

Oportunidades de  
Manufactura Avanzada  
para la Industria de la  
Construcción en **Madera**

Fecha de elaboración: 2018

Fecha de liberación para difusión: Agosto 2019

Frane Zilic

Juan Pedro Elissetche

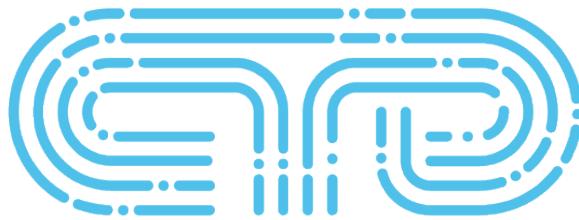
Vicente Hernandez

POLOMADERA

[www.polomadera.cl](http://www.polomadera.cl)

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

[www.udec.cl](http://www.udec.cl)



# Comité de Transformación Digital

Los desafíos globales en materia medioambiental, demográfica, laboral y digital, entre otros, ofrecen a su vez grandes oportunidades para dinamizar la industria nacional. Específicamente, la industria de construcción en madera tiene un importante potencial para capturar en gran medida el valor que proviene del actual escenario global, entregando soluciones disruptivas que respondan ampliamente a las exigencias en materia de desarrollo sostenible.

Desde el Comité de Transformación Digital de CORFO hemos querido hacer nuestra contribución, a partir de la identificación de oportunidades de manufactura avanzada en dicha industria, entendiendo la relevancia que tiene su desarrollo sobre la base del mayor aprovechamiento del potencial ofrecido por la llamada cuarta revolución industrial y las tecnologías disruptivas que la caracterizan. Esperamos que este estudio sea un aporte en esta línea.

Juan Francisco García Mac-Vívar  
Director Ejecutivo Comité Transformación Digital  
Comité de Transformación Digital de CORFO

El objetivo de este documento es profundizar las oportunidades existentes de manufactura avanzada en la industria de la construcción en madera para las empresas nacionales.

En el documento se plantea una breve perspectiva del entorno en el cual se desarrollan las actividades de la construcción y en específico en madera. Se presentan análisis de la industria actual, sus capacidades y las brechas existentes respecto de la situación a nivel mundial.

Finalmente, se presentan recomendaciones de cómo avanzar en la disminución de las brechas, para que se fortalezca la industria de la construcción en madera en Chile.

Marcelo Soto  
Gerente Programa Estratégico  
Manufactura Avanzada  
Industria 4.0



Oportunidades de  
**Manufactura Avanzada**  
para la Industria de la  
**Construcción en Madera**



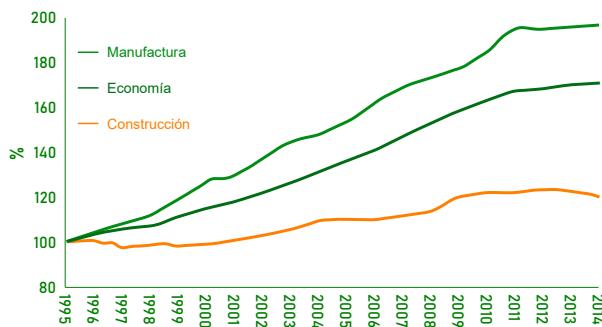
<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>9</b>
<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>13</b>
1.1. Introducción	13
1.2. Objetivo general del estudio	13
1.3. Objetivos secundarios del estudio	13
<b>2. Contexto global</b>	<b>15</b>
2.1. Mega-tendencias	15
2.2. Manufactura avanzada	17
2.3. Sostenibilidad	17
<b>3. Construcción tradicional</b>	<b>19</b>
3.1. Sostenibilidad económica en construcción	20
3.2. Sostenibilidad social en construcción	22
3.3. Sostenibilidad ambiental en construcción	23
3.4. Cadena de valor	24
<b>4. Sostenibilidad y Construcción en madera:</b>	<b>27</b>
4.1. Ventajas de la construcción en madera:	27
4.2. Políticas internacionales para la construcción en madera:	30
<b>5. Industrialización de la construcción</b>	<b>37</b>
5.1. Particularidades de la construcción tradicional:	37
5.2. Construcción industrializada:	44
5.3. Construcción industrializada en madera	47
5.4. Manufactura avanzada en construcción:	52
5.5. Manufactura avanzada en construcción en madera:	55
5.6. Nuevos modelos de negocio e Integración vertical:	55
5.7. Tecnologías de frontera	59
<b>6. Tracción potencial de la construcción nacional</b>	<b>65</b>
6.1. Sector privado	65
6.2. Sector público	66
6.3. Capacidad tractora real	68
<b>7. Brechas y aspectos condicionantes en Chile</b>	<b>71</b>
7.1. Brecha socio económica del sector forestal - maderero:	71
7.2. Abastecimiento de madera:	73
7.3. Calidad de la madera:	74
7.4. Impregnación de la madera:	74
7.5. Oportunidad de negocio en el aserrío:	75
7.6. Integradores nacionales	75
7.7. Calidad de la construcción - Eficiencia energética	77
7.8. Rotulado de la madera:	78
7.9. Sofisticación de la manufactura en madera	78
7.10. Garantía vs seguro	79
7.11. Hitos y requisitos legales en el desarrollo de construcciones	80
7.12. Normativa Nacional	81
7.13. Políticas e iniciativas nacionales	81
7.14. Acuerdos internacionales	84
<b>8. Conclusiones y oportunidades.</b>	<b>87</b>
<b>9. Glosario</b>	<b>91</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>97</b>
10.1. Libros	97
10.2. Publicaciones científicas	98
10.3. Tesis.	98



RESUMEN EJECUTIVO

# RESUMEN EJECUTIVO

Las tendencias globales están fuertemente marcadas por la sostenibilidad como vector principal de crecimiento y la revolución tecnológica es la que amenaza con la disruptión en todos sectores productivos. La industria de la construcción, a pesar de ser uno de los sectores económicamente más relevantes, muestra el peor desempeño en todos los aspectos de sostenibilidad económica, ambiental y social.



OECD; WIOD; GGCD-10, World Bank; BEA; BLS; national statistical agencies of Turkey, Malaysia, and Singapore; Rosstat; McKinsey Global Institute analysis

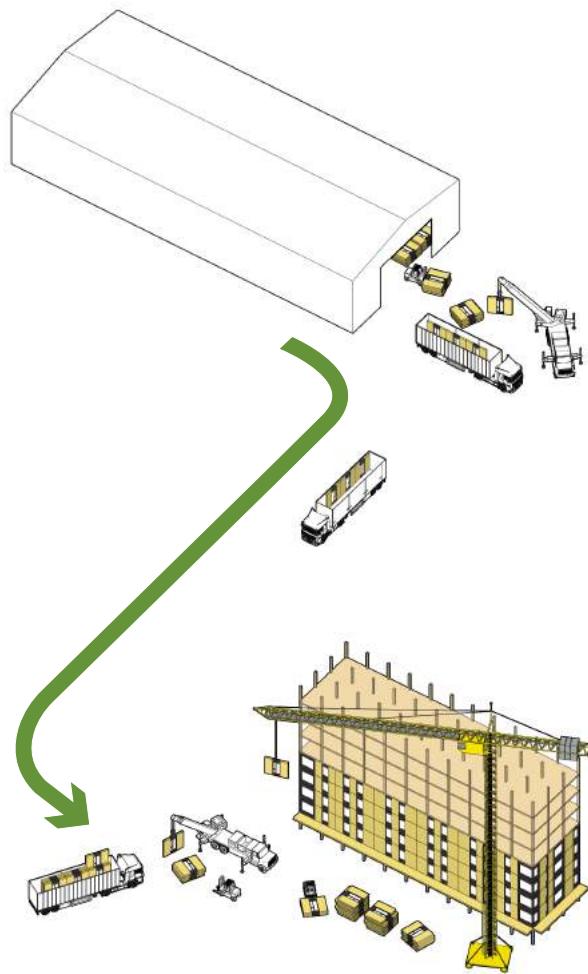
Una productividad estancada, costos crecientes, baja inversión tecnológica, altos índices de residuos hacen que este sector se encuentre particularmente vulnerable a la disruptión.

Para avanzar se visualizan solo dos posibilidades. La primera posibilidad, el cambio incremental, implica mejorar todos los procesos actuales, mejorar tecnología y formar nuevas capacidades, pero según McKinsey provocará solo un 50% de incremento en productividad.

La segunda posibilidad es avanzar hacia la industrialización de la construcción. La prefabricación en un entorno controlado promete recuperar la seguridad laboral, mejorar la empleabilidad femenina, permite automatizar, mejorar la precisión, disminuir los tiempos y los costos. Este cambio promete por lo menos un 500% de aumento de productividad también según McKinsey.

Para llevar a cabo esta industrialización de la construcción solo existen, actualmente, tres materi-

ales estructurales disponibles: Hormigón, acero y madera. De estos, el que presenta la mejor evidencia de sostenibilidad es la madera. Es renovable, reciclable, de bajo impacto energético, aislante, carbono negativo, liviana pero altamente resistente. Sus características mecánicas la hacen particularmente adecuada para la industrialización, dado que es más precisa y más fácil de manipular y montar.

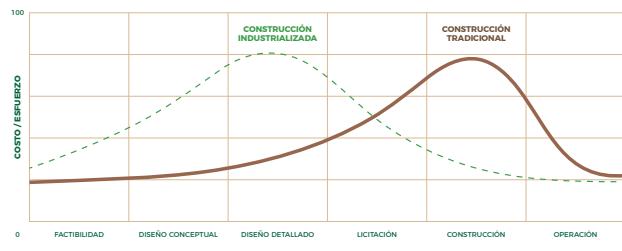


La gran variedad de usos de la madera y su presencia constante en el desarrollo humano han hecho que las tecnologías disponibles para la manufactura avanzada en el procesamiento de madera sean hoy mucho más desarrolladas que las que existen para otros materiales de construcción. Hace casi 30 años que se empezó a desarrollar un

software BIM para construcción en madera y hoy se vincula directamente con la maquinaria de industrialización. Las tecnologías de mecanizado CNC de más de tres ejes tienen más de dos décadas en el mercado y hoy se trabaja la madera con precisiones por debajo de la décima de milímetro.

La industrialización en base a madera es una de las tendencias de la construcción sostenible a nivel global, y su crecimiento se está dando tanto por la demanda del cliente final como por el avance de las políticas públicas. El principal apoyo viene de forma indirecta al profundizar con la normativa en el análisis de ciclo de vida de la edificación.

El avance hacia la industrialización está generando como consecuencia la integración vertical del sector, generando nuevos modelos de negocio que ordenan a todos los actores en torno a un objetivo de productividad común.



Distribución del esfuerzo de la construcción tradicional vs industrializada

La industrialización traslada los esfuerzos hacia una mejor planificación de la obra. Con esto se puede automatizar en planta la fabricación de componentes o módulos para llegar a obra a hacer el montaje de manera rápida.

En Chile contamos con una edificación pública que pudiera eventualmente ser usada como industria tractora de construcción industrializada en madera, y también existe la materia prima para llevarla a cabo, sin embargo no se han detectado mecanismos legales que permitan avanzar en esa línea de creación de valor.

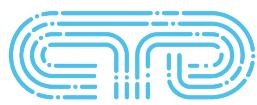
La principal especie productiva, el Pino radiata, es perfectamente compatible con el desarrollo constructivo industrializado, sin embargo es en su transformación donde encontramos las brechas más grandes. No tenemos formación adecuada para la carpintería de calidad y no permite contar

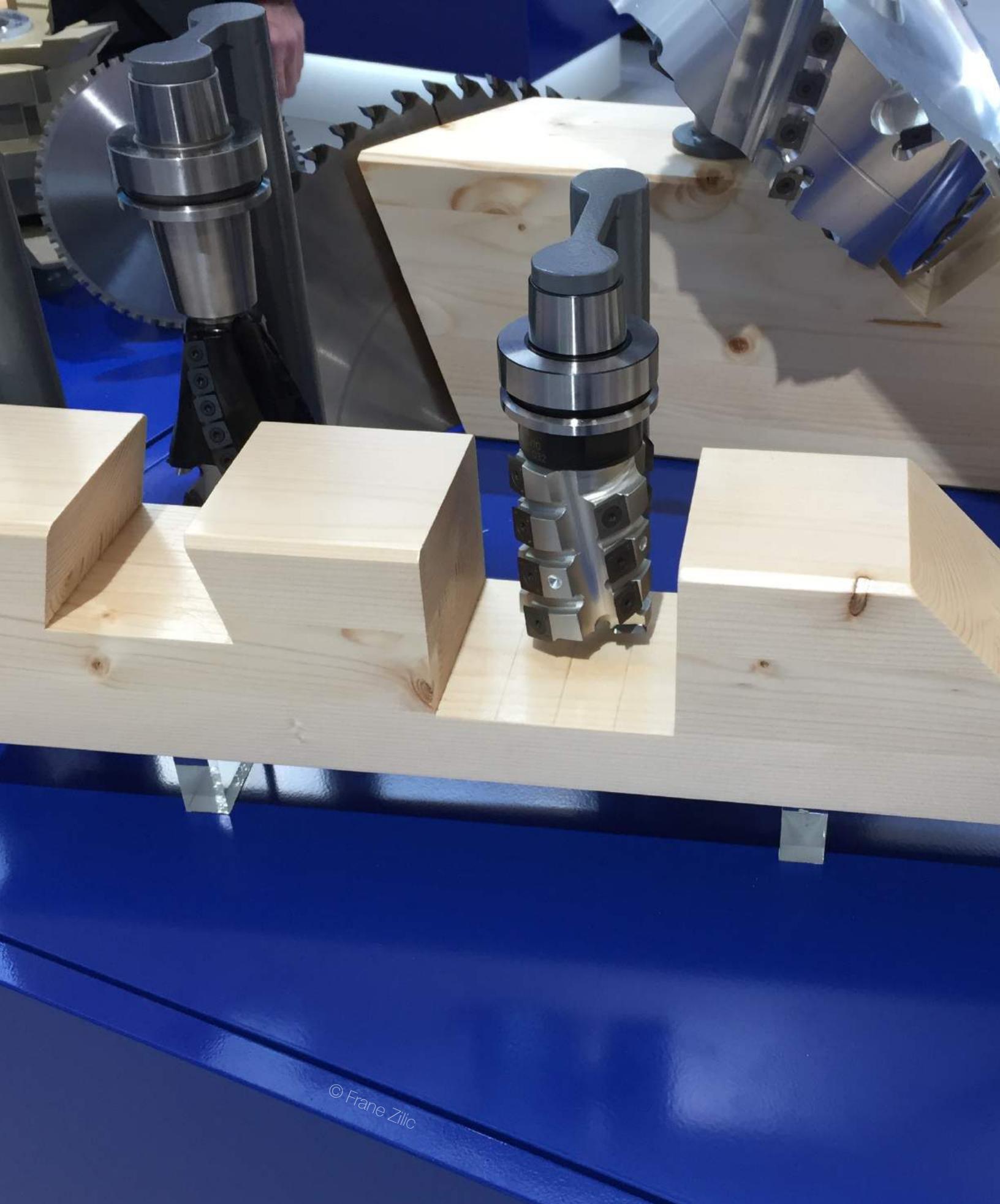
con personal calificado para la fase de planificación de la obra y la industrialización.

Una de las principales diferencias entre la industria nacional y los casos más avanzados está en los mecanismos para asegurar la calidad. En los países desarrollados las constructoras deben asegurar la edificación antes de entregarla. Con lo que se involucra un tercer actor, la aseguradora, quien fiscaliza todo el proceso, exige las competencias laborales, e impone los estándares de calidad requeridos para la durabilidad del producto.

Si bien se encontraron brechas en Chile en temas normativos y en la certificación de calidad de la madera, se observa que diversas instituciones, agrupaciones, y universidades están avanzando para el fortalecimiento del sector.

Sin duda la manufactura avanzada y sus tecnologías asociadas, modificarán profundamente el proceso artesanal actual de construcción, pero la aplicación con el mayor impacto disruptivo se visualiza en el entorno industrializado y sus posibles modelos de negocio. Con la prefabricación fuera de sitio, se generan nuevas oportunidades en la captura y procesamiento de datos para poder optimizar el proceso. Se visualizan también nuevos negocios de mantenimiento y servicios de operación inteligente, y las nuevas tecnologías abrirán puertas a herramientas de aprendizaje y a una coordinación más eficiente. Si la industrialización se hace en madera se pueden conjugar esas ventajas con los beneficios de una economía circular.





INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

---

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

---

## 1.1. Introducción

La construcción es una industria clave en la mayoría de los países desarrollados, pero ha tenido dificultades para crecer como lo han hecho otros sectores. Mientras otras industrias manufactureras han duplicado su productividad en los últimos 20 años, aumentando su eficiencia y adoptando la era digital, la construcción lleva varias décadas en una situación de estancamiento a nivel internacional. El potencial de desarrollo económico, se suma a la presión internacional por la sostenibilidad de la edificación, ya que reporta las peores cifras sectoriales, generando una serie de necesidades de desarrollo que hacen prever fuertes

cambios en la construcción durante la próxima década.

En Chile el sector de la construcción en madera ha perdido competitividad, y, a pesar de ser un recurso abundante, sostenible, local y eficiente, no ha logrado masificarse como un sistema de calidad reconocida. Las tendencias y el avance tecnológico internacional alimentan la hipótesis de que nos encontramos en un escenario propicio para la construcción en madera, en la medida que seamos capaces de nivelar nuestra calidad y productividad con los estándares internacionales.

## 1.2. Objetivo general del estudio

El presente informe buscará poner en evidencia los desafíos y oportunidades más relevantes que tendrá la industria nacional de construcción en madera para enfrentar la captura de valor agregado, en un escenario de disrupción tecnológica y globalización de la construcción.

## 1.3. Objetivos secundarios del estudio

- Entregar un diagnóstico y caracterización del sector de la construcción que permita entender la complejidad y necesidad de intervención
- Entregar una visión del contexto global tecnológico que marcará las tendencias de la construcción
- Caracterizar las ventajas de la construcción en madera industrializada.
- Definir y profundizar en la manufactura avanzada para la construcción en madera
- Caracterizar y comparar industrias nacionales con otras industrias de presencia internacional.
- Proponer soluciones para el contexto local



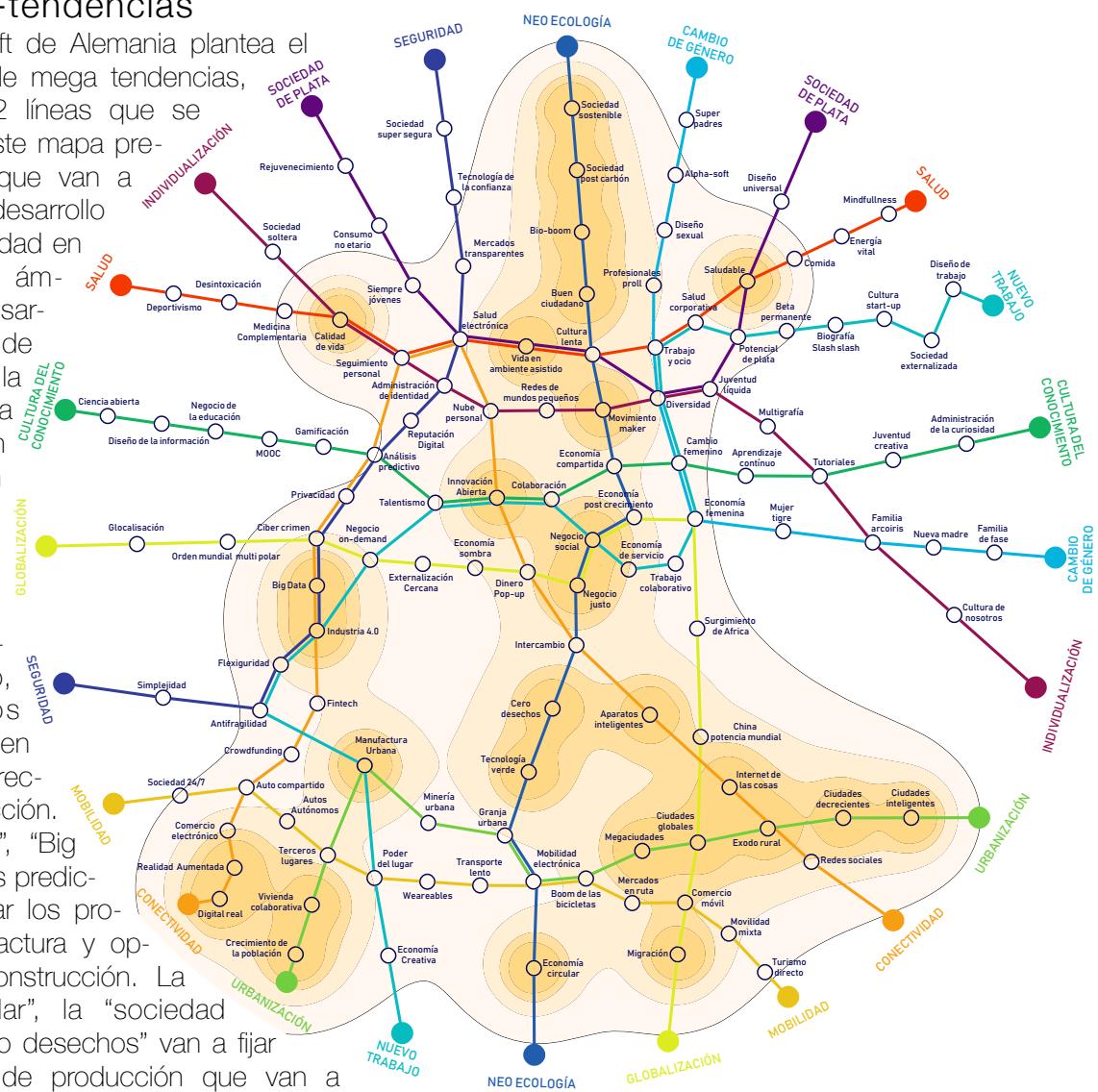
CONTEXTO GLOBAL

## 2. CONTEXTO GLOBAL

El mundo está experimentando cambios con una velocidad nunca antes vista. El 90% de los datos y la información que existe en el mundo se ha generado en los últimos dos años (IBM Marketing Cloud Report 2017). Es difícil o incluso imposible predecir el futuro en un escenario en el cual van a surgir tecnologías disruptivas que modificarán profundamente las reglas del juego. Sin embargo, en todas las clasificaciones de tendencias existe una constante: La sostenibilidad. Dentro de este ámbito compiten tres fuerzas: el medio ambiente, la sociedad y la economía. El cambio climático, principal urgencia medioambiental, aparece como una fuerza que llama a la globalización dado que no reconoce fronteras, y especialmente exige hacer énfasis en la reducción urgente del impacto sobre el planeta. La automatización, por otro lado, está guiada principalmente por la sostenibilidad económica, amenazando con desplazar gran parte de la fuerza laboral. La sostenibilidad social parece ser el ente fiscalizador manteniendo alerta los otros dos para que no olviden cuál es el verdadero sentido del progreso.

### 2.1. Mega-tendencias

El instituto Zukunft de Alemania plantea el siguiente mapa de mega tendencias, clasificado en 12 líneas que se interrelacionan. Este mapa presenta aspectos que van a condicionar el desarrollo futuro de la sociedad en lo más diversos ámbitos como el desarrollo tecnológico, de los negocios, de la cultura y de la sostenibilidad en general. Si bien se puede argumentar que todos afectan de alguna manera al desarrollo del entorno construido, existen algunos puntos que tienen un vínculo más directo con la construcción. La "Industria 4.0", "Big Data", y el "análisis predictivo" van a afectar los procesos de manufactura y operación de la construcción. La "economía circular", la "sociedad sostenible" y "cero desechos" van a fijar nuevos criterios de producción que van a



transformar nuestras viviendas y procesos constructivos. El “aprendizaje continuo”, el “movimiento maker” y la “innovación abierta” van a ser el motor de desarrollo acelerado de la industria de la construcción. La “migración”, el “éxodo rural” y el “crecimiento de la población” van a ser los encargados de poner carácter de urgencia a todas las mejoras que necesita la industria la construcción.

De acuerdo al Buildings Performance Institute Europe (BPIE) las principales mega-tendencias que afectarán a la construcción se resumen en los siguientes puntos:

**Cambio climático:**

- Legislación y medidas de apoyo para reducir las emisiones de edificios
- Consumidores ambientalmente conscientes

**Cambio demográfico:**

- Envejecimiento de la población y aumento del número de viviendas poco ocupadas
- Número creciente de familias pequeñas y mixtas
- Aumento de pobreza de combustible
- Demanda de reemplazo de trabajadores de la construcción en un 60% para 2020 en conjunto con la reducción del flujo de trabajadores más jóvenes en la fuerza laboral

**Revolución de la tecnología digital y más amplia:**

- Automatización avanzada y procesos industriales dentro y fuera del sitio
- Adaptación masiva a la tecnología de teléfonos inteligentes y dispositivos conectados (Internet de las cosas)

**Trabajo independiente de tiempo y lugar**

- Los actores ajenos a la construcción ingresan a la cadena de valor de la construcción, como por ejemplo el transporte autónomo y las TICs.

**Crisis económica:**

- Requisitos más estrictos para préstamos hipotecarios y mayor precaución para inversiones

- Polarización social dificulta encontrar una vivienda digna a precios asequibles para las personas vulnerables

- El 90% de las viviendas sociales necesita una renovación energética

**Energía:**

- Legislación y medidas de apoyo para reducir la demanda de energía de los edificios
- Paridad de red y adaptación generalizada de tecnologías de energía renovable. Por ejemplo, los sistemas solares estarán en paridad de red en el 80% del mercado global en 2 años
- El mercado de la energía está cambiando hacia la descentralización, descarbonización, en un sistema más complejo y abierto)
- Electrificación de calefacción y refrigeración

**Globalización:**

- Competencia desleal a nivel internacional debido a estándares más altos de la cadena de valor de la construcción europea. Desleal por concepto de sobre costo de estándares más altos, pero, por otro lado, la adopción temprana de estándar implica una ventaja competitiva por liderazgo de primer entrante.
- Acceso limitado a los mercados internacionales: renuencia local a abrir las compras públicas a las empresas constructoras internacionales.

**Recurso y agotamiento ambiental:**

- Legislación y medidas de apoyo para aumentar la eficiencia de los recursos
- Conocimiento general del agotamiento de los recursos y el medio ambiente, de la cuna a la cuna y economías locales

**Desarrollo urbano:**

- Alto y creciente grado de urbanización
- La biodiversidad amenazada y el mayor riesgo de inundación y escasez de agua debido a la impermeabilización de suelo y expansión urbana
- Ciudades con amenaza de estancamiento o declive económico

## 2.2. Manufactura avanzada

En la hoja de ruta del programa de manufactura avanzada de CORFO, se define como “aquella que crea nuevos materiales, productos y procesos con el uso de la ciencia, ingeniería y tecnologías de información, herramientas y métodos productivos de alta precisión, fuerza de trabajo altamente capacitada y nuevos modelos de negocios y organización (Institute for Defense Analysis, 2012)”.

También se señala que “Este tipo de manufactura es, para muchos autores, la causante de la cuarta revolución industrial que está cambiado el foco de las empresas productivas desde hacer las cosas lo más costo-eficiente posible, tendencia principal de los últimos 40 años, a hacer las cosas inteligentemente (Van Agtmael & Bakker, 2016).”

La manufactura avanzada, por lo tanto, implica una visión sistémica más sostenible, que vaya más allá de lo económico e integre variables ambientales y sociales. Para lograr esto se hace un

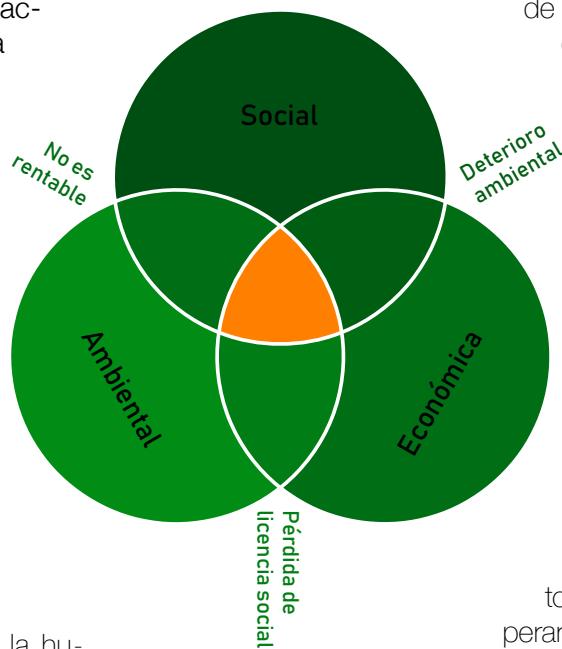
uso intensivo de la tecnología, lo que requiere la actualización de la infraestructura y del capital humano, y permite nuevas oportunidades de negocio y mayor eficiencia productiva.

Existen diversas tecnologías que dan sustento a la definición de una cuarta revolución industrial, basada en la conformación de sistemas de producción ciber físicos. Estos sistemas combinan sensorización del entorno físico real, con la capacidad de interpretación de grandes volúmenes de datos, para generar información que permita tomar decisiones y actuar de vuelta sobre los sistemas productivos. Esta mezcla de componentes virtuales y reales abre nuevas puertas, para la automatización de una producción flexible y adaptada a la creciente necesidad de personalización del usuario y a la velocidad y eficiencia requerida por la empresa.

## 2.3. Sostenibilidad

La sostenibilidad se plantea como “Atender a las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social”. Hoy, se entiende la sostenibilidad como la interacción entre la preocupación por el bienestar del ser humano, la protección del medio ambiente y el crecimiento de la economía.

Nunca antes en la historia de la humanidad se había tenido tanta conciencia del impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente a escala global. La tasa creciente



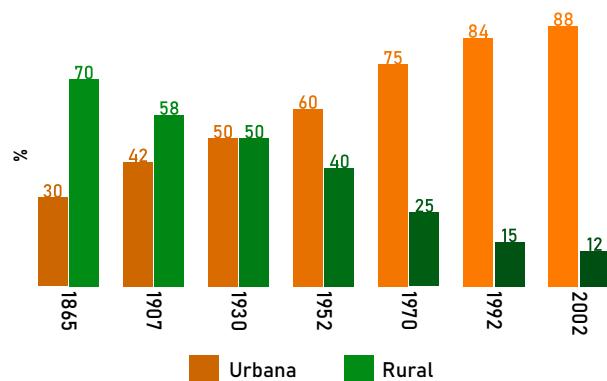
de desastres naturales, el aumento de las temperaturas, el aumento del nivel del mar, la extinción de especies, la escasez de agua, y la reducción de los cascos polares, están dando una señal clara de que necesitamos cambiar la manera de hacer las cosas. El cambio climático es una manifestación del desbalance provocado por el crecimiento basado principalmente en criterios económicos y dejando de lado los aspectos medioambientales. Recuperar el balance sostenible es una presión cada vez más urgente que va a condicionar todo desarrollo futuro.



CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

### 3. CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

El crecimiento de la población mundial está ejerciendo presión sobre nuestra capacidad de mantener un crecimiento sostenible. En cinco años más se espera que la población mundial alcance los 8.000 millones (UN Population Division 2017) lo que genera nuevas oportunidades y desafíos para el sector de la construcción. Adicionalmente la población se concentra cada vez más en entornos urbanos de alta densidad.

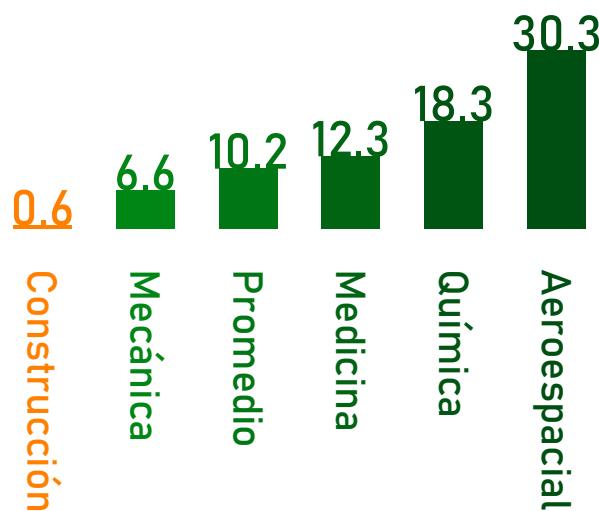


Porcentaje de población urbana y rural en Chile - Fuente: INE

El Instituto Global McKinsey señala que cada año hay alrededor de US\$ 10.000.000.000.000 (10 billones USD ó 10 Trillion USD) en gastos relacionados con la construcción en todo el mundo, equivalentes al 13% del PIB y empleando al 7% de la población. Esto hace que la construcción sea uno de los sectores más grandes de la economía mundial. En Chile el sector aporta el 7.1% del PIB y concentra el 8,5% del empleo,

Para el año 2025 se espera que la cifra total de negocios de la construcción suba a US\$ 14.000.000.000.000 (14 Trillions USD) anuales. Si se lograra aumentar la productividad de la construcción hasta el promedio de la economía general, el sector capturaría 1.6 Billones de USD adicionales.

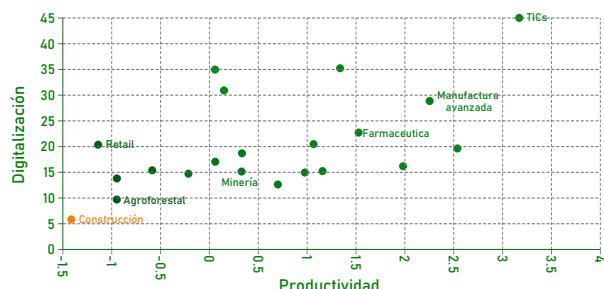
A pesar del enorme potencial económico, la inversión en I + D en la industria de la construcción se encuentra entre las más bajas en comparación con otras industrias.



Inversión en I+D en Alemania - Züblin 2003 (M€/p)

En promedio, las empresas constructoras alemanas, por ejemplo, gastan solo 590 euros por empleado en I + D por año, en comparación con los 30.290 euros por empleado que gasta la industria aeronáutica y espacial (Züblin, 2003), 50 veces menos (Fig. 3.1.11).

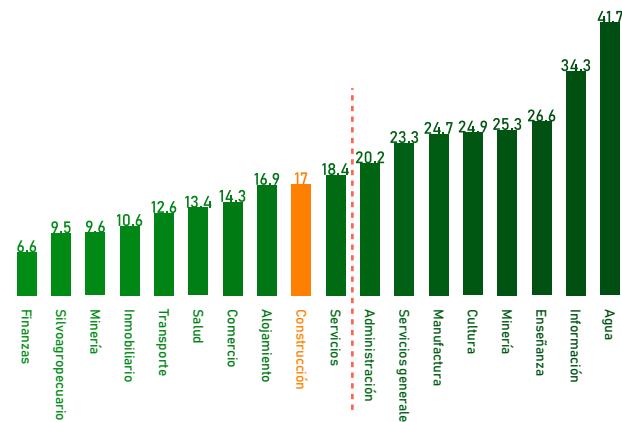
Adicionalmente la construcción se encuentra entre los sectores menos digitalizados del mundo según el índice de digitalización de MGI. Este indicador evalúa dónde y cómo las empresas están desarrollando activos digitales, expandiendo el uso digital y creando una fuerza de trabajo más digital. En Estados Unidos, la construcción se encuentra en penúltimo lugar, por delante de la agricultura y en Europa está en la última posición. La inversión del sector de la construcción en TICs es débil en comparación con otros sectores .



Índice de digitalización Fuente: McKinsey Global Institute.

Esta realidad internacional también se refleja a nivel nacional ya que la construcción presenta una tasa de innovación por debajo del promedio (19.4) a pesar de representar el 7% del PIB nacional (Feller - Rate).

