

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Limitaciones para la implementación de madera laminada
estructural (CLT, GLT y LVL) en Ecuador**

Emir Israel Fuentes Arcos

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniería Civil

Quito, 12 de mayo del 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Limitaciones para el uso de madera estructural (CLT, GLT y LVL) en
Ecuador**

Emir Israel Fuentes Arcos

Miguel Andrés Guerra, Ph.D. en Ingeniería Civil

Quito, 12 de mayo del 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Emir Israel Fuentes Arcos

Código: 00138668

Cédula de identidad: 0401676671

Lugar y fecha: Quito, 12 de mayo de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

La madera estructural, en los últimos años ha generado gran interés en la industria de la construcción. Debido a sus configuraciones como madera laminada, GLT, CLT y LVL, se ha podido construir edificios de gran altura con su estructura (vigas, columnas, losas y paredes) completamente hecha de madera. A medida que mejore la tecnología, la brecha entre el uso de hormigón armado, acero y madera será menor y es posible que dentro de unos años, los edificios de madera sean tan comunes como sus análogos de hormigón y acero. (Waugh, 2010)

En el Ecuador, la construcción en madera es bastante limitada. Su uso más común es con la caña guadua y maderas duras para casas de 2 pisos. La madera laminada puede cambiar esta percepción e introducirse como una alternativa al hormigón y el acero. Al ser relativamente nueva su implementación en el mundo, hay la oportunidad para desarrollar y explotar el potencial de una nueva industria en el país.

Sin embargo, a pesar del potencial que tiene este material, es posible que su introducción no genere el impacto esperado y esto puede ocurrir por una amplia gama de factores. Por ese motivo, para disminuir el riesgo, primero es necesario identificar los posibles problemas clave que se pueden presentar en su introducción. Para lograrlo, se realizó una investigación general sobre varios segmentos relacionados a la madera laminada estructural que son: la producción de materia prima, el proceso de manufactura, el proceso de construcción, el mantenimiento, el contexto cultural y el impacto ambiental. Posteriormente, se entrevistó a varias personas involucradas con la industria de la construcción para identificar y analizar cuáles pueden ser estos problemas o barreras que se tendrían que investigar a mayor profundidad en el futuro.

Palabras clave: Madera laminada, Maderas blandas, CLT (Madera contra laminada), GLT (Madera laminada), LVL (Chapa de madera laminada).

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES	11
OBJETIVO	13
METODOLOGÍA	13
INVESTIGACIÓN	15
Producción de la materia prima	15
Proceso de Manufactura	18
El proceso de construcción	23
El mantenimiento	25
El contexto cultural	28
El impacto ambiental	31
RESULTADOS	32
a. Limitaciones en la cadena de producción	33
b. Limitaciones culturales de la industria de la construcción	38
c. Mercado limitado	43
d. Limitaciones por parte de las entidades de control	45
DISCUSIÓN	48
CONCLUSIÓN	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Mapa de zonas disponibles para forestación y reforestación comercial.....	18
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Limitaciones reportadas de parte de los profesionales	33
--	----

INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, la industria de la construcción se ha sustentado mediante el uso de hormigón armado y el acero. Gracias a estos materiales, se estableció una nueva era en la construcción llevando las barreras a límites. Por otra parte, el uso de la madera ha sido relegado a un segundo plano, en el que su uso está enfocado a estructuras de menor tamaño. En parte, esto es consecuencia de grandes incendios como el de San Francisco en 1906. (Ramage, 2019) Las ciudades cambiaron debido a estos eventos, los constructores y los ciudadanos, vieron una mejor alternativa en el uso de nuevos materiales para reemplazar la madera y estos nuevos materiales son los que moldearon nuestras ciudades. (Mills, 2021) Por eso resulta contra intuitivo proponer el uso de un material obsoleto, la madera, como una alternativa viable que incluso puede superar a sus competidores como el material del futuro. En los últimos años, gracias a las crecientes campañas de concientización ambiental (Petruich & Walcher, 2021) y nuevas tecnologías como CLT (Madera contra laminada por las siglas en inglés de “Cross Laminated Timber” (Hermoso et al., 2017)), LVL (Chapa de madera laminada por las siglas en inglés de “Laminated Veneer Lumber” (Dieste et al., 2018)) y GLT (Madera laminada por las siglas en inglés de “Glue Laminated Timber” (Dieste et al., 2018)), la industria de la construcción ha comenzado a ver nuevamente potencial en su uso.

En los últimos 14 años, se ha visto un desarrollo impresionante del uso de madera estructural, especialmente para edificios residenciales y de oficinas, pero también se ha propuesto su uso para estadios, aeropuertos y centros de evento en estructuras híbridas que incluyen componentes de hormigón armado y acero. (Wiegand & Ramage, 2021) Uno de los primeros edificios de gran altura (superior a 23m) construido completamente con madera laminada, fue la torre Stadthaus completada en 2009 en Londres con una altura de 29 metros. (Waugh, 2010)

Actualmente, el edificio más alto de este tipo es la torre Mjøstårnet inaugurada en 2019 en Noruega con 85.4 metros. En 10 años prácticamente se triplicó el record de altura y se espera que este record se rompa este año 2022 cuando finalice la construcción del edificio Ascent MKE en Estados Unidos con 86.56 metros. En Londres, el Dr. Michael Ramage, director del centro de Innovación de materiales naturales en la Universidad de Cambridge, planteó la torre Oakwood en la que se estableció una altura máxima teórica de 300 metros para este tipo de edificios. (Ramage, 2019)

La mayor parte de los países que están impulsando estos proyectos se encuentran en Europa y Norte América, donde históricamente la madera se ha usado ampliamente en la construcción. (Wiegand & Ramage, 2021) Igualmente en el hemisferio sur, países como Australia y Nueva Zelanda y Chile también tiene las condiciones para su uso. Por el contrario, el Ecuador, es un país con gran diversidad biológica, pero no se destaca por sus plantaciones forestales con el fin de producir madera laminada u otros tipos de madera estructural. Sin embargo, la tendencia global se dirige hacia una construcción con menor impacto ambiental tanto en términos energéticos como en huella de carbono. Por el momento, es indiscutible que la madera como material constructivo no tiene competencia dentro de estos términos. (Ramage, 2019)

La madera puede ser el futuro de esta industria y revolucionarla como lo hizo el acero y el hormigón armado en su momento. Al igual que el futuro de los automóviles está tendiendo hacia la electrificación, el futuro de la construcción puede inclinarse al uso de madera y lo más probable, es que cada vez será más común en las construcciones del mundo. Por este motivo, es importante comenzar a investigar y dar mayor importancia a este material. Así se podrá determinar cuál puede ser su impacto tanto positivo como negativo y de esta forma minimizar los riesgos en caso de que su introducción sea factible.

En el Ecuador su implementación adecuada es especialmente crucial debido a la biodiversidad que se puede encontrar en esta región del mundo. Por otro lado, el potencial económico que tiene ayudará al desarrollo de zonas rurales, donde se encontrarían las plantaciones necesarias para suplir la demanda que se requeriría en caso de que explote su uso. Además, se necesitarán nuevas fábricas para procesar la madera que también requerirá de mano de obra para su operación. Estas fábricas pueden encontrarse cerca de las ciudades donde se tiene la mayor demanda. No es necesario que se construyan edificios completamente de madera. Tanto Arquitectos como Ingenieros pueden beneficiarse de la introducción de un nuevo material con el que tendrán mayor libertad para explorar diferentes configuraciones en conjunto con el hormigón y acero. De esta forma podrán aprovechar de mejor manera los beneficios que estos materiales pueden aportar a sus construcciones.

ANTECEDENTES

Si bien la madera no es un material nuevo de construcción, de hecho, es uno de los materiales más antiguos con el que el humano ha construido, en el último siglo su uso ha perdido relevancia frente al auge del acero y el hormigón. (Foster & Ramage, 2017) Sin embargo, la madera de ingeniería también conocida como madera maciza, y más específicamente, madera laminada estructural, está comenzando a ganar terreno nuevamente en la industria. Con el calentamiento global siendo un tema cada vez más relevante en el mundo, en 2015, la ONU propuso 17 objetivos para un desarrollo sostenible dentro de los cuales la industria de la construcción tiene especial atención dado su alto impacto ambiental. Tomando en cuenta que, según estimaciones de la ONU, “para 2050, 7 de cada 10 personas vivirán en zonas urbanas.” (ONU, 2018) Por lo tanto, “la demanda por edificio de gran altura para viviendas aumentará drásticamente.” (Wiegand & Ramage, 2021) Por este motivo, el Dr. Michael Ramage cree que

“este material es el futuro de la construcción al punto en el que en los rascacielos de madera serán comunes en la siguiente década aproximadamente.” (Ramage, 2019)

La estructura de estos edificios es factible gracias a 2 principales innovaciones en el procesamiento de madera estructural que revolucionaron la construcción en madera. La primera innovación es el GLT (Madera Laminada) que en realidad tiene bastantes años en esta industria. Fue inventado por el carpintero alemán Otto Karl Friedrich Hetzer en 1901 con la que se podían hacer vigas de madera rectas y curvas de mayor resistencia y longitud que usando otros componentes de madera. Si bien, el GLT podía ser usado para vigas y columnas, el otro componente clave para lograr estos edificios, fue la invención del CLT (Madera Contra-laminada). Esta configuración de la madera estructural que consiste en láminas pegadas por capas perpendiculares fue creada a principios de 1990 por el ingeniero Austriaco Gerhard Schickhofer. Gracias al CLT, se pueden fabricar losas y muros estructurales muy livianos en comparación a las losas y muros de concreto. Por lo tanto, usando vigas y columnas de GLT junto con losas de CLT, se pudo construir edificios completamente con madera (a excepción de los cimientos).

Si bien esta tecnología se ha implementado en varios países ubicados en los extremos de los hemisferios Norte y Sur; en Europa (Austria, Alemania, Noruega, Suecia, Finlandia, El Reino Unido, Italia, Francia y Suiza), en Norte América (Canadá y Estados Unidos) (Wiegand & Ramage, 2021), en Oceanía (Australia y Nueva Zelanda) y en Sud América (Chile y Uruguay). El Ecuador a primera vista, no es un país común para el desarrollo de esta tecnología. Sin embargo, dada la variedad de climas y especies de flora existentes, existe la posibilidad para la introducción de este material. Por eso, se tiene que investigar cuales son las barreras para superar es que se dé tal introducción. Existen barreras desde varios puntos que pueden ser; técnicos (la producción de materia prima, la tecnología necesaria para su procesamiento e instalación), culturales (la

recepción del público general y los profesionales), institucional (para la regulación de procesos relacionados a este campo), etc. Por eso, se tienen que identificar estos puntos clave, ya que puede ser una gran oportunidad para el desarrollo y evolución de la industria de la construcción en el Ecuador.

