días.

Para el caso de la albañilería se consideraron rendimientos estandarizados de 9 a 10 m2 /día y para el caso del hormigón cerca de 1 m3/día considerando que la colocación se hará manualmente mediante betonera.

Figura 24 Carta Gantt Obra Gruesa Vivienda Albañilería



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Carta Gantt el tiempo de ejecución de los muros del primer piso, losa, muros de segundo piso y estructura de cubierta es de 41 días y de 67 días considerando todas las partidas involucradas en le ejecución de la obra gruesa del proyecto lo que en se traduce en una reducción de 41,79% de los plazos de construcción en estas partidas.

4.2.2 Terminaciones

La brecha de plazos menos notoria se encuentra en los tiempos relacionados a la ejecución de partidas de terminaciones. Se puede observar que solo se reduce en dos días corridos la duración para la vivienda de madera industrializada en comparación a la de albañilería

Figura 25 Carta Gantt Terminaciones Vivienda Madera Industrializada

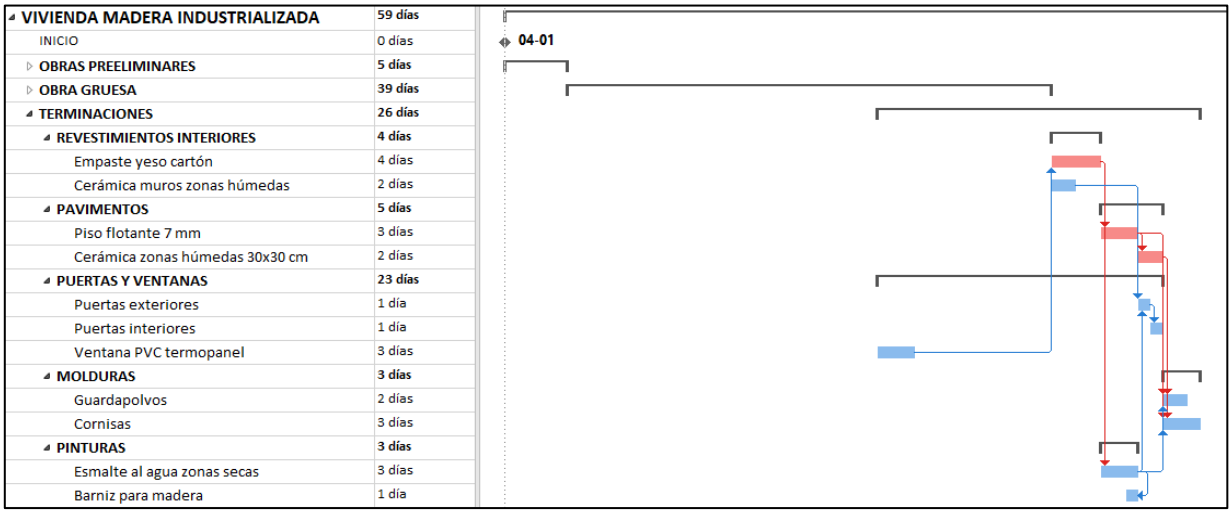
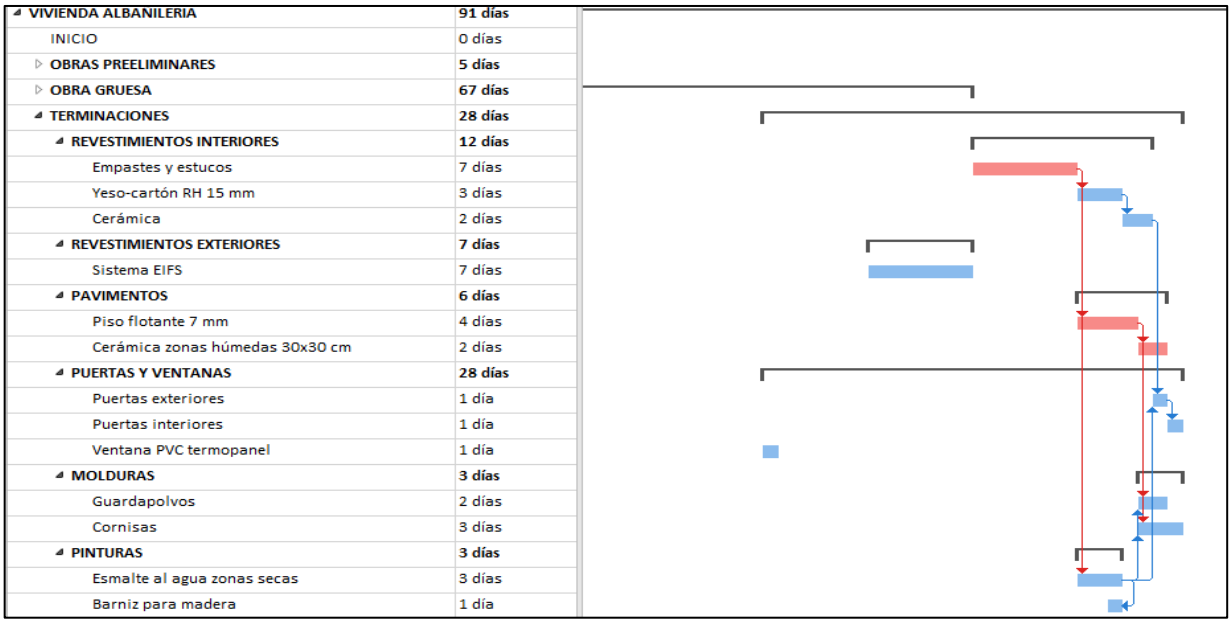