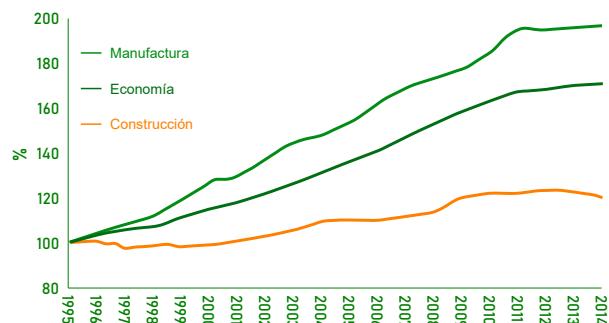
De acuerdo al McKinsey Global Institute en Alemania, por ejemplo, el sector de la construcción solo invirtió 0.7% de su valor agregado bruto anual entre 1991 y 2007 en activos digitales. En comparación, la intermediación financiera invirtió un 4,3% y la manufactura un 1,8%. Una situación similar se observa en EE.UU. donde se invirtió un 1,5% del valor agregado bruto, muy por debajo del 3,3% en manufactura y del 3.6% en promedio.



Tasa de innovación por sector en Chile-décima encuesta nacional de innovación

### 3.1. Sostenibilidad económica en construcción

La industria de la construcción está en un estancamiento de la productividad, que no ha aumentado, a nivel mundial, más de 1% en los últimos 20 años, generando un enorme potencial de crecimiento (Fuente: MGI). La siguiente figura muestra el crecimiento de la productividad comparado con la economía y otros sectores manufactureros a nivel mundial.



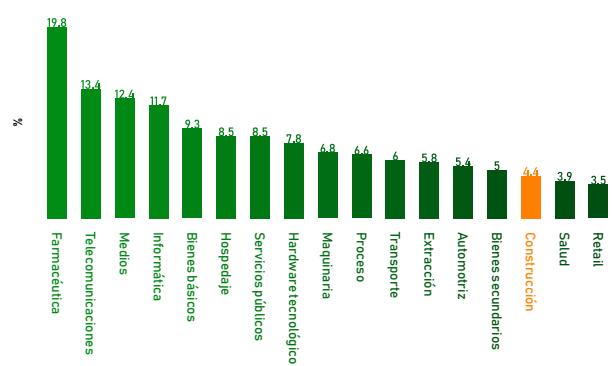
OECD; WIOD; GGCD-10, World Bank; BEA; BLS; national statistical agencies of Turkey, Malaysia, and Singapore; Rosstat; McKinsey Global Institute analysis

En Chile la situación no es muy diferente, la construcción no ha conseguido mejorar su productividad laboral mientras que el resto de los sectores de la economía muestran un claro aumento de desempeño.

La productividad laboral de Chile en el rubro de la construcción, en el año 2015, muestra niveles

similares a los de República Checa, Rusia, Turquía y México, muy por debajo de los referentes en la industria de la construcción como son Canadá, EE.UU. Australia, Alemania, Austria, Italia y Francia (Fuente: MGI).

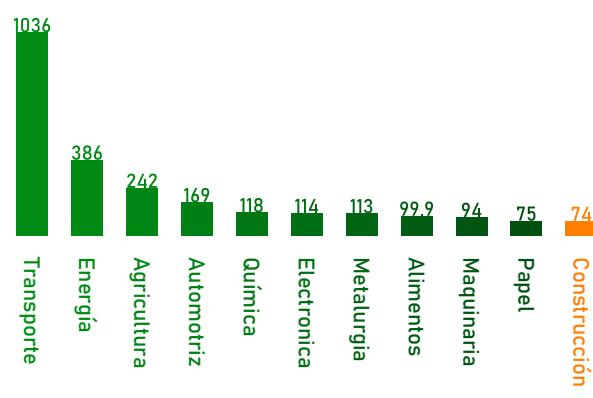
Adicionalmente el sector de la construcción a nivel internacional es de los que reportan menos margen de utilidades. En el estudio elaborado por MGI el año 2017, la industria la construcción reporta un 4,4% de utilidades, quedando en 15º lugar de 17 sectores clasificados



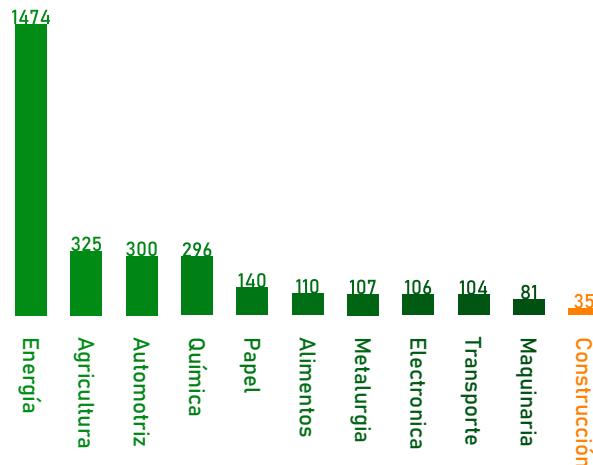
McKinsey Corporate Performance Analysis Tool; IHS; US Bureau of Economic Analysis; US BLS; McKinsey Global Institute analysis

El sector de la construcción en Alemania reporta el más bajo de los indicadores de stock de capital, lo que revela una industria de alto impacto pero con baja inversión (Institut der deutschen Wirtschaft - Köln, 2012)

De acuerdo al mismo estudio: Si consideramos el stock de capital dividido por la cantidad de trabajadores se obtiene la intensidad de capital lo que indica la cantidad de inversión en infraestructura que hay por cada trabajador. Esto da una idea del nivel de industrialización del sector y del nivel de tecnología que se entrega a cada trabajador para realizar su tarea. Nuevamente el sector de la construcción revela las peores cifras.



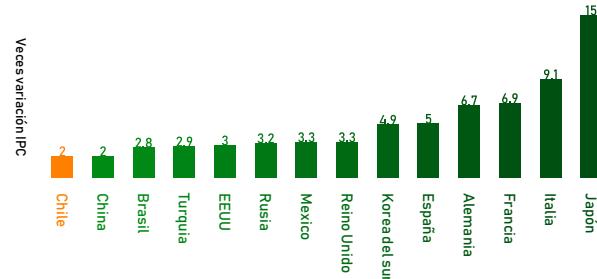
Stock de capital por sector en Alemania - Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 2012,



Intensidad de capital por sector en Alemania - Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 2012,

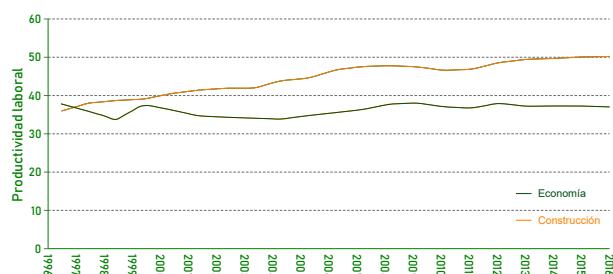
En Alemania, los defectos de la construcción representan aproximadamente el 3% del volumen de inversión. Considerando todas las construcciones, Dekra (Dekra, 2008) estima el costo directos de defectos en unos 2.800 millones de euros. El impacto indirecto aumenta la cifra en 2 mil mil-

lones de Euros por año. Dekra también señala que desde el 2002 la cantidad de defectos por año se ha duplicado en la construcción tradicional.



Aumento del costo de construcción comparado con el aumento del IPC - Compass International - 2018 Global Construction Costs - CChC - INE

Otra tendencia que se observa a nivel global, es el aumento del precio de la vivienda a una tasa mayor que lo del aumento del costo de la vida. Esto significa que en la mayoría de los países es proporcionalmente más caro comprar una casa hoy, de lo que era hace 10 años atrás (Compass International). La construcción como sector no ha sido capaz de aumentar el volumen generando economía de escala, sino más bien el aumento de volumen se ha traducido en un sistema más complejo y menos eficiente.



Productividad media laboral en la construcción y economía de Chile; Fuente Informe CLAPES UC.

El informe Clapes UC sobre productividad laboral en la construcción indica que la productividad media en Chile fue 37 mil USD por trabajador en 2016, con un crecimiento nulo en los últimos 20 años. Esta cifra contrasta con la productividad del resto de los sectores de la economía del país, el cual alcanzo un valor de 50.1 mil USD por trabajador, con un crecimiento medio anual de 1.7%. En contraste con los países de la OCDE la pro-

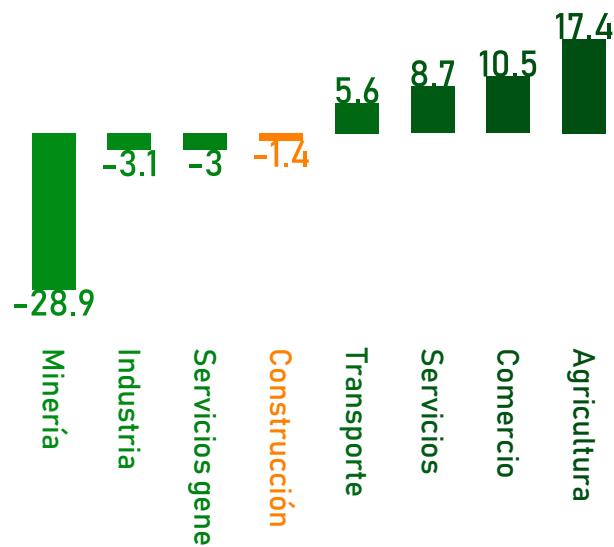
ductividad en la construcción fue 63,4 mil USD por trabajador y creció en promedio 1.1% entre el año 1996 y 2016. Se estima que la menor productividad de la construcción en Chile, respecto de la del resto de la economía del país, ha generado pérdidas anuales del alrededor del 1.5% del PIB entre el 1996 y 2016.

Los resultados anteriores coinciden con los informados por la Comisión Nacional de Productividad, que, en su informe anual de 2017, entrega los resultados del índice de productividad por sector, entre los años 1990 a 2016. Este índice muestra un peak de productividad entre los años 2000 a 2005, con un 2% positivo, para luego disminuir significativamente alcanzando con valores negativos entre los años 2005 a 2015, con un leve repunte en 2016. En Chile el sector presenta una Productividad Total de los Factores negativa para los últimos 25 años.

Por otra parte la Cámara Chilena de la Construcción (CCHC) señala que el año 2017 cerró un ciclo de tres años consecutivos de caída de la inversión en el rubro de la construcción, con una caída de un 1,8%. Esta cifra superó los retrocesos de 0,6% y 0,7% que se anotaron en los años 2015 y 2016.

La CCHC también señala que el 2017 hubo una caída de 3,5% en la inversión en infraestructura, que se explica en gran parte por una contracción

de 6,9% en el desembolso para proyectos privados. El segmento de la infraestructura pública y privada representa cerca del 70% de la inversión en construcción. El potencial de la industria de la construcción a nivel nacional se ve supeditado al incremento de las inversiones en infraestructuras públicas y privadas del país, mientras se mantiene a niveles de productividad muy por debajo del promedio de los países desarrollados, generando pérdidas económicas notables para el país, de alrededor del 1.5% del PIB entre el 1996 y 2016.

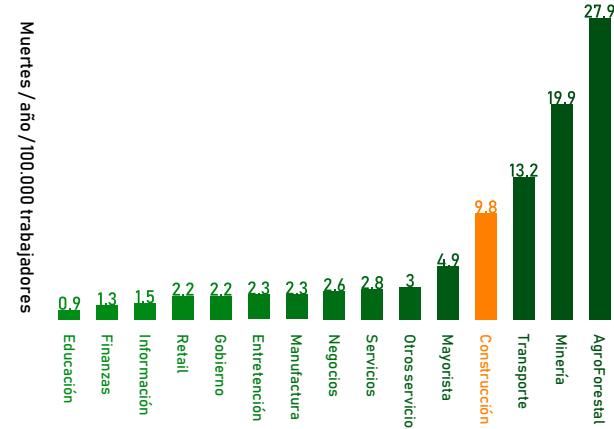


Índice de productividad por sector, Fuente Informe anual productividad nacional 2017 (1990-2016)

### 3.2. Sostenibilidad social en construcción

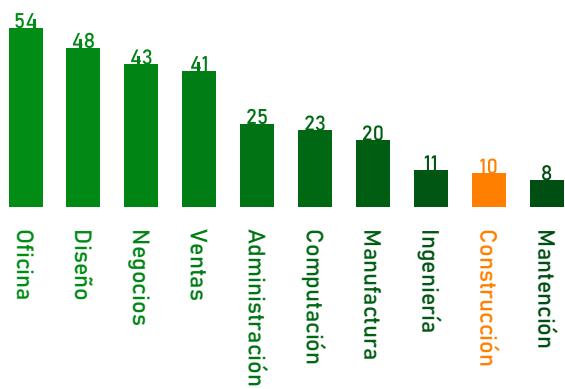
La industria de la construcción es de las más riesgosas para la salud de los trabajadores. En términos absolutos representa el sector con más muertes en EEUU y es el cuarto en términos relativos (US Department of labor).

Estos accidentes se estiman en un costo cercano a los 10.000 millones de dólares para EEUU anualmente (Dong 2005). En Alemania, uno de cada seis trabajadores sufre un accidente al año y uno en 7000, fallece (BG Bau 2012). En Chile, según fuente Segma 2017, se generan 176.000 accidentes laborales en el sector de la construcción y fallecen 400 personas al año.



Muertes por cada 100.000 trabajadores en EEUU - U.S. Department of Labor, 2012

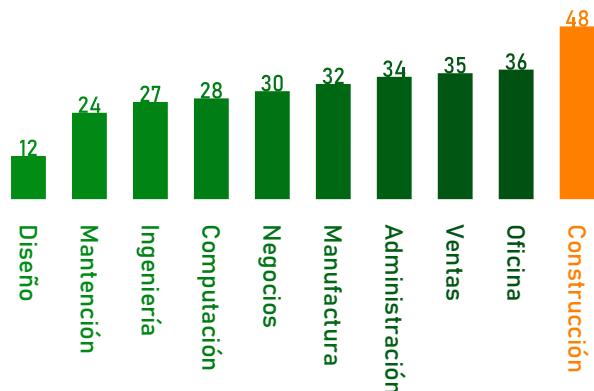
Por otra parte cifras entregadas por el Programa Estratégico Nacional de Productividad y Construcción Sustentable, indican que la tasa de accidentabilidad, medida como días de ausencia por cada 100 trabajadores alcanza valores de 4.32% para la industria de la construcción el 2015 y un 4% como media nacional en todas las áreas. Se establece como meta para el 2025 un 2,5%. Similarmente para el 2016 la meta de accidentabilidad era alcanzar valores de 3,5/100 en accidentes no fatales y 3,5/100.000 para accidentes fatales.



Empleabilidad de la mujer en el rubro de la construcción (World Economic Forum - The future of jobs 2016)

La empleabilidad femenina en la industria de la

construcción se encuentra solo en un 10% a nivel internacional y además presenta una brecha salarial de un 48% con respecto al mismo trabajo de un hombre (WEF - The future of jobs).



Diferencia salarial de la mujer en el rubro de la construcción (World Economic Forum - The future of jobs 2016)

Adicionalmente a nivel internacional, la industria de la construcción ha perdido atractivo para las nuevas generaciones por su bajo nivel de sofisticación e ingreso. En Reino Unido por ejemplo los puestos de trabajo sin oferta adecuada se han duplicado en los últimos 7 años (Skills and Training in the Construction Industry 2016, CITB).

### 3.3. Sostenibilidad ambiental en construcción

Un 40% de las materias primas mundiales se usan en el sector de la construcción. En EEUU, la industria de la construcción usa unos 3.000 millones de toneladas de materia prima, superando a todos los otros sectores combinados ( U.S. Geological Survey Institute, USGS, 1998).

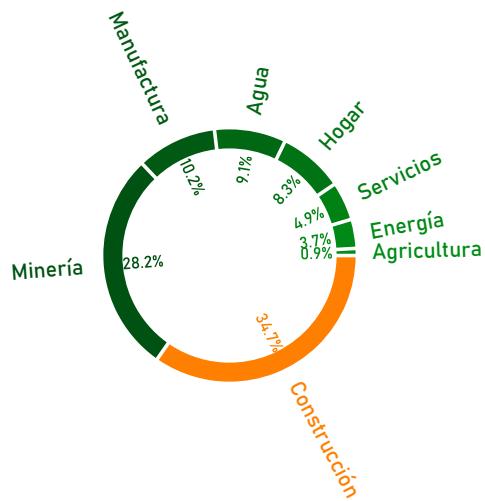


Consumo de materia prima de diferentes industrias durante el siglo XX. Fuente: USGS.

El sector de la construcción, produce cerca del 35% de los desechos de Europa (Eurostat). En EEUU, de los 160 millones de toneladas que produce anualmente la construcción, el 48% proviene de demoliciones, el 44% de renovaciones y el 8 % de los procesos de construcción de obras nuevas. De acuerdo a las cifras del banco mundial el costo de administrar los desechos de la construcción representa 11.200.000.000. US\$ (11.2 Trillion USD) por año para Estados Unidos. En parte, la cantidad de desechos se explica porque la construcción tradicional presenta una baja tasa de reciclabilidad, con un 70 a 80% de los desechos que terminan en el relleno sanitario.

En la fase de operación del entorno construido se consume casi un 40% de la energía de EEUU, siendo la eficiencia térmica de la edificación re-

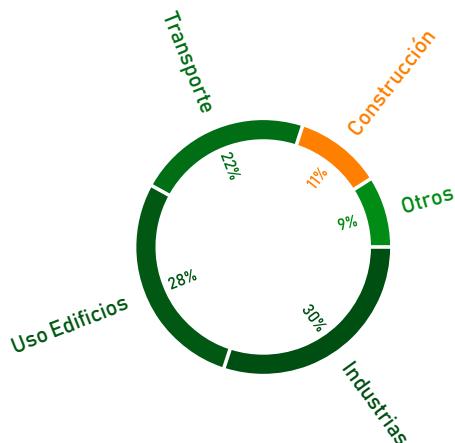
sponsable del 14.3% del total (Pillon - UCLA).



Desechos de diferentes industrias. Fuente: Eurostat online data code env.wasgen.

Durante la fase de construcción, el sector es responsable del 11% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial. De acuerdo al programa CONSTRUYE 2025 en Chile la industria de la construcción es responsable del 26% del uso de energía, concentra el 6% del consumo del agua,

emite el 33% del material particulado y genera 34% de los residuos sólidos del país. El 56% de la energía que se usa en construcción en Chile (un 15% del total de uso de energía), está destinado a la climatización del espacio. De este un 60% son pérdidas provocadas por infiltraciones de aire en la edificación, producto de una mala regulación, un mal diseño, y una mala ejecución



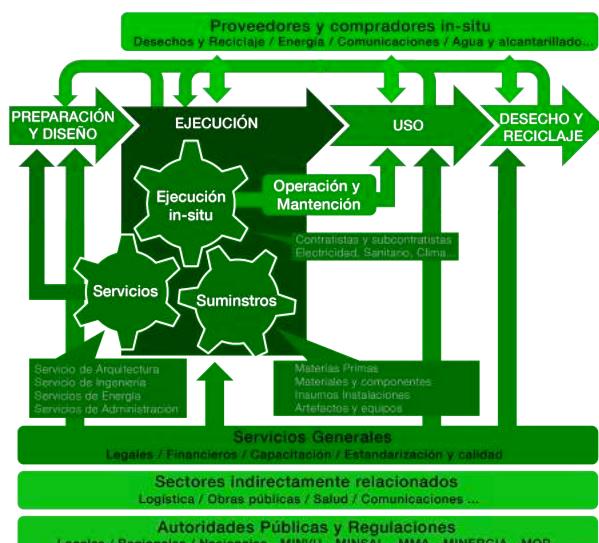
Emisiones de CO<sub>2</sub> por sector. Fuente: World Energy Statistics and Balances IEA/OECD

### 3.4. Cadena de valor

La cadena de valor de la construcción es compleja e involucra una serie de actores, a menudo descoordinados y con intereses desalineados, que incluyen contratistas, subcontratistas, instaladores, arquitectos, ingenieros, proveedores, así como productores de materiales, materias primas, equipos y energía.

A diferencia de otras cadenas de valor, el tipo y la cantidad de actores involucrados varía según la escala del proyecto, las obras planificadas y las preferencias del consumidor.

El siguiente diagrama elaborado por el Buildings Performance Institute Europe (BPIE) muestra una versión tradicional y compleja de las interacciones entre los actores en el proceso de suministro de valor.

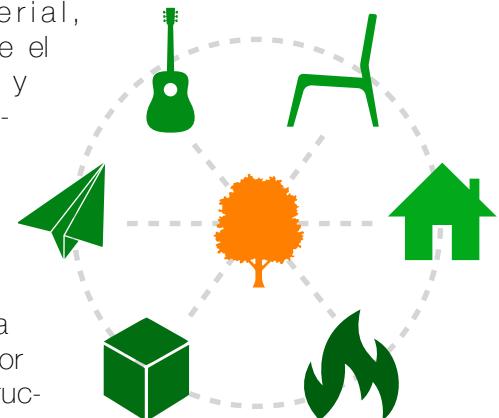


La cadena de valor de la construcción: (Fuente: BPIE)

El diagrama es un modelo bastante completo, sin embargo no refleja el real involucramiento y relevancia que tienen los extractores de materias primas en el proceso de construcción tradicional, ni las diferencias que existen en los distintos materiales. En Chile, en la industria de la construcción tradicional en hormigón la cadena de valor abarca directamente actores que están en la extracción de materia prima, hasta entidades de administración y manutención. Este vínculo con la industria extractiva se debe a que el cemento sólo se usa para la construcción y por ende el arquitecto ingeniero y el constructor son clientes directos que afectan el negocio de la empresa al inicio de la cadena. Estas empresas se vinculan directamente con las asociaciones gremiales, con el sector público y con la academia para prestar los servicios necesarios que fortalezcan su negocio de venta de materia prima. Dada la naturaleza de la extracción y los volúmenes de venta, las empresas de cemento son además un segmento altamente concentrado, con pocos actores con un alto poder de negociación. Tres actores se reparten el mercado: cementos Melón, Polpaico y cementos Biobío.

En el caso de la madera el vínculo de la construcción con la industria extractiva y primaria es más distante. Por un lado el proceso primario está distribuido entre 1056 empresas de diversos tamaños (INFOR-Anuario forestal 2018). Si seg-

mentamos los aserraderos más constituidos y con capacidad productiva de madera aserrada seca, llegamos a cerca de 70 empresas con tres grandes actores claramente distanciados del resto. Además de la dispersión económica y geográfica de empresas, otro factor que afecta negativamente es que la madera tiene múltiples usos y la importancia relativa del encadenamiento con el sector de la construcción es baja. Arauco, CMPC y Masisa, producen productos derivados de la madera y su foco principal no está en la industria de la construcción por lo que no han tenido el mismo rol de vinculación con el resto de los actores de la cadena. Esta diferencia de intereses y la dispersión de actores, se suman a la falta de regulación en la calidad del producto, y a la pérdida de confianza en el material, provocado que el sector forestal y de transformación primaria de la madera este completamente desvinculado del resto de la cadena de valor de la construcción en madera.





SOSTENIBILIDAD Y CONSTRUCCIÓN EN MADERA

## 4. SOSTENIBILIDAD Y CONSTRUCCIÓN EN MADERA:

Los problemas de sostenibilidad en la industria de la construcción han salido a la luz debido a la presión internacional por disminuir el impacto en el medio ambiente. La mirada a largo plazo que se está exigiendo a nivel internacional, ha puesto a la madera en un lugar privilegiado y se ha generado un renovado interés por este material, posicionándose como el material sostenible del futuro. Asumiendo que la madera se obtiene a partir de plantaciones manejadas, los criterios de desem-

peño sostenible del material superan con creces los de las otras soluciones de estructuración como el acero y el hormigón. La relación peso resistencia, su dureza, su flexibilidad, su versatilidad y su reciclabilidad hacen que sea un material particularmente adaptado a procesos industriales, y permite resolver prácticamente cualquier tipo de desafío de manufactura.

### 4.1. Ventajas de la construcción en madera:

La madera presenta ventajas particularmente importantes para la industria la construcción se pueden resumir en los siguientes aspectos.

#### **Renovable:**

Si consideramos plantaciones manejadas como fuente de materia prima, la madera es el único material estructural renovable.

#### **Mejor relación Resistencia/Peso:**

	Hormigón	Acer	Madera Lamina-dada
Resistencia flexión (MPa)	30	350	30.6
Densidad (kg/m³)	2400	7850	560
Resistencia/Peso (N·m/kg)	0.013	0.045	0.055

La madera es 5 veces más liviana que el hormigón y 15 veces más liviana que el acero pero esta propiedad, de por sí, no le confiere particular ventaja para la construcción. La relación resistencia peso es la que permite soportar una misma carga con menos peso. La madera presenta una mejor relación entre resistencia y peso que el hormigón e incluso que el acero.

Por ejemplo un edificio estructurado en madera pesa cuatro veces menos que uno de hormigón. Esto impacta una serie de puntos definidos a continuación.

#### **Menos transporte:**

La construcción en madera necesita seis veces menos transporte de camiones a obra. Esto no solo es un impacto significativo en el costo de la edificación sino que también genera menos interrupción del tránsito en la ciudad, disminuye la contaminación acústica, visual, de material particulado y de CO<sub>2</sub> y acelera los tiempos de ejecución.

#### **Más transportable**

La disminución de peso sin comprometer la resistencia estructural permite tener estructuras livianas fácilmente transportables. Esto implica que la empresa manufacturera puede abarcar un ámbito de acción geográfica más amplio aumentando sus oportunidades de negocio. Por ejemplo, toda la construcción con CLT en Australia se hizo con paneles de madera provenientes de Austria.



#### **Menos aceleraciones sísmicas:**

Una estructura más liviana recibe menos fuerza producto de las aceleraciones sísmicas. También

es más susceptible al viento pero, en Chile, son solicitudes que se pueden resolver sin mayor problema.

### **Menos accidentes:**

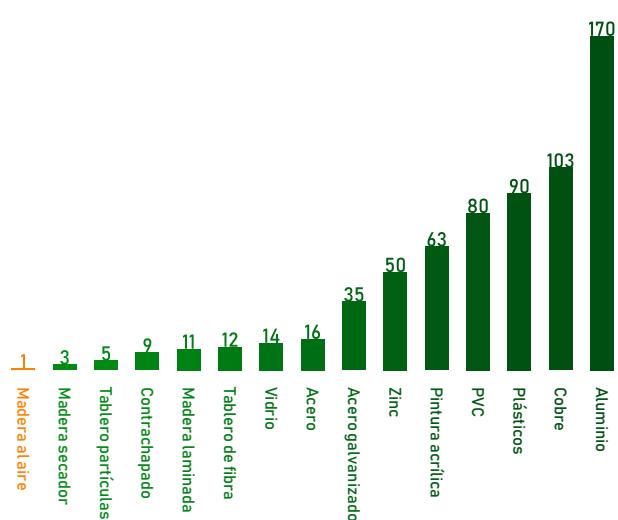
Al ser una solución más liviana, los elementos prefabricados de madera son más fáciles de manipular y transportar, y esto disminuye la tasa de accidentabilidad.

### **Menos fundaciones:**

Tener una edificación que pese tres a cuatro veces menos implica poder reducir el costo en fundaciones y tener un menor impacto en el terreno.

### **Menos energía de procesamiento:**

La madera es un material blando pero resistente, que requiere poca energía para su procesamiento. La figura representa una clasificación de los materiales de construcción más comunes y evidencia que la madera es el material con menos impacto.



Energía requerida para procesar un metro cúbico de material (MJ/m³)

### **Reciclable:**



La madera no solamente es un producto renovable, sino que además es reciclable. Una vez cumplido el ciclo en la construcción puede aún ser usada como material para hacer muebles, luego esa madera, puede ser usada para objetos,

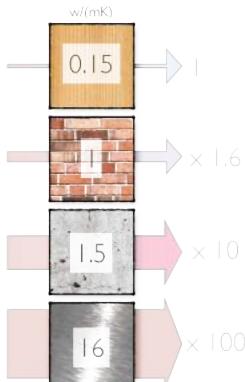
una vez que éstos terminan un tercer ciclo de vida, se puede todavía extraer pulpa para hacer papel, que a su vez también se puede reciclar y finalmente puede terminar el último ciclo sirviendo como sustrato para que crezcan nuevas plantas o bien puede ser quemada para obtener energía.

### **Menos huella de agua:**

La madera genera también una menor huella de agua, considerando todo el ciclo de vida de la construcción. Esta ventaja es particularmente relevante en aquellas ciudades con escasez de agua potable, donde la construcción en hormigón está limitada por requerir mucha agua, mientras que la madera es una construcción "en seco".

### **Mejor aislación térmica:**

La madera conduce 10 veces menos calor que el hormigón y 100 veces menos que el acero. Esto significa que es más fácil lograr una alta eficiencia energética en una construcción con estructura de madera, si se cuida también la hermeticidad de la construcción.

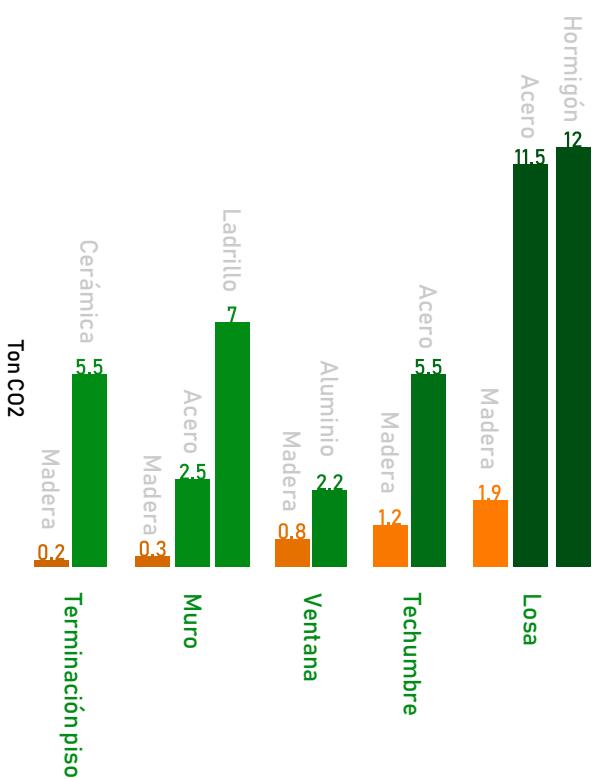
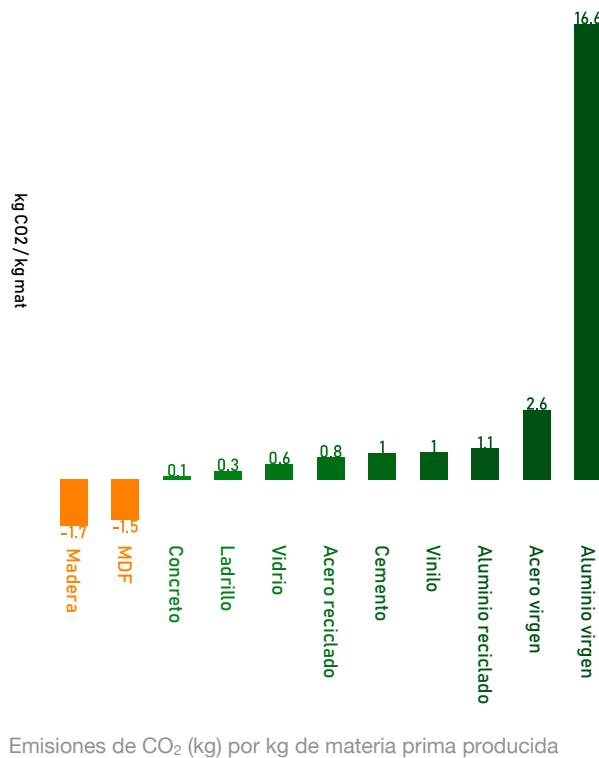


### **Menos desechos:**

Dado que la madera es reciclable, y que además se puede quemar para obtener energía, la transformación de la madera genera poco desecho pudiendo aprovechar los desechos y el aserrín como fuente de energía.

### **Menos emisiones de CO<sub>2</sub>:**

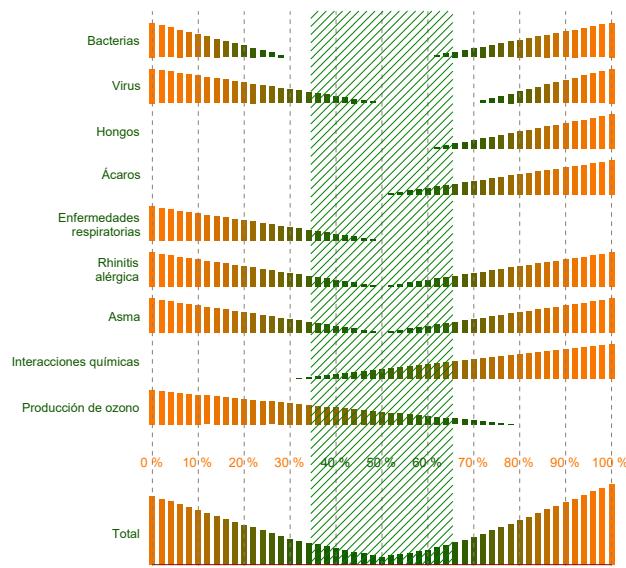
En su fase de crecimiento el árbol captura dióxido de carbono de la atmósfera, libera el oxígeno y fija el carbono en la madera. Este proceso hace que la actividad forestal de plantaciones manejadas sea una fuente renovable de materia prima capaz de secuestrar carbono de la atmósfera. Esto en conjunto con la energía requerida para el procesamiento y transporte hacen que la madera genere menos emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de todo el ciclo de vida.



Emissions of CO<sub>2</sub> per ton of different construction elements comparing various materials

### Ambiente más saludable:

La capacidad higroscópica de la madera le permite absorber y liberar humedad, siendo un regulador de humedad relativa y manteniéndola en el rango más saludable. Esto tiene un impacto en salud pública, afectando directamente el bienestar de la población.



### Precisión:

La madera estructural se puede procesar con una precisión de uno o dos órdenes de magnitud más pequeña que el acero o el hormigón. Mientras que el hormigón se trabaja con una precisión en el orden del centímetro, el acero está en el milímetro y la madera se puede procesar sub-milímetro. Con esto se logran errores acumulados de menos de 5mm en un edificio de 9 pisos, por ejemplo.

### Velocidad de montaje:

La precisión y la liviandad hacen que el grado de prefabricación pueda ser mucho más elevado que con otros materiales de construcción. Con esto la velocidad de montaje es muy superior y se reduce la mano de obra requerida en obra, reduciendo considerablemente los costos.

### Menos contaminación acústica:

La construcción en madera, especialmente aquella industrializada, genera en obra menos tiempo de montaje pero también menos ruido ambiental. Este es un aspecto crítico para el desarrollo de construcciones en ambiente urbano, y además le

permite a la empresa constructora extender la jornada laboral.

### **Reparable / Adaptable:**

Dado que la madera es liviana, resistente y fácil de trabajar, las obras en madera son fácilmente modificables y reparables, lo que prolonga su vida útil siempre y cuando consideren ciertos aspectos en el diseño inicial. Esta condición de reparable, es una de las principales ventajas de la madera, y es criterio necesario para planificar una vivienda que dure más de 100 años.

### **Versatilidad:**

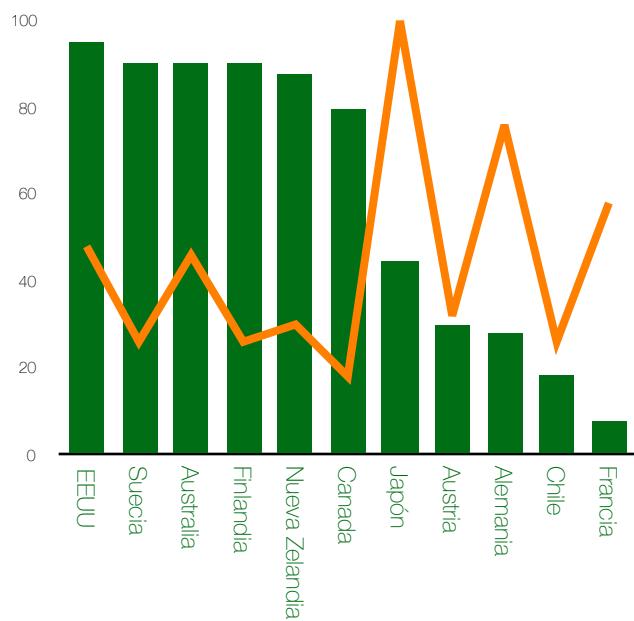
A pesar de la importancia de las diversas ventajas de la madera, quizás la más importante desde un punto de vista socio-económico es su versatilidad. La madera no solo sirve para la estructura sino que puede servir como revestimiento, aislación, mobiliario y objetos y un sinfín de aplicaciones. Esto significa que la activación de la industria maderera tiene un impacto social profundo, desarrollando capacidad de emprendimiento e innovación que se expande mucho más allá del sector construcción.