OBJETIVO

- Identificar las barreras para la implementación de madera laminada estructural en Ecuador.

METODOLOGÍA

El propósito de este artículo es la identificación de los problemas que se deben tomar en cuenta antes de la introducción de la madera estructural como un método constructivo común. Para eso, el artículo se dividirá en 3 etapas:

La primera etapa, es la investigación general sobre este material. En esta etapa se explora el proceso y los puntos clave que se necesitan para obtener e introducir este material. De esta forma, se tendrá una mejor noción de los posibles problemas que puedan surgir y, por lo tanto, se usaran estos puntos como base para la segunda etapa que se explicará más adelante. De la investigación, se analizaron los siguientes 6 segmentos o puntos clave relacionados a este material:

1. la producción de materia prima
2. el proceso de manufactura
3. el proceso de construcción
4. el mantenimiento
5. el contexto cultural
6. el impacto ambiental

La segunda etapa, es la obtención de datos. En esta etapa, se realizaron entrevistas a expertos con varios años de experiencia relacionados a la industria de la construcción en el Ecuador. Las preguntas están enfocadas para extraer datos relacionados a los 6 puntos mencionados anteriormente. Las entrevistas son de tipo semiestructurado para dar flexibilidad y libertad a los expertos. Dado que los entrevistados son expertos en diferentes áreas, pueden aportar información que no se consideró previamente o no encaja con las preguntas realizadas. Posteriormente, se clasificarán y codificarán las respuestas obtenidas por parte de los entrevistados.

Se usaron las siguientes preguntas:

1. ¿Ha usado madera estructural? ¿Si es así, de qué tipo fue?
2. ¿Qué problema encuentra con la introducción de nuevos materiales y métodos constructivos en la industria de la construcción?
3. ¿Si económicamente fuera viable la construcción con madera laminada en Ecuador, estarías dispuesto a invertir tiempo y recursos en su introducción?
4. ¿Qué problema encuentra con la producción de materia prima que requiere la madera laminada en Ecuador?
5. ¿Qué problema encuentra con el proceso de manufactura y construcción de la madera laminada en Ecuador?
6. ¿Qué problema encuentra con la implementación de la madera laminada en relación con la cultura profesional (incluyendo mano de obra) que existe en Ecuador?
7. ¿Qué problema encuentra en relación con el impacto ambiental que tendría la madera laminada en Ecuador?
8. ¿Cuál de estos problemas considera que es el más crítico?

9. ¿Cree que actualmente en el Ecuador se pueda producir a nivel industrial madera laminada?
¿Si no es así, qué se necesitaría para lograrlo?
10. ¿Cree que esta es una solución factible para las altas tasas de contaminación en esta industria?

La tercera etapa, es de análisis de las preguntas realizadas en la anterior etapa. En esta parte, se compararán las respuestas obtenidas en las encuestas con la información recopilada para identificar las barreras clave que se necesitarían superar para la implementación de la madera laminada en el Ecuador.

INVESTIGACIÓN

Producción de la materia prima

Para masificar el proceso de producción de madera laminada, se recomienda que las especies de árboles elegidas tengan las siguientes características:

- Los árboles deben ser de crecimiento rápido para que su tiempo de reposición sea menor y así aumente el rendimiento de la plantación.
- Su tronco sea lo más recto y de radio uniforme como sea posible ya que facilita su cultivo haciéndolo fácil de clasificar por tamaño (altura y grosor), también facilita el proceso de manufactura haciendo que su división en tablas rectangulares o láminas (chapa) sea más eficiente.
- Que no tenga muchas ramas ya que estas van a tener que cortarse cada cierto tiempo y disminuirán el rendimiento de la plantación. Cuanta mayor cantidad de ramas tenga el árbol, menor será la masa que el árbol destina al crecimiento de su tronco.

- Debe tener resistencia a las plagas, tanto de hongos como de insectos que existan en la zona para disminuir el mantenimiento de la plantación.

Por lo general la madera laminada se consigue principalmente de los árboles de tipo conífero como; el pino, abeto, ciprés, etc. Estas especies son ideales ya que se adaptan bastante bien a las características mencionadas anteriormente. “Por lo general, los árboles de coníferas crecerán más rápido que otros tipos de árboles, lo que significa que los árboles de madera blanda, como el abeto, generalmente está disponible después de unos 20 años de crecimiento.” (Coombs, 2018)

En cuanto al manejo de la plantación, hay dos métodos comerciales principales de tala: tala rasa y tala selectiva. Los ecologistas prefieren la tala selectiva en la que se seleccionan los árboles de la plantación para ser talados individualmente (por lo general clasificados por sus características físicas como altura, radio y curvatura del tronco). En este tipo de plantación, idealmente, la reforestación ocurre de manera natural como parte del ciclo natural del bosque lo que de cierta forma ayuda a compensar los altos costos generados por su control extensivo. La industria por otro lado prefiere la tala rasa en la que se divide los bosques en cuadrantes y una vez que un cuadrante llega a cierta edad en la que la mayoría de los árboles cumplen con determinadas dimensiones, se lo corta por completo. En este tipo de tala, es necesario reforestar los cuadrantes artificialmente, pero necesita menos mantenimiento y el proceso de tala y recolección es mucho más eficiente que en la tala selectiva. (Coombs, 2018)

En el Ecuador, el árbol de tipo conífero más plantado es el pino (*Pinus radiata* y *pátula*). Ambos tipos se han usado para la fabricación madera laminada. (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016) Ya que es una especie que se usa en otros países que fabrican madera laminada y se da en el Ecuador, se elegirá el pino como candidato preliminar para

continuar con la investigación. Esto no descarta la posibilidad de que se puedan usar otras especies, pero su uso necesitará un estudio más profundo a diferencia de estos tipos de pino cuyo uso es común en madera laminada. De igual forma, se debe analizar y probar la resistencia de esta madera debido a la variabilidad que puede darse por la diferencia de condiciones ambientales a las que ha expuesto el árbol en el país.

Las plantaciones de pino en el Ecuador preferiblemente deben estar a una altura entre 1400 y 3500 msnm. Sobre esta altura disminuye el rendimiento de la plantación ya que los árboles tienen un crecimiento más lento. El tipo de suelo óptimo es franco arenoso, bien drenado con pH neutro a ligeramente ácido, a una temperatura promedio entre 11 y 18 °C y precipitaciones entre 700 a 2000 mm. Estos árboles alcanzan alturas que oscilan entre los 20 y 30 metros, en cuanto a sus diámetros pueden alcanzar hasta 1 metro. Su tala final se realiza entre los 15 y 20 años. (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016)

En 2016, el Ministerio de Agricultura, publicó un mapa de los sectores del Ecuador en los que se promueve la forestación y reforestación con fines comerciales. Dadas las características mencionadas anteriormente, la región más apta para estas plantaciones se encuentra en la región sierra. Justamente, las especies incentivadas en esta región son: Aliso, Ciprés, Eucalipto y Pino.

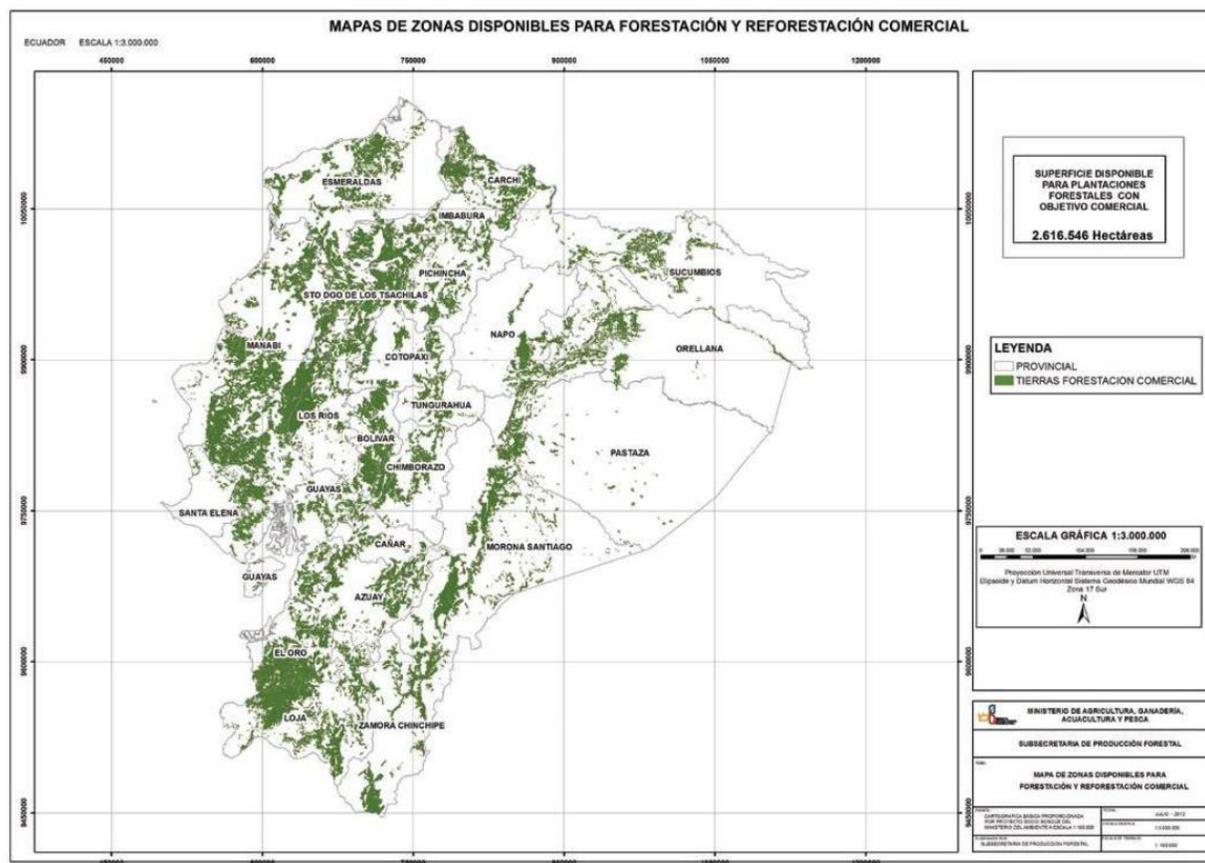


Ilustración 1: Mapa de zonas disponibles para forestación y reforestación comercial