Figura 26 Carta Gantt Terminaciones Vivienda Albañilería



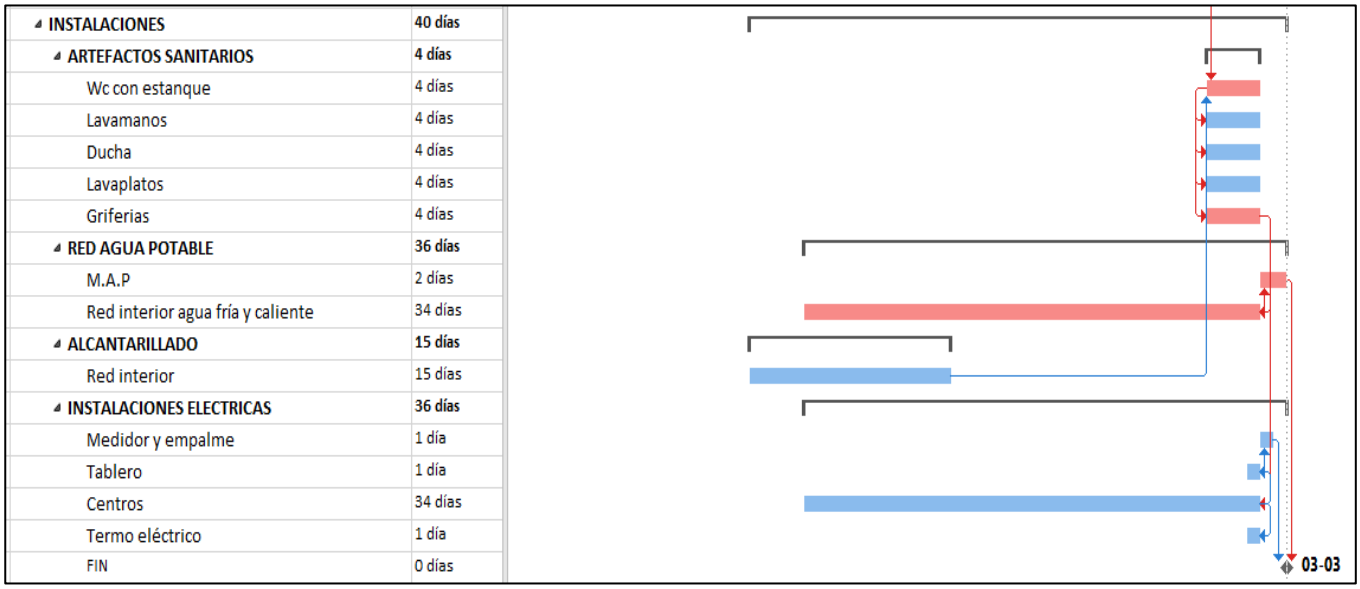
Fuente: Elaboración propia

Solo se registra una reducción del 7,14% en los plazos de ejecución de terminaciones. Esto se debe principalmente a que las partidas relacionadas al empaste y pintura en el caso de la vivienda de madera tienen similar duración a las de estuco y pintado de la vivienda de albañilería. A pesar de lo anterior, la madera presenta una ventaja respecto de la construcción convencional.

4.2.3 Instalaciones

En cuanto a las instalaciones se registra una disminución en los tiempos de construcción relacionados a la construcción mediante paneles de madera, la cual corresponde a un 35,5%.