### **Construcción en madera y valor agregado**

Chile presenta un 18% de construcción en madera, mientras que países con la misma vocación forestal vemos que el uso e impacto es mucho mayor, como en el caso de Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda o Suecia, donde la construcción en madera alcanza cifras cercanas al 90%.

Si se compara el porcentaje de construcción en madera con el valor agregado del sector por país, vemos que no existe una correlación clara. Esto muestra que la construcción en madera no es la manera de cerrar la brecha socio económica del sector, sin embargo es necesario impulsarla para resolver la sostenibilidad de la construcción, para mejorar el bienestar y salud de las personas, y para activar una cultura maderera que sea capaz de resolver problemas complejos.

— Valor agregado % ■ Construcción madera %



Porcentaje de construcción en madera por país (FAO)  
 GDP por metro cúbico generado (Generating more valueo from our forests BC MoF&R)

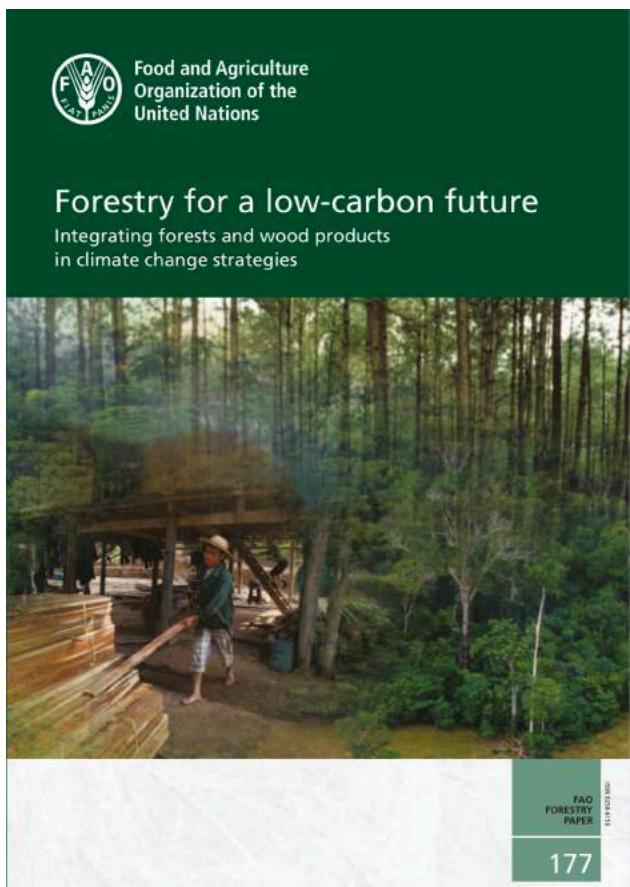
## 4.2. Políticas internacionales para la construcción en madera:

Dado el impacto sistémico de la industria forestal, que conjuga sostenibilidad económica, social y medioambiental, la mayoría de los países en los que la actividad forestal desempeña un papel económico importante, cuentan con políticas y programas para promover el uso de la madera en la edificación.

En su documento del año 2016, la FAO - ONU dedica un capítulo completo a la promoción y fortalecimiento de la construcción en madera como

una madera efectiva de combatir el cambio climático desde el sector construcción.

Algunos países han establecido objetivos de consumo y otros están impulsando el uso de la madera en nuevos tipos de proyectos de construcción con el fin de lograr el mayor y mejor uso de sus tierras forestales que, en la mayoría de los casos, son activos de propiedad pública. Sin embargo, basarse simplemente en políticas de uso de la madera puede ser problemático, tanto para



los diseñadores que pueden sentirse obligados a usar productos de madera en situaciones subóptimas como para los fabricantes de productos no madereros que pueden percibir prácticas de adquisición desleales.

Este punto entrega una revisión de las principales políticas públicas, obligatorias u opcionales, sellos de calidad y recomendaciones vinculadas con la construcción en madera, en Europa y América.

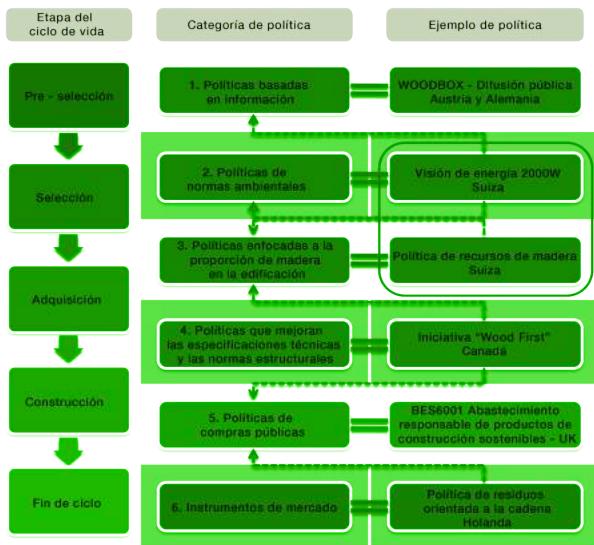
En el documento "Promoting sustainable building materials and the implications on the use of wood in buildings" de la FAO - UNECE, se organizaron las políticas e instrumentos en seis categorías:

1. Información
2. Normas ambientales
3. Uso de madera
4. Normas técnicas
5. Compras públicas
6. Instrumentos de mercado

		GEI	MA	Mad	ACV
<b>1</b>	Políticas de información				
1.1	WoodBox public outreach program	Sí	Sí	Sí	No
1.2	UNEP SBCI Common Material Metric	Sí	Sí	No	Sí
1.3	Green Multiple Listing Service Toolkit	Sí	Sí	No	No
1.4	Publicly Available Specification 2050	Sí	Sí	No	Sí
1.5	WoodWORKS! project-based technical assistance	No	Sí	Sí	No
1.6	Dual vocational training for wood technologists	Sí	Sí	Sí	No
1.7	WoodLINKS training program	No	No	Sí	No
<b>2</b>	Políticas que promueven las normas ambientales	GEI	MA	Mad	ACV
2.1	2000-Watt Society Energy Vision	Sí	Sí	No	Sí
2.2	Materials Awareness Policy and the "Environmental Performance of Materials	Sí	Sí	No	Sí
2.3	Grenelle de l'Environnement	Sí	Sí	No	Sí
2.4	BRE Green Guide to Specification	Sí	Sí	No	Sí
2.5	Passive House	Sí	Sí	No	No
2.6	International Green Construction Code	Sí	Sí	No	No
2.7	Voluntary green building certification systems	Sí	Sí	No	Sí
2.8	Product certification schemes	Sí	Sí	No	Sí
<b>3</b>	Políticas de proporción de madera en los edificios	GEI	MA	Mad	ACV
3.1	Wood Resource Policy	Sí	Sí	Sí	Sí
3.2	Strategic Program for Finland's Forest Sector	Sí	Sí	Sí	No
3.3	Wood Use Points Program	Sí	Sí	Sí	No
3.4	France's action plan for the development of timber	Sí	Sí	Sí	No
3.5	USDA high-rise wood innovation competition	Sí	Sí	Sí	No
3.6	Norwegian Wood-Based Innovation Scheme	Sí	Sí	Sí	No
3.7	Promoting the use of wood in American government	Sí	Sí	Sí	No
<b>4</b>	Políticas de especificaciones técnicas y estructurales	GEI	MA	Mad	ACV
4.1	The Wood First Initiative	Sí	Sí	Sí	No
4.2	Post-tensioned wood buildings for seismic design	Sí	Sí	Sí	No
4.3	Performance-based codes and tall wood structures	Sí	Sí	Sí	No
4.4	ARCA	Sí	Sí	Sí	No
<b>5</b>	Políticas de compras públicas	GEI	MA	Mad	ACV
5.1	BES 6001 Responsible Sourcing of construction Products	Sí	Sí	No	Sí
5.2	Decree on Green Public Procurement	Sí	Sí	No	No
5.3	California Green Chemistry policy	Sí	Sí	No	No
<b>6</b>	Políticas de fin de ciclo de vida	GEI	MA	Mad	ACV
6.1	Chain Oriented Waste Policy	Sí	Sí	No	Sí
6.2	Collaborative for High Performance Schools	Sí	Sí	No	Sí
6.3	Portland's ReBuilding Center	Sí	Sí	No	No
6.4	UK Aggregates Levy	Sí	Sí	No	No

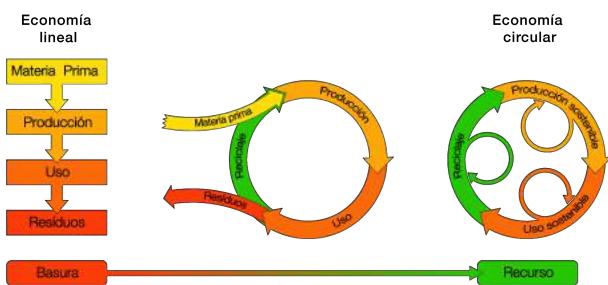
El estudio de las políticas incluidas revela que el énfasis ha ido cambiando hacia un análisis de

ciclo de vida completo, enfatizando los efectos de la producción y el consumo sobre el medio ambiente.



Políticas "Promoting sustainable building materials and the implications on the use of wood in buildings" UNECE

Algunas de las políticas más progresivas y efectivas que se están implementando no especifican el uso (o la prohibición) de materiales específicos, sino que se basan en el análisis del ciclo de vida (ACV) como herramienta objetiva de comparación de los impactos ambientales de todos los materiales. Esto resulta ser bueno para la industria de la madera porque puede capturar todas las contribuciones ecológicas positivas hechas por los bosques y los impactos bajos que la madera genera durante su ciclo de vida.



Transición de economía lineal a circular

Está cambiando de una visión de la "economía lineal", tradicional de producción, consumo, y eliminación, a una versión más sostenibles de "economía circular" en la cual la producción y el consumo permiten el reciclado de materiales "residuales"

Los materiales de construcción sostenibles tienen méritos ambientales y de salud que los materiales tradicionales normalmente no han considerado. La producción y el uso de estos materiales significan menos consumo de energía, menos agotamiento de los recursos naturales y contaminación, y en general son menos tóxicos para el planeta y sus ocupantes. Idealmente, los materiales sostenibles deberían reducir las presiones ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida, y no cambiar la carga ambiental de una etapa de la vida a otra. Para demostrar que un material es ambientalmente responsable, sus impactos deben ser evaluados científicamente a lo largo de toda su vida útil, desde la extracción de las materias primas hasta el final de la vida útil. Los impactos ambientales y de salud se pueden reducir a través de los siguientes enfoques:

### Contenido reciclado:

Productos con contenido reciclado y reciclabile identificable. Medido en los materiales del proceso industrial, en el producto y en el bien después de haber sido consumido.

### Natural, abundante o renovable:

Materiales obtenidos a partir de fuentes gestionadas de forma sostenible y, preferiblemente, que cuenten con una certificación independiente como por ejemplo la madera certificada.

### Proceso de fabricación eficiente:

Productos y embalajes fabricados con procesos eficientes, que incluyen la reducción del consumo de energía, la minimización de los residuos (reciclados y reciclabiles) y la reducción de gases de efecto invernadero (GEI).

### Disponible localmente:

Materiales de construcción, componentes y sistemas que se encuentran a nivel local o regional, ahorrando energía y recursos en el transporte al sitio del proyecto.

### Recuperado, restaurado o remanufacturado:

Materiales recuperados, restaurados o, en general, al que se le mejore la apariencia, el rendimiento, la calidad, la funcionalidad o el valor con tal de evitar el desecho.

### **Reutilizable o recicitable:**

Selección de materiales que puedan desmontarse y reutilizarse fácilmente o reciclarse al final de su vida útil.

### **Envases reciclados o reciclables:**

Productos envueltos o envasados en contenido reciclado o envases reciclables.

### **Materiales duraderos:**

Que sean más duraderos o son comparables a los productos convencionales con una larga vida útil.

### **Bajo o no tóxico:**

Materiales que emiten pocos o ningún carcinógeno, sustancias tóxicas para la reproducción o irritantes, según lo demostrado por el fabricante a través de pruebas apropiadas.

### **Emisiones químicas reducidas:**

Productos que tienen emisiones mínimas de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC).

### **Montaje de bajo VOC:**

Materiales instalados con compuestos que producen compuestos orgánicos volátiles mínimos, o métodos de fijación mecánica sin VOC.

### **Resistente a la humedad:**

Productos y sistemas que resisten la humedad o inhiben el crecimiento de contaminantes biológicos en los edificios.

### **Mantenimiento saludable:**

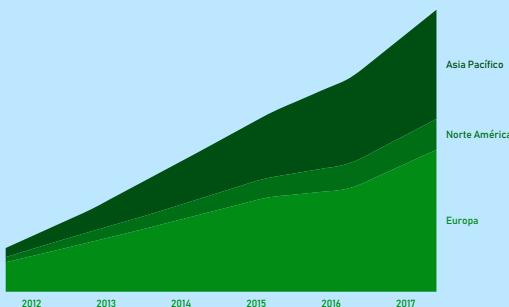
Materiales, componentes y sistemas que requieren solo métodos de limpieza simple, no tóxicos o de bajo VOC.

Adicionalmente a las normativas y políticas que velan por el impacto energético y de emisiones del edificio, han surgido sellos que se enfocan expresamente en la salud de los usuarios. Dado que las variables están interconectadas, estos sellos también abarcan la medición de otros aspectos necesarios para conseguir un edificio saludable.

Sello	Descripción
<b>BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)</b>	Establece umbrales de VOC interiores, control de la iluminación, el confort térmico y acústico, el agua, el transporte, la ecología, el uso del suelo y la eliminación de residuos y contaminación. UK
<b>LEED (Leadership in Energy &amp; Environmental Design)</b>	La Versión 4 se centra en los materiales y el efecto que esos componentes tienen en la salud humana y el medio ambiente.
<b>HQE (Haute Qualité Environnementale)</b>	Ánalisis del ciclo de vida a la escala del edificio y los impactos sobre la salud y el confort.
<b>DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)</b>	Abarca 37 criterios de evaluación desglosados en seis áreas de actividad.
<b>HQM (Home Quality Mark)</b>	Sistema de eficiencia energética que puntuará el impacto del hogar en la salud y la huella ambiental de la casa entre otras variables.
<b>WELL Building Standard</b>	El estándar abarca aire, agua, nutrición, luz, estado físico, comodidad, mente e innovación.
<b>Fitwel</b>	Adopción generalizada de estrategias de promoción de la salud
<b>Baubiologie</b>	Investiga cómo los edificios pueden afectar la salud de los ocupantes. Las áreas importantes son los materiales y procesos, los campos electromagnéticos, la radiación y la calidad del aire interior.
<b>World Green Building Council (WGBC) guidance</b>	Se enfoca en calidad del aire interior, confort térmico, iluminación y vistas de la naturaleza, ruido y acústica, diseño interior, diseño activo y ejercicio.
<b>Ecolabels</b>	Inicialmente una forma de distinción para productos ecológicos y de baja emisividad de VOC. Ahora se creó la norma ISO 1402457 para proporcionar cierta uniformidad. El Décret 58 de Francia, el Décret 59 de Bélgica y el AgBB60 de Alemania son legislaciones nacionales que requieren etiquetado.
<b>Portico</b>	Biblioteca curada de materiales saludables que desarrolló Google con el Healthy Building Network (HBN).
<b>HPD</b>	Especificación estándar para la información de salud asociada a los productos de construcción. Armonizada con los programas del International Living Future Institute, el Cradle-to-Cradle Product Innovation Institute, Clean Production Action, BIFMA, LEED y WELL
<b>PhD66</b>	Herramienta de certificación de fabricantes que divulan completamente la información de toxicidad de sus productos.
<b>C2C67</b>	Ánalisis de producto en cinco categorías: salud, reutilización, equidad social, energía renovable y gestión del carbono y administración del agua.

## Edificación Net Zero:

A nivel internacional existe conciencia del impacto de la construcción en el cambio climático y en las últimas décadas han surgido diversos estándares que apuntan principalmente a la eficiencia energética y a la sostenibilidad de la construcción. Entre estos se destacan: Passivhaus, Breeam, Leed, Arca, Minergie, NetZero, Qualitel, Casbee, HQE, DNGB, HQM, WGBC. Esta tendencia proviene principalmente de Europa donde la sostenibilidad de la construcción adquiere cada vez más peso en el consumidor. Si bien es un indicador de tendencia de un mercado altamente segmentado, en consumidores de alto poder adquisitivo, este parámetro se puede identificar como un vector de productividad puesto que la mayor demanda de alta calidad generará la optimización del proceso para generar cada vez más oferta. Así por ejemplo hoy en día se contabiliza la cantidad de construcciones capaces de llegar a niveles de cero emisiones (NZEB).



Instalaciones cero emisiones en Europa, Norteamérica y Asia-Pacífico. De acuerdo a las cifras Europa continua liderando a nivel mundial pero Asia-Pacífico está mejorando sus indicen notablemente. Fuente Lux Research, Inc. [www.luxreserachinc.com](http://www.luxreserachinc.com).

El uso de materiales con bajo contenido de carbono y ambientalmente responsables (como la madera) se ha convertido en el centro de atención de los gobiernos comprometidos con la reducción de los impactos ambientales de la construcción. Los árboles y los productos forestales desempeñan un papel fundamental para ayudar a combatir el cambio climático y reducir los GEI. Los bosques vivos y en regeneración capturan más carbono por unidad de área que casi cualquier otro tipo de cubierta vegetal. Un bosque gestionado de manera responsable almacena más carbono de lo que emite a partir de la cosecha, el procesamiento, el transporte y la fabricación. Cuando los árboles se cosechan y se utilizan para fabricar productos de madera, el carbono permanece almacenado en la madera durante la vida útil del producto. Por lo tanto, una metodología basada en el ciclo de vida es la mejor manera de capturar todos los beneficios ambientales potenciales del uso de la madera y puede mostrar que la madera puede compararse favorablemente con otros materiales.

Muchos países son conscientes de los impactos de los edificios en el medio ambiente y están familiarizados con los principios de la construcción "verde". Sin embargo, hasta la fecha, las políticas se han enfocado principalmente en minimizar los impactos de la operación de la construcción, la promoción de materiales específicos "verdes" y / o locales como la madera y al limitar los peores efectos a través la prohibición de materiales tóxicos, como el asbesto.

Como resultado, el énfasis de las políticas de las principales economías está cambiando, cada vez más, para enfatizar los efectos de la producción y el consumo sobre el medio ambiente a largo plazo y durante todo el ciclo de vida del edificio. Este esfuerzo por ahora afecta solo edificios nuevos pero a la larga deberá abarca el stock de edificios existentes, que es mucho más grande.

Para un estudio completo del impacto de éstas políticas es necesario contar con medios para supervisarlas en detalle y en forma permanente, a fin de obtener lecciones útiles y oportunas. Es necesario caracterizar la jurisdicción involucrada, detectar los pasos seguidos por los principales

responsables de la formulación de políticas, evaluar comparativamente del desempeño con y sin política, detectar objetivos de rendimiento, compilar y comparar bases de datos de materiales. Con esto se pueden desarrollar políticas preliminares para ser probadas en proyectos piloto o de de-

mostración antes de una adopción generalizada. Todos estos pasos se tendrán que reforzar por una consulta continua e integral con las partes interesadas. Este proceso toma mucho tiempo y requiere una inversión financiera sostenida y un compromiso político a largo plazo.



© Frane Zlic

INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

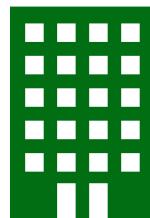
## 5. INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Muchas naciones que se consideran líderes en el desarrollo económico y el avance tecnológico han intentado mejorar la productividad laboral de la construcción en los últimos 20 años, pero han exhibido un crecimiento de la productividad negativo o estancado en este período. En particular, la productividad laboral en el sector de la construcción en Francia, Japón y Estados Unidos ha disminuido en los últimos 20 años, y es menos productiva hoy que en 1995 (U.S. Department of Commerce, Bureau of Labor Statistics - Construction Industry Handbook, 2012). El sector de la manufactura parece ser una referencia razonable para la productividad laboral de la construcción por muchas razones. En su condición ideal, la construcción debería ser capaz de ejecutar una filosofía Lean, estandarizar sus ofertas de productos y modularizar sus diseños como lo hacen las empresas de manufactura. También debería ser capaz de reducir las fuentes de desperdicio que otras industrias manufactureras han superado, como el exceso de inventario, los retrasos en el proceso, el reproceso y el sobre-procesamiento. Sin embargo, en diversos estudios se llega a la conclusión de que existen grandes diferencias entre los sectores de la construcción tradicional y la manufactura, que dificultan la adopción directa de medidas de eficiencia efectivas. El siguiente punto presenta un análisis de la construcción tradicional y las particularidades que la han mantenido en el estancamiento. También se revisan en este punto los conceptos de industrialización y el impacto de la manufactura avanzada en el proceso y en los modelos de negocio del entorno construido.

### 5.1. Particularidades de la construcción tradicional:

Para poder detectar los desafíos y oportunidades del sector es necesario caracterizar las particularidades que lo han mantenido en una condición de retraso con respecto a otras industrias manufactureras. Esta caracterización generará también distinciones que permitirán evaluar de mejor manera la adopción de recetas derivadas de otras industrias.

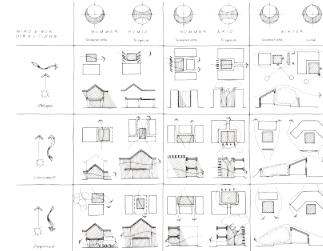
#### Gran tamaño de las obras:



Una comparación con el sector naviero parece justa por tamaño de las obras, sin embargo el carácter inmueble de la construcción y las regulaciones locales marcan una gran diferencia. La construcción no puede capturar los beneficios de escala de la misma manera que lo hace la manufactura, porque el tamaño de los productos hacen que la construcción sea, hasta cierto punto, una fábrica local. Esto no permite que las empresas constructoras escojan una locación según la disponibilidad de mano de obra, y los trabajadores emplean mucho tiempo en traslados. El gran tamaño también provoca que la ubicación del sitio de trabajo sea dinámica ya que se desplaza a medida que avanza la obra. En altura en un edifi-

cio, a lo largo de una carretera o de casa en casa en un condominio. Dado que la obra no se mueve, la instalación de faena y su configuración son variables porque todos los proyectos de construcción requieren la creación de un espacio de trabajo completamente nuevo, adaptado al terreno y al proyecto.

#### Gran número de condiciones de uso:



4.4.a., Estrategias para diversas condiciones de asoleamiento, viento y clima. Sun, Wind and Light, Brown Dekay

Dada la expectativa de un ciclo de vida prolongado y de una obra eficiente, la construcción se debe diseñar para poder enfrentar diversos cambios de uso, y además debe adaptarse a condiciones locales de clima, topografía, orientación, geología y normativa. Esto genera gran dificultad para estandarizar el diseño y obtener las ventajas de la industrialización tradicional.

## Superposición de espacios de trabajo:

Los obreros construyen un espacio al interior del cual trabajan. Esto implica que diferentes tipos de contratistas (gásfiter, electricistas, pintores, ceramistas, estucadores, mueblistas, etc) deben ejecutar sus tareas en la misma área, lo que hace que la planificación del flujo de trabajo sea más compleja que en la manufactura de objetos, en la que el producto se traslada.

## Condiciones de trabajo no controladas:

En el proceso de construcción la obra está sujeta a fuertes variaciones de temperatura, humedad, luz, radiación UV y viento, lo que afecta el desempeño de los trabajadores y hace más compleja la planificación de la logística interna y externa. La falta de un ambiente controlado dificulta la implementación de herramientas automatizadas que en general son sensibles a las condiciones ambientales. El 60 % de los factores que inciden en la productividad de una obra tradicional de hormigón corresponden a factores climáticos o externos al control directo de la empresa ( Moselhi & Kahn 2012).

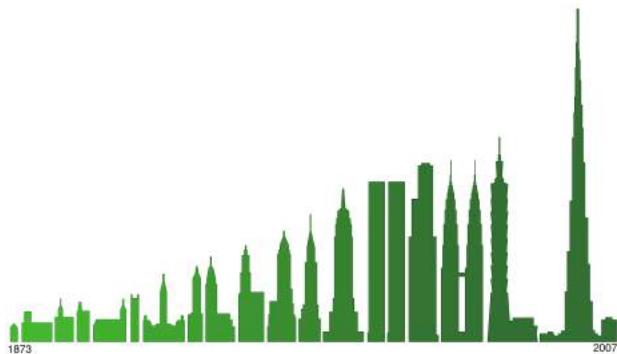


Parámetros que alteran la productividad de la construcción tradicional de hormigón (Moselhi & Kahn 2012)

**Aumento progresivo de la complejidad:** La creciente demanda de construcción, la creciente densidad del desarrollo, y el desarrollo dispar de las tecnologías de diseño con respecto a las de construcción, se han combinado para aumentar el tamaño y la complejidad de los proyectos, lo que ha afectado negativamente la productividad de la construcción. Según la encuesta de productividad de la construcción de MGI, los encuestados que trabajan en proyectos con un valor promedio de más de \$ 100 millones USD tienen el doble de probabilidades de nombrar las complejidades

como causa principal de la baja productividad, que aquellos con proyectos valorados en menos de \$ 5 millones USD.

La complejidad de la construcción en las economías emergentes está determinada principalmente por el aumento de los megaproyectos que se requieren para la inversión en nueva infraestructura. En las economías desarrolladas ya se han emprendido importantes inversiones en infraestructura y ahora necesitan centrarse en mantener y actualizar.



Evolución de los megaproyectos

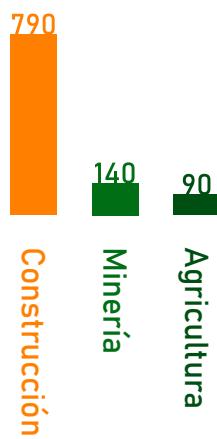
Los datos del censo de actividad económica de EEUU muestran que, a medida que la proporción de reacondicionamiento constructivo aumenta, hay una caída en la productividad. El trabajo de reparación y renovación tiene lugar en un entorno restringido, altamente regulado, en situaciones en las que es difícil anticipar qué complicaciones pueden ocurrir y es difícil trabajar a escala o con un alto grado de estandarización.

## Requisitos de bajo estándar por parte del cliente:

En el sector de tecnología electrónica el usuario cambia frecuentemente de producto y logra en un plazo relativamente corto definir sus preferencias y formar una opinión que retroalimente el proceso de diseño. En el sector residencial, la interacción entre propietarios y el producto suele ocurrir sólo una o dos veces en la vida, por lo que no se alcanza a generar, en el cliente, la experiencia necesaria para tener un juicio crítico con respecto a la calidad de la obra. En la construcción civil del sector público, la adquisición ocurre con mayor frecuencia para artículos típicos como carreteras o puentes, pero con mucha menos frecuencia para proyectos grandes como aeropuertos u hospi-

tales. Los clientes inexpertos no tienen criterios formados para evaluar la calidad, en un sector que está considerablemente fragmentado y es muy opaco, lo que dificulta encontrar los mejores contratistas y responsabilizarlos por su desempeño.

**Regulación extensiva y fragmentada:** La construcción es uno de los sectores más regulados del mundo. En Estados Unidos, por ejemplo, se estima que el sector está sujeto a siete veces más leyes, que otros sectores como agricultura o minería.



Cantidad de normas por sector en EEUU. RegData MGI

Es importante que la construcción tenga un marco regulatorio robusto pero el exceso y la fragmentación de agentes reguladores ha llevado a procesos burocráticos, confusos y arduos, que causan retrasos y comprometen la coordinación. El conjunto está conformado por regulaciones nacionales, regionales, y comunales, provenientes de diversos ministerios que afectan áreas relacionadas con la salud, la seguridad, el desarrollo social, la calidad constructiva y el medio ambiente, con superposiciones, excepciones y revisiones constantes. La incertidumbre introducida mediante la regulación, no solo alarga el lapso de tiempo del proyecto sino que también dificulta la inversión adecuada en equipos que podrían no utilizarse según lo planeado.

De acuerdo con el Instituto de la Industria de la Construcción de EEUU, los proyectos que experimentaron una carga regulatoria "más alta de lo planeado" tienen, en promedio, una caída del 13.8% en productividad.

### Informalidad de la fuerza laboral:

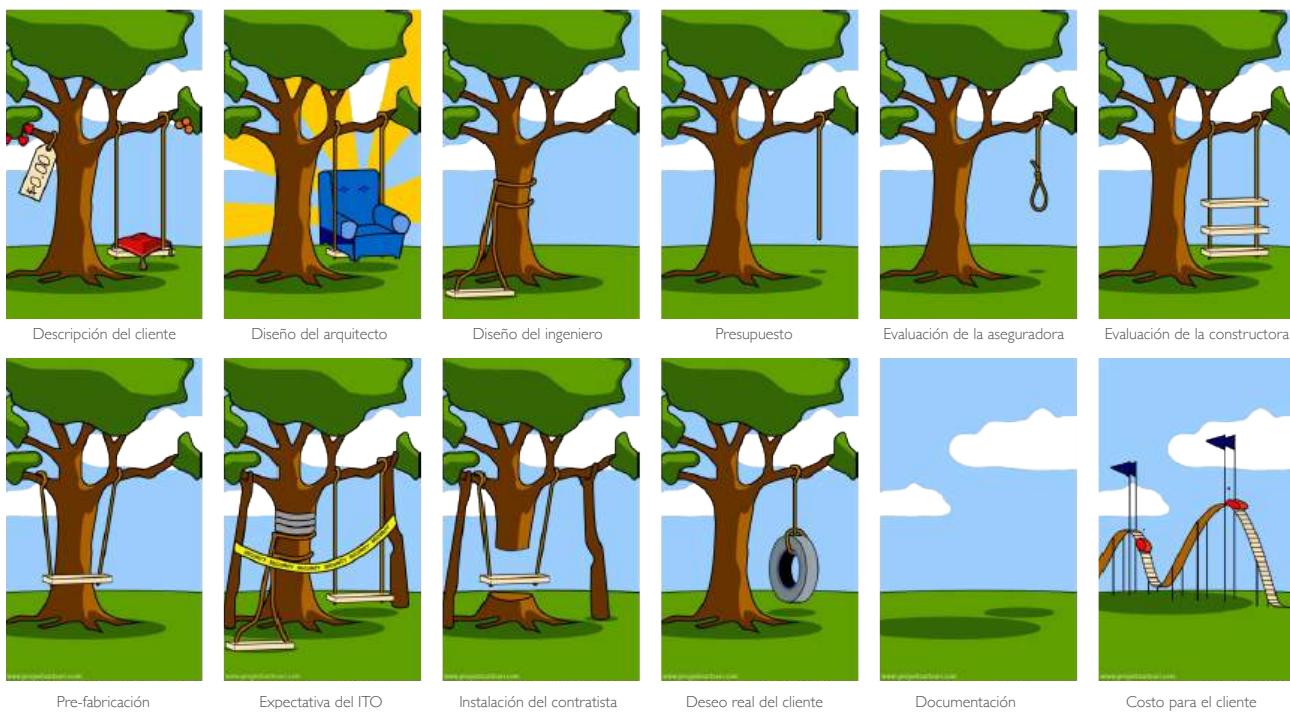
La complejidad burocrática y la naturaleza cíclica debilitan los incentivos para invertir en los trabajadores y sus habilidades, y abre la puerta para la contratación informal. Esto no da estabilidad laboral y genera altos costos indirectos por no contar con protección legal y de salud. Durante la última década en Estados Unidos, el trabajo informal ha formado entre un 10 y 15 % de la fuerza laboral, dedicándose principalmente a la construcción a menor escala, que está sujeta a un menor escrutinio.

### Inversión pública pro-cíclica:

El sector público es un importante comprador de construcción, pero sus obras tienden, generalmente, a ser pro-cíclicas, y se suman a los ciclos de auge y caída de la industria, lo que dificulta la inversión y la retención de personal calificado.

### Mala percepción del diseño estandarizado:

La industria de la construcción tiende a ofrecer soluciones a medida para cada cliente sin reutilizar diseños. No se han generado una estrategia de personalización en masa para satisfacer a los clientes, los clientes generalmente no tienen carteras de inversión lo suficientemente grandes como para justificar la inversión en diseños estándar. Esto dificulta que el sector incorpore componentes modulares en el diseño y en los últimos 18 años la modularización de diseños ha aumentado solo de 1.7% a 6.2%. (Construction Industry Institute Performance Assessment System) En el sector vivienda, existe la percepción de que el diseño repetido es falto de carácter, y que esto reduce la demanda en muchas áreas residenciales más afluente y de clase media. Los mismos recelos existen en la construcción civil, donde hay consulta pública y aprobaciones de diseño antes de comenzar las obras de infraestructura más importantes. Existe un sesgo en contra de los diseños uniformes y estandarizados, en favor de opciones personalizadas más atractivas. En el sector residencial, las empresas inmobiliarias que se basan en diseños genéricos altamente repetibles y construidos a gran escala, son más de tres veces más productivos que los constructores de casas unifamiliares que usan diseños completamente personalizados y construyen una casa a la vez.



Comic de autor desconocido que retrata la falta de objetivos alineados en la construcción.

### **Estructuras contractuales e incentivos desalineados:**

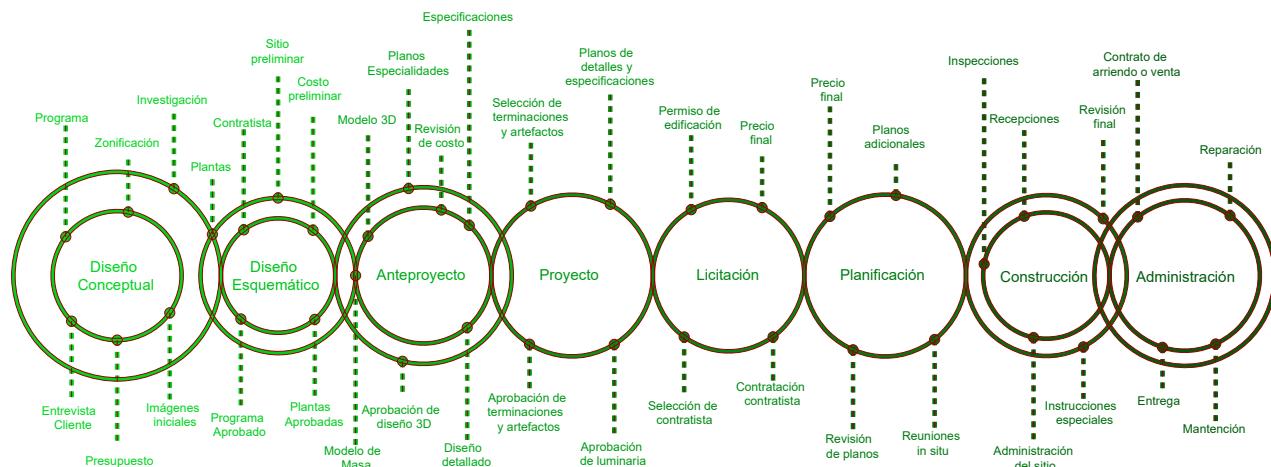
Uno de los aspectos más relevantes del esquema contractual de la industria de la construcción es que las penalidades, los riesgos y las recompensas, afectan a los actores de la cadena de manera diferente. Esto conduce a una menor colaboración, a una mayor percepción de riesgo y a la falta de un objetivo común de mayor productividad. La Encuesta de Productividad de la Construcción de MGI revela que las estructuras de contratación actuales producen incertidumbre, hostilidad, litigios, aversión al riesgo, falta de transparencia y falta de confianza, todas condiciones negativas para una contratación competitiva. Las estructuras de contratación actuales no comparten el riesgo de manera efectiva, generando condiciones en las que el contratista busca la solución más segura, aún cuando las innovaciones en productividad puedan estar disponibles, como nuevas técnicas y materiales. Cuando una sola parte posee la mayoría del riesgo, no se genera la visión de conjunto que permita traspasar las ventajas de la mejora en productividad de las distintas partidas.