Ilustración: Mapa de zonas disponibles para forestación y reforestación comercial. Obtenido de (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016)

*Nota: El Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) también puede ser usado en madera laminada y se da en la región costa del país, pero dado que no es fácil su impregnación con químicos inmunizadores, es preferible que su uso este limitado a lugares cubiertos en los que no esté expuesto. Por este motivo, no se está tomando en cuenta ya que su uso requiere de un análisis más detallado y específico. (Dieste et al., 2018)

Proceso de Manufactura

El proceso de manufactura es muy similar para la fabricación de madera laminada CLT, GLT y LVL. En general, el primer paso es el procesamiento y curado del tronco en el que se obtiene tablas (en los casos CLT y GLT) o una lámina también conocida como chapa (para el LVL). Estos componentes son secados típicamente hasta tener un 12% de contenido de humedad (CLT y GLT) o entre el 5 y 6% (LVL). (Dieste et al., 2018) En el proceso de secado, hay 2 métodos comúnmente usados que son el secado natural y el secado en horno. En el secado natural, simplemente se deja las tablas expuestas para que se sequen con el ambiente, es un proceso largo y difícil de controlar. El secado en horno es mucho más rápido y, muchas veces se realiza quemando los desperdicios provenientes en el proceso de producción (ramas y cortezas) y manufactura (desperdicios varios provenientes del procesamiento de la madera). De esta forma, el proceso no demanda mucha energía de otras fuentes y se puede considerar un proceso de carbono neutral. (Coombs, 2018)

Segundo, se realiza la clasificación estructural de tablas o chapas para determinar si son o no aptas para ser usadas (si no son aptas, se las destina para otros usos). (Coombs, 2018) También existen los casos en los que además de cumplir con una clasificación estructural, se requiere que cumplan con una clasificación estética. Sin embargo, en la “fabricación GLT, es una forma mejorada de madera maciza porque elimina parcialmente los defectos de la madera relacionados con el crecimiento. Por eso, se pueden colocar tableros de diferentes grados dentro de la profundidad de la sección transversal “(Herzog et al., s/f)” En parte esto se da porque “Contra intuitivamente cuanto más variable es el grado de la madera, mayor será el beneficio de homogeneización. (Ramage et al., 2017).” Según Foster y Ramage, “El efecto beneficioso de la homogeneización significa que las resistencias en distintas direcciones de las maderas de ingeniería como GLT y LVL serán más favorables”. (Foster & Ramage, 2017)

Tercero, se usa un optimizador para estandarizar y corregir imperfecciones en el tamaño de las tablas. Como la madera laminada se compone de varias capas de tablas, estas deben ser de dimensiones exactas especialmente en cuanto a su ancho y espesor. (Dieste et al., 2018)

Cuarto, el ensamblaje de tablas en sentido longitudinal que normalmente se realiza usando “finger joints” o uniones dentadas. De esta forma, se obtiene la longitud deseada usando tablas de menor tamaño. Por lo tanto, la dimensión longitudinal del elemento no está limitada por el tamaño de las máquinas, si no, por el tamaño del transporte que va a cargar los elementos. Normalmente para paneles de CLT, el tamaño máximo práctico es de 13.5m, pero se han producido paneles de hasta 22m. En cambio, el ancho y espesor del elemento si está limitado por el tamaño de la maquinaria en la fábrica. Típicamente el ancho de los paneles de CLT es de 3.5m. (Ravenscroft, 2017)

Quinto, se añade el adhesivo en los paneles, luego se los coloca uno sobre otro (en el caso CLT, los paneles se colocan de forma perpendicular, en el caso GLT y LVL se colocan de forma paralela). Una vez que se encuentran todos los paneles, estos son prensados para mantener su forma y que el adhesivo se adhiera uniformemente en todo el elemento. (Dieste et al., 2018) los adhesivos más comunes son: los poliuretanos (PUR), fenol- resorcinol-formaldehído (PRF) y melamina-formaldehído (MF). Los PUR son más fáciles de trabajar pero se descomponen a temperaturas inferiores a las de carbonización de la madera, en cambio tanto los PRF como MF no se separan aun cuando la capa está carbonizada, (Zelinka, 2018)

Sexto, se realizan cortes o adaptaciones geométricas de ser necesario y se da un acabado a la superficie en el que se puede incluir capas protectoras adicionales que protejan el elemento de plagas, incendios, humedad, etc. (Dieste et al., 2018)

El séptimo y último paso, es el proceso de envío en el que se añade una membrana impermeable (plástico) a los elementos y además se los recubre con un embalaje que también es resistente al agua y a los rayos UV con el fin de que los elementos lleguen y puedan ser almacenados en el lugar de construcción sin deteriorarse en el proceso. El nivel de protección también depende del uso y exposición a la que van a ser sometidos. (Hermoso et al., 2017).

A continuación, se encuentran los procesos específicos que se siguen para la fabricación de los casos CLT, GLT y LVL.

CLT:

1. Secado de tableros aserrados.
2. Clasificación estructural de la madera.
3. Optimización longitudinal y transversal. El optimizador longitudinal, a través de un sistema de sierras, ajusta la madera que ingresa a la línea de producción para estandarizar su ancho. La optimización transversal permite la detección y corrección de imperfecciones.
4. Las piezas de madera son ensambladas con “finger joints” o uniones dentadas para crear láminas de la longitud deseada, lo que permite fabricar paneles largos a partir de piezas cortas de madera. La unión de los dientes debe tener una longitud estructural y también se utiliza un adhesivo estructural.
5. Montaje de los paneles, encolado y prensado en frío. Los paneles se ensamblan en el interior de la prensa, el adhesivo estructural se aplica con un cabezal automático y el conjunto se prensa al vacío.
6. Acabado de superficies.
7. Diseño y corte de huecos mediante maquinaria de control.
8. Envasado y etiquetado

(Dieste et al., 2018)

GLT:

1. Secado de tableros aserrados.
2. Clasificación estructural de tableros.
3. Optimización.
4. Ensamble con uniones dentadas.
5. Planificación de laminaciones.
6. Aplicación de adhesivo.
7. Prensado en frío y curado.
8. Planificación y finalización de los miembros del GLT.
9. Corte de juntas mediante maquinaria de control numérico (opcional)
10. Envasado y etiquetado

(Dieste et al., 2018)

LVL:

1. Descortezado y pre acondicionamiento.
2. Pelado rotatorio. Un torno convierte el tronco en una lámina delgada y continua con un espesor típico de aproximadamente 3 mm, que luego es dividida por una guillotina.
3. Secado.
4. Clasificación estructural de chapas. El material que no cumple con el grado se utiliza para producción de madera contrachapada.
5. Montaje. Apilado de chapas encoladas para conseguir el espesor objetivo.
6. Pre prensado y prensado.

7. Corte a medida. El panel se corta longitudinalmente para obtener las vigas.
8. Acabado.
9. Embalaje.

(Dieste et al., 2018)

El proceso de construcción

Para comenzar, se debe tener en cuenta que la madera laminada (para CLT, GLT y LVL) tiene una densidad que se encuentra aproximadamente entre los 400 y 500 kg/m³, en cambio, la densidad del hormigón es superior a los 2000 kg/m³. Tomando en cuenta esta consideración, la densidad de la madera es entre 4 y 5 veces menor que el hormigón. Esto que coincide con la afirmación de que el “edificio construido en Londres, Dalston Lane, pesa la quinta parte de lo que pesan edificios similares hechos con hormigón.” (The BIM, 2017) Por lo tanto, también se reduce sustancialmente la cantidad de hormigón que se requiere para los cimientos en este tipo de estructuras. Según Michael Ramage, en teoría, si se demuele un edificio de 10 pisos hecho con hormigón, en su lugar, se puede construir uno de 40 pisos usando madera y con exactamente los mismos cimientos. (Ramage, 2019)

En cuanto al uso estructural que se les da a las configuraciones CLT, GLT y LVL, existe gran diferencia debido a que la madera es un material altamente anisotrópico (su comportamiento depende la dirección de las fibras en relación con la carga aplicada). Por ejemplo, “las maderas blandas, en particular, exhiben una resistencia a la compresión y una rigidez específica (que es la relación entre módulo de elasticidad y la gravedad específica del material) comparables a las del acero, y significativamente más altas que las del hormigón, en la dirección paralela a la fibra. Sin embargo estos valores son mucho menores si el análisis se realiza en dirección perpendicular a la

fibra” (Foster & Ramage, 2017). Por este motivo, las configuraciones GLT y LVL que tienen la misma dirección de fibra en cada capa son ideales como columnas que resisten principalmente carga axial en sentido paralelo a las fibras “Las vigas laminadas funcionan bien en aplicaciones de pilares porque se mantienen rectas y fieles en la sección transversal.”(APA-Form No. Q705, 2014). En cambio, “El CLT se utiliza frecuentemente en estructuras masivas de madera de varios niveles, con cimiento de concreto y otros tipos de construcciones. El CLT puede ser usado en la construcción de una amplia variedad de elementos estructurales como elementos para muros estructurales y no estructurales; pisos, muros, techos. (APA-Selección y Especificación de Madera Contralaminada (CLT)), 2021)”

En el proceso constructivo, al momento de instalar, reparar y desmontar componentes, se pueden presentar desperfectos que requieren mano de obra in situ para solucionarlos. Según Steven Coombs, “la construcción es elemental, lo que permite: construcción simple y habilidades de carpintería in situ de baja tecnología; facilidad de desmontaje; reutilización o reciclaje de componentes de glulam.” (Coombs, 2018)

1. Los cimientos deben estar previamente contruidos con concreto como normalmente se los realizan. (APA-Selección y Especificación de Madera Contralaminada (CLT)), 2021) Las columnas de madera son empernadas con placas de acero que a su vez son empernadas en los cimientos. Los elementos deben tener el menor contacto posible con la humedad. (Coombs, 2018)
2. En la estructura principal, las conexiones entre vigas y columnas, pueden ser uniones con placas de acero y pernos o juntas reforzadas con adhesivos en las que cada pieza encaja perfectamente con la otra. Por conveniencia, las conexiones con placas son más usadas ya que requieren una menor precisión de prefabricación. (Coombs, 2018)