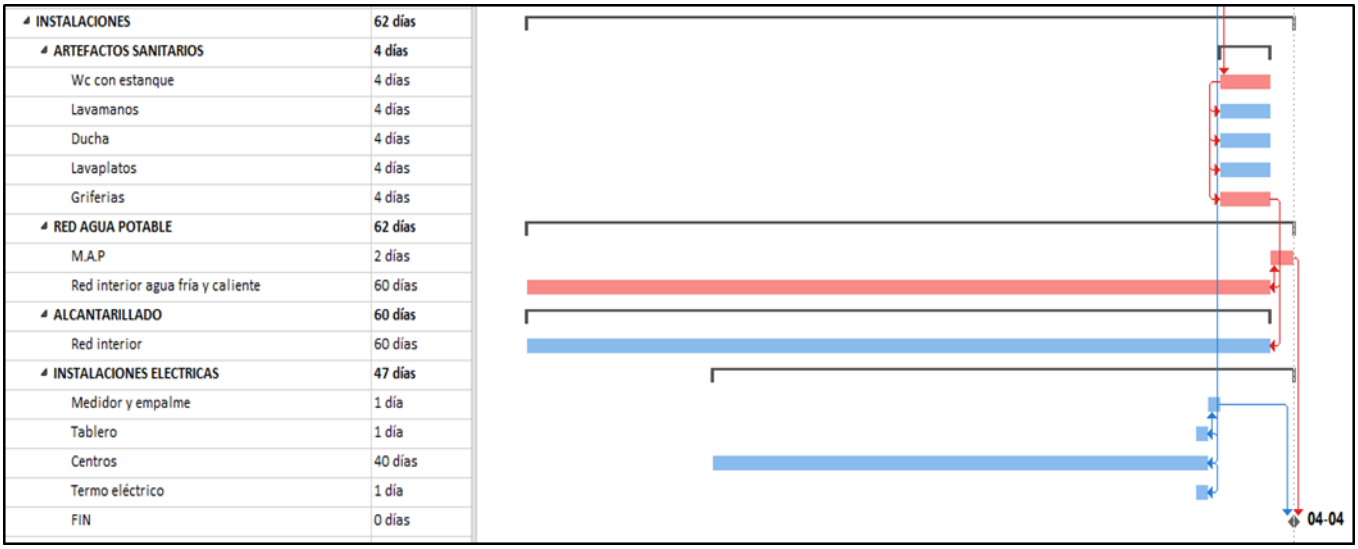
Figura 27 Carta Gantt Instalaciones Vivienda Madera Industrializada



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, en partidas como la instalación de artefactos sanitarios no se observa una mayor incidencia en ninguno de los dos métodos, principalmente porque la forma de instalar entre un sistema y otro no tiene diferencia.

Figura 28 Carta Gantt Instalaciones Vivienda Albañilería



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para la partida “Red de agua Potable” se registra una importante disminución del 50% del tiempo requerido para la construcción mediante albañilería, puesto que es necesario ir avanzando en las instalaciones de tuberías de agua potable a medida que se avanza en la colocación de los tabiques estructurales de albañilería. En cambio, en el sistema propuesto de madera industrializada se deben conectar las tuberías a medida que se montan los paneles de madera, por lo que estas ya vienen “instaladas” en la estructura de los paneles.

Algo similar ocurre con las instalaciones eléctricas puesto estas ya vienen embebidas dentro del paquete estructural de los paneles de madera por lo tanto solo hay que conectar centros y luminarias una vez que estás están montadas.

4.3 Análisis huella de carbono

El presente punto busca cuantificar o dimensionar de forma aproximada las emisiones de CO_2eq asociada a edificaciones de madera en comparación con el método tradicional anteriormente descrito, durante un ciclo de vida acotado. De esta manera, la metodología utilizada para este análisis se enmarca en las normativas ISO 14040, EN 15978 y nacionalmente en la Nch 3048/1: Sustentabilidad de la Construcción de edificios, en la cual se hacen diferentes relaciones por etapa de los impactos positivos y negativos de un determinado producto, para así finalmente obtener el valor de CO_2 a través de cuatro etapas definidas: Producción, construcción, uso y fin de vida.

