



## **POLÍTICAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE VIVIENDAS Y SUS EFECTOS EN LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA**

### **POLICIES FOR ENERGY EFFICIENCY OF HOUSING AND ITS EFFECTS ON WOOD CONSTRUCTION**

Victorero, Felipe <sup>(1,2)</sup> \*; Pavez, Danny <sup>(1)</sup>; Ugarte, Juan <sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup> Centro UC de Innovación en Madera. Santiago, Chile

<sup>(2)</sup> Facultad de Arquitectura y Estudios Urbanos. Pontificia Universidad Católica. Santiago, Chile

\* Contacto: favictor@uc.cl

CÓDIGO: 4619770

#### **Resumen**

La construcción representa el 40% del consumo energético mundial y un tercio de los GEI, ambos importantes indicadores asociados al calentamiento global, fenómeno que afecta especialmente a países en vías de desarrollo como los latinoamericanos.

En Chile la construcción representa 22,4% del consumo energético y la vivienda el 15,6%, he ahí el esfuerzo en las últimas décadas en el desarrollo de políticas públicas enfocadas a la eficiencia energética de las viviendas. Por lo anterior el 2000 se inicia la exigencia de estándares de aislación térmica en techumbres, siguiendo el 2007 a otros elementos de la envolvente, para el 2014 incorporar nuevas y mayores exigencias de desempeño en zonas con alto consumo de leña para calefacción.

A partir del levantamiento de información estadística, se hizo un análisis del comportamiento de los principales materiales de construcción entre 2002 al 2017 frente a estas distintas políticas públicas. Contrastando estos resultados con simulaciones térmicas, que permitan cuantificar el impacto y los beneficios buscados.

Los resultados muestran que, sin incentivar directamente la construcción en madera, esta ha incrementado su participación luego de la aplicación de dichas políticas públicas. Así, podemos mencionar que en 2002 presenta un 20,6% de participación en el segmento 1 y 2 pisos, pasando el 2017 a un 38,9%, mostrando una tendencia al alza de 1,25% anual. Lo cual es significativamente mayor a la tendencia al alza de 0,53% del hormigón en el mismo segmento, y en contraste con la fuerte tendencia a la baja de un 2,22% de la albañilería.

*Palabras-clave: Políticas públicas, Eficiencia energética, Materiales de construcción, Uso de la madera*

#### **Abstract**

Construction represents 40% of the world's energy consumption and the third of the greenhouse gases emissions, both important indicators associated with global warming, a phenomenon that particularly affects developing countries such as in Latin America.

In Chile, construction represents 22.4% of energy consumption and housing 15.6%, therefore, important efforts have been done in recent decades in the development of public policies focused in houses energy efficiency. Moreover, in 2000, in new regulations requiring thermal insulation standards in roofing began, follow in 2007 by other envelope elements, adding in 2014 new and higher performance requirements for houses in intense wood heating consumption regions. In Chile, construction represents 22.4% of energy and housing 15.6%, therefore, important efforts have been done for the lasts decades in public policies concerning this matter. Furthermore, in 2000 new regulations requirements for thermal insulation in roofing were implemented, followed in 2007 by other envelope elements, and in 2014 increasing these requirements for houses in regions with intense wood use for heating.



The results show that, without directly promoting timber construction, this material has increased its participation after the application of these public policies. Thus, we can mention that in 2002 it has a 20.6% in the segment of 1 and 2 floors, passing in 2017 to a 38.9%, with an upward trend of 1.25% per year. This is significantly higher than the 0.53% upward trend in concrete for the same segment, and contrast to the strong downward trend of 2.22% in masonry.

*Keywords: Public policies, Energy Efficiency, Building materials, Timber use*

## 1. INTRODUCCION

La industria de la construcción representa el 40% del consumo energético mundial y un tercio de los Gases de Efecto Invernadero (United Nations Environmet Programme, 2007), ambos importantes indicadores asociados al calentamiento global, fenómeno que afecta especialmente a países en vías de desarrollo como los latinoamericanos.