3. Las viguetas son conectadas a las vigas de la misma forma usando placas o juntas. Sobre estas viguetas, se empernan los paneles de losa CLT. (Herzog et al., s/f)
4. Las paredes, se construyen usando un marco en el que se colocan aislantes acústicos y resistentes al fuego. El sistema eléctrico y el sanitario también se incluyen dentro de este marco. Además, se pueden usar paredes de madera maciza en el que estas instalaciones pueden ser embebido y aislado dentro del elemento o cubiertas por otra capa. A su vez las paredes son empernadas a las losas, vigas, columnas, etc. (Coombs, 2018)
5. A pesar de que los acabados están fuera del alcance de esta investigación, se dará información general ya que son parte del proceso constructivo de cualquier proyecto. Los acabados, varían según el presupuesto y el tipo de proyecto. Se suele recubrir las columnas y vigas con elementos decorativos además de capas que proveen mayor resistencia al fuego y desgaste del ambiente. Las losas tienen un recubrimiento de espuma rígida en la parte superior que funciona como aislante sobre el cual se coloca otra capa delgada de concreto. En las paredes, se suele colocar placas de yeso y/o planchas de fibrolit y porcelanatos. (Coombs, 2018)

El mantenimiento

Para el caso del mantenimiento de la madera laminada, es imperativo lograr aislar lo máximo posible de las afecciones ambientales que pueda tener en el lugar de instalación, como puede ser la humedad, los hongos, otras plagas, fluidos corrosivos, etc. “Debido a la influencia de la humedad en el rendimiento, una vez que un tronco ha sido cortado en tablas y tablones debe ser curado, independientemente de la especie, para: minimizar la contracción durante el uso; ser más resistente a la descomposición por hongos, a las manchas y al ataque de los insectos, reducir su

peso para el transporte; hacerlo menos corrosivo para los metales; hacerlo más absorbente de los líquidos conservantes; hacerlo apto para recibir pinturas, barnices y tintes”.(Coombs, 2018)

“La impregnación es una técnica de modificación de la madera que existe desde hace muchos años, pero el uso de nuevos productos de impregnación como el anhídrido maleico puede conducir a una reducción significativa de la sensibilidad a la humedad de la madera.” (Blanchet & Breton, 2020)

El mantenimiento de este material va a variar dependiendo del lugar en donde se realice el proceso constructivo “Los principales requisitos de rendimiento que hay que tener en cuenta son: el control de la humedad; la posibilidad de movimiento de la humedad; la durabilidad para resistir el ataque de los insectos (y otras plagas), la podredumbre y los rayos UV; y los detalles de fijación, especialmente en relación con las maderas duras y en las uniones y alrededor de las aberturas”. (Coombs, 2018)

Además, el mantenimiento va a variar dependiendo de qué tipo de tablero CLT se va a utilizar, ya que va a depender si se usa para exteriores o interiores “Los paneles externos de CLT suelen requerir un aislamiento adicional. Al tratarse de una construcción de pared sólida, éste puede formarse tanto externa como internamente, siendo más típico el aislamiento externo.” (Sutton et al., s/f)

Para el caso de cualquier producto de madera, el cuidado contra el fuego es fundamental, ya que por lo general el fuego es uno de los factores externos más probables que pueda dañar la estructura “Los incendios comienzan y se desarrollan por causas externas a la estructura, pero acaban destruyendo ésta y el edificio.” (Consejo Superior de Arquitectos-AITIM, 2014) Al contrario de lo que se podría creer, la madera laminada es mucho más resistente al fuego que la

madera cruda y sus variaciones “El tiempo de ignición es proporcional a la densidad de la madera. Las maderas más ligeras son las más porosas y, por tanto, arden más deprisa que las pesadas porque tienen más aire disponible.” (Consejo Superior de Arquitectos-AITIM, 2014) Aparte incluso la misma carbonización del material puede ayudar a proteger el elemento “La carbonización superficial que se produce impide, por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor” (Consejo Superior de Arquitectos-AITIM, 2014), “El carbón protege a la pieza de madera de la acción del fuego porque su coeficiente de conductividad calorífico es un $1/4$ ($1/6$) del de la madera”. La madera tiene un coeficiente de conductividad térmico bajo de 0.13 W/mK , el acero ($47\text{-}58 \text{ W/mK}$), el del hormigón armado es de 2.5 W/mK . Por lo tanto, la deformación por expansión es prácticamente despreciable en la madera, el resto de la estructura no se verá afectada en un incendio como si ocurre en los otros materiales mencionados. (Consejo Superior de Arquitectos-AITIM, 2014)

Una de las formas para proteger la sección laminada es que las columnas y vigas sean recubiertas con una capa sacrificable (no estructural) que recubra el exterior expuesto del elemento. Esta capa puede ser de un material como el yeso que no es combustible, de baja conductividad térmica, no expulsa gases tóxicos y retarden la expansión del fuego “La forma de mejorar la resistencia al fuego de los elementos estructurales de madera es: añadir una sección sacrificial de madera. Según el tiempo que se requiera, se dimensiona la sección para que una vez transcurrido ese tiempo la sección que quede siga desempeñando su función estructural. Añadir una sección sacrificial de un material no combustible o Protección Pasiva. Por ejemplo, tableros de yeso, de forma que no puedan aumentar su temperatura. El yeso no arde y además aísla un cierto tiempo porque debe expulsar también el agua que lleva.” (Consejo Superior de Arquitectos-AITIM, 2014) Sin embargo, hay que tomar en cuenta que, durante un incendio, si los adhesivos se

descomponen a una temperatura menor que la de carbonización, “debido a la naturaleza laminada de CLT, se produce un proceso de caída del carbón que evita que la autoextinción ocurra. (Xu et al., 2022)

Hay la opción de que esta capa sacrificable sea igualmente de madera ya que cuando esta se carboniza, aísla el interior del elemento y se consume de forma predecible a una velocidad aproximada de 0.7 mm por minuto. “Una viga o columna expuesta, debe ser dimensionada, para soportar toda su carga de diseño durante al menos una hora durante un incendio estándar.” (APA, 2019) La madera estructural, tiene un proceso de secado y/o curado en el que se lleva el contenido de humedad del elemento a alrededor del 12% para GLT y CLT. Este porcentaje es suficientemente bajo como para evitar la proliferación de hongos e insectos. (Sutton et al., 2011) De esta forma, en caso de un incendio, plaga, o humedad, solo se dañará la capa descartable. Su reemplazo no conlleva ninguna repercusión estructural ya que solo es necesario cortar la capa dañada y colocar una nueva.

Otra cosa muy importante al momento de tomar en cuenta para en caso de incendio, son los ensambles de las piezas ya que “las mayores profundidades de carbonización se darán en los ensambles de las piezas, bien porque existen juntas que facilitan la penetración de la llama o porque se emplean elementos metálicos que conducen el calor hacia el interior.” (Consejo Superior de Arquitectos-AITIM, 2014)

El contexto cultural

Para el caso de la cultura, como en la actualidad la industria de la construcción tiene uno de los mayores aportes a la contaminación mundial “Para mantener el calentamiento global por debajo de 2°C en 2100 y alcanzar los objetivos fijados por el Acuerdo de París, la construcción de

edificios debe ser neutra en carbono o negativa antes de 2030.” (Blanchet & Breton, 2020) Por esta razón en 2015 las Naciones Unidas propuso 17 objetivos para un desarrollo sostenible en el que se propusieron a disminuir su impacto ambiental. Dentro de estos objetivos, la madera laminada estructural puede ayudar a bajar el consumo de los principales productos de contaminación de dicha industria. Este material de construcción está principalmente relacionada con cuatro de estos objetivos, que son el 9, 11, 12, y 15. (Xu et al., 2022) A continuación se detallarán individualmente:

1. Objetivo 9, Innovación de la industria e infraestructura: busca adaptar la construcción para que sea más sustentable y promover e incluir la innovación forestal. (ONU, 2018)
2. Objetivo 11, Ciudades y comunidades sostenibles: se espera que la población urbana siga creciendo y a su vez la cantidad de desechos también aumente. (ONU, 2018)

Las construcciones normalmente tienen un tiempo de vida de 50 años. Una vez cumplido este periodo, se tiende a realizar una revisión y mantenimiento extensivo o se desechan para ser reemplazados completamente. Las estructuras de madera tienen la ventaja de que son 100% reciclables por lo que sus desechos son mínimos.

3. Objetivo 12, Producción y consumo responsable: recursos y energía eficiente para una infraestructura sustentable y acceso a los servicios básicos para mejorar la calidad de vida de la población. (ONU, 2018)

Se estima que la huella de carbono de los edificios de madera es un 60% menor y puede almacenar un 400% más CO₂ en su estructura que edificios de hormigón. En términos de consumo energético, los edificios de madera consumen solo el 50% de la energía requerida para hacerlos de hormigón y solo un 2% de la necesaria para hacerlos con acero. (Mills, 2021)

4. Objetivo 15, Vida sobre la tierra: Proteger, restaurar y promover el uso sustentable de ecosistemas. Sustentar el manejo forestal combatiendo la desertificación y revertiendo la degradación de la tierra. (ONU, 2018)

Estas medidas van a ser desarrolladas y experimentadas por la nueva generación de profesionales de la construcción. Por este motivo es importante entender cuál es la percepción que tiene el público acerca de este material “Hay que dirigirse específicamente al público más joven, ya que representa a los responsables de la toma de decisiones, a los constructores de viviendas y a los clientes del futuro.” (Petruich & Walcher, 2021) Las generaciones más jóvenes han crecido en un ambiente de responsabilidad ambiental por lo que se supone que este tema tiene gran influencia en sus decisiones. Sin embargo, los conceptos del público no siempre están alineados con la realidad. Para cambiar la mentalidad de la gente se necesita conocer cuáles son estos conceptos fundamentales y afrontarlos de la mejor forma posible.