### **Industria opaca y fragmentada:**

La fragmentación vertical y horizontal impide el desarrollo de masa crítica suficiente para catalizar un cambio importante. En Europa, la cantidad de empresas de construcción con más de 250 empleados representan el 0.1% del total y contribuyen con el 21% de la producción del sector. El 94% tienen menos de diez empleados y contribuyen con el 39% de la producción (MGI). La construcción está fragmentada y geográficamente dispersa en pequeñas empresas y subcontratistas, que generalmente son poco sofisticadas, y que no son suficientemente grandes como para ser pioneras y liderar innovaciones importantes. En la mayoría de los países, es casi imposible encontrar buenos datos de referencia sobre el costo del proyecto o el rendimiento de los contratistas. Los compradores pequeños y medianos, en particular, tienen que conformarse con empresas locales cuya experiencia, precios y técnicas son difíciles de comparar y esto no incentiva la mejora de productividad como fuente de ventaja competitiva.

### **Alto potencial para corrupción:**

De acuerdo con el Informe de soborno extranjero de la OCDE: (2014), la construcción es la segun-



Esquema de pasos y procesos de la construcción tradicional - Katerra

da fuente de casos de sobornos a nivel mundial. La compleja regulación y la gran cantidad de permisos, aprobaciones, e inspecciones hacen que la corrupción sea mucho más fácil. Según el índice de facilidad para hacer negocios del Banco Mundial, en los países con bajos niveles de corrupción e informalidad, por ejemplo, Australia, Dinamarca, Nueva Zelanda y Singapur, el número de permisos requeridos es bajo, el tiempo de aprobación en algunos casos, menos de un mes y el costo representa entre un 0.2 a 0.5% del total de la obra. En economías como Brasil, India o Nigeria, en cambio, las demoras de permisos se extienden por más de un año y representan hasta un 25 por ciento del valor del edificio. En Chile, por ejemplo, el sistema de inscripción de soluciones constructivas en el Listado Oficial del Minvu es un proceso engorroso que no permite la entrada fácil de nuevos productos. Para agilizar el proceso está la posibilidad de homologar una solución, lo que queda a criterio del director de obras del Municipio, generando un proceso altamente corruptible y peligroso para el cliente final.

### Baja inversión en digitalización:

Existe una fuerte correlación entre el nivel de digitalización en un sector y su crecimiento de la productividad. El informe "Digitization for Economic Growth" de Booz & Company señala que en Alemania, aproximadamente el 8.7% de la tasa de cambio de PIB entre 2010 y 2011 se explica por los avances de la digitalización, impactando además en el aumento del 7.7% de los empleos. Sin embargo, la industria de la construcción aún

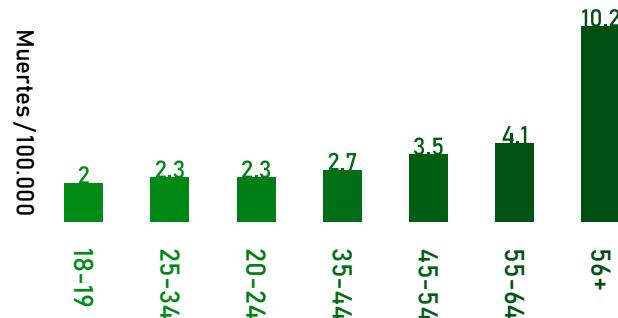
no ha adoptado una plataforma integrada que abarque la planificación, el diseño, la construcción, las operaciones y el mantenimiento del proyecto. La construcción tradicional todavía depende de software segmentados que no logran la sincronización de la cadena completa. BIM es un sistema que representa un primer paso hacia la integración interdisciplinaria pero aún no logra integrarse en el proceso de construcción in situ.



Proceso constructivo sin grandes variaciones en los últimos 200 años.

## Envejecimiento de la fuerza laboral:

En los países desarrollados la población está envejeciendo y esto pone trabas al crecimiento de sectores como la construcción. El envejecimiento de la fuerza laboral de la construcción no es muy distinto al de otras industrias, sin embargo el impacto es más notorio por la naturaleza física del trabajo. No solo se reduce la productividad al disminuir las capacidades físicas sino que con el envejecimiento aumenta la accidentabilidad.



Índice de productividad por sector, Fuente Informe anual productividad nacional 2017 (1990-2016)

## Diseño y Constructibilidad:

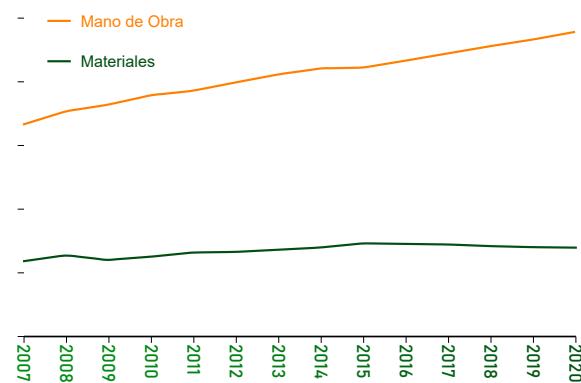
En general, las empresas de arquitectura y construcción no dedican suficiente tiempo a diseñar correctamente pensando en la construcción. Los errores o ineficiencias en el diseño, tienen un efecto de cascada en todo el proyecto que conducen a altos niveles de órdenes de cambio que afectan seriamente la productividad y la capacidad de entregar un activo funcional, a tiempo y dentro del presupuesto. Según los datos del Instituto de la Industria de la Construcción, los proyectos sin retrasos de entrega dedican el 29% del tiempo del proyecto a la planificación inicial, mientras que aquellos con más de un 10% de retraso en el cronograma, dedican menos de un 25% a tal planificación. En Europa, aquellos países que invierten más en pruebas arquitectónicas, de ingeniería y técnicas tienen una productividad más alta. En Noruega, donde la industria invierte el 30% de la producción en pruebas, la ganancia es de casi €20 por hora más que en Suecia, donde se gasta el 21%.

## Baja calificación:

Existe un desajuste entre las demandas del sector de la construcción y las capacidades de la fuerza

de trabajo disponible. La implementación de los cambios para lograr mejoras de productividad significativas será muy desafiante, a menos que se mueva a la automatización total. En Europa, la construcción se encuentra en el último lugar para la formación profesional continua, con cinco horas por cada mil trabajadas. El sector de información, comunicación y finanzas dedica más del doble de esa cantidad -11 horas por mil- a la capacitación continua. En EEUU la proporción de trabajadores que haya completado cuarto medio es la más baja de la industria con un 77%. Esto no es solo un problema con los obreros sino que los propietarios de las empresas de construcción son los menos propensos a tener un título técnico o universitario, con solo un 31% (MGI).

## Aumento del costo de recursos humanos:



Índice de productividad por sector, Fuente Informe anual productividad nacional 2017 (1990-2016)

Aunque el sector tiene una gran proporción de trabajadores con pocas habilidades y baja productividad, en Estados Unidos el costo de los materiales ha subido un 20% en los últimos 13 años y el costo de la mano de obra ha duplicado ese crecimiento con un 40% (JLL United States Construction Perspective)

## Mejoras incrementales insuficientes y difíciles

De acuerdo al estudio de MGI, existen diversos ámbitos de acción para poder mejorar la productividad de la construcción tradicional. Las acciones incluyen la racionalización de los procesos de permisos y aprobaciones, reducir la informalidad y la corrupción, incentivar la transparencia en

el costo y el rendimiento, subvencionar la innovación y la capacitación.

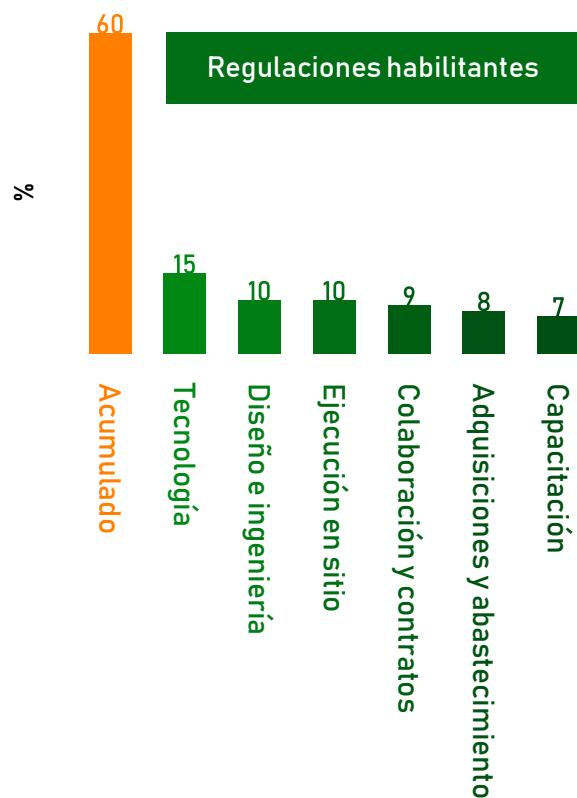
La regulación es el factor habilitante para que puedan ocurrir el resto de las mejoras. En este ámbito se necesita avanzar hacia códigos de construcción más estandarizados y basados en desempeño. Los procesos de licitación pueden estar basados en oferta de valor e historial de desempeño, se pueden implementar centros de control y monitoreo, se puede implementar la entrega integrada de proyectos (IPD) para minimizar las des-alineaciones entre contratistas y mejorar la precisión de las estimaciones de costos y cronogramas.

Se deben también repensar los procesos de diseño e ingeniería, con un mayor enfoque en la capacidad de construcción, y el impulso de elementos de diseño repetibles o basados en el proceso de manufactura. Solo el 50 por ciento de los encuestados en la encuesta de productividad de la construcción de MGI dijo que sus empresas tenían una librería de componentes de diseño estandarizado.

En el ámbito tecnológico va a ser necesario integrar las nuevas formas de colaboración y planificación digital mediante BIM, monitoreo mediante drones, IoT, Inteligencia Artificial y Big Data, entrenamiento continuo mediante realidad virtual e inspección mediante realidad aumentada.

En conjunto con lo anterior se debe adoptar un proceso de planificación riguroso tipo Last Planner® (LPS) para tener un enfoque de operación de proyecto que integre los sistemas técnicos y de gestión que aproveche al máximo las capacidades de los trabajadores.

Si consideramos el impacto acumulado de las siete áreas de intervención, MGI estima que la productividad de los proyectos aumentaría en un 50 a 60%. Este aporte parece ser significativo, pero en realidad el sector necesita avanzar por lo menos en un 200% para alcanzar la economía global y en un 300% para alcanzar otras industrias manufactureras. La dificultad de los cambios es alta y el impacto insuficiente, por lo que se necesita reformular la manera de hacer las cosas.



Areas de cambio de la construcción tradicional y su impacto en productividad, guiado por regulaciones habilitantes. MGI

## 5.2. Construcción industrializada:

POLOMADERA



El sector de la construcción se ve enfrentado a la necesidad de un cambio radical. Sus indicadores no son positivos en casi ningún aspecto, quedó atrás con respecto a los otros sectores manufactureros y los cambios incrementales son difíciles, lentos e insuficientes. Para alcanzar la productividad y precisión de otras industrias, el sector deberá pasar a la construcción industrializada y podrá aumentar la productividad entre el 500 y el 1000% según MGI

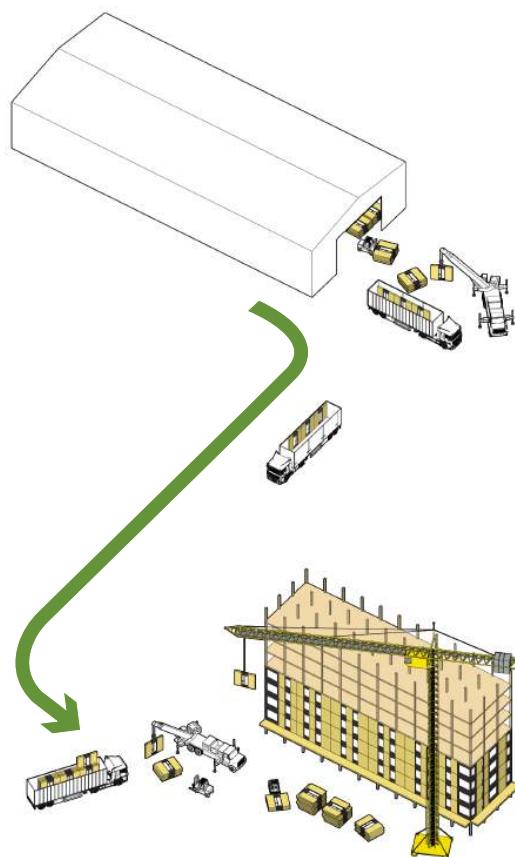
### Industrialización v/s Prefabricación

Frecuentemente se intercambian los términos industrialización y prefabricación pero son diferentes e incluso independientes. La industrialización es definida como *"El desarrollo y optimización del trabajo de construcción, basado en la mecanización y automatización"*<sup>1</sup>. La prefabricación de casas en un entorno que no presente ningún grado de mecanización, automatización u optimización, no puede llamarse industrializado. Por otro lado la industrialización puede realizarse en terreno, sin prefabricación, como por ejemplo el caso de una casa impresa en 3D con hormigón vertido in situ.

### On-site / off-site

Si bien existen, a nivel internacional, ejemplos de industrialización in situ en los cuales la logística interna y externa se resuelven de manera planificada y optimizada, para efectos de este documento, nos referiremos a la industrialización de la construcción como el uso intensivo de la prefabricación fuera de sitio (off-site). La prefabricación off-site, o fuera del sitio, genera un ambiente laboral más seguro para los trabajadores, menores tiempos de desplazamiento de la mano de obra,

independencia de las condiciones físicas y ambientales en la obra, permite el uso de herramientas especializadas para lograr mayor velocidad y precisión, permite el monitoreo y control del proceso, incrementa las posibilidades de automatización y permite mejorar el control de inventario y proveedores.



Proceso e industrialización off site

<sup>1</sup> Industrialization of Construction. (n.d.) The Great Soviet Encyclopedia, 3ra Edición. (1970-1979).

## MMC

Aunque exista evidencia de prefabricación off-site en el medioevo, la verdadera industrialización de este sistema deriva de la urbanización y expansión colonial, y hoy se conoce como Métodos Modernos de Construcción (MMC). Los MMC apuntan a mejorar la eficiencia del negocio, la calidad, la satisfacción del cliente, el desempeño ambiental, la predictibilidad y por ende la sostenibilidad del proceso de construcción. Los MMC están directamente influenciados por factores como tecnologías de optimización y automatización de la manufactura, los proveedores, la logística, la estandarización y el uso de procesos de diseño orientados a la manufactura, el montaje y la operación.

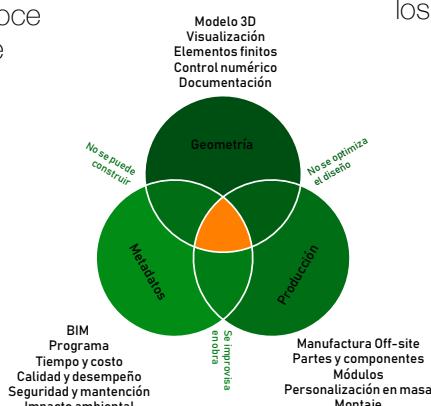
Por ejemplo, Barcelona Housing Systems construye entre cinco y diez veces más unidades que la construcción tradicional, con la misma cantidad de mano de obra. La empresa industrial finlandesa Outotec requiere un 20% menos de inversión de capital y un 30% menos de mano de obra, y es 30% más rápida de instalar que otras alternativas. Broad Sustainable Buildings of China, construyó un hotel de 30 pisos en solo 15 días y cuestan entre un 10 y un 30% menos.

Un cambio más amplio hacia un sistema de producción prefabricado anularía la mayoría de las fallas de mercado del sistema tradicional, simplificando y racionalizando el ecosistema de la construcción y haciéndolo más eficiente. Es posible que para algunos casos, la respuesta más eficaz y eficiente siga siendo un sistema basado en proyectos tradicionales in situ, pero la mayoría de los actores del sector tendrán que adoptar un cambio mucho más radical.

## Planificación detallada

Un proceso de industrialización prefabricado implica construir componentes y módulos en un entorno controlado para luego ser montado en obra, idealmente sin alteraciones. Para que esto ocurra de manera óptima, un aspecto crítico es la planifi-

cación de la obra. Sin información detallada y precisa, no hay industrialización posible. La planificación debe considerar tres partes fundamentales: La geometría tridimensional detallada, los metadatos con información del producto y la información de producción que considere por lo menos hasta la etapa de montaje. El sistema de Building information modeling (BIM) es sin duda esencial para el correcto desarrollo del diseño, pero para ser útil debe tener un alto nivel de detalle, que considere las capacidades de manufactura y montaje que va a tener la empresa constructora.



## Nivel de Desarrollo - LOD

Uno de los cambios fundamentales de la construcción industrializada es el nivel de detalle de la fase de diseño y planificación. La fase de diseño tradicionalmente no define a fondo todos los aspectos constructivos, lo que implica tener que resolver en obra, cuándo el impacto sobre la eficiencia de la obra menor y el costo y el esfuerzo son mayores. En la construcción tradicional el arquitecto no define, tampoco resuelve en detalle el ingeniero, no lo hace el constructor y termina resolviendo el detalle el maestro en obra. Esto no permite planificar el proceso y por lo tanto no se genera retroalimentación al diseño y no se puede optimizar el resultado.

El concepto asociado al diseño detallado es el de Level Of Development (LOD) - Nivel de desarrollo en Inglés. Es una referencia que permite a los profesionales especificar con un alto nivel de claridad el contenido y la confiabilidad de los modelos de información de construcción, en varias etapas del proceso de diseño y construcción.

### - LOD 100 - Diseño de concepto

El modelo de construcción en 3D está desarrollado para representar información de nivel básico, con parámetros como área, altura, volumen, ubicación y orientación.

### - LOD 200 - Diseño esquemático

Modelo general tridimensional con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación de el-

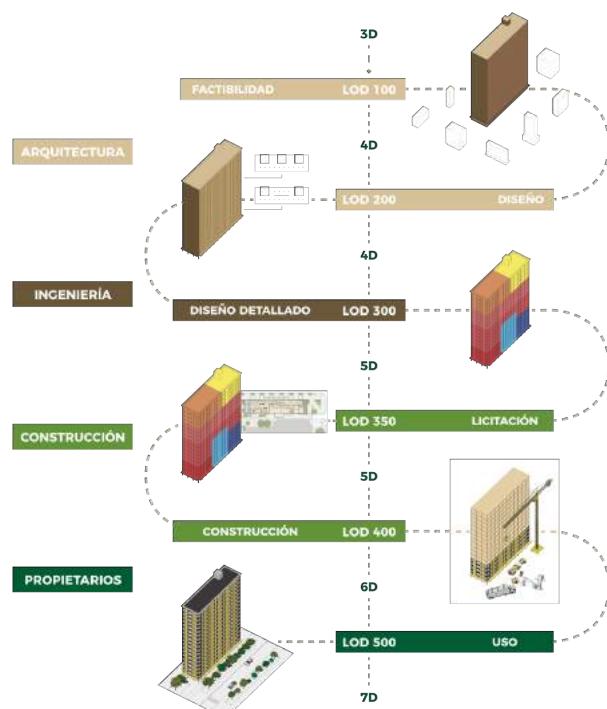
ementos aproximados. En este nivel se empieza a adjuntar información no geométrica a los elementos del modelo.

## - LOD 300 - Diseño detallado

Modelado y planimetría precisa donde los elementos se definen con componentes específicos, cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación precisa. Aquí también se adjunta información no geométrica a los elementos del modelo.

## - LOD 350 - Documentación de construcción

Incluye detalles del modelo y elementos que representan cómo los elementos de construcción se interconectan con varios sistemas y otros elementos de construcción. Se usa información gráfica y definiciones escritas



## LOD 400 - Fabricación de montaje

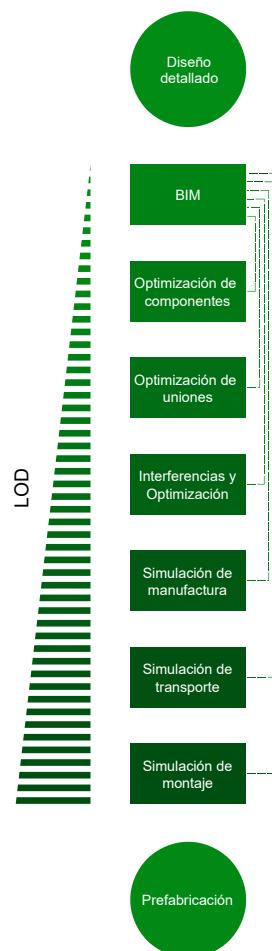
Los elementos del modelo se modelan como componentes específicos, con información completa de fabricación, unión y detalle además de la cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación exactos. También se puede adjuntar información no geométrica a los elementos del modelo.

## - LOD 500 - As built

Los elementos se modelan tal como construidos para mantenimiento y operaciones. Además de ser real y preciso en tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación, se adjunta información no geométrica a los elementos modelados.

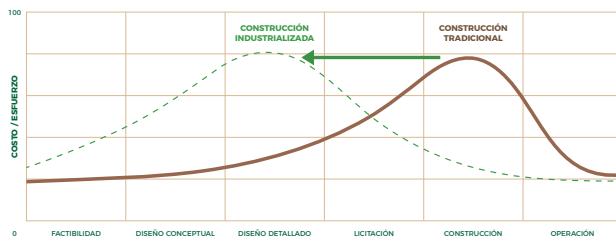
## Etapas del Diseño detallado

El proceso de diseño detallado es el que desarrolla el proyecto a partir de la arquitectura y la ingeniería hasta llegar por lo menos a un LOD 400. Para esto el equipo de diseño debe ser capaz de optimizar componentes y uniones, analizar interferencias, simular la manufactura, el transporte y el montaje. Cada una de estas etapas retroalimenta el diseño y deben aprobarse todos los controles de cada etapa para poder progresar a la manufactura final. En el caso de los países del centro de Europa y Japón, donde la construcción industrializada está más desarrollada, se observa capacidad técnica obtenida en carreras que duran entre 3 a 9 años. Esto profesionales altamente calificados conocen de la teoría a la práctica y se desempeñan en empresas que dialogan con el arquitecto, el ingeniero y el constructor para encontrar la materialización de la obra. Típicamente la empresas prefabricadoras reciben un diseño detallado LOD 300 y se encargan de optimizar y simular las distintas etapas del proyecto para asegurar su constructibilidad, luego manufacturan las partes, componentes y módulos, los transportan y los montan.



## Redistribución del esfuerzo

Un proceso industrializado no es necesariamente más corto que uno tradicional sino que se desplaza el esfuerzo requerido a una etapa más temprana. Esto es crítico porque al inicio los cambios demandan poco costo y tienen alto impacto. En la construcción tradicional el esfuerzo se concentra en la fase de construcción, donde los cambios son costosos y su impacto limitado.

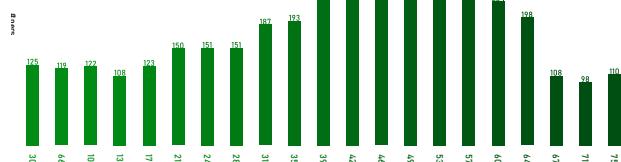


Distribución del esfuerzo de la construcción tradicional vs industrializada

Esto significa que en la construcción industrializada hay menos gente en obra, por menos tiempo, menos riesgo de accidente, mejores condiciones laborales y más productividad.

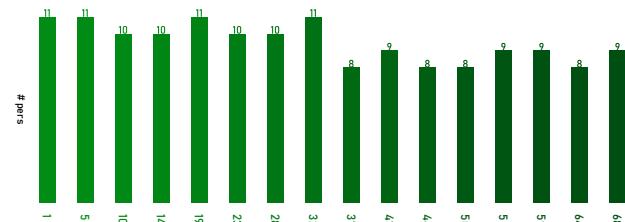
### Menos obreros, más especializados

La redistribución del esfuerzo implica tener menos gente en obra y más personal en planificación, lo cual reduce considerablemente los costos. En un edificio de hormigón armado la distribución de RRHH es disparatada y abultada.



Distribución de RRHH en edificio de hormigón de 22 pisos

Para un caso similar en madera prefabricada la planilla de contrataciones es mucho más pareja y liviana.



Distribución de carga de RRHH en edificio de CLT de 18 pisos

### Cambio cultural

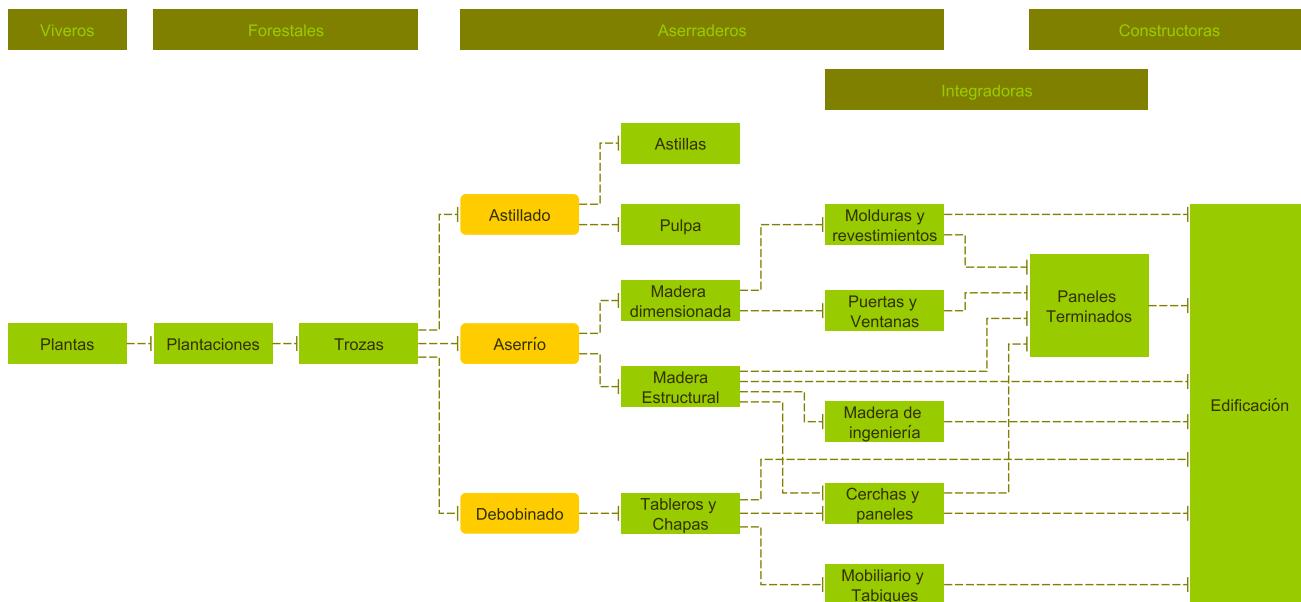
Los MMC tienen como propósito entregar un mayor nivel de servicio y de satisfacción al cliente pero para esto se requiere un proceso disciplinado, una buena coordinación y una cultura organizacional que no acepte cambios a última hora. Sus mayores riesgos son:

- **Cambios fuera de plazo.**  
Estos son costosos de resolver una vez que se desencadena la fase de detalle y de fabricación. Los MMC necesitan protocolos claros, comunicación efectiva de plazos y de información, así como la colaboración cercana entre las distintas partes.
- **Pérdida del turno de fabricación.**  
Los cambios generados en la fase de diseño y detalle provocan tiempos muertos de fábrica, y atrasos aún mayores en el proceso de fabricación cuando existen diversos proyectos en paralelo.
- **Falla de suministros.**  
Para poder aprovechar las ventajas de ahorro de tiempo de los MMC, es importante implementar un sistema de gestión de la cadena de suministros que fije los procedimientos para la administración de materiales, servicios, productos, y flujos de información.

## 5.3. Construcción industrializada en madera

La madera es uno de los primeros materiales de construcción que usó el ser humano. Durante más de 10.000 años hemos desarrollado una gran cantidad de sistemas constructivos en madera, y se ha mantenido vigente principalmente

gracias a que es liviana, resistente, blanda y versátil. Los diversos sistemas constructivos se fueron adaptando a los requerimientos y capacidades que entregaba el contexto. Hoy, en un escenario de sostenibilidad, eficiencia y cambio, la



madera vuelve a plantearse como la mejor alternativa, pero para eso debe replantear su proceso de manufactura y adaptarse a la industrialización.

### Posibilidad de industrialización de la madera

Pocos materiales están tan preparados para la industrialización como la madera. Miles de año de desarrollo de herramientas y procesos han dejado un legado tecnológico amplio y un conocimiento profundo del trabajo en madera. Diversos procesos para aprovechar la madera con sus múltiples ventajas y en diversos formatos, permiten usar esta materia prima en prácticamente todos las aplicaciones que demanda la construcción. Dada su particular mezcla de características ha sido posible desarrollar tecnología para dimensionar y transportar madera de manera segura y automatizada. Desde el año 1981 existen herramientas controladas por computador CNC para el trabajo con madera. En el año 1989 ya se transfería información CAD a CNC. En 1996, hace ya 23 años, se estrenó la primera CNC de 4 ejes para el trabajo en madera en Alemania (Hundegger). La industrialización de la construcción en madera está mucho más desarrollada que otros materiales. Hoy la madera se puede mecanizar con brazos robóticos de 6 ejes, con una precisión por debajo de la décima de milímetro, en espacios de trabajo que llegan a ser de 150m x 9m x 4m (EEW Maschinenbau en Alemania).

### Costos de inversión:

Dadas las características del material, la inversión requerida para la industrialización de la madera es menor que la de otros materiales. A modo de ejemplo para el caso de la planta de hormigón prefabricado que existe en Santiago la prensa reporta inversiones del orden de 45 millones de USD (Economía y Negocios 10-06-2016) mientras que para el caso de una planta de entramado ligero se comunican inversiones de 6 millones USD (Economía y Negocios 8-5-2018). Cifras reportadas por agentes privados sitúan la inversión para una planta de CLT entre 10 a 15 millones USD.

### Cadena de la construcción industrializada en madera:

En la cadena de producción que va desde la plantación a la entrega de la construcción en madera, encontramos una serie de etapas que se enlazan para alcanzar el producto final.

#### - 0 Silvicultura y extracción

En estricto rigor esta etapa pertenece al sector primario de la economía pero presenta dinámicas independientes del resto de la cadena por lo que para efecto de este análisis fue separada. Es la que se encarga de el manejo de las plantaciones, y de la cosecha

#### - 1 Transformación primaria

La transformación primaria corresponde a una primera transformación de la madera. Esta parte se caracteriza por negocios de alto volumen y poco valor agregado.

#### - 2 Transformación secundaria

Esta etapa recibe los productos de la transformación primaria Y elabora el producto final que llega al consumidor. Se caracteriza por productos de alto valor agregado.

#### - 3 Construcción

Si bien puede ser considerada como parte de la transformación secundaria, dependiendo de la escala puede tener fuertes componentes de servicio típicamente asociados a un sector terciario.

#### - 4 Inmobiliarias

A gran escala de producción, las inmobiliarias son las empresas integradoras y canalizan el producto manufacturado hacia la venta.

#### - 5 Ventas

En esta etapa sólo se desarrolla la venta y a partir de este punto la actividad pertenece al únicamente al sector terciario de la economía .

#### - 6 Cliente final

El es último eslabón de la cadena y representa la demanda. Las acciones de ventas y marketing se enfocan directamente a este eslabón.

Un actor clave para la industrialización de la construcción es el integrador, o en otras industrias el OEM (Original Equipment Manufacturer - fabricante de equipos originales). Es la empresa que integra partes, componentes y/o módulos para producir el producto final. En un modelo industrializado el integrador genera una plataforma que permite la interacción con sus proveedores.

### **Proveedores especializados**

La industrialización depende de la existencia de proveedores especializados para optimizar su proceso y producto. A continuación se hace un levantamiento de los principales oferentes especializados en construcción en madera.

#### - Software:

Desde hace casi treinta años que existe software dedicado para la construcción en

madera. Hoy cuentan con interfaz CAM para el control de maquinaria, cálculo estructural en algunos casos y análisis de eficiencia energética. Entre estos se encuentran HSB Cad, Sema, Dietrich's, Cadwork. También existen plugins para software de mayor circulación pero con menos funcionalidad como Agacad o Archiframe

#### - Medios de unión:

Existe una gran variedad de medios de unión especializados para madera. Por ejemplo Rothoblaas, Simpson Strong tie, Heco, Eutrotex, Spax, SWG y Pitzl,

#### - Cintas y membranas:

En cintas y membranas para construcción también existen proveedores con particular experiencia en construcción en madera como Rothoblaas, Siga, Proclima, o Dupont

#### - Maquinaria industrial:

En la categoría de maquinaria industrial la dispersión de marcas es grande pero algunas de las principales son Homag, Hundegger, Weinig, Techno Wood, Maka o Minda.

#### - Herramientas y Maquinaria móvil o estacionaria:

En maquinaria manual eléctrica especializada para madera también gran diversidad de herramientas especializadas. Algunas de las principales son Altendorf, Festool, Mafell, Metabo, lignatool, SCM.

### **Empresas de Carpintería**

Las empresas de carpintería son las que se encargan de integrar verticalmente desde el diseño detallado hasta el montaje, Para asegurar la optimización y calidad de todo el proceso de construcción. En un flujo tradicional la empresa de carpintería recibe la planimetría esquemática de la fase de diseño, profundiza en el nivel de desarrollo, simula el proceso de montaje, ejecuta la manufactura, transportar las piezas y monta los componentes en obra. El layout de la línea de manufactura puede variar, pero en general es un proceso relativamente lineal con entrada de madera y salida de componentes. Si bien en tamaño y costo la línea de manufactura pareciera ser la más relevante, uno de los componentes más críticos es el

conocimiento requerido para hacer el diseño detallado de la obra.

## Diseño detallado en madera

Para el desarrollo de diseño detallado en madera existen múltiples opciones de software que califican como BIM y que además se comunican con las herramientas CNC. Hace 27 años, desde 1992, que existe software especializado para la construcción en madera, integrando metadatos e instrucciones de control para CNC. Hoy los programas computacionales más relevantes y completos del mercado son Cadwork, Sema, Dietrich's, y HSB Cad. Estos permiten el trabajo en entramado ligero, entramado pesado, madera maciza, entregando prefabricación panelizada y modular, detalles de escalera, estructura de techumbre, fundaciones, muros y losas, todo especificado al detalle, con numeración de elementos, secuencia de montaje, e Instrucciones directas para las máquinas CNC de manufactura. Estos programas también incorporan o se comunican con otros software mediante protocolo de intercambio IFC para BIM, permitiendo por lo tanto optimizar toda la fase de diseño integrando disciplinas y asegurando un flujo continuo hasta la obra.

## Elementos de soluciones industrializadas

Los sistemas de prefabricación se componen de diversos elementos. En el origen tenemos la materia prima, que luego se transforma en partes. Un conjunto de partes es un componente.

En la medida que se juntan diversos componentes va subiendo de nivel. Un conjunto de componentes que conformen un espacio se denomina módulo.

Actualmente los sistemas predominantes de industrialización de la construcción en madera son:

- **Lineal:**

Elementos, principalmente trabajados con madera laminada encolada, que se procesan de manera industrializada para un fácil montaje en obra.

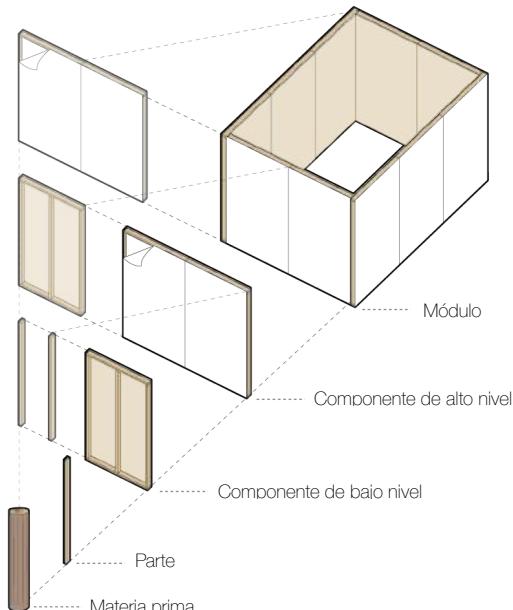
- **Panel:**

Componentes de alto nivel conformados por estructuras planas, con diversos grados de terminación, que se fabrican de manera indus-

trializada para ser luego ensamblados en obra en una estructura tridimensional. Estos pueden ser de entramado liviano en el caso de edificación hasta 6 pisos o de madera sólida para mayor altura.