Figura 29 Etapas ciclo de vida

Fuente: Oliebama.com, 2012

4.3.1 Etapa de producción

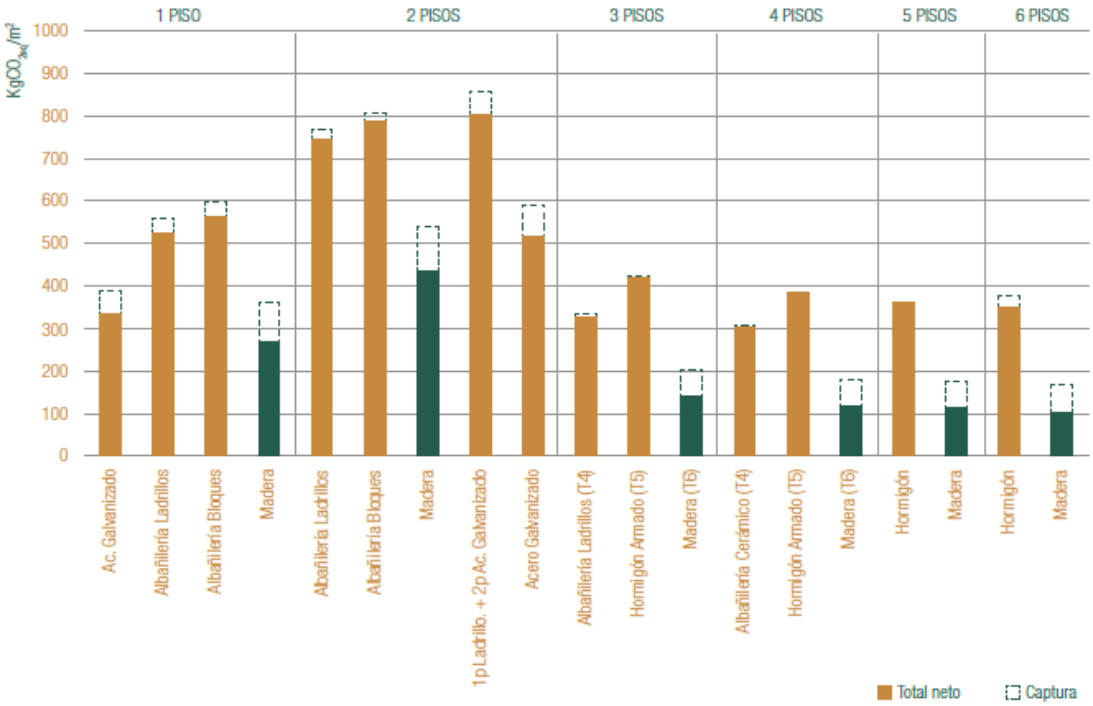
Para efectos de este análisis se realizará una aproximación de carbono incorporado en la etapa de producción donde los valores de $kgCO_2$ provienen de las distintas etapas del proceso productivo, es decir, extracción, transporte a la fábrica y fabricación. Para esto se utilizan las

cubicaciones propias del proyecto. Es necesario mencionar que, para facilitar los cálculos, solo se hará un análisis de los materiales involucrados en la obra gruesa del proyecto, puesto que tanto las terminaciones como las instalaciones no tienen mayor variación y en consecuencia, no generan una diferencia en el impacto ambiental.

Los datos utilizados son obtenidos del proyecto Quartz de caracterización del impacto ambiental de productos y materiales destinados a la construcción. Estos valores se actualizan periódicamente compilando una base de datos según información entregada por los distintos fabricantes y proveedores de materiales de construcción. Además, esta fuente representa en sus datos la captura de CO_2 durante el proceso de crecimiento de los árboles, entregando valores negativos para la madera, característica clave para la reducción de la incidencia que tiene la industria de la construcción en el cambio climático global.

De esta manera se presentan los siguientes valores de $KgCO_2$ eq/ m^2 según la cantidad de pisos y la materialidad de una vivienda, estos son, para una vivienda de madera de 2 pisos, 430 $kgCo_2/m_2$ en tanto, para una vivienda de albañilería la suma asciende a 750 $kgCo_2/m^2$. En tanto, la captura de Co_2 de una vivienda de madera proviene de la misma capacidad de este material para “absorber” el Co_2, que para las viviendas de 2 pisos asciende a -150 $kgCo_2eq/m^2$ y para la albañilería solo -10 $kgCo_2$/m2 la cual proviene principalmente de las placas de Osb utilizadas en techumbre.

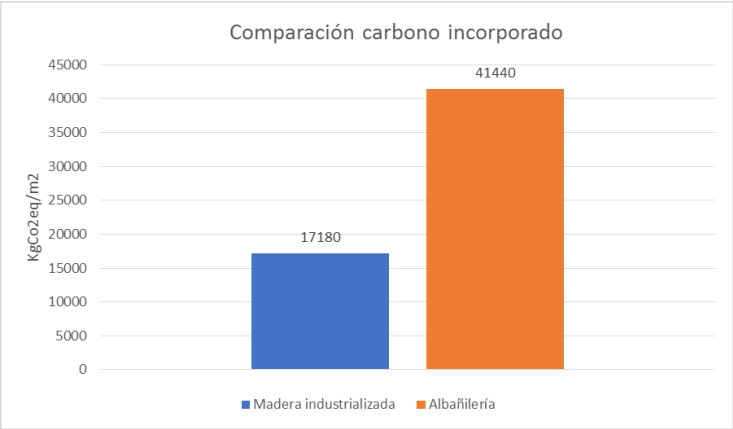
Figura 30 Carbono incorporado en obra gruesa /m2