Uno de los principales temas a tratar es el costo de los materiales y mano de obra de construcción. La aceptación de nuevas tecnologías está relacionada con el precio de esta. Si no es competitiva en el mercado, se necesitaría programas gubernamentales que incentiven su uso hasta que los costos de producción sean igualados a sus competidores. Sin embargo, según Andrew Waugh, cuando se construyó el edificio de madera, Stadhaus, este “presentó un costo prácticamente igual a que si se hubiera hecho de hormigón. Tomando en cuenta que se realizó en 2009 en Londres y, por lo tanto, se usó una tecnología incipiente que estaba en sus inicios.” (Waugh, 2010) Si no se da este tipo de ventajas, se puede promocionar como un producto exclusivo en el que su consumo no sería masivo al inicio y estaría destinada a proyectos muy específicos en las ventajas de la madera compensen su costo. Una vez que el producto está bien posicionado en el mercado, se puede buscar formas para masificar su producción y así poder tener un precio

competitivo “El desarrollo global de la construcción en madera tiene el potencial de dinamizar la bioeconomía forestal.” (Dieste et al., 2018)

Pero también es necesario tener en cuenta el potencial que puede tener la construcción con elementos de madera laminada, ya que en el diseño arquitectónico tiene diferentes usos para dar una experiencia diferente “Se considera que los edificios de madera tienen el potencial arquitectónico de crear una experiencia urbana más agradable, relajada, sociable y creativa.” (Ramage et al., 2017)

Para el caso de la cultura de la construcción, los códigos y/o normas de construcción de madera laminada no tiene más de 15 años “En 1990, las estructuras de madera estaban limitadas a dos plantas por los códigos prescriptivos nacionales. En 2010, la mayoría de los códigos europeos permitían las estructuras de madera de más de cinco plantas cuando se demostraba su cumplimiento mediante el rendimiento.” (Wiegand & Ramage, 2021)

El impacto ambiental

Una de las características más importantes que tiene la madera laminada como material de construcción, es el ahorro de energía necesaria para su producción, manufactura, transporte e implementación “Para empezar, la industria de la construcción es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones totales de CO₂ a nivel mundial. El hormigón es el segundo material más utilizado en el mundo después del agua, y solo este material contribuye con alrededor del 8% de las emisiones totales de CO₂.” (Ramage, 2019)

Especialmente al compararlo con los materiales que actualmente son más populares para cualquier tipo de construcción (concreto y acero) “Los componentes de los edificios de madera consumen solo el 50% de la energía necesaria para producir hormigón y apenas un 2% de la

necesaria para producir acero.” (Ravenscroft, 2017) Además, no solo se tiene que tomar en cuenta que se reduce la cantidad de energía, sino que además tiene un menor impacto ambiental, aun con su insignificante contaminación “Desde la extracción de la materia prima hasta el derribo del edificio al final de su larga vida útil, se descubrió que la madera tiene una huella ambiental más benigna que el acero o el concreto en cuanto al uso de energía, las emisiones de efecto invernadero, las emisiones al agua y la producción de desechos sólidos”. (APA, 2019)

Para el caso de la tala de árboles que muchos creen que vendría siendo el problema principal del uso de la madera laminada, se tiene que este es un concepto erróneo ya que según Blanchet & Brenton, “un buen uso de esta materia prima lograría que estos árboles se usen como herramienta de captación de carbono.” (Blanchet & Breton, 2020) Por lo tanto, los árboles actúan como esponjas que absorben CO₂ de la atmósfera. “Un bosque joven y en crecimiento produce 1 tonelada de oxígeno y absorbe 1,4 toneladas de CO₂ por cada tonelada de madera que almacenada” (APA, 2019).

RESULTADOS

Limitaciones reportadas de parte de los profesionales	
a. Limitaciones en la cadena de producción.	Masa boscosa limitada en la actualidad.
	Falta de industrialización de la madera.
	Falta de productos y mano de obra especializada.
	Falta de conocimientos para el mantenimiento.
b. Limitaciones culturales de la industria de la construcción.	Perdida de cultura de la construcción en madera.
	Aceptación del material por parte de los profesionales.
	Desconocimiento y desinterés de la población sobre las prestaciones del material.
c. Mercado limitado.	Demanda necesaria para sustentar la industrialización del producto.
d. Limitaciones por parte de las entidades de control.	Ineficiencia de entidades que controlan la producción de materia prima.
	Falta de normas que regulan el proceso constructivo.

*Tabla 1: Limitaciones reportadas de parte de los profesionales***a. Limitaciones en la cadena de producción**

En cuanto al proceso de producción y manufactura, hay un consenso de que no existe la capacidad industrial ni la materia prima necesaria para realizar de manera adecuada madera laminada en masa. Daniela Cadena dice “no tenemos la gran masa boscosa que por ejemplo tiene Chile o Argentina para poder industrializar grandes cantidades de madera, tampoco contamos con fábricas industriales que te permitan generar esta línea de producción que es necesaria para poder abaratar costos.” (D. Cadena, comunicación personal, 2022) Esto se respalda con el comentario de Ignacio Bustamante “se hizo un programa de incentivos forestales con los cuales se plantaron 27000 hectáreas. Pero al menos deberíamos llegar en un corto plazo a 150,000 hectáreas.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022) También comenta que en el país tenemos ciclos forestales más eficientes por lo que se puede aumentar la producción rápidamente “Aquí solo hay ventajas. Nuestros ciclos forestales como el del eucalipto, en el que puedes producir en la costa con ciclos de 6 a 7 años, eso no puede ningún país del mundo. El pino en Finlandia o en cualquiera de los países nórdicos toma 30 o 35 años, aquí puede tomar 15 años.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022) Sin embargo, “si bien el crecimiento de estos árboles es más rápido, se tiene una reducción en la resistencia de la madera.” (P. Negrete, comunicación personal, 2022) Además, hay que tener en cuenta la zona y las especies a utilizar “Por ejemplo, el Eucalipto es propenso a que le entre la polilla, el pino es un poco más resistente porque tiene más resina. El tema de hongos también es importante, a casi todas las maderas las ataca en mayor o menor grado.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022) Guido Días también cree que “nuestros bosques son bosques sin control, por ejemplo, no eliminan los brotes de ramas del árbol entonces la madera es

mucho más débil que en los países donde tiene bosques planificados para que toda la madera sea homogénea.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022)

El proceso de manufactura, también presenta dificultades como relata Augusto Arguello que fabrico madera laminada para exportar y dice “El único problema fue la pega porque en ese momento la pega recomendada no se encontraba en el país aunque el proveedor de pegas en seguidita nos ayudó a importar y la trajimos, pero ese fue el único problema porque lo demás es bastante sencillo en realidad” (A. Arguello, comunicación personal, 2022) Con respecto a los adhesivos, Guido Díaz opina lo mismo y dice “ninguno de los materiales con los que se hacen las pegas son productos nacionales, se tienen que importar y son muy costosos, entiendo que la mayor parte son derivados del petróleo.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022) Si bien no se cuenta con una industria de adhesivos para esta producción, se comenta que el resto del proceso es sencillo si se realiza de manera semi artesanal “O sea el proceso es cortar la madera en las piezas que tú quieras, luego está el sistema de prensado que es sencillo y nosotros hicimos una prensa para hacer 230 vigas de 12 m de largo.” (A. Arguello, comunicación personal, 2022) Según Fernando Fuentes, uno de los problemas que él encuentra es el proceso de curado “el proceso de tratarla es muy delicado, el secado debe ser con técnica, así mismo eliminar los hongos y utilizar químicos para su preservación” (F. Fuentes, comunicación personal, 2022) Para ser claros, la mayoría de los entrevistados concordaron que el proceso si bien presenta problemas, es relativamente sencillo como lo describe Ignacio Bustamante “yo no creo que hay un problema en la manufactura. Es un proceso relativamente sencillo. Lo que haces finalmente, es sacar láminas/tablas a partir del desenrollo del tronco que luego vas uniendo y usas estos tableros para hacer una viga maciza. Esa unión puede ser hecha de manera industrial o artesanal. Finalmente, lo que necesitas es una prensa para compactar, pero tampoco es una prensa de dimensiones extraordinarias, es decir es una prensa

que tiene que llegar a 10 o 12 kg/cm². Mientras que para la producción del aglomerado necesitas llegar a 40 kg/cm². Tú también necesitas un proceso de secado, obviamente en un horno, pero ahí depende un del grado de tecnificación qué quieras.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022)

En cuanto a la implementación, se estableció que es crucial prefabricar los elementos en línea para disminuir costos, mano de obra y aumentar la velocidad de instalación. “hay que industrializar para poder mejorar tiempo, calidad y obviamente costos.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Para esto, el entrevistado sugiere que se tiene que arrancar con proyectos fáciles y dice “creo que hay que arrancar conveniente con prototipos de vivienda sencillos y fáciles de armar.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Ya que también considera que este material es mucho más fácil al momento de su implementación “en cuanto a la construcción, la madera tiene todas las ventajas, no necesitas una infraestructura muy grande, puedes tener un pequeño carro grúa que no es un problema. Llega un camioncito con las vigas ya bien identificadas, eso se descarga en la obra, y se ensambla. O sea, yo no le veo ningún problema, no es un tema muy complejo.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) También se habla de que al no existir tecnología que simplifique y masifique la producción de dicho material, hace que este sea más costoso. Como menciona Augusto Arguello “es más costoso, un poco porque no está desarrollada la tecnología, en cambio en todo lo que es cemento y metal hay una tecnología o sea tú encuentras en cualquier lado el bloque, el cemento, el hierro, eso está muy extendido. En cambio, en madera la mano de obra no es la más común.”(A. Arguello, comunicación personal, 2022) Respaldando la anterior afirmación, Guido Díaz comenta que “no se tiene una base de producción suficiente como para soportar el desarrollar una tecnología adecuada.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022) Según William Fuentes, se necesita “tecnología extranjera en las fábricas para el proceso de curado y procesamiento de la madera” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022)

Una de las cosas más importantes para la aceptación y uso efectivo de un material es su mano de obra. Como lo especifica claramente William Fuentes, “Toda innovación que ha llegado al país, dentro de los sistemas constructivos, tiene como primer problema, la falta de mano de obra calificada.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022) Para que se introduzca el material, primero debe tener la aceptación de proveedores y distribuidores “hasta que los proveedores y distribuidores entrenen y dan cursos a la mano de obra, los constructores no podrán garantizar un buen trabajo.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022) Esto también concuerda con la opinión de Gustavo Enríquez que dice “Aquí realmente hay una resistencia al uso de materiales nuevos, sí bien es cierto, puede ser también porque no existe la capacitación necesaria para la instalación o el mantenimiento de este tipo de sistemas.” (G. Enríquez, comunicación personal, 2022) Fernando Fuentes también añade que “para la calificación de mano de obra toca invertir tiempo para especializarla ya que a los trabajadores no les gusta capacitarse.” (F. Fuentes, comunicación personal, 2022) Sin embargo, Daniela Cadena comenta que “en Manabí se está generando una escuela taller para justamente calificar mano de obra que tenga la posibilidad de construir de manera eficaz en zonas de bajos recursos para que las personas puedan trabajar de manera colaborativa en minga”. (D. Cadena, comunicación personal, 2022)

Otro tema que resaltó bastante es el mantenimiento por lo que nuestros entrevistados mencionaron que es imperativo que la madera sea tratada para soportar, diversas afecciones de la naturaleza. Gustavo Enríquez opina que “la madera se blanquea una brutalidad aquí en el Ecuador, los rayos UV son el principal problema en la zona ecuatorial. (G. Enríquez, comunicación personal, 2022) Fernando Corea también dice que “El material debe ser fácil de mantener, las polillas, otras plagas y todo lo que afecte a estos elementos son hábitos para considerar el mantenimiento.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) En su experiencia, Guido Díaz expresa su interés en

fomentar la formación de materiales nobles como la madera “Como yo estoy vinculado a temas de preservación y rehabilitación de edificaciones, por supuesto eso me interesa muchísimo y estaría encantado de fomentar el uso de materiales nobles para poder seguir usándolos, pero no veo que exista una Academia.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022)