- **Modular:**

Módulos tridimensionales, industrializados y ensamblados en la fábrica, que luego son llevados a obra para ser montados. Típicamente son desarrollados con entramado ligero aunque se pueden hacer también con madera sólida



Estos sistemas no son excluyentes y una de las tendencias de la industria en Europa es la técnica híbrida que combina líneas, paneles y volúmenes de entramado y madera sólida para lograr las ventajas de cada sistema.

## Compatibilidad con otros materiales

Prácticamente todas las obras de construcción en madera requieren la integración de otros materiales para ciertas funciones específicas, por ejemplo hormigón para fundaciones, o metal para los herrajes, tensores y conectores. Uno de los problemas de la prefabricación en madera es que las tolerancias de manufactura entre materiales es diferente. La prefabricación en madera alcanza altos niveles de precisión dimensional, con diferencias que por lo menos un orden de magnitud.

Esto significa que la industrialización de la construcción en madera, depende también de la sofisticación de la industria del hormigón, y de la industria del acero.

## Sistemas constructivos en madera

Poste y viga

Entramado

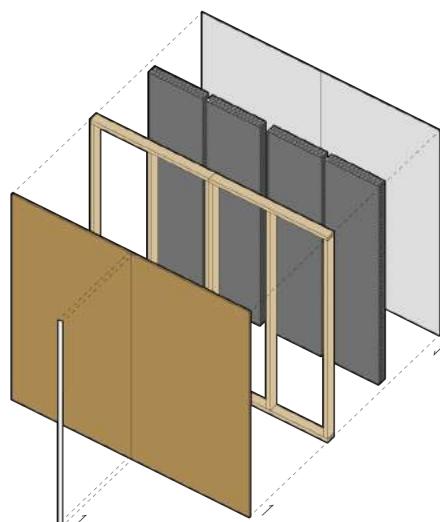
Sólida

Gracias a la versatilidad que tiene la madera, a la variación que existe entre especies y a la experiencia de desarrollo, se ha generado una gran diversidad de soluciones de construcción industrializada en madera. Las principales familias de estructuras son tres:

- **Poste y viga:**

Sistema que se estructura en base a elementos lineales, típicamente de madera laminada. Las cargas verticales las llevan postes, pilares y vigas, mientras que las cargas laterales se trabajan mediante diagonales y planos rígidos

- **Entramado:**

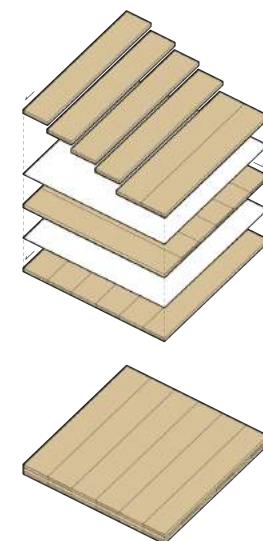


En su formato industrializado, el entramado conforma paneles prefabricados que transmiten las cargas laterales y horizontales. Un componente compuesto por elementos lineales, en general de madera sólida y placas arriostrantes a partir de productos de ingeniería como el OSB o el Contrachapado.

- **Sólida:**

Sistema constructivo a partir de elementos de madera sólida. Tradicionalmente a partir de

troncos aserrados, luego elaborados a partir de madera laminada y en su evolución más reciente en base a paneles de madera contralaminada (CLT). En esta categoría también encontramos madera laminada clavada (NLT), madera laminada atarugada (DLT) y otros sistemas con menor participación de mercado.



Armado de madera contra laminada - CLT

## Productos de ingeniería

Las tendencias internacionales en el mercado de la construcción en madera apuntan fuertemente al uso de productos de ingeniería, como son los tableros de madera contralaminada (CLT) y madera laminada. Las proyecciones de ambos casos son un indicador del grado de importancia que esta adquiriendo la madera en la industria de la construcción.

Para el caso del CLT se ha verificado un aumento explosivo de su producción en las últimas décadas.



Capacidad productiva global histórica de la industria de CLT.  
Fuente, UNECE 2015, Margules Groome, Brandner 2012, Graz University of Technology

Por su parte el mercado global de madera laminada se valoró en USD 4.760 millones en 2016 y se prevé que crezca a una tasa compuesta anual de 5.9% durante el período de pronóstico. La creciente preocupación por la sostenibilidad en todo el mundo y la creciente conciencia entre los consumidores sobre la madera como material de construcción probablemente sean las principales fuerzas impulsoras del mercado en los próximos años.



Ánalisis de mercado de la madera laminada en EE.UU. en Millones de USD. Fuente, Grand View Research.

## Aplicaciones de sistemas constructivos

Cada sistema constructivo tiene ventajas que lo hacen particularmente adecuado para diversas situaciones. Esta clasificación corresponde al estado del arte en el año 2018 y puede variar en los años siguientes, en función del mercado. También es posible que surjan nuevas configuraciones, materiales y uniones que entreguen nuevas posibilidades y por lo tanto reconfiguren la siguiente clasificación

### - Edificación sobre 12 pisos:

La edificación en altura sobre 12 pisos se realiza preferentemente en sistema híbrido de poste y viga de madera laminada, con losas de CLT. En ocasiones se trabaja con hormigón colaborante con losas de CLT. El núcleo rígido de circulaciones verticales, para absorber las cargas laterales, también se hace en CLT u hormigón.

### - Edificación entre 7 y 12 pisos:

Para casos entre 4 a 12 pisos, los casos a nivel internacional se concentran en sistema constructivo con paneles de madera contralaminada. La velocidad de construcción y la precisión han hecho que esta solución sea competitiva incluso con la importación de partes de otros países. Durante años, por ejemplo, la edificación en CLT en Australia se importó desde Austria.

### - Edificación entre 4 y 6 pisos:

Para la edificación hasta 6 pisos la estructura es preferentemente de paneles o módulos de entramado ligero, entramado pesado o poste y viga. También empieza a ser competitivo la solución en madera sólida pero depende fuertemente del mercado local.

### - Edificación hasta 3 pisos:

Para la edificación hasta 3 pisos la estructura más competitiva actualmente es la de paneles de entramado ligero o soluciones modulares. Su resistencia, velocidad de montaje, bajo peso y aislación térmica son superiores a otros materiales

### - Grandes luces:

Para distancias desde 8 hasta 160m como la estructura del Tacoma Dome, la madera laminada es la estrategia preferida. La velocidad de montaje, la seguridad contra el fuego y la precisión de maquinado le confieren a la madera una gran ventaja por sobre las otras materialidades.

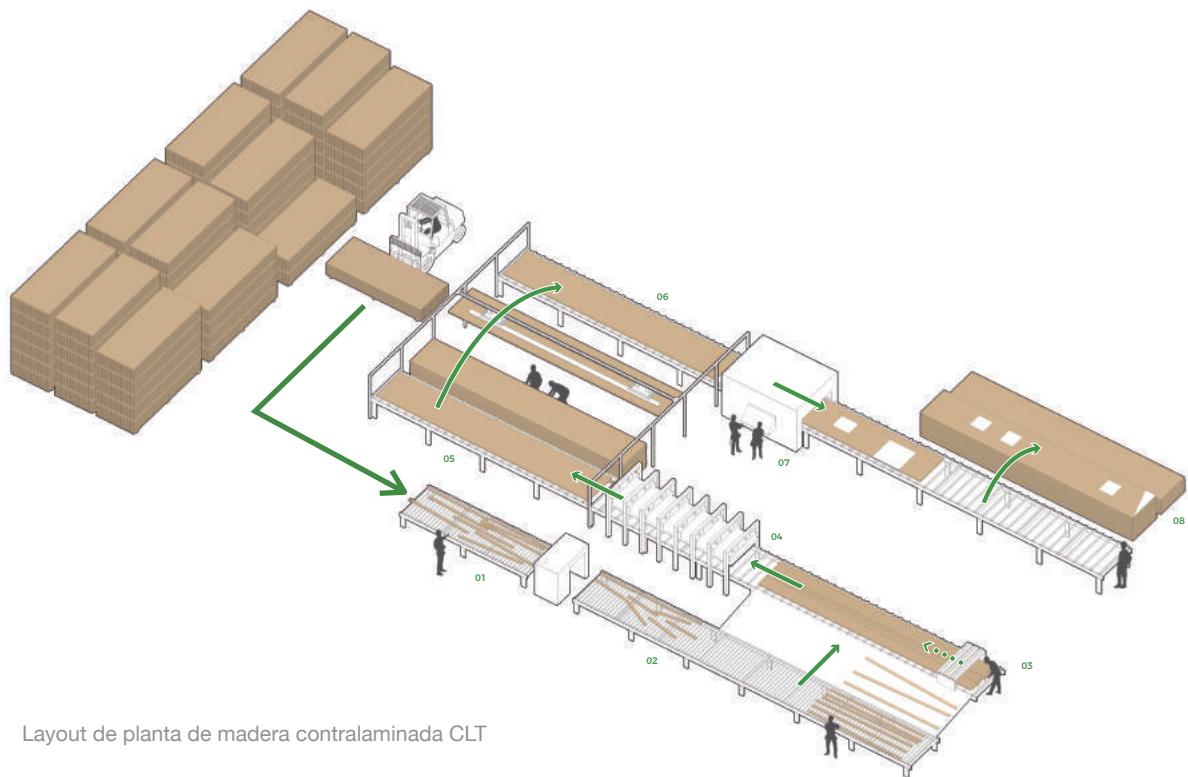
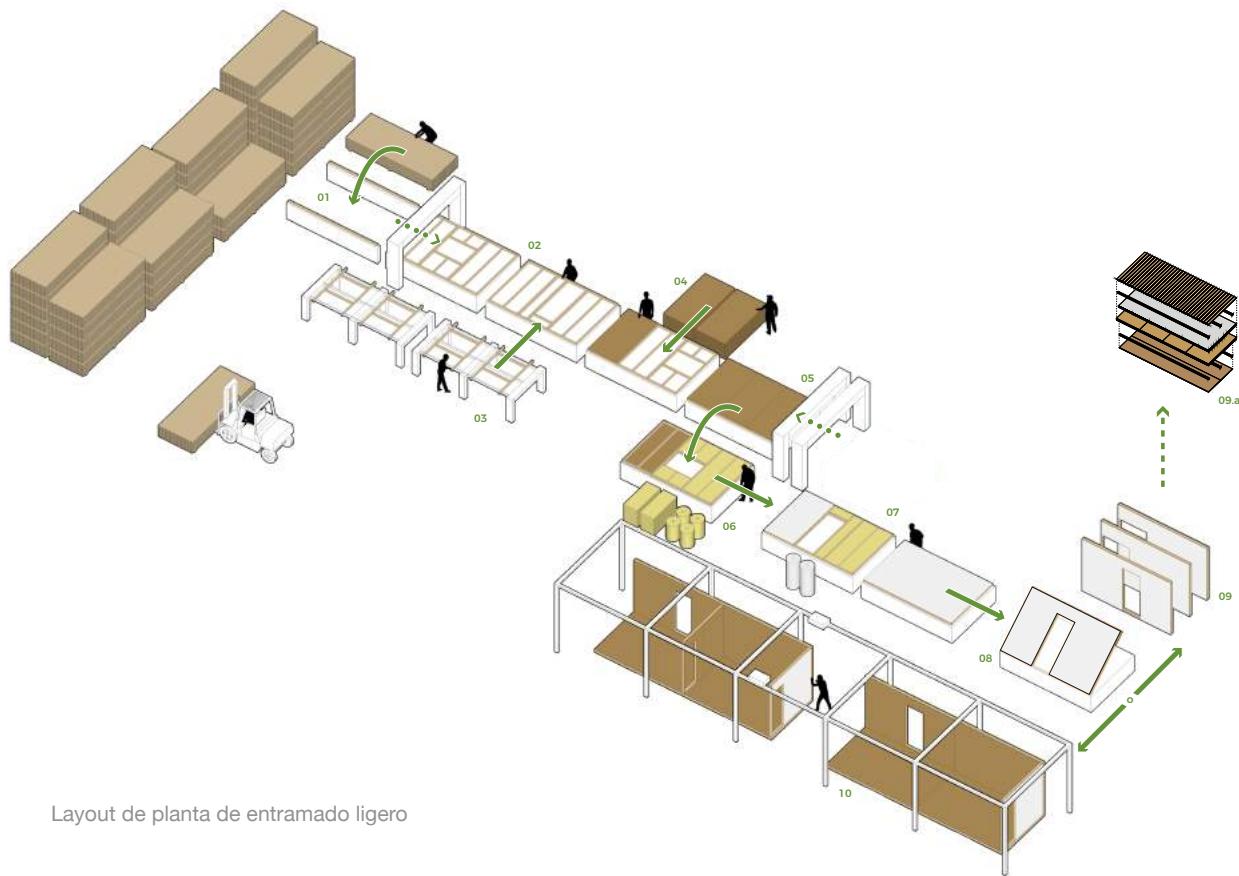
### - Ambientes salinos y húmedos:

La solución estructural en madera laminada permite enfrentar bien los desafíos de durabilidad en ambientes salinos o húmedos, en los cuales la corrosión afectaría fuertemente otras soluciones constructivas.

## 5.4. Manufactura avanzada en construcción:

La industria manufacturera se encuentra en el comienzo de la cuarta revolución industrial, denominada Industria 4.0. Esta comprende el uso de sistemas cyber físicos para lograr una manufactura flexible, que permita responder

sosteniblemente a las necesidades del usuario. Algunas de las tecnologías involucradas son transversales y tienen una aplicación directa en el sector de la construcción:



**Internet de las Cosas (IoT) y Domótica:**

El IoT tiene un sinnúmero de aplicaciones en los procesos productivos, logística interna y externa, en la mantención preventiva, en el control de obra y en el control de inventario.

**La nube:**

El acceso remoto y distribuido a la información soluciona problemáticas de comunicación y por tanto es aplicable a gran parte de los procesos productivos. En el caso de la construcción presta gran utilidad para la coordinación de la información sobre diseño, implementación y montaje.

**Inteligencia artificial:**

Sistemas de Inteligencia Artificial (IA) son utilizados en labores de optimización de procesos, tanto en producción, montaje o desmantelamiento de construcciones. También se usan sistemas de monitoreo e interpretación por IA para obtener información del avance de obra.

**Drones:**

Los drones son utilizados en labores de inspección y levantamiento de terreno.

**Lidar:**

La tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging) puede ser utilizada en los procesos productivos para detectar piezas y tamaños de estas, también puede llegar a ser implementada en labores de control y supervisión en obra, así como en el levantamiento topográfico.

**Big Data y análisis de datos:**

El análisis de datos obtenidos en las líneas de producción y en las construcciones, pueden entregar una cantidad masiva de información para mejorar tanto la productividad, como el diseño y desempeño de la edificación.

**Robots autónomos:**

La robótica es una de las principales tecnologías habilitantes ya integrada parcialmente a la industria de la construcción pre-fabricada, en Europa y Japón. La captura de información, procesada por algoritmos de interpretación, permiten un grado de automatización de los procesos de manufactura flexible.

**UGV:**

Unmanned Ground Vehicle, o Vehículo Terrestre no Tripulado. El uso de este tipo de tecnología tiene un impacto fuerte, principalmente en la logística interna de la obra para el transporte de materiales.

**Ciber seguridad:**

Los avances en seguridad digital permiten proteger la gran cantidad de datos generados y analizados en el marco de la implementación de la industria 4.0. Por ejemplo, la tecnología de blockchain se está explorando como posibilidad para reformular el sistema contractual de la construcción.

**Realidad virtual:**

Las capacidades de simulación tienen aplicación en aspectos de diseño, planificación y montaje, tanto para educación como para el entrenamiento y ejecución. Adicionalmente la realidad virtual permite mejorar la experiencia de venta e interacción con los clientes.

**Realidad aumentada:**

La realidad aumentada es una herramienta que modifica sensiblemente la interacción con el cliente para localizar el producto en terreno. Adicionalmente juega un rol importante para asistir el proceso de montaje e inspección de la obra. Si se cuenta con un modelo as-built, se puede también usar esta tecnología para trabajos de mantención, reparación y monitoreo.

**Manufactura aditiva:**

De gran impacto potencial en la construcción en general está particularmente destinada a modificar la construcción en hormigón y en algunos casos la construcción en acero.

**Nuevos materiales:**

Los nuevos materiales, así como la madera modificada para resistir la acción de microorganismos, disminuir su susceptibilidad al fuego, o para aumentar su resistencia mecánica, serán utilizados para mejorar las construcciones en madera y para ampliar el rango de aplicación y desempeño.

Todas estas tecnologías permiten medir, interpretar, optimizar y mejorar el proceso, pero

siguen dependiendo de la calidad del diseño y de la planificación como factor habilitante para

conseguir un buen resultado final.

## 5.5. Manufactura avanzada en construcción en madera:

Las diversas tecnologías disponibles para la construcción general tienen aplicación también en la construcción en madera, ya que principalmente se enfocan en el proceso de forma genérica. En particular se ven aplicaciones específicas en las siguientes tecnologías:

### **Internet de las Cosas (IoT):**

La sensorización de los componentes estructurales para monitorear el contenido de humedad de forma permanente y remota, permitirá realizar mantención preventiva y prolongar considerablemente la vida útil de la edificación.

### **Inteligencia artificial:**

La inteligencia artificial tiene aplicación específica en la construcción en madera en el caso de países que no tengan una base sólida de certificación de calidad de la madera. Se pueden incorporar, en el proceso, herramientas de evaluación de calidad de madera en base a la detección de defectos.

### **Ciber seguridad:**

Dada la alta variabilidad natural del material, que puede cambiar en función de la localización, lugar dentro de la plantación, edad, especie, inclinación del terreno, etc..., se pueden incorporar medidas de ciberseguridad para resguardar la trazabilidad de la madera desde el bosque hasta la construcción. La ciber seguridad es también crítica para el que el monitoreo continuo no sea usado para extraer información confidencial de la obra y sus habitantes.

### **Nuevos materiales:**

La madera es uno de los materiales más versátiles. Actualmente existen diversas iniciativas que se encuentran en fase de investigación e implementación, y que pueden cambiar a futuro el desempeño de este material. Se detallan en el punto de tecnologías de frontera pero en esto encontramos madera transparente, madera con desempeño estructural similar al acero, nano materiales a partir de madera, telas y membranas de madera, nuevas impregnaciones y protecciones sostenibles y un sinfín de alteraciones posibles en productos de ingeniería a partir de fibras, partículas, hojuelas y trozos.

## 5.6. Nuevos modelos de negocio e Integración vertical:

Cuando describimos las cadenas de valor, estamos describiendo las relaciones entre todos los agentes económicos que entregan un producto o servicio, con un valor específico para su usuario final. Este valor proviene del beneficio que el usuario final obtiene de este producto o servicio. Para una construcción, ese valor puede, por ejemplo, relacionarse con la comodidad, la paz, el atractivo estético o el estado de uso de un edificio. La cantidad de dinero que el usuario final está preparado y puede pagar por este beneficio es la cantidad que la cadena de valor (como un todo) puede capturar del valor. Por definición los modelos de negocios pueden diferenciarse por propuesta de valor, por modelo de cobro o por proceso de fabricación. Si bien cualquier diferencia, en

cualquiera de las categorías produce, en estricto rigor, un modelo de negocios diferente, la gran variedad de casos hace necesario que se categoricen en una taxonomía.

Una posibilidad es diferenciar los modelos de negocio por la propuesta de valor al cliente y en el modelo de cobro. Estos no están completamente desligados de los procesos de manufactura y frecuentemente están habilitados por la integración de tecnología, pero el real impacto en el negocio, tanto por el lado de la empresa como por el lado del cliente se genera al ofertar un producto o servicio con un valor distintivo. En el caso de los automóviles, por ejemplo, un cambio tecnológico de sensorización y procesamiento es el que habilita

la transformación de un producto (el automóvil) a un servicio (el transporte personalizado).

## Propuesta de valor:

Se preparó una primera taxonomía desde la perspectiva de la propuesta de valor para el cliente y del modelo de ingreso, proponiendo una estructura en la que se pueden ver las distintas alternativas de compra y arriendo, entendiendo la construcción como producto o como servicio.

En la transacción que vincula al cliente final con el medio construido, se detectan dos modalidades de base. El cliente es dueño o bien arrienda, por lo tanto, el “espacio para vivir” se entiende como un producto o un servicio. En el caso de la compra del inmueble se detectan tres propuestas de valor: La construcción personalizada, la construcción genérica y la construcción genérica con terreno. En la modalidad de servicio se distinguen el modelo de arriendo y el de hotelería. El modelo de tiempo compartido no se considera puesto que en su propuesta de valor no difiere del modelo de arriendo, teniendo como única diferencia el pago anticipado del tiempo que se desea reservar el inmueble. Desde el punto de vista el cliente final se presentan los siguientes aspectos que pueden incidir sobre la percepción de valor en una obra y que por lo tanto identifican diferentes modelos de negocio.

### - Apropiación del espacio:

Dice relación con las garantías legales que permiten resguardar el uso privado del espacio, y la permanencia continua.

### - Propiedad / modifiable:

Expresa la propiedad del bien inmueble y del terreno. Esto también implica que la obra es modificable para mejorar su desempeño o sus prestaciones.

### - Terreno personalizado:

Hace referencia a la elección del terreno en forma independiente a la casa por lo que las prestaciones del terreno son más cercanas a los intereses del consumidor final.

### - Diseño personalizado:

El diseño de la obra es trabajado con un arquitecto quien crea un proyecto único a la medida de las necesidades del cliente final.

### - Mantención delegada:

El usuario no es el que se encarga de las gestiones y costos de mantención del inmueble.

### - Operación delegada:

El usuario no es el que paga directamente el costo de lo consumido en energía y agua y por lo tanto no tiene incentivo en el ahorro de energía.

### - Servicios delegados:

La habitabilidad de la obra se logra con la integración de servicios de limpieza, seguridad, alimentación y vinculación con la logística externa que permite cumplir las funciones de manera más cómoda.

	Construcción en terreno propio	Prefabricada en terreno propio	Vivienda de inmobiliaria / Edificio	Arriendo de vivienda	Hotelería
Apropiación del espacio					
Propiedad / Modifiable					
Terreno “personalizado”					
Diseño personalizado					
Mantención delegada					
Operación delegada					
Servicios delegados					

Cuadro taxonómico de los modelos de negocio de la construcción de acuerdo a la propuesta de valor para el cliente.

En la tabla se evidencia una oportunidad en la oferta de valor para el cliente final, sobretodo en el ámbito de la mantención, la operación y los servicios delegados. Si bien puede parecer que estas etapas no son pertinentes a la construcción, son parte del ciclo de vida del producto y serán habilitadas mediante la modificación de la construcción. Por ejemplo, para un modelo de mantención delegada se puede visualizar la necesidad de sensorizar y monitorear el entorno construido para poder determinar en forma temprana y remota la ocurrencia de un problema. Así también se hace necesaria la integración de protocolos de seguridad que permitan una solución de comunicación encriptada e inalterable que permita entregar información sensible con confianza.

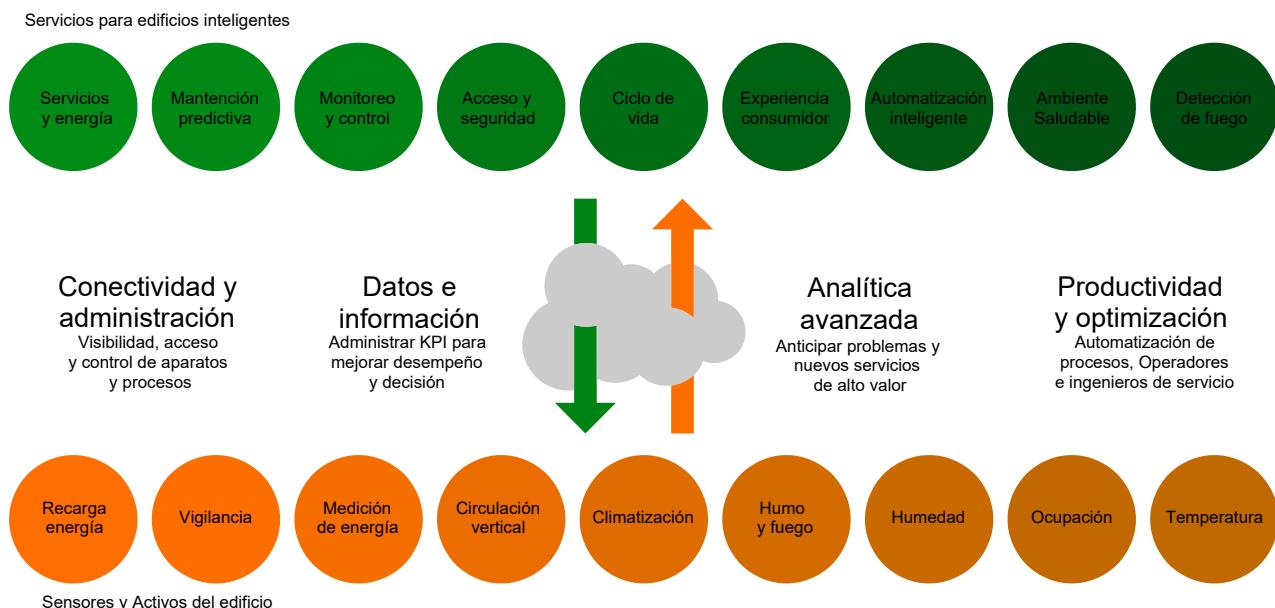
Un ejemplo de la tecnología como factor habilitante de los servicios delegados es la casa presentada por Yamato Holdings en el concurso "House Visions 2016" de Japón. En este caso se integran en la fachada diferentes compartimientos que tienen acceso tanto por dentro como por fuera, y en forma remota permite entregar acceso externo a ciertas exclusas para delegar parte de los servicios de la casa, como lavandería, compra de supermercado, entrega de bienes. Esta tecnología habilita una interfaz de comunicación con la logística externa.



Diseño de casa presentada por Yamato Holdings en el concurso "House Visions 2016" de Japón.

### Integración vertical

Desde el punto de vista de la producción, quizás el cambio más significativo que se visualiza hoy en la industria de la construcción es la integración vertical. Diversas empresas están integrando desde la producción de materia prima hasta la entrega del edificio para poder coordinar directamente a los diversos actores de la cadena y alinearlos hacia un mismo objetivo. Aserriado, arquitectura, ingeniería, especialidades, carpintería, transporte, construcción, montaje y mantención bajo una misma compañía para poder optimizar el costo, el tiempo, la calidad. Para articular esta diversidad de actores y objetivos se desarrollan plataformas internas de gestión de tipologías constructivas y



Servicios para construcciones inteligentes y el Internet de las cosas. Fuente: Microsoft, 2016.

generan la base para la personalización de la solución.

En este nivel potencial de desarrollo se destacan varias empresas tradicionales de gran escala como Cadolto, Laing O'Rourke, Yorkon, Weber Haus, Kampa Haus, One star, Broad Group, Vanke, Lendlease, Sekisui, Daiwa, Plana, y Toyota pero la vanguardia mediática y la integración tecnológica está principalmente liderada por Katerra.

## Plataformas

Los costos actuales de las distintas ofertas evidencian la importancia que tiene la personalización en la construcción, aspecto que se puede detectar también en otras industrias como la automotriz, el calzado, las telecomunicaciones, el contenido audiovisual, etc... Esta demanda de personalización se ve beneficiada cuando se generan plataformas abiertas que permiten la interacción entre componentes y con esto la entrada de nuevos actores que puedan diversificar la oferta sin tener que enfrentar necesariamente la manufactura completa del producto, ya que generan un margen de seguridad de negocio provisto por la existencia del standard compartido.

Con un standard que habilite la manufactura distribuida se requeriría integrar aspectos de manufactura avanzada para asegurar la compatibilidad entre partes y piezas, permitiendo la entrada de nuevos actores que personalicen componentes y que generen una oferta variada para el cliente. Un standard de este tipo en la construcción, por ejemplo, puede ser impulsado por el estado para impactar la edificación pública o por algún gran actor del sector que quiera ampliar su demanda generando la entrada de pymes en el sector.

Con respecto a este planteamiento, se observan a priori algunos aspectos a considerar desde la perspectiva de la construcción en madera:

### - Mejores condiciones para la madera:

La creación de un standard no aseguraría que los componentes se ejecuten en madera, pero ya que ésta tiene ventajas en el transporte, en el montaje, en la precisión y en la sostenibilidad, podría competir por desempeño.

### - Sobre-dimensionamiento por clima:

Los diferentes climas y condiciones de suelo de nuestro país ponen desafíos importantes a la estandarización de soluciones, pero es posible que no sea relevante si las soluciones sobre-dimensionadas pudiesen justificarse por la reducción en costo que pueda producir la estandarización.

### - Facil modificación:

Un standard abierto de conexión de componentes podría eventualmente propiciar una dinámica habitacional diferente, permitiendo la modificación, reparación, ampliación o reducción, generando cambios en todos los aspectos del modelo de negocios, pero para se obtenga el máximo potencial se observan los siguientes puntos:

### - Responsabilidad legal :

En el proceso de construcción hay responsabilidades legales, que en este momento recaen sobre el arquitecto, el ingeniero y el constructor. En un modelo que proponga componentes intercambiables para modificar la vivienda sería necesario revisar cómo se administran las responsabilidades.

### - Rígidez legal:

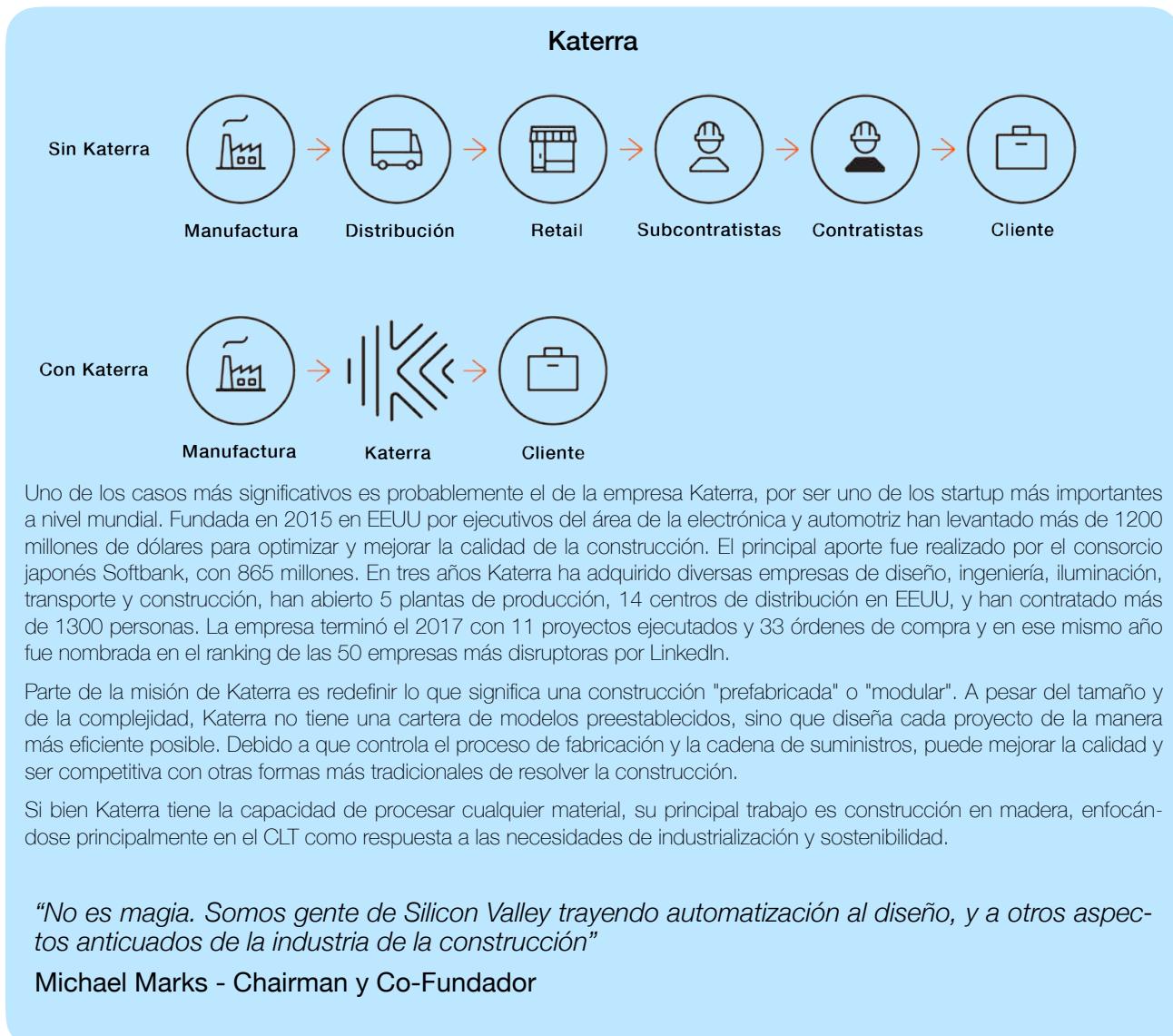
El marco regulatorio para la edificación debería ser modificado. Actualmente la construcción está legalmente vinculada al terreno y registrada con una planimetría específica, por lo que la ampliación, reducción y alteración de obras no pueden ser ejecutadas con libertad por parte del usuario. La intervención requiere un proceso legal que frena el dinamismo de la propuesta.

### - Nuevos entrantes:

La aplicación de tecnologías permitirá también la entrada de nuevos actores al sector, aportando nuevos estándares de productividad. Por ejemplo la aplicación de tecnologías de Microsoft mediante IoT, sensores, big data, inteligencia artificial y la integración remota al servicio del monitoreo, mantenimiento, seguridad y control de diversos aspectos de un edificio. También en esta línea está Amazon haciendo una fuerte apuesta por la automatización de los servicios del hogar, incluso incursionando

en el negocio de las casas industrializadas para ofrecer la obra con el asistente Alexa in-

tegrado en toda oportunidad posible.



## 5.7. Tecnologías de frontera

Diversas tecnologías que están en la frontera del conocimiento hoy, presentan una hipótesis de impacto significativo en la industria de la construcción y en particular en la proyección de la construcción en madera.

### Construcción robotizada

Aunque no sea una tecnología en si, sino más bien un conjunto al servicio de la solución integral

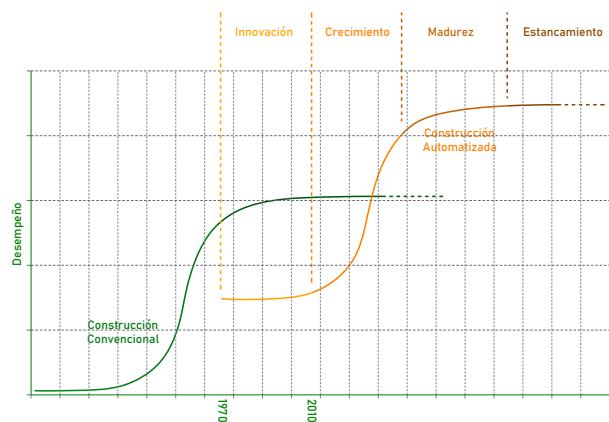
del problema, y a pesar de que ya existen implementaciones exitosas, la construcción robotizada se considera en este informe aún como una tecnología de frontera. La implementación de diversas tecnologías de manufactura avanzada en la construcción ha sido visualizada ya por diversos investigadores y la construcción robotizada se señala como la gran alternativa para mejorar el desempeño de esta industria. Claramente la con-

strucción tradicional ha llegado a un nivel de estancamiento en el crecimiento de productividad lo que refleja el fin de un modelo de desarrollo tecnológico en la industria.



Robot aplicando yeso cartón sobre entramado liviano. AIST

El cambio se puede ver en la generación de una nueva curva que nace con diversas aplicaciones experimentales robotizadas, que aún se ven como poco productivas o costosas pero que en un plazo cercano crearán un cambio disruptivo en la industria modificando profundamente el sector.



Curvas de Foster (1986) se aplicaron al desarrollo futuro de la industria y la tecnología de la construcción (B. Georgescu, Presidente de Realización de Edificios y Robótica). Fuente Robot Oriented Design, Bock and Liner 2015.