Fuente: CIM UC 2019

Para el caso específico del proyecto estudiado se tiene:

Figura 31 Comparación carbono incorporado



Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Etapa de construcción

Para la etapa de construcción se identifican 3 etapas, estas son, transporte del producto, y su proceso de instalación y/o construcción. Las emisiones de estas dependerán siempre de las condiciones particulares de cada proyecto. Por ejemplo, para definir el transporte, se requiere conocer previamente las distancias recorridas entre la planta de fabricación, los puntos de distribución y el lugar donde se ejecutará el proyecto. Para la construcción, en tanto, se requiere identificar el sistema constructivo a utilizar junto con la maquinaria de apoyo, dotación de mano de obra, cantidad de residuos generados, etc. 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 Co2 equivalente producida.

Es importante mencionar que construir con materiales locales reduce el impacto por transporte de manera considerable. A modo de ejemplo, según las cubicaciones, para la vivienda estudiada se necesitan 6,6 m^3 de madera, mientras que para la misma construcción de albañilería se requieren 16,46 m^3 de hormigón. Considerando un camión a una distancia de 1 km se generarán 1,19 $kgCo_2eq$ mientras que para el hormigón 16,22 $kgCo_2eq$, por lo que el impacto es 13,5 veces mayor en el caso de este último.

Figura 32 Kg Co2 equivalente según tipo de transporte

Tipo de transporte	Kg Co2eq/ton/km
Camión > 32 ton	0,085
Barco (transoceánico)	0,012
Tren (diésel USA)	0,059
Avión (carga)	0,059

Fuente: Accoya n.d.

4.2.3 Etapa de uso

Para la etapa de uso se deben considerar factores como, mantenimiento, reparaciones, uso, rehabilitación y consumo energético. Para este caso particular se acotará el estudio al uso energético de la vivienda suponiendo una vida útil de 60 años. Esto en base a datos obtenidos del "Estudio comparativo de costos de operación para edificaciones en Chile del Centro UC de innovación en Madera". Es muy importante en esta etapa de estudio, la zonificación de los proyectos evaluados según condiciones climáticas. Como en el estudio antes mencionado no existe información respecto de la V región, se considerarán los de la ciudad de Antofagasta puesto que es la que más se asemeja al clima de la región en la cual se estudia el proyecto.

Los datos de Co_2eq por kWh consumidos se definen según fuentes nacionales e internacionales, esto debido a la falta de estudios y fuentes oficiales en el contexto nacional.

Figura 33 Kg Co2 equivalente según fuente energética

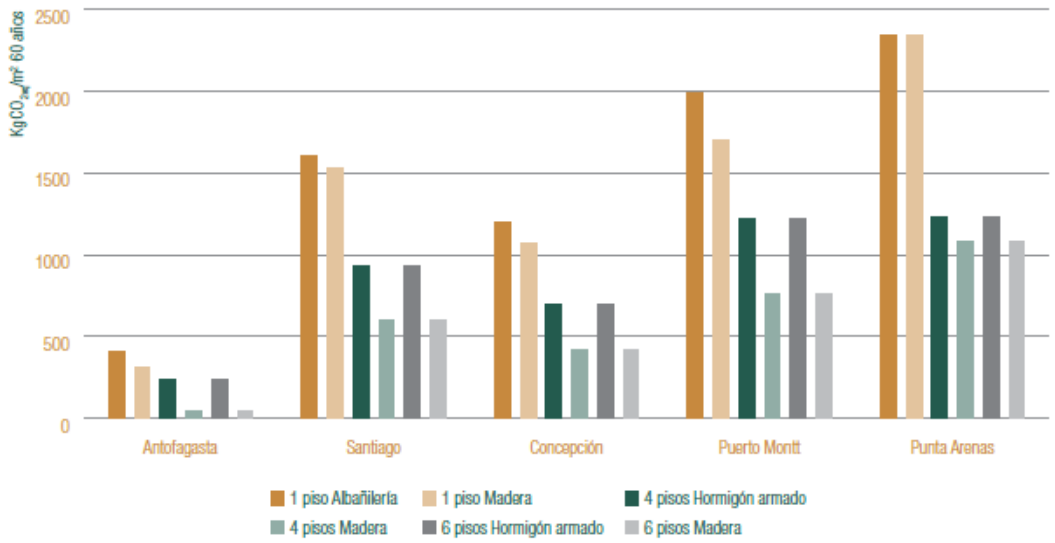
Fuente energética	Kg Co2eq/kWh	Fuente
Electricidad	0.4187	(energía.gob, n.d)
GLP	0.227	(Gómez et al, 2006)
GN	0.231	(Gómez et al, 2006)
Combustión (Leña)	0.000	(INFOR, 2015)