Con respecto a la resistencia que tiene el material surgieron los siguientes comentarios, muchos relacionados al tema de plagas, sismos y fiabilidad estructural. Como menciona Augusto Arguello “la ventaja de la madera laminada es que puedes lograr piezas con mucha mayor resistencia, puedes mejorar el diseño. Por eso, me parece que si no se extiende su uso es por la falta de conocimiento.” (A. Arguello, comunicación personal, 2022) De igual forma, Gustavo Enríquez se sorprendió de la capacidad estructural de este material, y dice “nos sorprendió la fiabilidad que nos daba este tipo de sistema. Para la cubierta, llegamos a hacer una viga curva que tenía un peralte de 98 cm y 35 cm de ancho. Eso nos permitió tener una luz de 8.5 metros.” (G. Enríquez, comunicación personal, 2022) Por eso se menciona que para que este material sea difundido “es importante que el producto cumpla con estándares de seguridad para que el constructor se sienta cómodo de recomendarlo y venderlo al cliente.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022) Sin embargo, a pesar de las cualidades que mencionaron los entrevistados, también hay que tomar en cuenta que “el punto más crítico va justamente del lado de la seguridad. Estamos en una zona sísmica fuerte como tal, por eso, realmente se debe promulgar la resistencia que tiene la madera en este tipo de sistemas constructivos.” (G. Enríquez, comunicación personal, 2022) También uno de los factores que da seguridad es la resistencia al fuego, Fernando Correa menciona que “No es que la estructura no se va a dañar en un incendio, sea de hormigón o sea de acero. La estructura de acero colapsa porque en un incendio se derrite. El hormigón tienes las varillas embebidas en hormigón, por eso tiene una mayor capacidad de aguantar, pero llega el momento

en el que también las mismas barras se funden y colapsa el edificio. Básicamente, lo importante es cuánto tiempo yo doy a la gente para que pueda evacuar.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) También menciona la importancia de su utilidad en diferentes entornos dada la variabilidad climática del Ecuador. “Hay que ver si esta opción se la puede implementar tanto en la costa como en la sierra, es multi climática o no. Realmente lo que pasa es que generamos una solución de vivienda y queremos implementarla en todo lado y si no es así ¿entonces qué tan adaptable es el sistema?” (F. Correa, comunicación personal, 2022)

b. Limitaciones culturales de la industria de la construcción

Según Ignacio Bustamante, “el primer problema es cultural. Esa es la esencia, no estamos acostumbrados a usar la madera para la construcción.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022) Sin embargo esto no siempre fue así, Fernando Correa comenta que “Acá fue una pena que se tenía la cultura de madera y se fue perdiendo. Pero eso también es importante que tú analices históricamente.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) A la vez que Guido Díaz dice “Mira es que no son nuevos materiales piensen que son todo lo contrario, son materiales antiguos.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022) Daniela Cadena opina prácticamente lo mismo y menciona que “nosotros tenemos construcción o tradición constructiva en madera desde hace siglos, o sea el acero y el hormigón aparecen hace poco, no más de 150 años. En la colonia se construía con madera con piedra y con otro tipo de materiales entonces nosotros tenemos una tradición constructiva en madera y con gran bagaje.” (D. Cadena, comunicación personal, 2022) Entonces, hay una predisposición de parte de los profesionales para recuperar la cultura de construcción en madera y esto hay que cambiar en las nuevas generaciones. “antes se construía con madera, más bien son las nuevas generaciones las no han evidenciado proyectos con estructura de madera. Ya sea madera sólida o madera laminada.” (F. Correa, comunicación personal, 2022)

Dadas estas premisas, los entrevistados mencionaron algunas recomendaciones para regresar al uso de este material ya que no es tarea fácil “Yo te diría que es realmente difícil introducir un nuevo material el país ya que la gente se deja llevar por las recomendaciones de los demás. Sí o si quieren ir a lo seguro, con decirte que la estructura metálica aun no es común en el Ecuador.” (G. Enríquez, comunicación personal, 2022) Según Ignacio Bustamante, en su experiencia, este es un tema que se mitiga con el tiempo “A nosotros nos ha pasado, con la madera, hace 40 o 50 años, el tablero aglomerado de partículas no era ni el 5% de los componentes de una vivienda. Hoy resulta que hay más maestros que saben trabajar tableros que madera sólida. Eso se da porque culturalmente hemos ido conociendo el tablero aglomerado a lo largo del tiempo.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022) También comenta que en la construcción “un freno, es del consumidor final que al preguntarle si quiere una casa de madera, te dice que tiene miedo, que se va a caer, pero cuando hay un terremoto, es la única que resiste. Pero hay ese miedo y la gente normalmente se siente más cómoda con una construcción en concreto.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022)

Entonces para acelerar el proceso de aceptación, Fernando Correa recomienda “tal vez hacer un show dónde puedas ver columnas, vigas, paredes, todo, y demostrar a la gente que efectivamente funciona. Esto puede ser la base para hacer algo interesante. Después hablar con los arquitectos, que tienen esta visión de sostenibilidad y qué tal vez les gusta mucho los materiales nobles, y si su concepción arquitectónica (sostenible) la pueden ofrecer a sus clientes.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Para el entrevistado, es fundamental que esta introducción sea llevada por los profesionales de la construcción “El tema formal debe ser llevado por los gremios, los profesionales, los diseñadores, tal vez de hacer un marketing de concientización para que la gente comience a escuchar y decir “a, ve es interesante que puedo hacer esto y lo otro”. (F. Correa,

comunicación personal, 2022) Sin embargo, la construcción informal también ocupa un lugar importante en el mercado. “Dentro del tema informal, que ahí es donde nuestros trabajadores están, ellos hacen sus medias agüitas con lo que ellos conocen. Por eso es por lo que tú vas a ver que el 99% es de hormigón y bloque, pero, capaz si ellos trabajaban en empresas con madera, ya no se vuelven herreros o albañiles, sino que se vuelven otra vez carpinteros y capaz ahí sí se puedan hacer sus medias agüitas con columnas y vigas de madera cómo se hacía antes.” (F. Correa, comunicación personal, 2022)

No solo el tema cultural en la construcción es importante, el manejo de las plantaciones también tiene un componente cultural bastante importante. “En cambio, resulta que el tema forestal no ha tenido el impulso del caso, no solo no ha tenido el impulso, si no, ha tenido una serie de barreras. La sociedad no concibe que, si tú plantas una hectárea de maíz, ¿qué controles y permisos de restricciones tienes? Ninguno. Tienes la tierra en la que se hace la siembra, se siembra el maíz, se lo vende y fin del tema. En los bosques debería ser igual.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022) Hay que mencionar que Augusto Arguello considera que se tiene una percepción errónea de que, si la demanda de madera aumenta, los bosques disminuyen. “Es importante que la gente entienda que la manera de tener bosques es que alguien consuma esos bosques, pero claro la mala nota de los bosques que si no les cuidas son basura.” (A. Arguello, comunicación personal, 2022)

Fernando Corea menciona que “hay que arrancar con vivienda y ojalá pueda ser vivienda social que puede ser hecha por empresas públicas o privadas.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Esto con él fin de ayudar a la gente de bajos recursos y a la vez es una vía de introducción del material para poder ganar experiencia, pero hay que tener en cuenta que “si tú haces una vivienda de interés social, a esa persona que piensa ¿En dónde consigo trabajo? ¿Cómo pago el

colegio de mis hijos? tengo un familiar enfermo, etcétera. O sea, me entiendes que desde su perspectiva va a ser difícil decir que sí. Entonces si tú no tienes ciertos temas básicos de las personas resueltos, las prioridades de esas personas serán otras. Entonces ese es un problema muy *heavy* que tenemos aquí en nuestros países. Pero creo que, en la generación de ustedes, si hay otro chip.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) De todas formas, dice que “es importante que, en toda la cadena, todo el mundo esté consciente del tema ambiental y que no solamente sea el consumidor el que te pida un producto amigable con el medio ambiente.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Uno de los puntos más importantes es la capacidad de los profesionales de vender el producto como dice William Fuentes “Los profesionales pueden entender las prestaciones de un buen producto, pero convencer al cliente, es otra cosa diferente. Por lo general, las personas no van a arriesgarse y gastar su dinero en un producto que no conocen.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022) Por eso, indica que lo más importante es “Dar confiabilidad a los constructores. Si es un buen producto, se da buen asesoramiento y se dan garantías, creo que no habría problema. Ahí está el papel del profesional de conocer lo suficiente mente bien el producto como para poder recomendar al cliente.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022)

También hay que mencionar que este es un tema que requiere innovación y actualización de parte de la industria y esto lo deben realizar los profesionales. “En nuestra profesión, siempre será muy importante tener alternativas, no siempre se va a trabajar con hormigón o acero que es lo usual. Lo lindo será tener nuevas alternativas.” (F. Fuentes, comunicación personal, 2022) Pero, al inicio, se puede encontrar cierta resistencia. “conozco lo que piensan nuestros colegas tanto ingenieros como arquitectos, y quienes están ya un poquito avanzados es muy difícil cambiar la concepción para introducir nuevas enseñanzas. Entonces si no conocen, no se actualizan en los conocimientos, no van a conocer nuevos procedimientos y por lo tanto tampoco van a querer

apostarle a eso.” (F. Fuentes, comunicación personal, 2022) por eso “Necesitamos profesionales, ingenieros y arquitectos, que pueden diseñar y construir con estos materiales.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022) Según William Fuentes, “si hay muchos profesionales en esta industria a los que les gusta innovar” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022) Un ejemplo es Guido Díaz que opina que “todos quisieran poder trabajar con esto, todos quisieran poder tener una madera en condiciones adecuadas para poder trabajar y para poder usarla.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022)