El rango de robotización es amplio y afecta todos los procesos de manufactura y logística de la construcción. A nivel internacional existen diversos

centros trabajando la temática de la fabricación digital en construcción y los más importantes son:

#### - NCCR Digital Fabrication

El objetivo principal de este NCCR es la investigación en el diseño digital y los procesos de fabricación y su síntesis a través del uso de nuevas tecnologías. A través de un enfoque multidisciplinario, las disciplinas de arquitectura, diseño estructural, robótica y material y ciencias de la computación se reúnen en una asociación ambiciosa para establecer la tecnología digital como una parte esencial de los futuros procesos de construcción.

La fabricación digital NCCR lleva a Suiza a la vanguardia de este nuevo y emocionante campo. La primera fase de cuatro años se inició con un amplio programa de doctorado y proyectos de investigación avanzada y un nuevo programa MAS. El NCCR reúne a investigadores y la industria en asociaciones ambiciosas. En las dos fases siguientes (cada una de cuatro años de duración), el NCCR evolucionará con la práctica de la fabricación digital estableciéndolo como un tema multidisciplinario y tecnológico importante en la ETH Zurich. El desarrollo de este NCCR creará oportunidades para la investigación, la colaboración, la transferencia de tecnología, todo con el objetivo a largo plazo de cambiar significativamente el futuro de la arquitectura y la construcción.

#### - IntCDC

La visión del Cluster of Excellence Integrative Computational Design and Construction for Architecture (IntCDC) es aprovechar todo el potencial de las tecnologías digitales para repensar el diseño, la fabricación y la construcción basadas en la integración y la interdisciplinariedad, con el objetivo de permitir la innovación que cambia los juegos. en el sector de la construcción, ya que solo puede ocurrir a través de una investigación fundamental altamente integradora en una investigación interdisciplinaria a gran escala. El Cluster tiene como objetivo sentar las bases metodológicas para un profundo replanteamiento del diseño y el proceso de construcción y los sistemas de construcción rela-

cionados mediante la adopción de un enfoque computacional integrador basado en la investigación interdisciplinaria que abarca arquitectura, ingeniería estructural, física de edificios, geodesia de ingeniería, fabricación e ingeniería de sistemas, informática Ciencia y robótica, ciencias sociales y humanidades.

Si bien la madera no es el único material que se trabaja en estos centros, ocupa un lugar importante en la experimentación dado su conjunto de propiedades.

Estas investigaciones y desarrollo tienen frutos concretos, visibles en la oferta de un sistema de mecanizado y armado de paneles, completamente automatizado a partir de tecnología robótica. Esto genera un sistema autónomo, asequible y altamente flexible de manufactura flexible.



Sistema Robotmob de imax.

### Madera Transparente.

En 2015 un grupo del Wallenberg Wood Science Center de KTH, desarrollaron una versión transparente de la madera. El doctor Lars Berglund afirma que la madera transparente es más resistente que la madera tradicional y puede ser utilizada en lugar de materiales como los plásticos o vidrios para la transmisión de luz con baja conductividad térmica. Este material podría revolucionar el conceptos de iluminación natural en la arquitectura moderna, basado en el vidrio, sustituyéndolo con madera transparente, añadiendo ciertas mejoras a la construcción.

El estudio también revela que los compuestos de la madera transparente muestran cualidades de alta transmisión que podría ser usada, potencialmente, en paneles solares. Potencialmente, la madera transparente se podría fabricar para que

alcance propiedades estructurales mejores que el acero o que incluso supere su resistencia, con el beneficio adicional de que la madera sería más liviana.



Madera transparente reemplazando lignina por resina. (Photo: Peter Larsson)

### Cristales de Nano Celulosa.

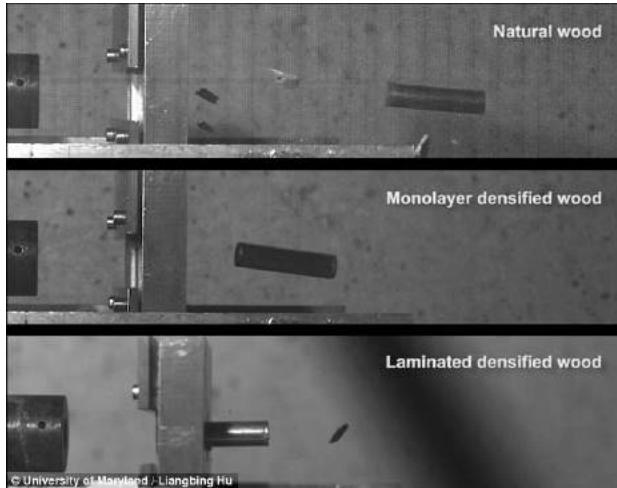
Los cristales de nano celulosa, obtenidos principalmente a partir de madera, tienen propiedades mecánicas interesantes para su uso en aplicaciones de nuevos materiales. Su resistencia a la tracción es similar a la del aluminio y su rigidez es comparable con la de Kevlar o la fibra de carbono pero con un décimo del costo. Existe un extenso trabajo de investigación en este tema pero existen desarrollos como el de Keten lab de la Northwestern University que prometen una reducción del costo y la posibilidad de salir de la escala de laboratorio a una industrial.

### Súper madera.

En los Estados Unidos, un grupo de investigadores de la Universidad de Maryland (Liangbing Hu e Teng Li) creó un nuevo sistema para hacer que la madera sea más resistente alcanzando características en algunos casos superiores a las del acero o el titanio.

El nuevo proceso densifica la madera, añadiendo tratamientos que permiten mantener mejor su forma y hacerla más resistente a la humedad. Esto conforma un material natural y orgánico, que se comporta como el acero, es económico y de fácil

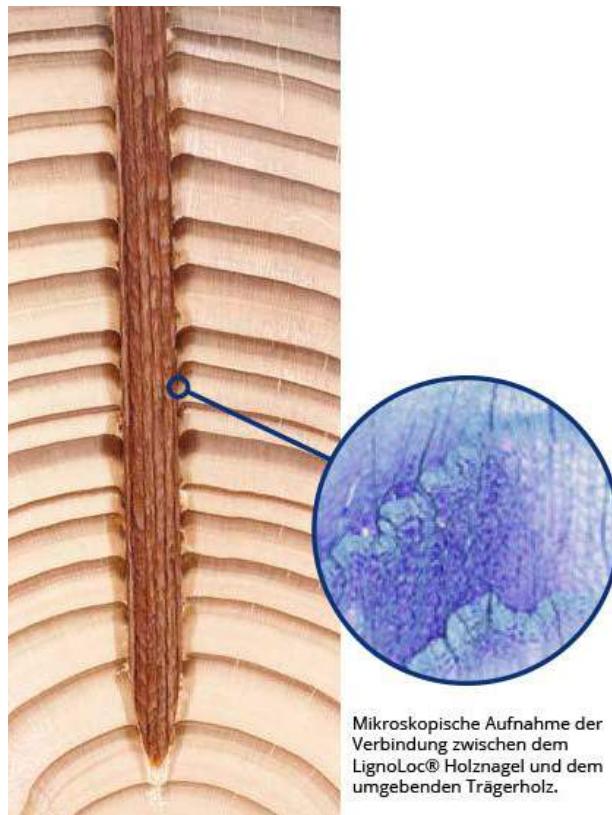
obtención y podría ser un material importante a futuro para la construcción sostenible. La 'súper madera' podría usarse como una alternativa a los materiales más costosos, como la fibra de carbono, ya que requiere un procesamiento menos complejo y es altamente reciclabl



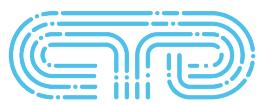
Madera densificada sometida al impacto de bala. (Universidad de Maryland- Liangbing Hu)

### Soldadura de madera

Al estar sometida a fricción la lignina de la madera se calienta y derrite generando un puente adhesivo natural que suelda ambas partes. Este fenómeno ya es aplicado comercialmente, por la empresa LignoLoc, en clavos de madera que se hinchan con pistola neumática. La velocidad del disparo genera roce y calor, lo que termina generando soldadura de madera. Si bien la aplicación comercial debiera sacar este tema de la definición de tecnología de frontera, la aplicación es tan puntual que se puede asumir que su nivel de impacto no ha sido alcanzado, y que existe todavía campo de investigación para otros usos en construcción



Proceso de soldadura de madera en clavos de madera clavados con pistola neumática LIGNOLOC.





TRACCIÓN POTENCIAL DE LA CONSTRUCCIÓN NACIONAL

## 6. TRACCIÓN POTENCIAL DE LA CONSTRUCCIÓN NACIONAL

Para este punto el objetivo es dimensionar la tracción potencial para la construcción en madera a nivel nacional. Desde el sector privado la tracción específica por construcción en madera no es algo que sea cuantificable más allá de entregar la dimensión del mercado nacional. El sector privado se mueve en función de la demanda, la disponibilidad de mano de obra y de materiales, los costos y los plazos de entrega, por lo que aún no se ve un interés particular por la madera.

Desde el estado pudiera darse tracción segura, siempre y cuando se dimensionara el impacto sistémico y a largo plazo, que se puede gatillar con la construcción en base a un recurso renovable y recicitable como la madera. Al exigir la madera como materialidad se pueden generar impactos positivos en el medio productivo, más allá de la misma construcción. Por esto se indicarán los principales casos en los cuales la industrialización en madera pudiera tener ventajas en las condiciones actuales.

A modo de dimensionamiento general se puede indicar que la superficie total autorizada a construir

según permisos de edificación en 2017 alcanzó a casi 11 millones de m<sup>2</sup>, y se ubica 10,4% por sobre su promedio histórico de casi 10 millones de m<sup>2</sup> autorizados en los últimos 26 años.

Las dinámicas regionales han sido divergentes. La Región Metropolitana se ubica un 7,4% por debajo de su promedio histórico de 4,5 millones de m<sup>2</sup>, mientras que las otras regiones están un 25,1% por sobre su promedio histórico de 5,4 millones de m<sup>2</sup>.

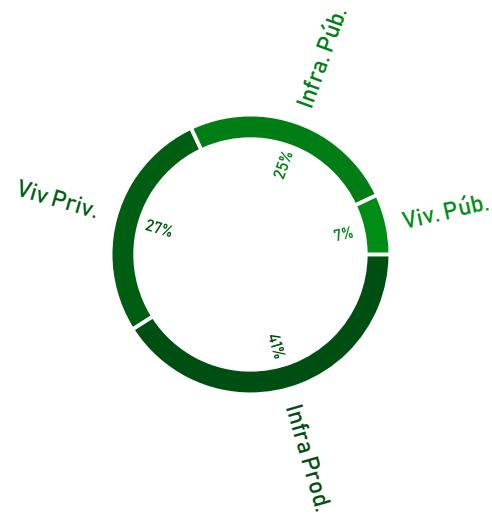
Según destino final del permiso, la edificación residencial alcanzó los 7,8 millones de m<sup>2</sup>, ubicándose un 18,7% por sobre su promedio histórico de 6,6 millones de m<sup>2</sup>. Según tipo de vivienda, los departamentos han mantenido su peso relativo en la edificación residencial en torno a 57% en los tres últimos años. En ocho años, los departamentos han casi duplicado su importancia relativa en el sector residencial, lo cual es coherente con el proceso de densificación de las ciudades. En contraposición, la autorización de casas ha perdido participación de manera progresiva desde que, en 2010, alcanzara un récord histórico de 70%.

### 6.1. Sector privado

Si bien la construcción privada es teóricamente más difícil de capturar que la edificación pública, puede ser interesante dimensionar el mercado privado y entender su composición para diseñar estrategias para el desarrollo de la construcción en madera.

En Chile la actividad privada abarca el 68% del sector de la construcción. Esta se desglosa en un 41% de dedicación a la edificación de infraestructura productiva y un 34% de trabajo en vivienda. (Informe ICEX).

El trabajo en infraestructura productiva se concentra principalmente en los sectores de minería y energía.



Distribución de la edificación en Chile - Informe ICEX

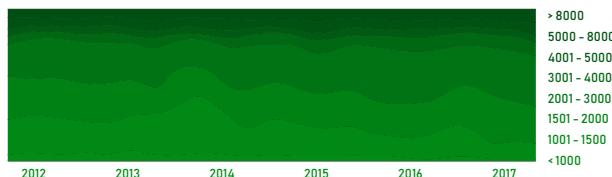
## Vivienda

En el caso de la edificación de viviendas esta se distribuye en un 7% de vivienda pública y 27% de vivienda privada. La vivienda privada es predominantemente (80%) edificación inmobiliaria sin subsidio.

Del total de obras iniciadas en vivienda, el gran porcentaje son obras nuevas con un 84% de los casos.

De las viviendas nuevas, el 72% corresponden a departamentos y el resto a casas.

Los segmentos intermedios (departamentos entre 1.500 UF y 4.000 UF) acaparan aproximadamente el 70% de la demanda. Las unidades de mayor valor (más de 5.000 UF) concentraron 14% de la demanda. Los tramos de menor valor, compuesto de unidades de hasta 1.500 UF concentraron 12% de la demanda en 2017 frente al 19% en 2016.



Venta de departamentos por tramo en precio (INE 2017)

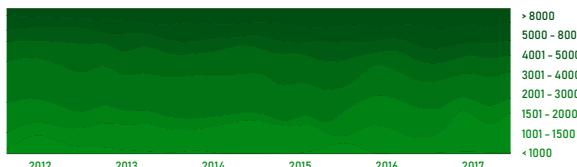
## 6.2. Sector público

Los casos más propensos a la industrialización son aquellos en los que la velocidad de entrega sea crítica, aquellos en los que el costo debe ser fuertemente optimizado, aquellos en los que el aislamiento hace que sea difícil llegar con materiales y mano de obra, y/o aquellos en los que haya un alto grado de trabajo en serie. Se detectaron tres casos que cumplen con alguno de estos criterios.

### - Viviendas sociales

Las viviendas sociales tienen una gran necesidad de optimización por costo, y se trabajan en serie.

### - Postas rurales



Venta de casas por tramo en precio (INE 2017)

En el mercado de casas la evolución durante el año ha sido opuesta a la del mercado de departamentos. Fueron los tramos de menor valor (hasta 1.500 UF) los que incrementaron su participación relativa en la demanda, pasando de concentrar 16% en 2016 a 27% en 2017. Ello se debió al mejor desempeño de proyectos favorecidos por el subsidio DS19. Los tramos intermedios son los que disminuyeron su participación, mientras que no hubo cambios significativos en el peso relativo de las casas de mayor valor.

Según superficie, en el mercado de departamentos sigue predominando la venta de unidades de tamaño inferior a 50 m<sup>2</sup> (60% al tercer trimestre). Los tramos superiores (más de 120 m<sup>2</sup>), por su parte, han mantenido su participación en torno a 5%.

En el mercado de casas, las unidades de menor tamaño (menos de 70 m<sup>2</sup>) concentran aproximadamente el 42% de las ventas.

Las postas rurales tienen una gran dificultad de acceso y también tienen condiciones repetibles.

### - CESFAM

Los CESFAM tienen condiciones de programa que los hacen propensos a ser modulares.

### - Jardines infantiles y salas cuna

Los jardines infantiles y salsa cuna también ofrecen programas tipo que pueden ser industrializados, y demandan una alta calidad con costos competitivos.

### - Escuelas rurales

Las escuelas rurales tienen problemas de accesibilidad y existe la urgencia por tener una reposición.

## Vivienda Social

Según los datos de CENSO 2017, el déficit al año 2017 es de 393.613 viviendas, y la encuesta Casen 2017, cifra en 1.303.484 las viviendas que requieren al menos un mejoramiento.

Durante el año 2018, se ha iniciado la ejecución de más de 28.804 viviendas en 146 proyectos en todo el país para la implementación de políticas de vivienda integrada. Estos son conjuntos habitacionales en los que el 27% de las viviendas se encuentran destinadas a familias más vulnerables de la población.

Adicionalmente, considerando que entre 2011 y 2018 se entregaron 251.971 subsidios de sectores medios, se entregan aproximadamente 35.000 subsidios anuales para vivienda.

Esto genera un mercado de 63.000 viviendas anuales, altamente industrializables, en un segmento en el que la calidad térmica y de durabilidad es crítica ya que afecta directamente el presupuesto de los sectores más vulnerables.

## Salud

En el área de la salud, la construcción es particularmente restrictiva en hospitales. Si bien existen ejemplos de hospitales realizados con MMC en madera, la validación en Chile aún no ocurre. Se ven mayores oportunidades en recintos de Atención Primaria. En este segmento existe el compromiso de terminar la construcción de 120 recintos de salud de atención primaria para el año 2022. Además deben quedar 40 en fase de ejecución y 40 en fase de licitación, diseño o estudio.

## Postas de Salud Rural

Dado el nivel de estandarización y de conectividad limitada, las postas de salud rural son casos particularmente interesantes para la industrialización de la construcción en madera.

Las Postas de Salud Rural son el primer punto de contacto de las comunidades y poblaciones ru-

rales con el sistema de Salud, atendiendo a una población rural superior al 1.100.000 personas.

Hasta el año 1979 el tamaño y materialidad de las postas de salud rural era variable. Entre 1980 y 1990 se construyeron de postas financiadas por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y contaban con un programa arquitectónico estandarizado de 140 m<sup>2</sup>, más una vivienda entre 36 a 49 m<sup>2</sup>. A partir de 2006 se usa un estándar de postas de 172 a 175 m<sup>2</sup> y viviendas de 50 a 52 m<sup>2</sup>, gracias a la Metodología MIDESO para Atención Primaria.

Del total de 1074 postas catastradas<sup>2</sup>, 494 (46%) tienen una antigüedad mayor a 24 años. Estas atienden una población de 553.903 usuarios (163.165 familias). Esto representa un 48% de los usuarios totales de postas a nivel nacional y un 49% del total de familias.

El catastro mostró que un 30% de las postas no alcanza una superficie construida de 100 m<sup>2</sup>. Si consideramos que el estándar actual es de 175 m<sup>2</sup>, la brecha en metros cuadrados alcanza los 7.816 m<sup>2</sup>, y se suman 16.140 m<sup>2</sup>, considerando otros recintos faltantes. En total existe una brecha aproximada de 24.000 m<sup>2</sup>, para adecuarse a los requerimientos normativos vigentes.

El catastro efectuado determina además que existen 183 postas que requieren reposición total o relocalización.

## Educación

En el sector educación hay particulares intereses en conseguir una infraestructura de calidad, tanto para cuidar la salud de los niños, como también para servir de centro de operaciones en caso de desastre natural.

De un total de 5.530 establecimientos a ser catastrados por el Ministerio de Educación (MINEDUC)<sup>3</sup>, se tiene información validada de 4.986 establecimientos (90,16%) de los establecimientos subvencionados de dependencia municipal.

<sup>2</sup> Informe: "Actualización de catastro de brechas de infraestructura de Postas de Salud Rural y Propuesta de lineamientos de una Política Nacional de Inversiones en Salud Rural"

<sup>3</sup> Catastro de infraestructura escolar MINEDUC

Los establecimientos tienen una superficie promedio de 7.500 m<sup>2</sup>, con una desviación estándar de +/- 20.000 m<sup>2</sup>. Esto da cuenta de una amplia diversidad de tamaño.

Se registró un rango temporal de construcción que va desde principios del 1900 hasta el año 2012, y en promedio la fecha de construcción es de inicios de 1980, con una variabilidad de +/- 23 años.

Respecto al estado general de la construcción, el catastro realizado por el MINEDUC reporta de un 20,3% de deterioro, que considera aspectos como la cubierta, estructura de muros y tabiques,

pavimentos, sistema eléctrico, ventanas, puertas, mobiliario, pinturas y revestimientos de cielos y muros.

Por último, en términos de accesibilidad universal, el catastro indica que sólo un 22,8% de los locales presenta posibilidades de acceso completos, y un 40,3% no tienen ninguna solución disponible.

Este catastro indica que existen 7.500.000 m<sup>2</sup> con deterioro en establecimiento educaciones en todo el país y adicionalmente existen 1994 locales en los cuales se debe hacer una intervención para asegurar la accesibilidad universal

## 6.3. Capacidad tractora real

### **Sector privado**

Para el caso del sector privado la tracción por construcción en madera se puede dar por parte del cliente, mediante incentivos hacia la materialidad, mediante regulaciones que impongan condiciones de desempeño más elevadas, o mediante una posición competitiva como solución de construcción industrializada.

Se han detectado instrumentos a nivel nacional que se acercan a condicionar la materialidad. Un primer ejemplo se encuentra en la Municipalidad de Villarrica. La Ordenanza Municipal, en el capítulo IV, artículo 16 indica:

*"Art. 16: a) Revestimientos de fachadas: (parámetros verticales).a.1 Maderas: Se privilegiará el uso de materiales de revestimiento en madera de cualquier tipo hasta la segunda calidad en la Zona Homogénea y hasta la tercera calidad en el resto de las zonas, en su defecto podrán utilizarse elementos de última generación que simulen madera (siding, vinílico, siding, fibrocemento)."*

*"Por otra parte, para edificación de uso habitacional, Madera: Se exigirá el revestimiento en madera conforme al criterio del proyectista, que en todo caso, no podrá ser inferior al 40% de la superficie total de la fachada exceptuando vanos, y las superficies destinados a mampostería en piedra."*

En la Municipalidad de Pucón, La Ordenanza (2017) incida en su Título V Materias Municipales

relativas a urbanizaciones y construcciones, párrafo primero:

*"De las obligaciones relativas a materias específicas de urbanismo y construcción:*

*art. 38: respecto a las fachadas de la edificación pública y privada que se levante dentro del término municipal, deben estar constituidos por elementos de madera y/o piedra, excluidos los vanos, en un 50% para edificaciones de menos de 6 metros de altura, y de un 70% las edificaciones de más de 6 metros de altura. Para el cumplimiento de esta medida en los proyectos, deberá acompañarse en el informe correspondiente un diagrama de superficie de fachada."*

Si bien estos casos constituyen antecedente, la aplicación del material es reemplazable por otros que los simulen, y en ambos casos las ordenanzas se enfocan en la condición estética del material, limitándose a regular su aplicación fachada.

En el caso de la edificación privada por lo tanto no se puede detectar un mecanismo regulatorio que permita asegurar una tracción continua de construcción en madera.

### **Sector público**

En la revisión de los procesos de licitación para la edificación pública no se detectaron mecanismos o regulaciones que permitan condicionar la materialidad de la construcción. Si bien hay casos como los proyectos de los jardines infantiles o el proyecto de escuelas modulares del Ministerio de

Educación, en los que el estado ha invertido recursos para el desarrollo de proyectos en madera, esto no significa que se pueda condicionar la materialidad durante el proceso de licitación. La información generada con esos proyectos da una ventaja clara a la madera, ya que el proyecto se encuentra especificado y dimensionado para esa materialidad, pero lo que prevalece son las condiciones de desempeño que se pueden cumplir con cualquier materialidad al momento de la oferta.

Dado lo anterior se llega a la conclusión que no existe una capacidad tractora real del estado para la construcción en madera en específico. Lo que hay es una demanda para la construcción en general y determinada por ciertas condiciones de desempeño. Es posible que fijando condiciones de desempeño más elevadas, como ha sucedido en el caso de ciertas normativas a nivel internacional, la madera encuentre un espacio de acción más importante.

### **Jardines infantiles JUNJI en CLT**

Este proyecto es un llamado a concurso de Corfo en la línea de Bienes Públicos para la competitividad (2015). La meta presidencial de construcción de 4500 de salas cuna y 1200 jardines infantiles de la JUNJI proponía la construcción de salas cunas en madera como una alternativa para mejorar la calidad, y que incluya variables de sostenibilidad priorizando el fomento de recursos renovables nacionales. El proyecto consistió en el diseño de cuatro Salas Cuna en madera CLT, con los que se entregaron soluciones sismo resistentes, energéticamente eficientes, resistentes al fuego, con estándares elevados de habitabilidad, rápidos de construir, con el uso de materiales renovables, con bajo mantenimiento y amigable con el medio ambiente.



Vistas interiores y exteriores del proyecto en CLT. Fuente: Jorge Calderón - CRULAMM

© Frane Zilic



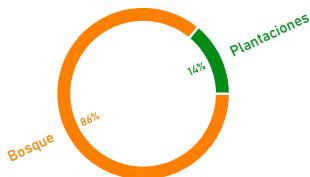
BRECHAS Y ASPECTOS CONDICIONANTES EN CHILE

## 7. BRECHAS Y ASPECTOS CONDICIONANTES EN CHILE

En este capítulo se tratarán las principales diferencias que existen entre la situación en Chile y la realidad extrajera en países con indicadores deseables. Se intentará aislar las variables pero frecuentemente el problema es complejo y requiere analizar múltiples variables que interactúan entre ellas.

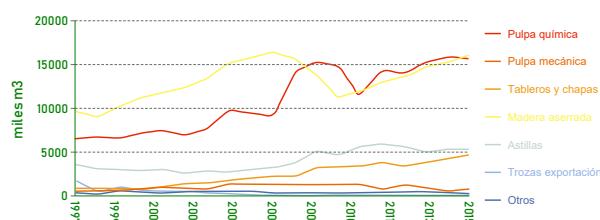
### 7.1. Brecha socio económica del sector forestal - maderero:

El 23% de la superficie total de Chile está cubierta por bosques (17.520.869 ha), de los cuales el 86% corresponde a bosques naturales y el 14% a bosques plantados.



Porcentaje de bosques nativos y naturales en Chile. Fuente Infor.

La producción forestal se basa en un 99% en los bosques plantados y el 70% de este recurso tiene certificación internacional de manejo forestal sustentable. Las plantaciones se ubican principalmente en la macro zona forestal desde la región del Maule hasta la región de la Araucanía, mientras que los bosques nativos se encuentran en su mayor parte desde la región de Los Ríos hacia el sur. La especie mayormente plantada es el *Pinus radiata* (59,1%) seguido del *Eucalyptus globulus* (23,6%) y *Eucalyptus nitens* (10,5%)

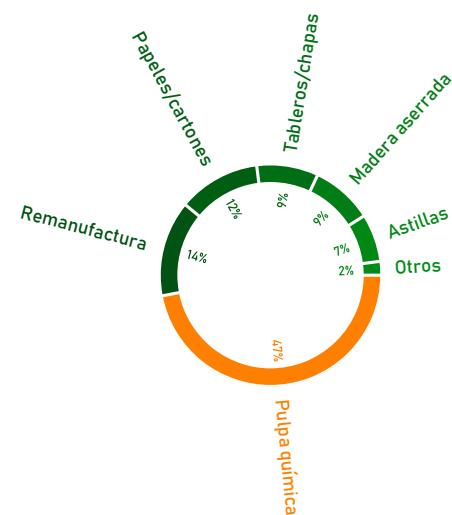


Consumo de trozas industriales según productos, 1997- 2015 (miles de m³), Fuente Infor.

En las últimas dos décadas, la industria forestal chilena ha experimentado un importante crecimiento en todos los rubros productivos que consumen madera para la elaboración de productos forestales, tales como la pulpa química y la

madera aserrada, seguidos de las astillas y los tableros y chapas

La industria forestal chilena es principalmente de extracción y transformación primaria orientada a la exportación, fuertemente dedicada a la producción de pulpa, que representa un 47% de nuestras exportaciones madereras

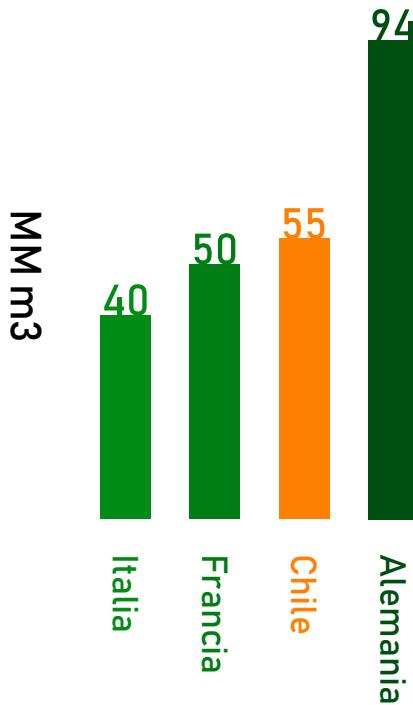


Producción forestal por tipo de producto. Fuente Infor.

Este sector es competitivo a nivel internacional y produce el 2.1% de las exportaciones mundiales de madera, y en la exportación de pulpa, Chile alcanza el 3% del mercado mundial.

En el año 2015, el sector forestal dio empleo directo a 118.374 personas y de acuerdo con las estimaciones realizadas por INFOR y Untec de la Universidad de Chile, el sector generó empleo directo e indirecto a más de 300 mil personas. Los indirectos corresponden a trabajadores de servicios públicos, universidades, organizaciones sindicales, gremiales y ONG's, como también empresas consultoras y de asesoría. Si se con-

sidera que el total de personas ocupadas en el país equivale a 8.141.240, este sector representa el 3.6% del empleo nacional. Las exportaciones forestales han ido en claro y sostenido aumento en las últimas décadas, pero a pesar de esto, el empleo del sector silvo-agropecuario ha caído de un 14% en el año 2010, hasta un 10% en el 2013 en la Región del Biobío, la principal región forestal de Chile. Esto refleja una necesaria e inevitable modernización de los procesos productivos forestales pero también revela un problema estructural del sector maderero nacional: una extremada dependencia del procesamiento primario de la madera ha provocado poca variedad de productos, y por lo tanto una alta dependencia de los precios internacionales de la madera como commodity.

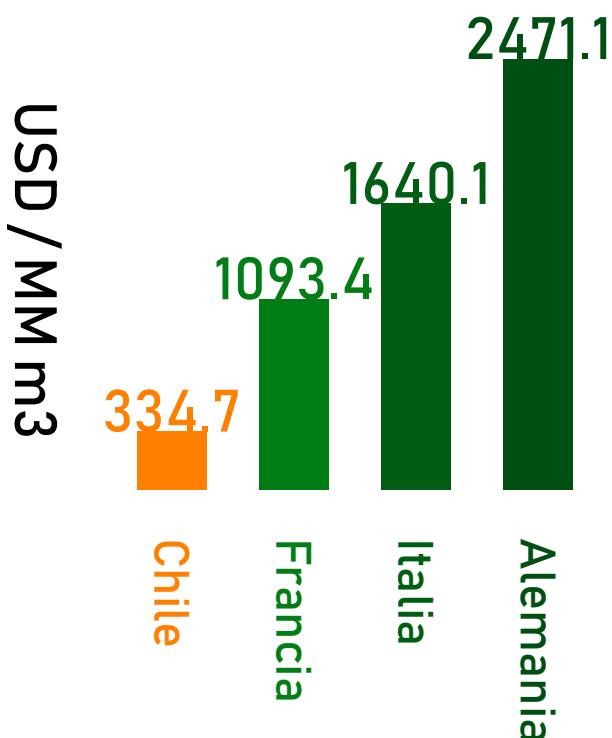


Consumo de recursos forestales en Millones de m<sup>3</sup>. Fuente INFOR; America Economía; German Timber; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft; Ministère de L'Économie de L'Industrie et de L' Emploi; Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali.

Una comparación de Chile con Francia e Italia revela una situación similar en cuanto a consumo de recurso forestal, mientras que en Alemania el consumo es prácticamente el doble. En Chile la extracción abastece completamente la industria maderera, mientras que en los países europeos

analizados una gran parte de la materia prima es importada.

Al analizar las cifras de negocio del sector y normalizarlo por metro cúbico, se puede apreciar que Alemania logra generar más de 7.4 veces las cifras de negocio que se obtienen en Chile por cada metro cúbico, y en Francia e Italia es alrededor de 4 veces (Fig. 3.7.5). En términos absolutos significa que en vez de generar 18.000 Millones de USD como cifra de negocios a nivel nacional se pudieran estar generando 133.200 Millones de USD.



Ventas de productos forestales. Fuente INFOR; America Economía; German Timber; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft; Ministère de L'Économie de L'Industrie et de L' Emploi; Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali.

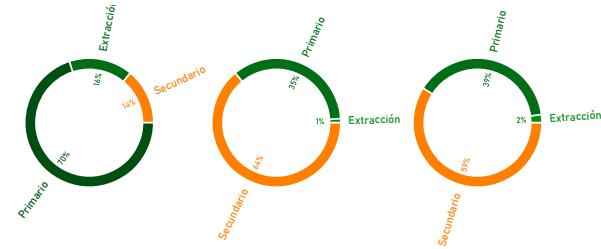
De acuerdo a la clasificación encontrada en Europa el sector forestal maderero se divide en tres grandes grupos: Extracción, Primera transformación que es la que genera pulpa, tableros y madera aserrada, y Segunda transformación que es la que se encarga de generar el producto final. Para efectos del siguiente análisis se usará esta clasificación.

En la industria de transformación secundaria orientada principalmente al sector de la construcción y

del mobiliario es donde se concentran el 60% de los ingresos del sector maderero en los países Europeos estudiados

El análisis de las mismas fuentes de información revelan que en el caso de los empleos la concentración también se encuentra en la transformación secundaria, generando diferencias a nivel sectorial entre el 500 y el 600%. En el caso de la cantidad de empresas el **Los datos internacionales** indican que es en la transformación secundaria donde está el principal potencial económico del sector. La producción de bienes diversificados de alto valor agregado como objetos, muebles y construcción, es la estrategia de crecimiento que ha generado sectores forestales económicamente potentes e integrados a la sociedad con un gran

potencial de empleo y la distribución social y geográfica del ingreso como solución de crecimiento sostenible.



Porcentaje de ingreso del sector maderero en Chile, Francia y Alemania. Fuente INFOR; America Economía; German Timber; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft; Ministère de L'Économie de L'Industrie et de L' Emploi; Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali.

## 7.2. Abastecimiento de madera:

La Política Forestal Nacional 2035 plantea que para el año 2020 El 20% de los materiales de las viviendas, industria e infraestructura pública debiera usar madera. Para el 2025 pasa al 30% y para el 2035 debiera llegar llegar al 35%.

Si consideramos que en Chile se ejecutaron en promedio en los últimos 5 años 138.253 viviendas anuales, solo por concepto de incremento se necesitarán aumentar la producción nacional en 2765 nuevas viviendas anuales para el año 2020, 16.590 viviendas anuales para el año 2025 y 23.503 para el año 2035.

Considerando la producción y la capacidad de secado informada por el INFOR (53% de la producción) y el porcentaje de madera estructural promedio de acuerdo a la clasificación informada por el comité técnico de Madera 21 (60 – 80%), se puede llegar a una cifra aproximada de 2.591.931 m<sup>3</sup> de madera aserrada seca con grado estructural. Si consideramos viviendas de 60 m<sup>2</sup> y una razón de 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> para entramado liviano y 0,30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> para CLT, a nivel nacional existe la disponibilidad de materia prima para resolver la demanda planteada por las metas para el 2035, incluso en el sistema más intensivo en uso de madera.

El escenario planteado corresponde a una suposición ideal, en la cual la madera aserrada seca con grado estructural se encuentra completamente disponible en Chile.

Sin embargo, hoy en día las empresas forestales enfocan sus producciones a otros mercados más rentables con cuotas establecidas. Para lograr disponibilidad de madera aserrada seca será necesario generar condiciones comerciales competitivas.

Una alternativa podría ser el consumo de madera aserrada de pequeños aserraderos. De acuerdo a INFOR el año 2016 los pequeños aserraderos, PYMEs con producciones entre 10 mil y 100 mil m<sup>3</sup>, generaron 2.394.693 m<sup>3</sup>. Partiendo del supuesto que las PYMEs pudiesen producir madera estructural con la misma tasa del 60% de rechazo que las grandes empresas, se podrían obtener 1.436.816 m<sup>3</sup> de madera para uso estructural. El problema en tal caso sería disponer de la capacidad de secado. Esto podría eventualmente suplirse fomentando la formación de empresas prestadoras de servicio de secado con enfoque a pequeños productores, tal como ya lo detectaron el Programa Estratégico Meso Regional de Madera de Alto Valor, en adelante PEM, y la Corporación Desarrolla Bío-Bío.

### 7.3. Calidad de la madera:

Para el uso en construcción la madera aserrada debe cumplir con condiciones estructurales que están asociadas a una clasificación de resistencia. La madera producida en Chile que mejor cumple con los criterios de costo, calidad y largos comerciales es la madera de Pino radiata. Adicionalmente es la mejor caracterizada estructuralmente y la única con una normativa de cálculo desarrollada.

El comportamiento estructural de la madera está directamente vinculado con la densidad. A modo comparativo la madera de Pino radiata tiene mejor desempeño que la de abeto europeo con el que se construye el gran porcentaje de la construcción europea.