En Chile la construcción representa el 22,4% del consumo energético y la vivienda el 15,6% (Ministerio de Energía, 2018), de ahí el esfuerzo en las últimas décadas de autoridades de diferentes gobiernos en desarrollar políticas públicas enfocadas a mejorar la eficiencia energética de las nuevas viviendas y en reducir especialmente las demandas de calefacción asociadas a éstas. En este marco, el año 2000 se inicia la exigencia normativa de valores prescriptivos mínimos de transmitancia térmica para la envolvente de nuevas viviendas, comenzando por la techumbre que es el elemento que presenta mayores pérdidas de calor en una edificación; incorporando estos requerimientos mínimos a muros y pisos ventilados en el año 2007; para luego en el año 2014 incorporar mayores exigencias de desempeño en zonas con alto consumo de calefacción y que presenten altos índices de contaminación atmosférica asociados a la combustión de leña para este fin. Actualmente se plantea llevar estos requerimientos establecidos el año 2014 a todo el país, e incorporar nuevos requerimientos asociados a ventilación y hermeticidad al paso del aire de la envolvente, planeándose su puesta en marcha para comienzos de la siguiente década.

Si bien, durante las últimas décadas, las políticas públicas de las diferentes administraciones del país no se han enfocado en potenciar una materialidad en particular, manteniéndose neutrales frente a los sistemas constructivos presentes en el mercado nacional, si han tendido a la implementación de políticas públicas destinadas a mejorar la eficiencia energética de las viviendas. Esto ha significado que algunos sistemas constructivos tradicionales pierdan competitividad frente a materiales más eficientes y provenientes de fuentes renovables, como los sistemas constructivos basados en el uso de la madera y especialmente los sistemas de entramado ligero. De esta manera, indirectamente se ha ayudado a fomentar el desarrollo de la industria en torno a la construcción industrializada de paneles de madera, permitiendo la aparición de nuevos actores que ofrecen soluciones con mejores prestaciones para la construcción y mayor valor agregado (Corporación Chilena de la Madera, 2019).

Así, el desarrollo de edificaciones de viviendas en madera ha tomado un nuevo impulso en el país, de la mano de proyectos emblemáticos de vivienda como el desarrollo de nuevos barrios de vivienda social de alto estándar en madera (Sierra & Ugarte, 2016) y la apuesta por el desarrollo de edificios de vivienda de seis pisos en madera anunciados por las autoridades de gobierno en el 2018 (Corporación Chilena de la Madera, 2019) (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2018).



Este artículo busca cuantificar los efectos antes descritos, a través del análisis de las tendencias de selección de sistemas constructivos para su uso en la construcción de viviendas en Chile, y en contraste respecto a la implementación de los distintos requerimientos normativos de transmitancias térmicas establecidos para la envolvente de una edificación con mismo destino. Analizando los efectos de estas políticas públicas, en base a los costos de los distintos materiales utilizados por los sistemas constructivos; y la evaluación de sus efectos en la reducción de las demandas térmicas de calefacción, que son el principal foco de estas iniciativas.

## **2. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **2.1. Tendencias de la construcción**

En Chile no existen bases de datos específicas respecto a la materialidad estructural de las viviendas construidas; ya que, si bien herramientas estadísticas como el Censo nacional hacen referencia a la materialidad de las viviendas, esta solo considera los acabados visibles y no permite tener datos confiables respecto a la estructura interior de los elementos que la componen. Por otra parte, si bien cada municipio del país es el encargado de llevar un registro de los proyectos autorizados, no existe una base de datos consolidada a nivel nacional. Es así como la única fuente oficial de información de las tendencias de construcción en Chile, aunque no específicamente diseñada para este fin, es el Formulario Único de Estadísticas de Edificación elaborado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y que debe ser completado cada vez que se solicita un permiso para la edificación de un proyecto. Es importante destacar que dicho formulario no necesariamente se condice con los proyectos edificados en la realidad, pudiendo existir proyectos que no fueron ejecutados.

Así, se realizó un levantamiento de información estadística tomando como fuente de información las bases de datos de INE entre los años 2002 y 2017, que son los años en que el formulario único ha estado en vigencia. El análisis de esta fuente busca como principal objetivo conocer el comportamiento a través del tiempo de la madera y de los principales materiales de construcción para edificaciones con destino residencial en Chile, presentándose sus resultados a continuación.