Finalmente, hubo algunas menciones de la influencia del componente estético y visual sobre la cultura. “yo uso y he usado los distintos derivados que tienen que ver con la madera, como por ejemplo el placer, el placer de estar en un ambiente que cumpla condiciones estéticas, no solamente funcionales, sino que también estéticas y agradables.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022) Para Augusto Arguello es importante que las casas vendan el valor estético que tienen “la forma es vender las ventajas que tiene la madera como una casa sana, que es mucho más sana que la casa de vigas y columnas de hormigón, es mucho más bonita o sea mucho más agradable a la vista, también es más rápida de construir. Yo digo que es el diseño lo que manda ahí.” (A. Arguello, comunicación personal, 2022) Sin embargo, para Fernando Correa este tipo de clientes es limitado “será muy específico el cliente que quiera su casa, su industria o su edificación con este tipo de material. Será tal vez, por un concepto estético más que por un concepto económico. Entonces sí consideran todas estas cosas, ya es un material que puede competir fácilmente con el acero y con el hormigón y eso podría ser muy interesante.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Además, se tiene que considerar el tipo de ahorro que se tiene por temas estéticos de acabado. “La madera es muy noble y tiene muchas prestaciones, entre ellas, sí puedes tener un buen terminado en la madera, no necesitas otros gastos que si los requieren en el hormigón y el acero. Por ejemplo, una

columna se tiene que enlucir, estucar, luego pintar o grafiar. En cambio, en la madera, si al inicio le das un buen acabado que satisfaga al cliente, te vas a ahorrar muchos gastos y esto se puede lograr por la ventaja estética que tiene naturalmente la madera.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022)

Para concluir el tema cultural, se mantuvo una fuerte opinión sobre la influencia de los profesionales en la construcción “Si hay profesionales que se dedican a la producción en madera por que la conocen y confían en sus capacidades. Si se logra dar confianza a los constructores, creo que la madera si puede sustituir al hormigón en ciertas facetas de las construcciones hasta que la gente se acostumbre a su uso.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022)

c. Mercado limitado

El tamaño del mercado es otro tema en el que se puso mucho énfasis por parte de los entrevistados. Hay una general preocupación por el tamaño del mercado actual. Daniela Cadena dice “uno de los de los grandes problemas que se tiene para la introducción de este material por el momento es que no existe la demanda de este.” (D. Cadena, comunicación personal, 2022) Además, a Fernando Correa le preocupa el abastecimiento de materia prima ya que se destina para otros fines “tienes dos industrias muy grandes que consumen muchísima madera, y lo que ellos hacen es plywood, los MDF” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Entonces también se menciona que la falta de demanda ha frenado esta industria como lo menciona Guido Días “la empresa Robalino cada vez se ha ido achicando en vez de ir creciendo la empresa se le veía como una gran empresa ahora ya se le ve como una cosa muy pequeña porque no tienen demanda,” (G. Días, comunicación personal, 2022) Entonces, dice que “sería realmente muy bueno poder hacerlo, a lo mejor si se integran algunos países para que puedan calcular cuánta demanda tendríamos en América completa, para que se pueda desarrollar una industria vinculada con el uso de la madera

estructural y poder prefabricar,” (G. Díaz, comunicación personal, 2022) ”Mira yo creo que en primer lugar se tiene que calcular la demanda posible, la demanda posible no es en averiguar si es que le gusta o si es que no le gusta a la gente, le va a gustar si es que se logra tener un producto que cubra sus intereses, los arquitectos van a estar encantados de diseñar casas con ese material si es que se mantiene a la mano y está disponible.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022) Entonces, al hacer un estudio de demanda, se puede definir el nivel con el que se puede comenzar “Ese grado de tecnificación, depende de qué volúmenes tú esperas vender con ese producto. Ahí es donde yo encuentro qué es el problema, el limitante es el mercado.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022)

El Ecuador que es un país en vías de desarrollo, el tema económico es muy importante “Para que un material pueda utilizarse acá en el Ecuador, ese material no debe ser caro. Eso va a generar un tema prohibitivo” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Sin embargo, Guido Díaz propone que el material debe usarse conjuntamente con los existentes “entonces yo no creo que el objetivo sea ver cómo se minimiza el costo para que reemplace al cemento. Yo creo que cada vez los diseñadores pueden desarrollar formas más interesantes con nuevos materiales y la industria debe apoyar eso.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022) Además, se tiene una tendencia al aumento del costo de mano de obra en el país que va a favorecer la industrialización “la construcción tiene que industrializarse. La mano de obra cada vez es más cara y estos \$25 que subió el gobierno este año, va directo a la vena a todos los proyectos. El próximo año serán otros 25 y así sucesivamente. Además, todo material que se tenga que importar es complejo, todos los materiales de acero como las varillas de ciertos elementos necesitan importar chatarra. El cemento también necesita mano de obra porque tienes canteras que explotar. Entonces, mientras menos procesos, menos mano de obra, y más industria, en teoría deberíamos tener un producto más

económico y hacia allá debería ir cualquier sistema constructivo. Y eso tiene que trasladarse en menores costos y mayor velocidad de edificabilidad.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) Finalmente, William Fuentes opina que “La madera que se usa aquí en construcciones, es madera cara que además es difícil de tratar y muchas veces esta en veda por su difícil reposición, en cambio, el pino no se usa en este producto, eso sería muy bueno porque abaratarían costos.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022)

d. Limitaciones por parte de las entidades de control

Los entrevistados concuerdan que para que se desarrolle del mercado es necesario tener leyes que respalden todo el proceso. Según Fernando Fuentes, se necesita “una entidad de control, que se preocupe de hacer las cosas bien en la tala de lo que necesitan las empresas constructivas.” (F. Fuentes, comunicación personal, 2022) Por ejemplo, “los bosques metropolitanos de Quito están lindos, pero son muy proclives a un incendio, están mal manejados inclusive el potencial maderero que tienen está desperdiciado.” (A. Arguello, comunicación personal, 2022) Esto se respalda con los siguientes comentarios “Hay muchas maneras de poder llevar unas plantaciones forestales de manera eficiente, pero aquí está el gran “pero” del Ecuador que no cuenta con una política pública fuerte como para poder hacer frente a estos a estas plantaciones” (D. Cadena, comunicación personal, 2022) “El otro tema con los árboles, y que creo que aquí no hay, es una cultura para generar manejo de plantaciones sostenibles y con buenas prácticas.” (F. Correa, comunicación personal, 2022) “todavía tenemos problemas de bosques primarios de esa naturaleza. No tenemos un inventario del bosque en el Ecuador, no hay el inventario de bosques tropicales no hay un inventario de bosques amazónicos, no sabemos cuánta madera hay. El Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Ambiente que son los que están vinculados con este tema, no tiene planes de manejo sobre esto.” (G. Díaz, comunicación personal, 2022) También se

propone una solución para contrarrestar este problema “En el Ecuador, yo no te puedo decir que haya problemas en sí. Más bien, creo que han faltado incentivos en la industria forestal. En general, en el mundo se ha desarrollado esta industria en función de que los países crearon incentivos y promovieron las plantaciones comerciales.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022) Argumentando que “Cuando tú haces una plantación forestal tienes que informar al Ministerio del Ambiente. Cuando quieres cortar, tienes que informar y pedir un permiso de corte. Cuando quieres transportar necesitas un permiso para transportar la madera. Entonces la sociedad todavía no concibe que las plantaciones son un cultivo. Por una parte, no hay incentivos y por otro lado hay una cantidad de frenos, pero el Ecuador tiene absolutamente todo.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022)

Finalmente, se mencionó que se tiene que actualizar las normas ecuatorianas para poder trabajar con este material. “Si tú quieres impactar en la formalidad, tienes que irte a las autoridades para que hagan los códigos y tú puedas diseñar bajo el código la estructura de madera sólida, laminada, de hormigón prefabricado etc. Para hacerlo, debes tener las normativas. Si no tienes la normativa, no vas a poder construir porque no te va a dar los permisos.” (F. Correa, comunicación personal, 2022)

Con respecto al contexto ambiental, “algo sumamente importante es que el Ecuador es parte de del convenio de París y justamente en ese convenio de París se habla de que hay una agenda 2030 en la que debemos como naciones reducir los gases de efecto invernadero. Entonces, justamente, reducimos usando este tipo de materiales que al momento absorben mayor cantidad de CO₂.” (D. Cadena, comunicación personal, 2022) Se sustenta esta situación, con el siguiente comentario “¿Qué hace un árbol? Un árbol secuestra carbono. Entonces se secuestra el carbono y se genera oxígeno. El momento que tú talas un árbol, todavía no estás liberando carbono. El

momento en el que tú haces una viga o una columna, no estás liberando el carbono. El momento que tú liberas carbono es cuando lo botas para que se pudra o se queme. Ahí es donde está liberando carbono y entonces claro es un material que por sí solo secuestra carbono. En el caso del cemento, por ejemplo, en los Clinker (Cemento Portland), su proceso requiere muchísima energía, entonces tú liberas carbono. En el caso del acero, desde que en la mina se captó el hierro y luego se realizó el acero, se usa muchísima energía, liberas carbono.” (F. Correa, comunicación personal, 2022)

Para Augusto Arguello, es imperativo el consumo de madera para la preservación de los bosques. “Es un criterio erróneo el hecho de que ahora la gente piense que no hay que toparles a los árboles más bien es todo lo contrario si no usamos los árboles, a nadie le va a interesar sembrar árboles.” (A. Arguello, comunicación personal, 2022)

Ignacio Bustamante, no encuentra ningún problema en el consumo responsable plantaciones forestales “¿Problemas ambientales? No todo lo contrario, porque cualquiera de las plantaciones forestales por concepto es favorables al ambiente. Entonces es todo lo contrario, la industria maderera es de las pocas industrias que cuando tienen plantaciones propias pueden mostrar una huella de carbono neutro. De tal manera que ambientalmente es todo lo contrario, es absolutamente favorable. Toda la contaminación o la absorción del CO₂ que tiene la madera frente al concreto o a cualquier producto de metal o acero tienen una diferencia abismal. Así que ambientalmente solo es positivo, solo tiene ingredientes positivos.” (I. Bustamante, comunicación personal, 2022)

William Fuentes, opina que no solo se debe considerar el impacto ambiental, también el impacto que se tendrá en otros sectores agrícolas “Bueno, si es que es una plantación ambientalmente controlada y su producción sea sustituible de manera cíclica, entonces creo que no habría problema. La situación se da en ciertos sectores de la sierra ecuatoriana, si se plantan demasiados árboles, esto puede acabar con muchos terrenos. Los árboles, si bien llaman mucho a la humedad, también absorben una gran cantidad de agua y no dejan suficiente para la

agricultura de otros productos. Por eso deben analizarse los terrenos para no afectar otro tipo de plantaciones.” (W. Fuentes, comunicación personal, 2022)

DISCUSIÓN

A primera vista, los entrevistados dan un dato importante sobre la producción de materia prima (masa boscosa) en el país, y es que actualmente no se cuanta con la cantidad necesaria de árboles (de tipo coníferas) para la masificación del producto. Una de las razones por las que Ecuador no ha explotado su potencial forestal es la falta de disposición e interés de parte de las entidades de control. Esto ha llevado a una falta de conocimiento de las características forestales que se tiene, además de tener procesos ineficientes que entorpecen la cadena de producción forestal caso que no se tiene en otros sectores agrícolas. Sin embargo, el Ecuador cuenta con características muy competitivas en cuanto a los ciclos de plantaciones forestales que dan una ventaja en cuanto al tiempo de producción.