Fuente: Polomadera, 2019

Para la definición de consumo fijo de una vivienda tipo, se consideran requerimientos de agua caliente (gas licuado petróleo o o GLP), refrigeración de alimentos (electricidad), cocción de alimentos (GLP), iluminación (electricidad) y otros. Los resultados mostrados evidencian que el 57% del consumo fijo se realiza con GLP y el 43% restante con electricidad.

Según CIM UC en la ciudad de Antofagasta se presenta un consumo fijo de 1,639 kgCoeq/m2 x 60 años.

Figura 34 Kg Co2 equivalente liberado según tipo de construcción



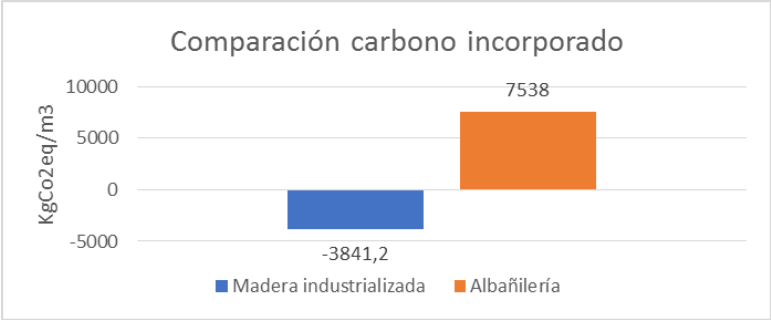
Fuente: Polomadera, 2019

4.2.4 Etapa fin de vida

Esta última etapa en el ciclo representa los procesos con lo que da fin al uso de la vivienda, es decir, considera demolición, transporte, gestión de residuos para reutilización, recuperación y reciclaje o eliminación final de los residuos. En esta etapa la madera presenta una ventaja considerable en comparación a la albañilería puesto que es un material que puede ser fácilmente reutilizado en nuevas edificaciones, muebles, pallets u otros. Además de lo anterior, posee la ventaja de poder finiquitar su vida útil como biomasa sin generar emisiones de Co2. Por el contrario, otros materiales de construcción no renovables presentan mucha mayor dificultad para eliminarse, por ejemplo, por cada m3 de madera se absorben 582 kgCo2 pero para el hormigón se emiten 458 kgCo2 y para el acero, 12.087 kgCo2 (Zabala y Aranda, 2011)

De esta manera, utilizando los mismos datos obtenidos para la vivienda estudiada y considerando que para la construcción de la vivienda de madera se necesitan 6,6 m3 de madera y para la construcción tradicional se necesitan 16,46 m^3 de hormigón se tiene:

Figura 35 Carbono incorporado madera industrializado vs albañilería



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

De acuerdo con lo expuesto anteriormente el sistema constructivo marco-plataforma mediante paneles prefabricados corresponde a un sistema constructivo no tradicional que al igual que otros también mencionadas anteriormente como el CLT, han sido ampliamente promovidos por países con potencial forestal como Canadá, Estados Unidos y Australia, esto arrastrado principalmente por la crisis mundial de déficit habitacional y la crisis del cambio climático posicionando de mejor manera materiales más "sustentables", 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 y con amplia capacidad de producción, que pueden ayudar a convertir a Chile en pionero en la construcción sustentable en madera en el mundo.

De los datos y análisis presentados se identificaron las siguientes condiciones para materializar la idea:

- La problemática del déficit habitacional en el contexto del COVID 19 puede presentarse como una oportunidad de cambiar el modelo con el cual se desarrolla la construcción nacional en el contexto de la vivienda social hacia un modelo más sostenible y eficiente basado en la utilización de recursos naturales. En este sentido Chile gracias a su potencial forestal, debe incentivar el uso de sus recursos dándole valor agregado y fomentando la demanda nacional.

- La industria de la construcción se ha mantenido casi sin variaciones en cuanto a innovación y uso de nuevas tecnología para hacer más eficiente los procesos y adecuarse al contexto global relativo al cambio climático.
- El bosque nacional es el responsable de contrarrestar aproximadamente el 59% de las emisiones anuales de CO2eq, siendo pieza clave para la realización de los compromisos en torno a la neutralidad de carbono para el año 2050. Con el fin de aprovechar la captura que aportan los bosques es que se hace indispensable buscar los productos forestales que sirven de depósito de Co2, siendo la edificación en madera la mejor oportunidad.
- Se destaca la importancia de la vivienda en el sector de la construcción con un déficit habitacional que varía en torno a las 700.000 unidades lo que hace necesario aumentar la productividad y eficiencia. A pesar de lo anterior Chile registra un aumento negativo de la productividad por lo que resulta fundamental avanzar en procesos de construcción industrializada.