#### **2.1.1. Comportamiento de los principales materiales de construcción**

La Figura 1 muestra el comportamiento de la construcción en las últimas décadas, presentando un incremento entre el año 2002 al 2006, asociado a las altas tasas de crecimiento del país en ese periodo; seguido de una caída importante entre los años 2006 y 2010, en el marco de la crisis económica internacional de 2008; para luego retomar su crecimiento a partir del año 2010, y especialmente asociado al periodo de reconstrucción en forma posterior al gran terremoto que azotó a la zona centro-sur de Chile en febrero de ese año. Se destaca que, en los últimos dos años de este estudio entre 2015 y 2017, se ha experimentado una fuerte caída, probablemente asociada al menor desempeño económico del país, el término de algunas franquicias tributarias al sector construcción, y a un escenario internacional menos propicio para las nuevas inversiones.



Este análisis también muestra que la superficie autorizada de hormigón está ligada fuertemente a la superficie autorizada total, dando señales de la importancia de este material en el contexto nacional y su asociación a edificaciones de vivienda de gran altura. También es relevante destacar el descenso constante de la albañilería de ladrillo cerámico, la cual prácticamente desde el año 2004 presenta una baja con un leve repunte en el año 2011, a causa de los esfuerzos de reconstrucción posterior al terremoto del 2010. En el caso de la madera, se muestra un crecimiento sostenido desde el inicio de la muestra estadística, el que aunque no tiene hitos de crecimiento importante, si muestra una tendencia porcentual por sobre el crecimiento natural del parque de viviendas en el segmento de 1 a 6 pisos. Es importante destacar que en el año 2016 la madera alcanza a la albañilería en los metros cuadrados autorizados, y que en el 2017 pasa a ser el segundo material de elección de los desarrolladores inmobiliarios en el país.

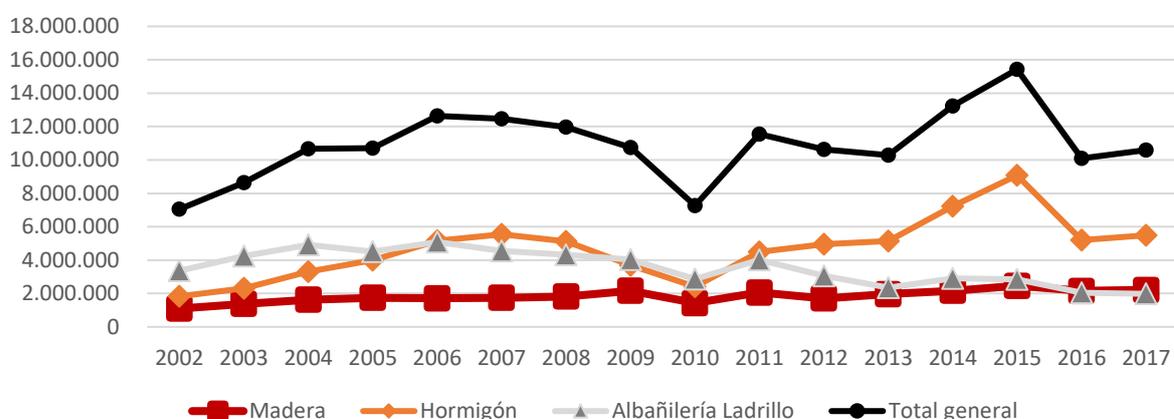


Figura 1: Superficie autorizada (m<sup>2</sup>) para los principales materiales de construcción

### 2.1.2. Comportamiento según número de pisos

La Figura 2 muestra el comportamiento de la superficie autorizada según agrupación por número de pisos. La tendencia de edificaciones de 7 o más pisos se muestra al alza, lo que es consecuente con un proceso de densificación de las ciudades que está sucediendo en muchos países en vías de desarrollo, y significando por consiguiente una reducción del número de nuevas estructuras de viviendas de 1 y 2 pisos. En los grupos de 3 a 6 pisos, el caso chileno tiene un comportamiento relativamente constante en el tiempo, aunque muestra un incremento en el último año de este estudio. A pesar de lo anterior, comparando el agrupamiento de 1 a 6 pisos, con los metros cuadrados de proyectos de 7 o más pisos; el primero concentra el 73,6% de la superficie autorizada en el 2017, resultado consistente con la evolución histórica del periodo de la muestra.