La densidad característica del Pino radiata es de 370 kg/m<sup>3</sup> y la del abeto europeo requerida para clasificación C24 es de 350 kg/m<sup>3</sup>

Grupo	Especie nombre común	Densidad anhidra Kg/m <sup>3</sup>		Nombre botánico de la especie
		Valor medio $\rho_0$	Valor característico $\rho_{0.4}$	
A	Alamo	370	357	<i>Populus nigra</i>
	Alerce	460	385	<i>Fitzroya cupressoides</i>
	Canelo	470	440	<i>Drimys winteri</i>
B	Ciprés de la Cordillera	470	393	<i>Austrocedrus chilensis</i>
	Ciprés de las Guatigüas	470	390	<i>Pilgerodendron uviferum</i>
	Pino radiata	450	370	<i>Pinus radiata</i>
	Pino oregon	410	326	<i>Pseudotsuga menziesii</i>

### 7.4. Impregnación de la madera:

En la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, OGUC, se expresa la obligatoriedad de impregnar la madera estructura de Pino radiata, ya que está clasificada como no durable. El tratamiento debe hacerse según normativa chilena "Nch 819 of 2003, Madera preservada - Pino Radiata- Clasificación según uso y riesgo en servicio y muestreo", en la que se especifica el grado de penetración y retención del preservante. Dado que la madera de Pino radiata es la única que está debidamente caracterizada, con 8 normas específicas, en la práctica se impone la necesidad de impregnar la madera que se usa en estructura. Esto implica que para llegar a un buen producto, la madera debe ser secada, impregnada, y luego vuelta a secar, añadiendo costos a la materia prima.

	Softwood species										
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C
<b>Strength properties (in N/mm<sup>2</sup>)</b>											
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40
Tension parallel	$f_{d,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24
Tension perpendicular	$f_{l,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c,PK}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26
Compression perpendicular	$f_{c,PK}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
Shear	$f_{s,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Stiffness properties (in kN/mm<sup>2</sup>)</b>											
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{G,mm}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{G,0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{G,mm}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47
Mean shear modulus	$G_{max}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,61	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88
<b>Density (in kg/m<sup>3</sup>)</b>											
Density	$\rho_s$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420
Mean density	$\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500

NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, 5 % mod.

Valores de resistencia mecánica para madera de grado estructural C24 densidad de 350 kg/m<sup>3</sup>, acorde a Eurocode 5 (IS EN 1995-1-1); Densidad de especies maderas en Chile, Pino radiata con un valor de 450kg/m<sup>3</sup>, recopilado de Informe técnico 178 Infor.

De estos datos se puede concluir que no existe un brecha vinculada con la calidad de la materia prima nacional en el caso del Pino radiata. Si existen disconformidades para el trabajo estructural en pino radiata, esta radican en el secado, procesamiento, transporte y diseño.

Al revisar normativa internacional se detecta que en Francia Italia, Alemania Suiza y Austria no es necesario impregnar la madera ni aplicar ningún tipo de tratamiento obligatorio. Esto puede deberse al hecho de que en esa parte de Europa no se encuentra la termita subterránea, que es especialmente agresiva atacando incluso madera seca. En estados unidos, donde sí tienen termita subterránea, existe solamente la obligatoriedad de impregnar la solera inferior. Esto se explica porque gran parte de los problemas de durabilidad de la madera se pueden resolver mediante diseño. En Chile dado que no tenemos una buena cultura, y conocimiento de la construcción en madera, con estándares y normativos actualizados, se genera una medida redundante de protección como la impregnación de toda la estructura, generando

sobrecosto y limitando los diversos ciclos de vida de la materia prima. Una vez impregnada se compromete su siguiente ciclo de vida, y deberá por lo tanto ser trasladada al vertedero, donde adicionalmente se corre el riesgo de liberar los agentes preservantes al terreno.

Esta normativa no solamente genera un costo inicial, sino que también impide una ganancia futura que aproveche la materia prima presente en la edificación.

## 7.5. Oportunidad de negocio en el aserrío:

Si consideramos que para las metas de 2035 se necesitan aproximadamente 486 mil m<sup>3</sup> de madera seca con calidad estructural, y fijamos el valor de acuerdo al precio actual de 250 USD/m<sup>3</sup>; la cifra de negocios alcanza los 121,5 millones de USD/año. Si se considera además el efecto multiplicador asociado a la utilización de este material en la construcción de viviendas, valor establecido como 4,5 por el PEM Madera, el tamaño del negocio podría alcanzar los 546,75 millones de USD/año.

De acuerdo al reporte del PEM y la Corporación Desarrolla Bio-Bio, para el caso específico del Bio-Bio, lo relevante para capturar esta oportunidad es poner atención en 34 aserraderos que tienen rango de producción anual entre 10.000 y 100.000 m<sup>3</sup>, ya que poseen capacidad productiva, nivel de calidad, mix de productos, capacidad de asociación, y nivel de profesionales a cargo como para enfrentar el desafío.

## 7.6. Integradores nacionales

Los integradores o “fabricantes de equipamiento original” son aquellos responsables de manufacturar el producto final, que será entregado al cliente, en este caso la edificación en madera. En esta categoría se encuentran las empresas prefabricadoras, las constructoras o las inmobiliarias, dependiendo de la escala.

Los integradores dependen directamente de proveedores especializados ya que modifican sensiblemente la posibilidad de industrializar. Sin estos componentes se debe modificar el diseño, o no se puede industrializar o bien su desarrollo no es competitivo.

### Caracterización de integradores

A partir de las encuestas realizadas y bibliografía se pudo obtener información en tres categorías de empresas del rubro de la construcción en madera:

- Constructor tradicional

Constructor que no industrializa y realiza la obra en terreno de manera tradicional.

- Constructor MMC

Constructores que integran, producen o compran parte y piezas que luego industrializan para llegar a obra a ensamblar e instalar.

- Proveedores de componentes en madera

Entregan la construcción componentes listos para su montaje pero no se hacen cargo de la oferta llave en mano.

Para cada categoría se escogieron las siguientes empresas, en función del tamaño, el tipo de construcción y la posibilidad de acceso a la información:

- Constructor tradicional

Casas Hurtado (Chile), Viviendas Santa Marta (Chile) y Magisur (Chile)

- Constructor MMC

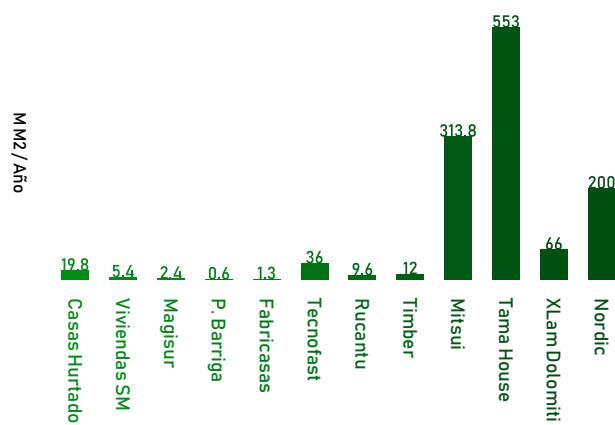
P. Barriga (Aserr. y Const.) (Chile), FabriCasas (Chile), Tecnofast (Chile), Rucantu (Chile), Mitsui (Japón) y Tama House (Japón)

- Proveedores de componentes en madera

Timber (Chile), XLam Dolomiti (Italia) y Nordic (Canadá)

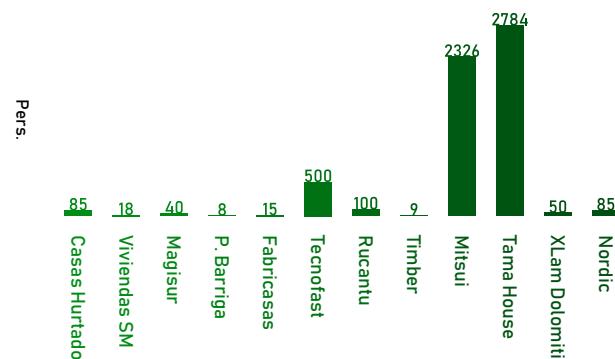
La información correspondiente a Mitsui y Tama House fue recopilada desde "Robotic Industrialization, Cambridge University Press".

Dadas las fuentes de información, se caracterizaron los indicadores más relevantes que permiten empezar a entender la posición competitiva de la industria local.



Productividad de la empresa (m<sup>2</sup> construidos/año). Empresas, Robotic Industrialization, Cambridge University Press.

El análisis de la producción da cuenta de lo pequeño de nuestro mercado local y potencialmente es un indicio del bajo nivel de industrialización de nuestras empresas.

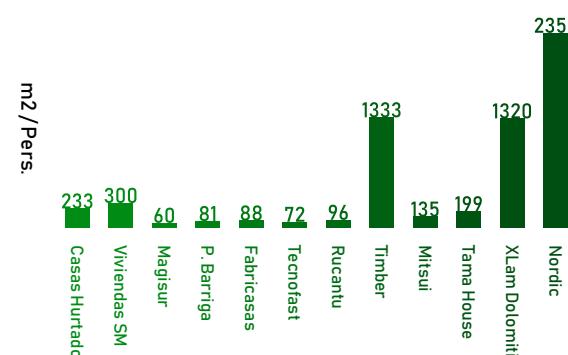


Productividad (m<sup>2</sup> construidos por persona). Empresas, Robotic Industrialization, Cambridge University Press.

Nuevamente la cantidad de empleados puede vincularse al tamaño de la empresa pero es la productividad lo que puede vincularse de manera más directa a la automatización.

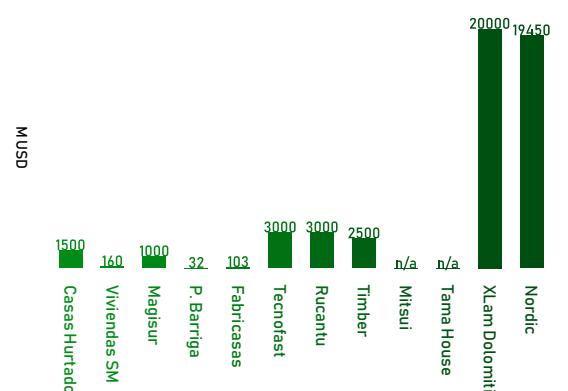
Cuando se visualiza la productividad vemos que dentro del grupo analizado, las empresas como XLam Dolomiti (Italia), Nordic (Canadá) y Timber (Chile) son las que presentan los mejores indicadores. Este parámetro sin embargo no se vincula con la calidad o los grados de terminación.

Por ejemplo la empresa Timber manufactura componentes de bajo nivel, sin integrar puertas, ventanas, aislación o terminaciones, mientras que en el caso de XLam Dolomiti y Nordic se generan componentes de alto nivel que llegan terminados a obra. Por lo tanto correspondería factorizar la productividad por grado de terminación. Sin embargo el análisis sí permite evidenciar que con la misma productividad de la mejor de nuestras empresas locales, se están produciendo un resultado más acabado en empresas extrajeras. Esto puede estar influenciado por la especialización del capital humano o por el grado de automatización de la planta.



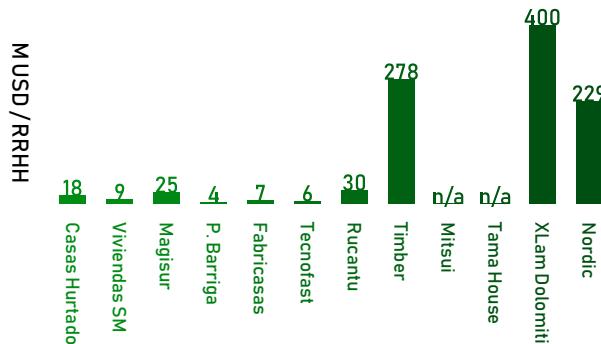
Productividad (m<sup>2</sup> construidos por persona). Empresas, Robotic Industrialization, Cambridge University Press.

La inversión en activos fijos revela parte de la relación con el grado de automatización, pero se hace necesario obtener la inversión por cada trabajador para entender el impacto de la inversión tecnológica en el desempeño de la empresa.



Activos fijos de la empresa (miles de USD). Empresas, Robotic Industrialization, Cambridge University Press.

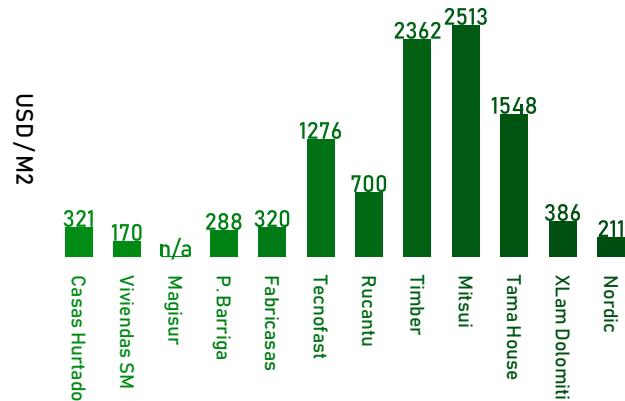
La Intensidad de capital (Activos fijos / RRHH) expresa la inversión que hay por cada trabajador de la empresa. Es una señal del nivel de industrialización y automatización del proceso. Vemos que la intensidad de capital en el mejor de los casos nacionales es acorde al estado del arte internacional y, para este indicador, solamente es un problema de escala productiva. Sin embargo, es necesario recordar nuevamente que la productividad conseguida con esa misma intensidad de capital, no refleja el nivel de terminación que se



Intensidad de Capital. Fuente: Empresas, Robotic Industrialization, Cambridge University Press.

En el caso de las empresas Japonesas, debido a que el precio informado en literatura corresponde a la obra final terminada y no al precio de la obra

gruesa, a sugerencia del comité asesor los valores fueron recortados a un 30% para obtener datos comparativos con los obtenidos en la encuesta.



Precio de venta obra gruesa. Empresas, Robotic Industrialization, Cambridge University Press.

Todo esto termina influyendo sobre el precio del resultado final. El análisis del precio de venta de la obra gruesa revela una situación crítica. Las mejores empresas extranjeras son más competitivas que nuestras empresas locales.

Esto obliga a tener una mirada objetiva con respecto a la calidad para ver si es justa la comparación.

## 7.7. Calidad de la construcción - Eficiencia energética

La comparación de la calidad de una obra construida es una tarea compleja. Existen parámetros aparentemente subjetivos como la estética, otros muy puntuales como la funcionalidad, y otros muy variables como la calidad de las terminaciones. Una manera que parece coherente para la comparación es la eficiencia energética. Este parámetro se vincula directamente al la obra gruesa, es independiente de la calidad de las terminaciones, y expresa un aspecto que en la mayoría de las legislaciones es transversal al nivel socio económico del usuario. La eficiencia energética se compone de dos factores: La transmitancia y las infiltraciones de aire.

En Chile el consumo energético promedio es de 192 kw/h/m<sup>2</sup>/año según el MINVU. En Francia, por ejemplo, el consumo está limitado a 50 kw/h/m<sup>2</sup>/año y en el caso de la empresa X-lam Dolomiti

que está certificada Arca, el nivel más alto de consumo aceptado para su edificación es de 30 kw/h/m<sup>2</sup>/año. Por lo tanto la comparación anterior no es justa puesto que estamos comparando viviendas de categoría E en el caso de Chile (cumple solo con lo exigido por la normativa), con edificación de categoría A en el caso de X-lam Dolomiti por ejemplo.

Otro factor que permite entender la diferencia de calidad de la edificación son las infiltraciones de aire. Estas se definen como el flujo no controlado de aire a través de la envolvente y se puede medir con un test estandarizado de presión y vacío a 50 Pascales. El valor que se indica representa la cantidad de veces que se renueva todo el volumen de aire interior a esa presión. Este valor está directamente vinculado a la precisión de la obra gruesa y al uso correcto de partes y componentes espe-

cializados. En este aspecto en Chile aún no existe reglamentación para todo el país. Sólo se limitan teóricamente en algunas ciudades mediante los Planes de Descontaminación Atmosférica, del Ministerio de Medio Ambiente. No existe aún un procedimiento de medición y fiscalización obligatorio que asegure el cumplimiento de estos valores por lo tanto aún no se desarrolla a nivel nacional el know-how de la construcción hermética. A modo de comparación la construcción en madera tradicional que realiza en Chile tiene valores promedio de 24 renovaciones del volumen de aire interior a

una diferencia de 50 Pascales mientras que las construcciones de X-Lam Dolomiti que cumplen con el sello voluntario Arca, tienen que lograr como máximo un valor de 2 renovaciones.

Es importante destacar que el cumplimiento voluntario de la certificación Arca en el caso de empresas de la zona de Trentino tiene el rol de asegurar el estándar de calidad mínimo que asegure la durabilidad del edificio y por lo tanto genere un ciclo virtuoso de percepción que permita la sostenibilidad económica del sector.

## 7.8. Rotulado de la madera:

Dada la alta variabilidad natural del producto, en países con alto porcentaje de construcción en madera se han implementado sistemas de certificación de calidad como ISO/CASCO. Con esto el mercado recibe un producto con propiedades aseguradas por organismos de certificación (ISO 17065).

En el mercado nacional la madera se comercializa actualmente sin una especificación certificada, lo que impide el trabajo preciso y seguro de arquitectos, ingenieros y constructores.

Durante 2019 se espera la implementación del rotulado de madera, iniciativa impulsada por el MINVU. A diferencia de lo que ocurre en otros países, el reglamento de rotulado no es una certificación del producto, sino que obliga a la empresa a declarar la calidad de lo que está vendiendo y podrá ser sujeto de demanda mediante el Servicio Nacional del Consumidor. El reglamento obliga a la incorporación de un rótulo en cada pieza de madera que proporcione información estandarizada sobre el producto, como el grado estructural, la impregnación, las dimensiones y la humedad. Para uso estructural, el rótulo deberá contener la identificación del proveedor, país de origen, es-

pecie, terminación (dimensionado o cepillado), dimensión (NCh 2824 o NCh 174), escuadría nominal y real, contenido de humedad, grado estructural y tipo de preservación de acuerdo con la NCh 819.

Si bien no es una certificación, este mecanismo consigue informar al consumidor y permite avanzar hacia el cumplimiento de las exigencias normativas vigentes en el país, cerrando una brecha importante.

<b>MADERA</b>	<b>ESPECIE: PINO RADIATA</b>
<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<b>DIMENSIÓN: 2X2 45X45 MM 3,2 M</b>
<b>ESTRUCTURAL</b>	<b>HUMEDAD: CH&lt;20%</b>
<b>PROVEEDOR: ALPIN S.A.</b>	<b>GRADO ESTRUCTURAL: G2</b>
<b>PAÍS DE ORIGEN: CL</b>	<b>PRESERVACIÓN: CA-B R2</b>

Rótulo de referencia - MINVU

En este ámbito se visualiza la oportunidad de incorporar automatización en la clasificación y rotulado de las piezas con sistemas de sensorización y medición que hagan uso de tecnologías de manufactura avanzada para mejorar la calidad de la clasificación y la velocidad del proceso.

## 7.9. Sofisticación de la manufactura en madera

### Obras de alta complejidad

Sin duda la zona geográfica que más concentra el conocimiento avanzado en construcción en madera es Europa central. Entre Alemania, Suiza y Austria concentran el 40% de las obras detec-

tadas con mayor grado de complejidad. Si consideramos el lugar de fabricación esta zona concentra el 49% de las obras de alta complejidad.

Si ponderamos la fabricación de obras de frontera de alta complejidad en función de la población y producción maderera el país más relevante es Finlandia. Para alcanzar ese mismo indicador en Chile debiéramos tener a lo menos tres obras emblemática con fabricación robotizada y alta variabilidad y cantidad de piezas. En Chile se han detectado algunas obras que son referenciadas como buena construcción en madera pero ninguna que cumpla con el nivel de complejidad en manufactura requerido para esta comparación.

### Fabricación robotizada

La incorporación de procesos de fabricación robotizada en arquitectura comenzó en el año 2005 en el ETH Zürich en el estudio de Fabio Gramazio y Matthias Kohler. Desde entonces esta tecnología se ha ido abriendo paso, hasta posicionarse como el factor limitante de la investigación y desarrollo en la fabricación de arquitectura de frontera y se encuentran altamente concentrados en EEUU y la CE

La capacidad de fabricación digital no solo está determinada por la disponibilidad del recurso tecnológico sino que debe contar con recursos humanos avanzados para poder tener una productividad significativa a nivel internacional. En términos de productividad e impacto el Institute for Computational Design (ICD) es el que más ha

trabajado la madera posicionando seis obras en la frontera del conocimiento en madera.



Equipos robóticos en la enseñanza de arquitectura

En términos de infraestructura el mejor equipamiento que se detectó es el del dFab de Suiza, infraestructura del Centro Nacional de Competencia en Investigación (NCCR) en Fabricación Digital. En este centro de 3800 m<sup>2</sup> trabajan 8 investigadores principales, 15 investigadores de planta, 9 administrativos y cerca de 40 alumnos entre magíster y doctorado.

Hoy el país con mayor presencia de esta tecnología en construcción es Austria con indicador ponderado por población 5.3 veces el de Chile. Si necesitáramos alcanzar este indicador debiéramos por lo tanto pasar de tres centros equipados a 10, lo que se traduce en una brecha de 7 centros faltantes.

### 7.10. Garantía vs seguro

En Chile, el mecanismo para entregar certeza al cliente, acerca de la calidad de la construcción es la garantía. Esta tiene una duración de 10 años cuando afectan a la estructura, 5 años cuando afectan a los elementos constructivos o de instalaciones y 3 años cuando afectan las terminaciones o de acabado. Esto está especificado en la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En el N° 3 del artículo 2003 del Código Civil, se establece que "los constructores serán responsables por las fallas, errores o defectos en la construcción, incluyendo las obras ejecutadas por subcontratistas y el uso de materiales o insumos defectuosos, sin perjuicio de las acciones legales que puedan interponer a su vez en contra de los proveedores, fabricantes y subcontratistas".

Con lo anterior se define un sistema mediante el cual el cliente, que generalmente no sabe de construcción, es el que tiene que emprender acciones legales en contra de la empresa constructora. La tasa de clientes que realmente emprenden la demanda es bajo y la constructora puede calcular esos valores. Cuando las fallas son muy grandes la empresa constructora puede quebrar con lo cual la garantía queda sin efecto.

Este sistema deja en realidad al cliente con una protección limitada y la constructora es juez y parte en el proceso de certificación de la calidad de su obra.

En otros países como Estados Unidos, España, Italia, Bélgica o Francia, por ejemplo, la construcción debe entregarse con un seguro por 10 años.

Esto implica la participación de una compañía aseguradora que generalmente sirve de Inspector técnico de Obras y, dado que tiene dinero en juego, supervisa todo el proceso y garantiza la calidad. Esta figura aliviana al estado del rol de

supervisión e instala capacidades de control que en el formato de construcción garantizada no pueden ocurrir. Es la empresa aseguradora la que le va a exigir personal calificado, insumos de calidad certificada y un diseño para la durabilidad.

## 7.11. Hitos y requisitos legales en el desarrollo de construcciones

La eficiencia de la industria no es solo responsabilidad del privado sino que también depende de la coordinación eficiente por parte del estado. Prolongar los tiempos de tramitación aumenta la presión en sistema y genera incentivo a la corrupción por parte de aquellos actores que necesitan acelerar el proceso. En Chile el proceso es engoroso, estando cercano a los 209 días de acuerdo con

un estudio de la Cámara Chilena de la Construcción de Concepción. En el documento "26 Propuestas para Optimizar la Gestión de un Nuevo Proyecto de Viviendas en las Direcciones de Obras Municipales del Gran Concepción", Septiembre de 2017 se estima la posible reducción de tiempo en un 57%, pasando de 209 a 90 días.

1. Informaciones Previas	CIP en formato tipo MINVU	28	15
	Un CIP para varios terrenos		
	CIP con plano del catastro y perfiles viales en la misma escala.		
2. Anteproyecto	Aplicar solo las 16 condiciones urbanísticas OGUC + solo plan regulador vigente.	23	15
	Respetar los plazos establecidos		
	Permitir retiro de observaciones en oficinas DOM o vía email.		
	Homologar pagos de derechos de revisión de anteproyectos		
3. Permiso de Edificación	Las observaciones deben referenciar el artículo transgredido	38	15
	Si hay anteproyecto, que la DOM solo confirme concordancia		
	Subsanación de observaciones remitida estrictamente a las normas urbanas que son injerencia de la DOM		
	Cálculo del pago de permiso de edificación, revisando categorías y ajustes en los precios.		
	Que se respete la entrega del certificado en 3 días hábiles.		
4. Condicionantes de la recepción	Que no se condicione la recepción, a modificaciones de las obras de urbanización y modificaciones menores.	45	15
	Ingreso de planos definitivos de urbanización con cambios, conjuntamente con la solicitud de recepción		
	Un solo pago de derechos municipales por modificaciones de cálculo		
5. Recepción	Prohibir observaciones a un proyecto aprobado.	75	30
	Observaciones sólo en referencia a condiciones urbanísticas,		
	Tramitación paralela de la recepción municipal y la ley de copropiedad.		
	Coordinación DOM con SERVIU para la revisión de pavimentos y Accesos vehiculares.		
	Coordinar con el SII para la asignación de roles en forma directa en la ley de copropiedad.		
	Respetar los plazos de entrega del certificado de recepción		
		209	90

## 7.12. Normativa Nacional

En el siguiente punto se exploran aquellos aspectos vinculados a la normativa Nacional que pudieran representar una situación de desventaja para la madera en el ámbito de la construcción.

### Edificación en altura

En la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) se especifica en el artículo 5.6.7. que "Las edificaciones con estructura de madera que no se sometan a cálculo estructural, podrán tener hasta dos pisos, incluida la cubierta o mansarda, si la hubiere, y con una altura máxima de 7 m." Con esto se limita la altura únicamente a aquellas construcciones sin cálculo. Para el resto de los casos, no existe un límite para la madera y, al igual que cualquier otro material, requiere un proyecto de cálculo estructural y una memoria.

El problema en Chile es que la normativa de cálculo actual no considera las características de la madera, y por lo tanto debe supeditarse a las restricciones de las estructuras de hormigón. Esta adaptación hace que la madera no sea competitiva para la edificación en altura, porque se le exige un comportamiento rígido que no le es propio. Existe por lo tanto una brecha normativa que dificulta el desarrollo del material y su técnica. Con esto se generan condiciones de mercado internas que no permiten desarrollar capacidades competitivas a nivel internacional.

### Cambios en las políticas públicas

En Chile la Reglamentación Térmica en Chile forma parte de la Ordenanza General de Urbanismo

y Construcciones (OGUC) y está vinculada a la NCh 853. La última actualización de la Reglamentación ocurrió el año 2007. Sus objetivos declarados son:

- Mejorar la calidad de vida de la población con un costo mínimo.
- Reducir el consumo de energía en el sector residencial y la contaminación que ésta genera tanto al interior como al exterior de la vivienda.
- Reducir el deterioro de los materiales por exposición a grandes cambios de temperatura y humedades excesivas (riesgo de condensación).
- Estimular el desarrollo de los sectores productivos y académicos.

En el último punto es en el que se ha fallado notablemente. En los países que hoy muestran los mejores casos de industrialización e innovación la normativa cambia con frecuencia. Francia por ejemplo cambió normativa en 1974, 1976, 1980, 1982, 1988, 2000, 2005, 2007, 2012, 2020. En Italia se realizaron cambios en 1976, 1986, 1993, 1999, 2002, 2005, 2009 y 2015. En California el cambio es por calendario cada tres años.

Este cambio continuo hace que las empresas se acostumbren al cambio, que incorporen investigación e innovación como práctica interna para asegurar su competitividad en un entorno cambiante. Una normativa que no cambia en 12 años, como en Chile, no es capaz de estimular el desarrollo de los sectores productivos y académicos.

## 7.13. Políticas e iniciativas nacionales

En Chile existen diversas iniciativas y políticas que buscan promocionar la madera y/o la eficiencia energética en la edificación. Lamentablemente en algunos casos funcionan solo como declaraciones de intención del gobierno y no necesariamente son políticas de Estado, que cuenten con la implementación adecuada que permita forzar su cumplimiento a largo plazo.

### Política Forestal Nacional 2035

Establece como objetivo 2.5 "Convertir a la madera en uno de los principales componentes de los materiales de construcción en el país, incrementando sustancialmente su utilización en vivienda, industria e infraestructura pública, basado en un producto estandarizado y certificado por parte de la industria maderera." Para esto plantea:

*Situación inicial (2015): La proporción de uso de madera en la edificación en Chile es de un 18%,*

lo que contrasta con la situación de los países forestalmente desarrollados, donde esa proporción sobrepasa el 80% en promedio.

*Meta al año cuatro (2020): El 20% de los materiales de las viviendas, industria e infraestructura pública utiliza madera en forma intensiva.*

*Meta al año diez (2025): El 30% de los materiales de las viviendas, industria e infraestructura pública utiliza madera en forma intensiva.*

*Meta al año veinte (2035): Duplicar la proporción de madera en la construcción de viviendas, industria e infraestructura pública.*

Si consideramos que en chile se ejecutan aproximadamente 150.000 viviendas anuales, solo por concepto de incremento se necesitarán aumentar la producción nacional en 3000 nuevas viviendas anuales para el año 2020, 18.000 viviendas anuales para el año 2025 y 27.000 para el año 2035.

## Energía 2050

*“Sabemos que la contaminación atmosférica en la zona centro sur de nuestro país es producida en gran medida por las emisiones de las estufas de las casas, las cuales deben ser calefaccionadas producto de las bajas temperaturas de todos los inviernos.”*

Estrategia de Planes de Descontaminación Atmosférica  
- Ministerio del Medio Ambiente

La política energética de Chile “Energía 2050” elaborada por el ministerio de Energía también menciona el sector construcción en el lineamiento 3.1 y propone “*Edificar de manera eficiente por medio de la incorporación de estándares de eficiencia energética en el diseño, construcción y reacondicionamiento de edificaciones con el fin de minimizar los requerimientos energéticos y las externalidades ambientales alcanzando niveles adecuados de confort.*”

Como metas para el año 2035 estipula:

- *100% de las edificaciones de uso público y edificaciones de uso residencial nuevas cuentan*

*con estándares OECD de construcción eficiente.*

- *Todas las edificaciones de uso residencial que se venden en el país informan el consumo energético de éstas.*
- *Todas las edificaciones de uso público en el país informan su consumo energético.*
- *El Sector Público tiene altos estándares de eficiencia energética en sus instalaciones y proyectos, cumpliendo con su rol ejemplificador.*

Para el 2050 se propone alcanzar las siguientes metas:

- *100% de las edificaciones nuevas cuentan con estándares OECD de construcción eficiente, y cuentan con sistemas de control y gestión inteligente de la energía.*
- *100% de las edificaciones existentes informa su consumo energético al momento de la venta.*

En particular se plantea perfeccionar continuamente los sellos, estándares y certificaciones de eficiencia energética y sostenibilidad y actualizar la norma técnica de construcción para reducir en al menos un 30% el consumo energético de las edificaciones residenciales, de educación y salud nuevas.

Esta política no propone directamente el uso de madera sin embargo el aumento de exigencias plantea un escenario favorable para un material con menor transmitancia térmica como la madera .

## Programa de Descontaminación Atmosférica:

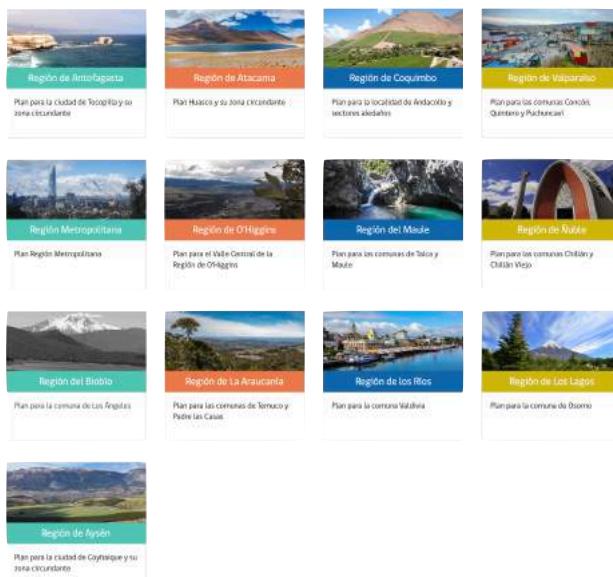
EL Ministerio del Medio Ambiente inició hace algunos años la implementación de Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA) para combatir la contaminación de material particulado en las principales ciudades de nuestro país.

Como estrategia para la construcción proponen :

*Mejora energética de las viviendas nuevas y existentes: se debe abordar la aislación térmica de los hogares, para que la energía requerida para calefaccionar el hogar, sea menor a la utilizada actualmente.*

Al igual que el caso de la política de Energía 2050, no obliga a la construcción en madera pero ayuda a generar condiciones en las que la con-

strucción en madera de buena calidad es más competitiva.



A diferencia de otras medidas, los PDA se han implementado en diversas ciudades y son medidas obligatorias para la construcción, principalmente mejorando la aislación térmica, disminuyendo las infiltraciones.

### Programas Estratégico de la Madera de Alto Valor:

En el año 2014 se empezó en CORFO un programa estratégico para agregar valor a la madera nacional. Este programa consiguió representantes de la academia, del sector privado, asociaciones gremiales y del sector público para lograr una visión conjunta del sector forestal maderero. Hoy el programa migró hacia una figura público privada, Chile Timber Council, que coordina las acciones regionales y nacionales para el fortalecimiento del sector.

### Mesas de trabajo MINVU

Si bien no es una política, el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo coordina semestralmente una mesa de trabajo que reune a las principales casas de estudio del país para trabajas articuladamente el tema de la construcción en madera.

### Consejo de Construcción Industrializada

Al alero del programa estratégico de construcción sustentable de CORFO se generó un Consejo de Construcción Industrializada que agrupa enti-

dades públicas, privadas y académicas para *"Promover el desarrollo de soluciones industrializadas, prefabricadas y modulares que mejoren la calidad, productividad, y sustentabilidad en la edificación, incorporando mejores prácticas, tecnología e innovación en toda su cadena de valor"*.

Tiene tres focos. *El primero para promover la productividad y eficiencia asociada a la industrialización a partir de:*

- La normalización e integración de estándares y procedimientos
- Generación de buenas prácticas
- Generación de herramientas útiles, para fácil uso, adaptables y vanguardistas.
- La definición de indicadores de productividad de CI.