La tala de árboles (nativos) indiscriminada ha llevado a la concepción errónea de que toda tala de árboles es perjudicial para el ambiente. Sin embargo, estas plantaciones son diferentes, deben ser controladas y deben cumplir ciclos de reforestación. Se tiene que tomar en cuenta que el aumento de este tipo de plantaciones puede a tener un impacto por el alto consumo de agua que requieren, como afectar otro tipo de plantaciones. Aun así, se tiene un consenso por parte de los entrevistados de que el impacto ambiental es positivo si se lo compara con el impacto que producen otros materiales de construcción como el hormigón y el acero. Esto concuerda con la información obtenida en la literatura.

En cuanto a la manufactura, se debe tener un proceso para cuantificar las capacidades físicas que tiene la madera y poder destinarla a diferentes usos. También es necesario tener una

mano de obra calificada para el manejo de la maquinaria necesaria para el proceso de manufactura en masa. Estas máquinas se tienen que importar de otros países y esto dificulta la capacitación. Tanto los entrevistados como la literatura concuerdan en que, en realidad, este no es un proceso complejo, si requiere maquinaria industrial, pero esta es bastante común en otros países. Un inconveniente bastante importante es que los adhesivos para el ensamblaje de las piezas que cumplen con los requerimientos no se producen en el país, por lo tanto, deben ser importados y esto aumenta su costo.

En cuanto al proceso constructivo, según la literatura, es bastante sencillo ya que prácticamente todas las piezas son prefabricadas y su instalación requiere habilidades de carpintería básicas. Según los entrevistados, hay opiniones diversas. Algunos opinan que la actualización para este método constructivo va a ser tedioso y no van a invertir tiempo ni dinero en su capacitación o la de sus empleados. Otros creen que no habrá problemas por su facilidad de transporte y ensamblaje frente a otros métodos. Una preocupación que surgió es la reacción que tendrá la madera en diferentes climas y, por lo tanto, puede requerir diferentes tratamientos.

Con respecto al tema económico, es fundamental que el precio de salida sea competitivo, ya que esto va a ser uno de los aspectos más llamativos para su introducción en el mercado ecuatoriano. Esto debe ser tomado en cuenta ya que en los próximos años se tendrá un incremento en el costo de mano de obra lo que favorece los sistemas constructivos con elementos prefabricados y de rápido ensamblaje. Por eso es crucial aumentar la eficiencia del proceso constructivo para disminuir costos y que sea llamativo tanto para el uso formal como informal en Ecuador.

Hay que tomar en cuenta que cualquier producto depende de la oferta y demanda que tiene en el mercado. Ya que no existe ni oferta ni demanda grande en el país, algunos entrevistados sugirieron que este material debe ser implementado primero en viviendas sencillas de ayuda social

para que tanto el público como los profesionales se familiaricen con el producto, y la inversión inicial sea menos riesgosa. Además, se tiene que exponer este material en ferias de la construcción para que los profesionales conozcan sus características físicas, estéticas, etc. Por lo que es importante que confíen en el material para poder promocionarlo a sus clientes. Hay que recalcar que las características estéticas del material son una de sus mayores ventajas porque es agradable para los clientes y también beneficia al constructor por el ahorro en acabados. Esto puede compensar la brecha económica que puede haber frente a otros sistemas constructivos más baratos.

En el caso de tener introducido el material, la mano de obra y mantenimiento es fundamental para que sea atractivo su consumo a largo plazo. En cuanto al mantenimiento, las mayores amenazas descritas por la literatura son: la humedad, las plagas y el fuego. Sin embargo, para los entrevistados, la humedad y las plagas fueron un tema de preocupación, en cambio el fuego fue un tema que consideraron incluso menos riesgoso que en otros métodos constructivos. La opinión de la población general puede diferir de la de los profesionales ya que, por lo general, el público no conoce las capacidades de los métodos constructivos. Un tema que resaltó por parte de los entrevistados, que no se dio mayor importancia en la literatura, fue la decoloración por rayos UV. Hay que considerar que tiene mayor fuerza en la zona ecuatorial, y la mayoría de los países que usan este material se encuentran en las zonas templadas (norte y sur) del planeta. Por estas afecciones que tiene la madera, es importante tener en cuenta el mantenimiento de la estructura ya que este no es complicado como dice la literatura, pero si es necesario un nivel de experiencia que depende de las condiciones en las que se implemente.

CONCLUSIÓN

Se puede concluir que las principales limitantes para la implementación de la madera laminada en Ecuador son: la actualización de la norma ecuatoriana de la construcción, obstaculización y falta de incentivos de parte de entidades de control, necesidad de implementación de maquinaria y capacitación extranjera, y es necesaria la industrialización para que el sistema constructivo sea competitivo. Se pudo observar que existe interés real de parte de los profesionales en el uso de nuevos materiales amigables con el ambiente para disminuir el impacto que tiene esta industria. Por consiguiente, se puede sugerir que este material es una posible solución para la disminución de las altas emisiones de CO₂ de la industria.

Este estudio preliminar intenta detectar las condiciones culturales, profesionales, políticas, y regulaciones que pueden presentar impedimentos al momento de introducir un nuevo sistema constructivo en el Ecuador. Esto dará paso a nuevas investigaciones que ayudarán a conocer la factibilidad de la implementación de la madera laminada estructural en la industria de la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA. (2019). *Engineered Wood Construction Guide*. 102.
- APA-Form No. Q705. (2014). *APA-4 Best Practices for Gluelam Installation*. Q705.
- APA-Selección y Especificación de Madera Contralaminada (CLT)). (2021). *Selección y Especificación de Madera Contralaminada (CLT)*. 5.
- Arguello, A. (2022). *Entrevista Augusto Arguello* [Comunicación personal].
- Blanchet, P., & Breton, C. (2020). Wood Productions and Renewable Materials: The Future Is Now. *Forests*, 11(6), 657. <https://doi.org/10.3390/f11060657>
- Bustamante, I. (2022). *Entrevista Ignacio Bustamante* [Comunicación personal].
- Cadena, D. (2022). *Entrevista Daniela Cadena* [Comunicación personal].
- Consejo Superior de Arquitectos-AITIM. (2014). *Comportamiento al fuego de las estructuras de madera*. AITIM. www.aitim.es
- Coombs, S. (2018). The development of the building envelope using Welsh-grown timber: A study through prototyping. *The Journal of Architecture*, 23(1), 78–114. <https://doi.org/10.1080/13602365.2018.1424394>
- Correa, F. (2022). *Entrevista Fernando Correa* [Comunicación personal].
- Díaz, G. (2022). *Entrevista Guido Díaz* [Comunicación personal].
- Dieste, A., Baño, V., Cabrera, M. N., Clavijo, L., Palombo, V., Moltini, G., & Cassella, F. (2018). *Forest-Based Bioeconomy Areas*. Universidad de la República Uruguay.
- Enríquez, G. (2022). *Entrevista Gustavo Enríquez* [Comunicación personal].
- Foster, R. M., & Ramage, M. H. (2017). Briefing: Super tall timber – Oakwood Tower. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 170(3), 118–122. <https://doi.org/10.1680/jcoma.16.00034>

- Fuentes, F. (2022). *Entrevista Fernando Fuentes* [Comunicación personal].
- Fuentes, W. (2022). *Entrevista William Fuentes* [Comunicación personal].
- Hermoso, E., Luengo, E., & Cabrero, J. C. (2017). *METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ENCOLADO DE LA MADERA CONTRALAMINADA (CLT)*. 10.
- Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M., & Winter, W. (s/f). *Timber Construction Manual*. Birkhauser.
- Mills, F. (2021, mayo 25). *Why All Buildings Should Be Timber*. The BIM Limited.
<https://youtu.be/ieBVNgMkcpw>.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). *Programa de Incentivos para Reforestación con Fines Comerciales*.
- Negrete, P. (2022). *Entrevista Pablo Negrete* [Comunicación personal].
- ONU. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para America Latina y el Caribe*. Comisi??n Econ??mica para Am??rica Latina y el Caribe (CEPAL). <https://bibliotecadigital.aecid.es/bibliodig/es/consulta/registro.do?control=ES-MAAEC20190011211>
- Petruch, M., & Walcher, D. (2021). Timber for future? Attitudes towards timber construction by young millennials in Austria - Marketing implications from a representative study. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126324.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126324>
- Ramage, M. (2019). *Timber Towers of Tomorrow*. <https://youtu.be/p8PGGmTMjWQ>
- Ramage, M., Foster, R., Smith, S., Flanagan, K., & Bakker, R. (2017). Super Tall Timber: Design research for the next generation of natural structure. *The Journal of Architecture*, 22(1), 104–122. <https://doi.org/10.1080/13602365.2016.1276094>

Ravencroft, T. (2017). *What is Cross Laminated Timber (CLT)?* The B1M.

<https://www.theb1m.com/video/what-is-cross-laminated-timber-clt>

Sutton, A., Black, D., & Walker, P. (2011). *An introduction to low-impact building materials*. 6.

The B1M. (2017). *The World's Tallest Timber Buildings*. The B1M.

<https://www.theb1m.com/video/top-5-the-world-s-tallest-timber-buildings>

Waugh, A. (2010). *Andrew Waugh en Stadthaus* [Mp4]. The Ultimate Renewable TM.

<https://youtu.be/EsX1YO91Do8>

Wiegand, E., & Ramage, M. (2021). The impact of policy instruments on the first generation of

Tall Wood Buildings. *Building Research & Information*, 1–21.

<https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1905501>

Xu, H., Pope, I., Gupta, V., Cadena, J., Carrascal, J., Lange, D., McLaggan, M. S., Mendez, J.,

Osorio, A., Solarte, A., Soriguer, D., Torero, J. L., Wiesner, F., Zaben, A., & Hidalgo, J.

P. (2022). Large-scale compartment fires to develop a self-extinction design framework

for mass timber—Part 1: Literature review and methodology. *Fire Safety Journal*, 128,

103523. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103523>

Zelinka, S. (2018). *Performance of wood adhesives for cross laminated timber under elevated temperature*. 7.