En Chile, al igual que en la mayor parte del mundo, el uso de la madera como material estructural se concentra principalmente en el segmento de 1 a 6 pisos. Segmento en el que la madera se presenta como competitiva desde el punto de vista técnico-normativo y de los costos asociados a su construcción; demostrado ser una solución eficiente ante los distintos requerimientos regulatorios y adaptable a las tendencias de la industria de la construcción.

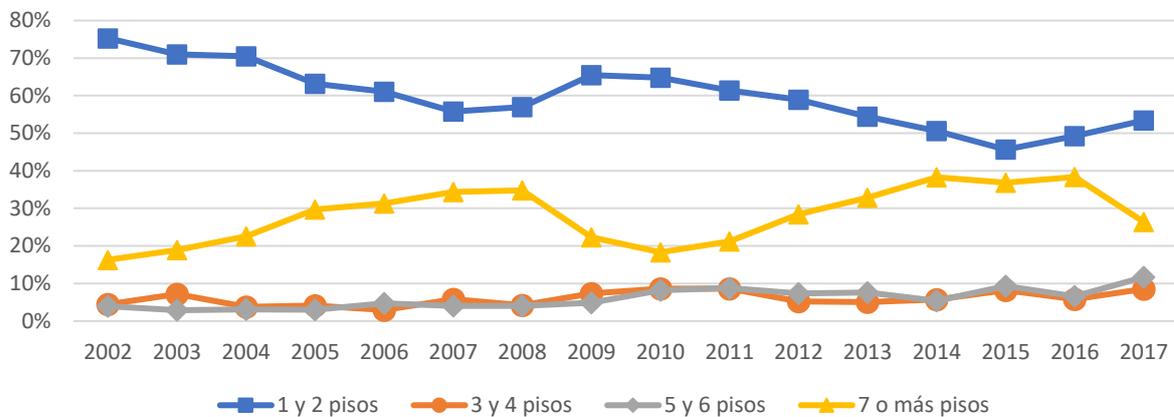


Figura 2: Superficie autorizada (m2) expresado en porcentaje según agrupación por número de pisos

### 2.1.3. Comportamiento de los principales materiales de construcción en el rango de 1 a 6 pisos

La Figura 3 muestra el comportamiento de la madera en el segmento de 1 a 6 pisos, tendiendo esta siempre al alza. Es importante destacar que, en el caso del hormigón y la albañilería, se pueden apreciar leves bajas asociadas a la implementación de nuevas normativas de mínimos de aislamiento térmico en la edificación en el año 2007 y 2015 (año de masificación de requerimientos normativos implementados en 2014); situación que no ocurre en el caso de la madera, y que se podría explicar por una demora de la industria en ponerse al día con requerimientos más restrictivos, y que representan una complicación para sistemas constructivos térmicamente menos aislantes que la madera.

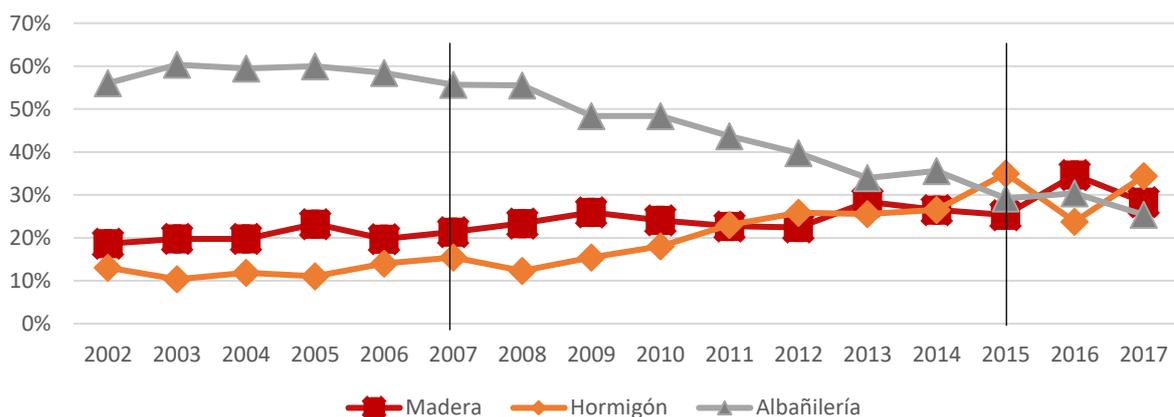


Figura 3: Superficie autorizada (m2) expresada en porcentaje para edificaciones de 1 a 6 pisos de los principales materiales de construcción, se marcan entrada en vigencia de normativas térmicas del año 2007 y 2014.