*El segundo de Difusión y formación para*

- Posicionamiento del concepto de industrialización y sus atributos
- Comunicación de beneficios e impactos de la industrialización, casos de éxito
- Promoción de herramientas útiles, de fácil uso, adaptables y vanguardistas
- Desarrollo de capacidades técnicas

*Y el tercero para la Vinculación con el medio con el objetivo de ser un facilitador y articulador entre la industria, estado, y academia, a través de instancias bilaterales o grupales para permitir un mayor beneficio para la sociedad a partir de la industrialización.*



Si bien esta iniciativa no tiene un enfoque en la construcción en madera, puede ayudar a fijar estándares de eficiencia que van a permitir que la madera sea más competitiva

## Centros tecnológicos

Desde la gerencia de Capacidades Tecnológicas de CORFO se creó un Programa de Fortalecimiento y Creación de Capacidades Tecnológicas Habilitantes para la Innovación en la Construcción. Se beneficiaron dos iniciativas CTec y Cipix, que conformaron centros, con financiamiento variable por 10 años, que van a dar soporte a la construcción a nivel nacional. Por ejemplo el Centro Ctec específica en sus objetivos

- *Generar infraestructura habilitante para el desarrollo tecnológico, tales como pilotaje de nuevas soluciones constructivas más sustentables y productivas.*

- *Vincular a los diversos actores de la cadena de la construcción, impulsando el desarrollo de proyectos colaborativos que permitan beneficios sistémicos y sustentables.*

- *Establecer las tendencias de innovación tecnológicas futuras de la industria nacional, a través de herramientas de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, permitiendo adelantar la gestión del riesgo tecnológico.*

- *Apoyar el desarrollo de capacidades profesionales e inserción de capital humano avanzado en la industria.*

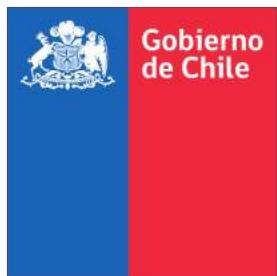
- *Apoyar técnicamente el desarrollo de políticas públicas para el sector de la construcción.*

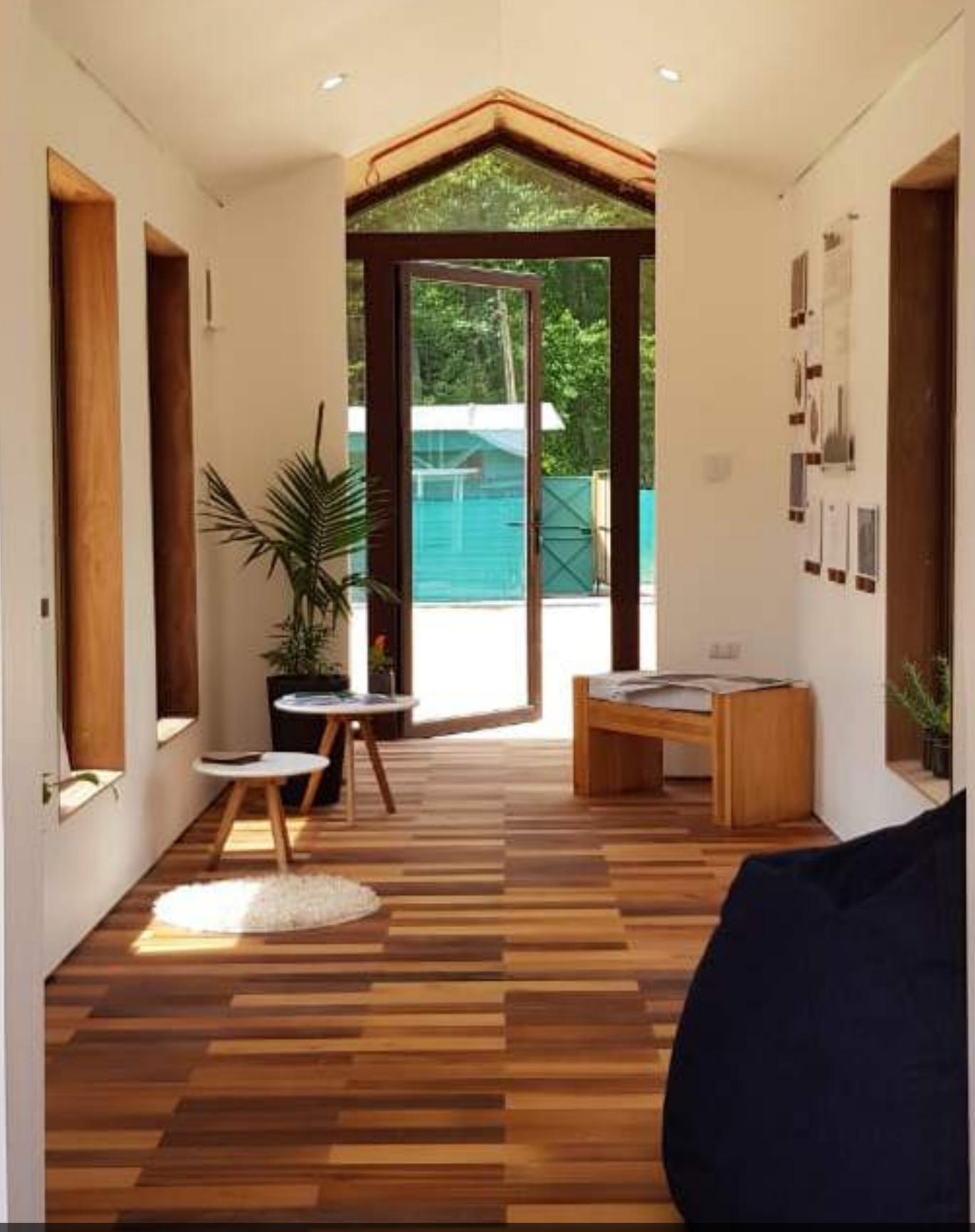
Desde estos centros pilotaje, prototipaje, validación vigilancia y capacitación que van a ser críticos para enfrentar los desafíos que tiene la industria de la construcción.

---

## 7.14. Acuerdos internacionales

En los últimos años Chile ha suscrito y renovado diversos acuerdos internacionales para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y para la reducción del consumo energético. En particular Chile comprometió la reducción del 30% de emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2030 (COP21) así como también la reducción del 12% del consumo energético para la misma fecha. Este compromiso sido validado y ratificado ante la OCDE, La APEC y en la cumbre de cambio climático. La construcción y operación del ambiente edificado genera actualmente en Chile un 33% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y consume un 26% de la energía (Construye 2025), cifras que por sí solas son mayores quieren compromisos internacionalmente adquiridos





CONCLUSIONES Y OPORTUNIDADES

## 8. CONCLUSIONES Y OPORTUNIDADES.

El presente estudio tenía inicialmente como objetivo evaluar las oportunidades que genera la manufactura avanzada para la construcción madera en Chile. Al ir profundizando en el tema, se descubrió un sector productivo, el de la construcción tradicional, profundamente retrasado en la adopción de tecnología y en todos sus indicadores de sostenibilidad. La manufactura avanzada o industria 4.0 va a jugar un rol determinante en la optimización de la construcción tradicional, pero para poder aprovechar todo su potencial, se deberá migrar hacia una construcción industrializada, con fuerte énfasis en la prefabricación off-site. En gran medida las tecnologías asociadas con la manufactura avanzada necesitan la digitalización del proceso con un alto grado de detalle, y la captura de datos para retroalimentar el diseño. Si esas capacidades habitantes no están, la aplicación de tecnologías será únicamente para curar temporalmente los síntomas de un sector estancado.

La industrialización va a requerir de la formación de nuevas capacidades pero va a abrir nuevas oportunidades para el sector de la construcción nacional en distintas áreas y va a permitir llegar a una construcción sostenible en todos sus ámbitos.

Este cambio hacia la industrialización requiere nuevas capacidades técnicas que aún no se encuentran ofertadas en el ámbito nacional. Esto genera oportunidades para generar emprendimiento en el área de la formación y, con otro enfoque, en el área de la automatización.

El estudio planteaba la necesidad de encontrar la capacidad tractora por construcción en madera en Chile, sin embargo no se detectó un mecanismo claro mediante el cual el estado pueda condicionar la materialidad de sus obras en forma estratégica y centralizada. Cada caso es particular y depende de las voluntades de cada comuna. En este ámbito se observa que la baja productividad actual de la construcción tradicional abre

puertas a la industrialización y, dado que esta es más fácil en madera, es probable que el cambio provenga en forma natural desde el mercado. Para atender esa demanda, existe volumen productivo de trozo, aunque todavía no se traduce en una oferta significativa de madera estructural en el mercado nacional.

Para que este cambio resulte es necesario que se enfrente con la urgencia adecuada y que se mantenga un ritmo de cambio que active la innovación en la industria como práctica permanente. Quizás la medida más significativa que se detectó a nivel internacional para avanzar hacia la sostenibilidad de la construcción, es cambio hacia la construcción asegurada y no garantizada.

La mejor manera de promover la madera es mejorando los estándares de la construcción. Mejorar la eficiencia energética, exigir la reciclabilidad, reducir los desechos, reducir el tiempo de construcción y el traslado de materiales, reducir el ruido, reducir los accidentes, disminuir todo tipo de contaminación, producir con materiales locales, aumentar la durabilidad, permitir fácilmente la reparación y la modificación, son todos criterios que no escapan del sentido común y es justamente en ese contexto que la madera puede demostrar sus ventajas.

De manera prácticamente independiente a la materialidad, la manufactura avanzada y sus tecnologías asociadas, modificarán profundamente el proceso actual de construcción y sus posibles modelos de negocio. Se generan nuevas oportunidades en la captura y procesamiento de datos para poder optimizar el proceso. Se visualizan nuevos negocios de mantención y servicios de operación inteligente. La nuevas tecnologías abrirán puertas a nuevas herramientas de aprendizaje y permitirán una coordinación más eficiente. Estas tecnologías generan nuevas posibilidades en todas las fases de la construcción.

<b>Administración</b>	Inteligencia de mercado	<b>Cloud</b> - Reunir información de proyectos anteriores y de la competencia	<b>Big Data</b> - Analizar la información de proyectos anteriores y de la competencia	
	Nuevos modelos de negocio de articulación de actores	<b>Cloud</b> - Plataforma para que las partes evalúen y seleccionen socios	<b>Ciber seguridad</b> - En comunicaciones y en la transacción entre socios	
	Entrenamiento de personal	<b>Cloud</b> - Plataformas para e-learning	<b>RV</b> - Simulación de proceso en entorno virtual	<b>RA</b> - Simulación de proceso in situ, con geolocalización.
<b>Diseño</b>	Control y trabajo interdisciplinario	<b>Cloud</b> - Integración de todos los documentos de construcción y diseño	<b>RV</b> - Planificación e integración tridimensional	
	Comunicación efectiva con el cliente.	<b>Cloud</b> - Plataforma de comunicación para flujo constante de datos	<b>Ciber seguridad</b> - Registro seguro de etapas de trabajo y acuerdos tomados	<b>RV</b> - Visualización de proyecto en fase de diseño
<b>Planificación</b>	Automatizar y mejorar la precisión de las estimaciones de las ofertas	<b>IA</b> - Evaluación de variantes y optimización de proceso	<b>Lidar</b> - Levantamiento de variables de terreno	<b>Big Data</b> - Información de mercado productos, proveedores y ejecución
<b>Ejecución</b>	Seguimiento de las listas de indicadores en vivo	<b>IoT</b> - Datos a partir de herramientas y sensores in situ	<b>Cloud</b> - Indicadores integrados en una plataforma de monitoreo remoto	<b>IA</b> - Datos no estructurados para información de avance de obra
	Crear, asignar y priorizar tareas en tiempo real	<b>IoT</b> - Captura y entrega de información mediante las herramientas	<b>Cloud</b> - Comunicación remota con la mano de obra y los equipos directivos	<b>IA</b> - Optimización de flujos de gente, equipamiento, materiales y procesos.
	Visualizar y actualizar planos y modelos en 3D en plataformas móviles.	<b>Cloud</b> - Comunicación remota de información pertinente y actualizada	<b>Ciber seguridad</b> - Protección de la información y verificación de entrega	<b>RV</b> - Procesos abstractos de montaje
	Automatización de manufactura en planta	<b>IoT</b> - Captura de información a partir de herramientas y maquinaria	<b>IA</b> - Análisis y optimización de procesos en tiempo real	<b>Robótica</b> - Manufactura flexible y coordinada por una plataforma centralizada
	Automatización de montaje o construcción in situ	<b>IoT</b> - Comunicación con las herramientas robóticas	<b>Cloud</b> - Monitoreo y comunicación con fabrica y mandante	<b>IA</b> - Optimización de proceso en el caso de eventos imprevistos en terreno
	Identificar, rastrear y localizar materiales en toda la cadena de suministro	<b>IoT</b> - Tags de identificación en materiales, partes y componentes	<b>Ciber seguridad</b> - Protección de datos contra adulteración	
<b>Venta</b>	Planos As Built	<b>Lidar</b> - Levantamiento preciso y georeferenciado de la estructura e instalaciones	<b>RA</b> - Planos superpuestos sobre la estructura para intervenciones futuras	
	Simulación del proyecto terminado	<b>Lidar</b> - Información tridimensional de entorno para simulación realista	<b>RV</b> - Simulación de la obra en entorno virtual	<b>RA</b> - Simulación de la obra terminada en terreno
<b>Mantención</b>	Mantenimiento predictiva	<b>IoT</b> - Sensorización de humedad, insectos u otros agentes destructores	<b>Cloud</b> - Comunicación remota con servicio de mantenimiento	<b>Ciber seguridad</b> - Protección de datos que pudieran entregar información privada
<b>Operación</b>	Optimización de eficiencia, confort y salud	<b>IoT</b> - Sensores y actuadores para el control ambiental	<b>Cloud</b> - Acceso remoto al control del hogar	<b>IA</b> - Detección de patrones de uso
<b>Fin de ciclo</b>	Diseño para el desarme	<b>IoT</b> - Tags con información para la intervención de la obra	<b>M. Aditiva</b> - Conectores especializados para el desarme	<b>Nuevos materiales</b> - Materiales sostenibles de alta reciclabilidad

					Inteligencia de mercado
					Modelos de negocio
					Entrenamiento de personal
					Control y trabajo interdisciplinario
					Comunicación efectiva
					Automatizar y mejorar la precisión
	<b>Drone</b> - Video periódico para el control de avance, y procesamiento	<b>Lidar</b> - Información tridimensional para inspección técnica	<b>Big Data</b> - Captura y procesamiento de datos para monitoreo y control	<b>Ciber seguridad</b> - Protección de la información sensible de la empresa	Seguimiento de indicadores en vivo
	<b>Drone</b> - Inspeccionar sitios remotos	<b>Robótica</b> - Asistencia central al proceso de construcción	<b>UGV</b> - Asistencia a la logística interna con coordinación central		Crear, asignar y priorizar tareas
	<b>RA</b> - Procesos de montaje y construcción proyectados in situ				Visualizar y actualizar información
	<b>UGV</b> - Logística interna y externa	<b>Ciber seguridad</b> - Comunicación con proveedores y clientes	<b>RA</b> - Monitoreo de avance, con superposición de información de proceso	<b>M. Aditiva</b> - Manufactura de piezas especiales y/ optimizadas	<b>Nuevos materiales</b> - Para mejorar el proceso o la calidad.
	<b>Robótica</b> - Robótica de montaje de componentes	<b>UGV</b> - Logística interna y externa de la obra	<b>Ciber seguridad</b> - Seguridad para el control remoto de maquinaria	<b>M. Aditiva</b> - Manufactura de partes imprevisibles in situ	Automatización de montaje
	<b>RA</b> - Planos superpuestos sobre la estructura e indicación de falla				Identificar, rastrear y localizar materiales
	<b>Big Data</b> - Captura e integración de datos de diversas fuentes.	<b>Ciber seguridad</b> - Protección de datos sensibles			Planos As Built
					Simulación del proyecto terminado
					Mantenimiento predictiva
					Optimización de eficiencia, confort y salud
					Diseño para el desarme

A B C D E  
F G H I J K  
L M N O P  
Q R S T U  
V W X Y Z

## 9. GLOSARIO

### **Actuador final:**

El elemento de un sistema de automatización que hace contacto con el objeto que se manipulará.

### **Billion (inglés):**

“One Billion” en inglés corresponde a mil millones en castellano, 1.000.000.000,  $10^9$ .

### **Billón (Castellano):**

Un billón corresponde un millón de millones, en inglés corresponde a “one trillion”, 1.000.000.000.000,  $10^{12}$ .

### **Biomasa**

La biomasa es aquella materia orgánica renovable de origen vegetal o animal, o procedente de la transformación natural o artificial de la misma; y constituye una fuente muy variada de energía.

### **Building Information Modeling (BIM):**

Sistema de modelación o representación tridimensional de edificación, que permite asociar componentes discretos a una base de dato de información, para agilizar y mejorar todos los procesos a lo largo del ciclo de vida de la construcción.

### **Cadena de suministro:**

Conecta pasos de valor agregado y procesos de transformación fuera de los límites de la fábrica o compañía. Su objetivo es interconectar todos los procesos y estaciones de trabajo para completar un producto de forma física e informática, a fin de crear un flujo ininterrumpido de material, bajo demanda o en stock.

### **Combustibles fósiles**

Corresponden a los combustibles no renovables, producidos particularmente del material extraído de depósitos geológicos de origen orgánico, como plantas y animales, enterrados y en descomposición, que al estar sometidos a condiciones especiales durante millones de años se convierten en petróleo crudo, carbón o gas natural.

### **Componente:**

En una estructura modular jerárquica, los componentes se pueden dividir en componentes de bajo nivel y componentes de alto nivel. Un componente está compuesto de “partes” o de componentes de nivel inferior. Varios componentes de alto nivel conforman un módulo o una unidad.

### **Confort térmico**

Existe confort térmico cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío, es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan.

### **Construcción:**

Actividades necesarias para construir un edificio en el sitio. La construcción se interpreta como un proceso de fabricación y, por consiguiente, los edificios se consideran “productos”.

### **Consumo energético**

Es el uso de la energía como fuente de calor o de energía, o como materia prima a ser utilizado en un proceso determinado. En el caso de los hogares, el consumo energético está integrado por el consumo de energía eléctrica y de gas, gasoil y biomasa, además del que se realiza con los medios de transporte particulares (automóviles, motocicletas, etc.), que se concreta en el consumo de productos derivados del petróleo.

### **Difusión de tecnología:**

La difusión paso a paso de una tecnología en toda la industria o en toda la sociedad. Con el tiempo las nuevas tecnologías se hacen asequibles, menos complejas y se dividirán en elementos modulares individuales. A menudo la difusión va acompañada de un cambio de aplicaciones centralizadas a aplicaciones bastante descentralizadas de la nueva tecnología.

### **Diseño Asistido por Computador (Computer Assisted Design - CAD):**

Integración de herramientas y sistemas informátizados para el desarrollo de diseño en formato digital.

**Diseño Orientado a Robots (Robot Oriented Design - ROD):**

ROD se ocupa de la adaptación de productos de construcción y de tecnología automatizada o robótica, de modo que su uso sea aplicable, más simple o más eficiente.

**Efecto de multiplicación del rendimiento (Productivity Multiplication Effect - PME):**

Una vez que se logran aumentos de productividad en una industria que pasa de la fabricación artesanal a la fabricación industrial, comienza una espiral ascendente. La alta productividad puede convertirse en un elemento impulsor de los elementos de financiación para innovaciones relacionadas con máquinas, procesos y productos aún mejores y, por lo tanto, una mayor productividad.

**Eficiencia energética**

Conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Por eso, ser eficientes con el uso de la energía significa "hacer más con menos".

**Ensamblaje:**

Producción de componentes de alto nivel o productos finales a partir de piezas y componentes de bajo nivel. El proceso de ensamblaje implica operaciones de posicionado, alineación y fijación. Los procesos que se ocupan de la generación de elementos para el ensamblaje se conocen como producción.

**Entorno estructurado (SE):**

En fábricas o entornos similares a las fábricas, las tareas de trabajo, los espacios, las instrucciones, los procesos y los parámetros ambientales como clima, luz y temperatura, pueden estandarizarse y controlarse con precisión. La estructuración de un entorno crea la base para la estandarización del proceso y del producto, así como para el uso eficiente de máquinas y su automatización.

**Fábrica Abierta (Open Factory - OF):**

Entorno parcialmente estructurado in situ, que minimiza la influencia de parámetros que no pueden ser 100% especificados, como la lluvia y el sol.

**Fábrica Cerrada (Closed Factory - CF):**

Entorno estructurado in situ, que elimina la influencia de parámetros externos, como la lluvia y el sol.

**Fábrica a nivel de suelo (Ground Factory - GF):**

Entorno estructurado de producción, ubicado en el sitio de construcción, en el nivel del suelo.

**Gases de efecto invernadero (GEI)**

Los gases de efecto invernadero son aquellos gases con potencial de calentamiento global. La presencia de estos gases en la atmósfera aumenta la capacidad de ella de absorber y retener la radiación calórica, provocando el aumento de la temperatura. Algunos ejemplos de estos gases son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano. Algunos GEI se producen naturalmente en la atmósfera (como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano, el ozono y el vapor de agua), mientras que otros son el resultado de las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, que aumentan sus cantidades contribuyendo al calentamiento global.

**Manufactura:**

Sistemas que producen productos. La fabricación abarca la producción de partes y componentes así como los procesos de ensamblaje.

**Manufactura in situ (On-Site Manufacturing - OnM):**

Manufactura realizada en el sitio de construcción. Generalmente usada cuando las partes y componentes no se pueden transportar fácilmente, o cuando no se pueden separar como entidad.

**Manufactura Ex Situ (Off-Site Manufacturing - OfM):**

Manufactura de componentes o productos completos en un entorno estructurado, distante de la ubicación final donde se utilizan.

**Manufactura asistida por computadora (CAM):**

Integrar herramientas y sistemas informatizados con sistemas de control numérico (CNC) para permitir el uso de los datos de diseño digital en una fabricación automatizada y flexible.

### **Fabricante de equipos originales (OEM):**

Integra y ensambla componentes y subsistemas provenientes de procesos internos y de proveedores para producir el producto final. Las empresas o entidades que muestran estas características también se conocen como integradores finales.

### **Flexibilidad incorporada:**

Posibilidad de realizar cambios en un sistema de fabricación sin grandes cambios físicos, reprogramando el sistema existente en su lugar.

### **Flexibilidad modular:**

Capacidad de cambio mediante la reorganización de módulos de producción, o mediante la extensión del sistema de fabricación. La modularidad puede ser genérica cuando usa módulos del sistema o procesos predefinidos o imprevista cuando requiere el uso de módulos nuevos.

### **Grado de libertad (DOF):**

Articulación de traslación o rotación en un sistema. La acción combinada y centralmente coordinada de articulaciones le confieren al sistema mayor flexibilidad productiva a expensas de velocidad, precisión, rigidez o fuerza.

### **Integrador final:**

Entidad, parte de una cadena de valor, que integra componentes principales en el producto final. Dentro del modelo OEM, el integrador final se llama fabricante de equipos originales.

### **Intensidad del capital:**

También denominada costo del lugar de trabajo, se calcula dividiendo el stock de capital (activos, dispositivos y equipos utilizados) por el número de empleados en la industria.

### **Logística externa de fábrica (LEF):**

Sistemas logísticos que conectan la red de suministros a la fábrica, influyendo en la organización del sistema de manufactura, la logística interna de la fábrica y el diseño de fábrica.

### **Logística interna (FIL):**

Sistemas para manipular partes, componentes, módulos, unidades o el producto final, dentro de un entorno estructurado.

### **Medios de producción:**

Se pueden clasificar en recursos humanos, equipos y materiales.

### **Modelo OEM (Fabricante de equipo original):**

Descripción de la relación entre las entidades involucradas en el proceso de manufactura de un producto. Un fabricante de equipo original utiliza proveedores que, de acuerdo con su rango en la cadena de suministro, se denominan proveedores Tier-n. El modelo explica el flujo general de material, así como el flujo de información durante el desarrollo del producto.

### **Modularidad:**

Descomposición de un sistema en sub-entidades independientes. Si los sistemas son imposibles de descomponer, tanto a nivel funcional como físico, se denominan "integrales". Si se pueden descomponer claramente, funcional o físicamente, se denominan "modulares". La modularidad clara es aún un fenómeno raro en la construcción, y los edificios convencionales muestran características de productos integrales.

### **Módulo:**

En una estructura jerárquica, los módulos representan los elementos en un nivel más alto que los componentes de alto nivel. Las piezas, los componentes y los módulos se pueden ensamblar en unidades.

### **Manufacturing Readiness Level (MRL):**

Indicador usado para clasificar empresas manufactureras de acuerdo al nivel de preparación para enfrentar escalamiento y sofisticación productiva.

### **Organización agrupada:**

Organización de planta en la que las estaciones de trabajo están agrupadas de acuerdo a medios de producción similares o complementarios. El flujo de material entre esos grupos puede ser fijo o flexible.

### **Organización lineal:**

Organización de planta con un flujo fijo de material entre las estaciones de trabajo, vinculadas por un sistema de transporte de materiales, con tiempos de ciclo sincronizados.

**Organización en cadena:**

Organización de planta con un flujo de material entre estaciones altamente organizado y fijo, para lo cual existe un sistema de transporte.

**Organización tipo banco de trabajo:**

El producto se queda en una estación fija, donde se produce o ensambla mediante medios de producción que están a su alrededor.

**Organización tipo taller:**

El producto o sus componentes fluyen entre estaciones de trabajo en una secuencia que no es fija, con permanencia variable.

**Patio de manejo, clasificación y procesamiento de material (PMCP):**

Sub-sistema, cubierto o descubierto, que permite simplificar la recogida insumos provenientes de la logística externa de fábrica. También se puede usar para ensamblar o desarmar componentes y módulos. Parte en una estructura modular jerárquica, las partes representan elementos más simples que los componentes.

**Personalización en masa (PM):**

Sistema que combina las ventajas competitivas relacionadas con la personalización del producto, con una eficiencia similar a la producción en serie. La personalización en masa exige que un producto combine elementos personalizados con otros estandarizados y exige sistemas de manufactura automatizada altamente flexibles.

**Proceso de transformación:**

Transformación de las entradas de información o material, en productos o servicios. La transformación se lleva a cabo mediante la configuración de la organización y sus medios de producción, lo que resulta en una interacción específica de trabajadores, máquinas, material e información.

**Productividad:**

La productividad expresa de forma cuantitativa una proporción entre salida y entrada, con un enfoque en un solo factor a la vez, por ejemplo, el trabajo, el capital, el material, los recursos o la productividad de una máquina. Productividad = Salida (cantidad) / Entrada (cantidad).

**Producción:**

Generación de piezas básicas o componentes de bajo nivel que incluye la transformación de la materia prima. Los procesos posteriores que se ocupan de la unión de elementos se denominan ensamblaje. La fabricación incluye procesos de producción y ensamblaje.

**Profundidad del valor agregado:**

Cantidad total de actividades de valor agregado realizados por el integrador final. Una gran profundidad de valor agregado significa que el integrador está realizando una gran cantidad de actividades que agregan valor al producto.

**Proveedor de nivel n:**

Un proveedor de nivel 1 es el que abastece directamente al integrador final. Un proveedor de nivel 2 abastece al proveedor de Nivel-1 y depende de componentes de proveedores de Nivel-3.

**Realidad aumentada:**

Versión mejorada de la realidad creada por el uso de la tecnología para superponer información digital sobre una imagen de algo que se está viendo a través de un dispositivo (como una cámara de teléfono inteligente).

**Realidad virtual:**

Entorno artificial que se experimenta a través de estímulos sensoriales (como imágenes y sonidos) proporcionados por una computadora y en los que las acciones de uno determinan parcialmente lo que sucede en el entorno.

**Sistema de conectores:**

Elementos que conectan componentes complejos de una manera robusta entre sí. Son un elemento clave en productos complejos para permitir el ensamblaje, el desmontaje, la adaptación, la reutilización o el reciclaje eficientes.

**Sistemas logísticos:**

Movimiento de material dentro de sistemas de fabricación y redes de suministro. Puede ser realizado por parte de humanos, herramientas, máquinas, sistemas de automatización o robots, posicionando y orientando objetos para ser transportados o procesados en un espacio tridimensional.

sional. Las operaciones logísticas no cambian ni transforman el material directamente.

**Sostenibilidad en la fabricación:**

Capacidad de un sistema de fabricación para reducir el consumo de recursos y la generación de residuos, cumpliendo con las demandas económicas, ambientales y sociales.

**Superestructura:**

Enfoque que introduce el concepto de jerarquías en la estructura y puede servir como base para una posible modularidad en la construcción.

**Tamaño del lote:**

Cantidad de productos idénticos o similares producidos en un conjunto identificable en función del antes de que el sistema de fabricación cambie sustancialmente para producir otro producto.

**Tiempo de fabricación:**

Tiempo necesario para completar un producto.

**Technology Readiness Level (TRL):**

Indicador generado por NASA y ampliamente difundido para identificar el nivel de madurez de una tecnología para enfrentar el desarrollo comercial.

**Trillion (inglés):**

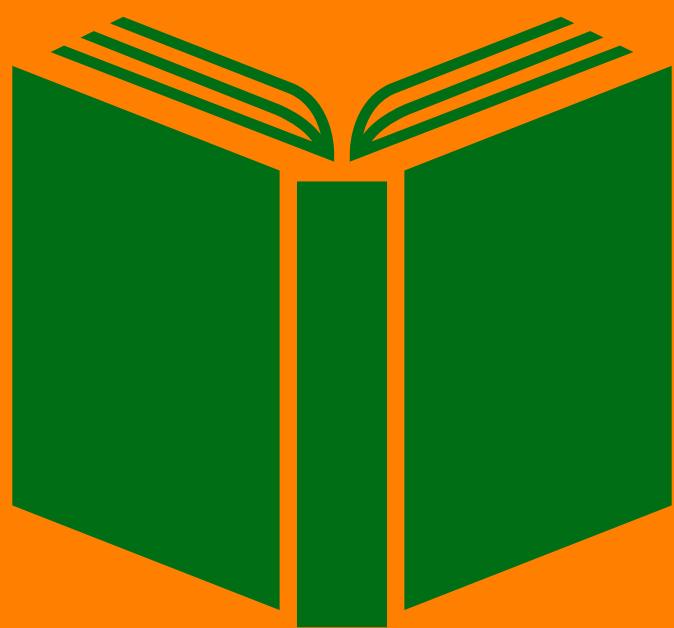
“One Trillion” en inglés corresponde a un billón en castellano, un millón de millones, 1.000.000.000.000,  $10^{12}$ .

**Trillón (castellano):**

“Un Trillón” en castellano corresponde a  $10^{18}$ , 1.000.000.000.000.000.000, un millón de millón de millones.

**Unidad:**

Bloque de construcción tridimensional, de alto nivel, completamente terminadas, fabricado ex-situ compuesto por piezas, componentes o módulos



## 10. BIBLIOGRAFÍA

### 10.1. Libros

**Building a technology advantage.** Harnessing the potential of technology to improve the performance of major projects. 2016. Global Construction Survey.

**Catastro de Proyectos de Inversión.** 2016. Sociedad de Fomento. SOFOFA.

**CIIU4.CL** 2012. Clasificador Chileno de Actividades Económicas. Instituto Nacional de Estadística. INE

**Compendio Estadístico. 2017.** Instituto Nacional de Estadística. INE

**Directorio de la Industria Forestal Chilena** 2017. Instituto Forestal INFOR.

**Driving Transformational Change in the Construction Value Chain.** Reaching the untapped potential. 2016.

**Edificación. 2016.** Informe Anual. Instituto Nacional de Estadística. INE

**El Mercado de madera aserrada de pino radiata para la construcción habitacional en Chile.** Informe Técnico N°186 Instituto Forestal. INFOR. 2011.

**Emerging technologies and timber products in construction-compendium of products and technologies.** 2006. P. Paevere and C. Mackenzie. Australian Government Forest and Wood Products research and development Corporation.

**Forestry for a low-carbon future. Integrating forests and wood products in climate change strategies.** Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO Forestry Paper 177. 2016.

**La Industria del Aserrío 2017.** Boletín Estadístico N°160. . Instituto Forestal Infor.

**Hoja de Ruta para Programa Estratégico de Manufactura Avanzada.** Informe Resumen, Marzo 2017. CEOP Consulting.

**Informe Macroeconomía y Construcción**

**MACh** 47. Noviembre 2017. Cámara Chilena de la Construcción.

**Informe Anual 2017.** Comisión Nacional de Productividad.

**Informe de Gestión División de Inversiones**

**2014- 2018.** 2018. División de Inversiones de Subsecretaría de Redes Asistenciales. Ministerio de Salud.

**International construction market survey**

**2016.** Overstretched and over-reliant: a polarized market. Turner & Townsend.

**Manual La Construcción de viviendas en Madera.** Centro de Transferencia Tecnológica. Corporación chilena de la madera CORMA.

**Meeting and exceeding Building Code thermal Performance Requirements. 2017.** John Straube. RDH. Building Science. Canadian Precast/Prestressed Concrete Institute.

**Mejorando las Competencias Laborales. Sector Construcción. 2012.** CEOP Consulting, Cámara chilena de la Construcción y Chile Valora.

**Productividad Laboral en la Construcción en chile:** Comparación Internacional. Documento de Trabajo N° 41. Centro UC CLAPES UC Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales.

**Promoting sustainable building materials and the implications on the use of wood in building.** A review of leading public policies in Europe and north America. Food and Agriculture Organization of the United Nations. UNECE/FAO. 2016.

**Reinventing construction: a route to higher productivity.** McKinsey Global Institute. February 2017.

**Robotic Industrialization: Automation and Robotic Technologies for Customized Component, Module, and Building Prefabrication.**

The Cambridge Handbooks on Construction Robotics. 2015.

**Robot-oriented design.** Design and Management Tools for the Development of Automation and Robotics in Construction. The Cambridge Handbooks on Construction Robotics. 2015.

**Solid timber construction.** Process, practice, performance. 2015. University of Utah. Integrated Technology in Architecture, College of Architecture and Planning.

**The Future of Timber Construction.** CLT-Cross Laminated Timber. A study about changes, trends and technologies of tomorrow. Stora Enso. 2017.

## 10.2. Publicaciones científicas

**Building a new supply chain position:** an exploratory study of companies in the timber housing industry. 2010. Fredrik Nordin, Christina Öberg, Beata Kollberg and Tomas Nord. Construction Management and Economics 28: 1071-1083.

**Business models in industrialized building of multi-storey houses. 2014.** Staffan Brege, Lars Stehn and Tomas Nord. Construction Management and Economics 32: 1-2, 208-226.

**Classification of Wooden Housing Building Systems. 2016.** Victor A. De Araujo, Juliana Cortez-Barbosa, Maristela Gava, José N. Garcia, Alexandre J. D. de Souza, Antonio F. Savi, Elen A. M. Morales, Julio C. Molina, Juliano S. Vasconcelos, André L. Christoforo, and Francisco A. R. Lahr. Bioresources 11(3): 7889-7901.

**Construction Industrialization in China:** Current Profile and the Prediction. 2017. Yingbo Ji , Fadong Zhu , Hong Xian Li and Mohamed Al-Hussein. Applied Sciences 7: 180

**Development of a model to estimate the benefit-cost ratio performance of housing. 2004.** I.M. Johnstone. Construction Management and Economics 22: 607-617.

**Defects in offsite construction: timber module prefabrication. 2009.** Helena Johnsson and

**The Impact of emerging technologies on the construction industry. 2017.** Calie Pistorious. Innovation Insight. N°4/17.

**Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional.** Casen 2015. Ministerio de Desarrollo Social.

**U-Values for better energy performance of buildings.** EURIMA. European Insulation Manufacturers Association.

**XLAM Dolomiti production.** The wood building R-evolution.

John Henrik Meiling. Construction Management and Economics 27: 667-681.

**Industrialized timber building systems for an increased market share-** a holistic approach targeting construction management and building economics. 2017. Joerg Kopperhuber, Bernhard Bauer, Johannes Wall and Detlef Heck. Sustainable Civil Engineering Structures and Construction materials, SCESCM Procedia Engineering 171: 333-340.

**Opportunities for robotic automation in wood product industries:** The supplier and system integrators' perspective. 2017. Steffen Landscheidt, Mirka Kansb, Mats Winrothc. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM 2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.

**The wood from the trees:** The use of timber in construction. 2017. Michael H. Ramagea, Henry Burridgeb, Marta Busse-Wicherc, George Fere-daya, Thomas Reynolds, Darshil U. Shaha, Guanglu Wud, Li Yuc, Patrick Fleminga, Danielle Densley-Tingleye, Julian Allwoode, Paul Dupreeec, P.F. Lindenb, Oren Scherman. Renewable and sustainable Energy Reviews 68: 333-359.

## 10.3. Tesis.

**Analisis de los plazos de construcción de edificios en chile y su relación con los métodos constructivos utilizados. 2010.** Tesis Inge-

niero Civil. Daniela Ruano Peña. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

**Análisis de procesos de industrialización de estructuras de madera para viviendas de un sector económico medio de la población.**

**2008.** Tesis de Ingeniero Constructor. Fabián Rutte González. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Construcción Civil. Universidad Austral de Chile, Chile.

**Industrialized construction- explorations of current practice and opportunities. 2014.** Linus Malmgren. Faculty of engineering and Division of Structure Engineering. Lund University, Suecia.

**Industrialization of the Construction Industry through Prefabrication and Adoption of current Technologies. 2013.** Bachelor degree. Chantelle Grills. Science in Wood Products Processing. Faculty of Forestry.

**Lean Culture in Industrialized Housing- a study of timber volume element prefabrication.** Doctoral Thesis. 2008. Matilda Höök. Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Division of Structure Engineering. Luleå University of Technology, Suecia.

**Product development in the wood industry.** **2009.** Doctoral thesis. Matti Stendahl. Faculty of Forestry, department of forest Products. Swedish University of agricultural sciences, Uppsala. Suecia.

**Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países desarrollados. 2010.** Proyecto de Magíster. Joel A. Novas Cabrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, España.