Al contrarrestar la información levantada respecto de los análisis económicos y análisis de los plazos evaluando los costos de construcción y operación se observa una diferencia a favor de la construcción industrializada en cuanto al costo directo y al plazo, lo que lleva a una reducción de los costos principalmente por la disminución observada en las partidas de terminaciones y gastos generales.

En particular la partida Obra Gruesa (A) del método no tradicional presenta un aumento del 41,13% respecto del método de albañilería confinada. Esto se debe principalmente a que el valor de los paneles en Chile aún es un sistema de alto costo debido a la poca oferta

de proveedores y a los costos logísticos que implica su traslado, ya que las plantas se encuentran principalmente en el Sur del país.

Respecto de las Terminaciones (B) se observa que los costos de la construcción con madera son menores. Esto se debe principalmente a dos puntos. El primero tiene relación con la composición de los paneles ya que estos ya incluyen el yeso cartón, por lo tanto, los costos se traspasan a la partida de Obra Gruesa, en cambio en la albañilería se debe realizar los respectivos estucos, empastes y pintura por separados. El otro punto tiene relación con la aislación térmica., ya que los paneles prefabricados estudiados responden a los requerimientos térmicos desde la zona 1 a la 7 y se debió adecuar el sistema de albañilería a los mismos estándares. Para esto se debieron implementar panales tipo EIFS los cuales permiten alcanzar los estándares requeridos por la normativa pero elevan considerablemente los costos de construcción.

A pesar de que los costos directos de construir con madera se mantienen similares a los de la construcción convencional este material resulta altamente competitivo para viviendas de 1 a 2 pisos llegando incluso a ser una alternativa más económica que la albañilería logrando una disminución porcentual en total de alrededor del 15,19% que se genera principalmente por la disminución de los plazos de construcción de hasta un 30%. Esto quiere decir que se requiere menos tiempo para construir los mismos m2 de estructura logrando satisfacer la demanda en menos tiempo, haciendo más eficiente la construcción en serie de viviendas y principalmente, disminuyendo los gastos generales.

Además de lo anterior la madera presenta ventajas comparativas considerablemente mayores desde el punto de vista de la Huella de Carbono, principalmente durante las etapas de producción, construcción y fin de vida. Para este caso particular no se observa

una ventaja comparativa en la etapa de uso puesto que se equipararon los sistemas de envolvente térmico para ambos métodos constructivos, por lo que la eficiencia térmica se mantiene homogénea para ambos casos de estudio. Sin embargo, para el caso de la huella de carbono por producción la diferencia es abismal, considerando que para la construcción de esta vivienda estudiada se generarían 41440 kgCo2eq mediante el método tradicional y 17180 kgCo2eq mediante la construcción con madera industrializada, es decir un 58% menos de emisiones. Por otro lado, durante la etapa de fin de uso los residuos generados por la construcción con albañilería seguirían emitiendo 7538 kgCo2eq mientras que los desechos de la construcción con madera ayudan a capturar 3841 kgCo2eq, es decir, un 150% menos de emisiones.

Según los resultados obtenidos se ha ratificado la rentabilidad y eficiencia del sistema prefabricado por sobre el tradicional, principalmente por los rendimientos y la velocidad de construcción lo que se refleja directamente en los gastos generales y en el presupuesto final del proyecto, demostrando que este sistema es competitivo e idóneo para resolver los problemas planteados anteriormente.

Es necesario mencionar que ninguno de los dos métodos estudiados se ajusta al presupuesto disponible según el subsidio DS 49. Esto podría deberse principalmente a que para el modelo de estudio se escogió un sistema de prefabricación de madera que podría utilizarse dentro las 7 zonas climáticas aumentando notoriamente los costos de construcción en métodos de envolvente térmico. Sin embargo si se ajusta a otros subsidios actualmente disponibles, como lo son el, DS 1, el DS 19 con deuda hipotecaria o el subsidio de Leasing Habitacional todos disponibles en MINVU.

Si bien se logró confirmar teóricamente la competitividad del método constructivo con madera industrializada en comparación a los métodos tradicionales, en cuanto a plazos, costos y huella de carbono, alcanzar una producción que permita satisfacer el déficit habitacional requiere de una profunda intervención y adaptación de los actores públicos y privados. Se distinguen 5 ejes en los cuales se debe trabajar para tener una "hoja de ruta" que fomente el desarrollo sustentable de la madera:

- Avanzar en estándares de sustentabilidad, con un rol fundamental en la utilización de materiales con bajas emisiones de CO2.
- Avanzar en actualización regulatoria y normativa.
- Fomentar y potenciar la construcción industrializada en madera fortaleciendo empresas industrializadoras.
- Propiciar el desarrollo de edificios emblemáticos detonantes para informar e instruir a la población y generar difusión de las ventajas de la madera.
- Apoyar programas de incentivo a la reactivación económica

Es muy importante que estas acciones se realicen de manera colaborativa entre todas las partes involucradas.

Sin duda la madera se alza como un material idóneo para responder a las necesidades de la población mundial de déficit habitacional , sus evidentes características como el buen desempeño antisísmico, resistencia al fuego, aislación térmica, aislación acústica, y ventajas comparativas como la reducción en los costos y plazos, permitirán a los ciudadanos a adquirir viviendas sociales de mejor estándar cumpliendo con las metas medioambientales globales para combatir el cambio climático principalmente asociado a alcanzar la carbono neutralidad al año 2050 .

BIBLIOGRAFÍA

Acuña, H. (2019). *El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global.*

Autodesk. (2013). *Industrilized construction in academia. Industrialization of the Construction Industry through Prefabrication and Adoption of Current Technologies GRILLS 2013.*

BM. (2019). *Banco Mundial*. Obtenido de GDP per capita: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD

CCHC. (2020). Proyección habitantes.

CEPAL-CELADE. (1996). *DÉFICIT habitacional y datos censales sociodemográficos : una metodología. 83 p. Serie B, N°114. p. 19.*

CEPAL-OCDE. (2017). *Perspectivas Económicas de América Latina 2017.*

CORMA. (2020). *Corporación Chilena de la Madera. Reporte de participación en la industria forestal chilena.*

Correa, J. (2016). *LA NUEVA POLITICA HABITACIONAL EN CHILE, UNA MIRADA DESDE EL ACCESO AL TRANSPORTE PÚBLICO.*

FAO. (2019). *TENDENCIAS HISTÓRICAS Y LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR FORESTAL.*

Greenpeace. (2019). *IMÁGENES Y DATOS: ASÍ NOS AFECTA EL CAMBIO CLIMÁTICO.*

Haramoto. (1980). *Vivienda Social, Tipología del Desarrollo progresivo.*

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.*

IPCC. (2003). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS* .

IPCC. (2021). *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Quinto Informe de Evaluación (IE5).*

Irarrazaval, L. (2019). *Déficit habitacional en Chile: desafíos de política pública.*

Marin. (2016). *CAPITAL SOCIAL Y DESARROLLO BARRIAL EN CONJUNTOS DE VIVIENDAS SOCIALES SERVIU; Alcances para la formulación y análisis de la Política Habitacional.*

Minvu. (2019). *Catastro Nacional de Campamentos Análisis de Situación Habitacional Centro de Estudios de Ciudad y Territorio Diciembre de 2019.*

MMA. (2018). *MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. TERCER INFORME BIENAL DE ACTUALIZACIÓN DE CHILE SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO 2018.*

MMA. (2020). *MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. CUARTO INFORME BIENAL DE ACTUALIZACIÓN DE CHILE. Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.*

Moya. (2010). *SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN BASE A MADERA DISPONIBLES EN MERCADO CHILEN.*

Mundial, B., Mundial, B., & Banco, M. (2019). *GDP per capita*. Obtenido de GDP per capita: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD

NOAA. (2022). *Climate. NOAA CLIMATE.GOV. National Oceanic and Atmospheric Administration.*

ONU. (2019). *World Population Prospects*. Obtenido de GLOBAL ISSUES: Population.

Paniagua, P. (2021). *El Mostrador*. Obtenido de Un análisis histórico de la desigualdad en Chile: https://www.elmostrador.cl/destacado/2021/05/26/un-analisis-historico-de-la-desigualdad-en-chile/

Ramage, M. H.-W.-T. (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.*

Rivera. (2012). *HISTORIA DE LA POLÍTICA HABITACIONAL EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SANTIAGO.*

Skullestad, J. L. (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.*

Social, M. d. (2020). *CASEN en pandemia 2020. Ministerio de Desarrollo Social y Familia.*

TECHO-Chile. (2021). *Catastro nacional de campamentos en Chile.*

UN. (2022). *Environment programe. Decarbonising Buildings in Cities and Regions.*

Zilic, E. H. (2018). *Oportunidades de manufactura avanzada para la industria de la construcción en madera.*