La Figura 3 anterior muestra que la albañilería presenta una tendencia a la baja en concordancia con la aplicación de cada reglamentación térmica nueva. A pesar de ello, hasta 2014 se presentaba como la principal materialidad de elección, debido a su uso tradicional en la construcción del sector centro-norte del país. Así, el espacio perdido

por la albañilería es ocupado por la madera y el hormigón, siendo el 2016 y 2017 superada por la madera.

Así, la madera tiende a incrementar su participación luego de cada aplicación de reglamentación térmica, y especialmente luego del año 2015, donde pasa de 25,3% ese año a 39,0% el 2017. Esto no ocurre en la albañilería y el hormigón, los que muestran bajas luego de cada implementación.

Al segmentar la participación de los distintos materiales según número de pisos (ver Figura 4) se puede apreciar que la madera tiene presencia casi exclusivamente en el segmento de 1 y 2 pisos; presentando una leve participación en edificaciones de 3 y 4; y no teniendo presencia alguna en el segmento de 5 a 6 pisos. Es así como las estructuras en madera aún tienen una oportunidad importante de crecimiento en el país, y considerando los cada vez más restrictivos requerimientos de desempeño térmico-normativo, ser una alternativa viable para las futuras edificaciones de viviendas.

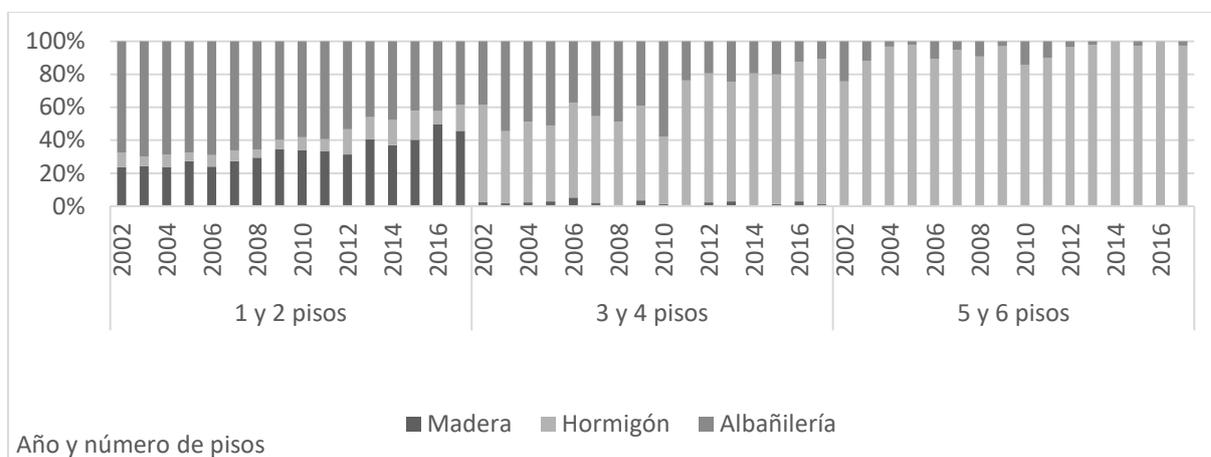


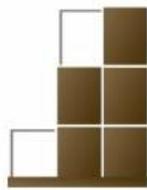
Figura 4: Comportamiento de la superficie autorizada (m<sup>2</sup>) expresada en porcentaje para los principales materiales de construcción, según número de pisos para edificaciones de 1 a 6 pisos

## 2.2. Soluciones constructivas para cada reglamentación térmica

Con el fin de analizar el potencial de crecimiento de la madera en el segmento 1 a 6 pisos, de la mano de las regulaciones que apuntan a una mayor eficiencia energética en el sector vivienda chileno, se lleva a cabo una evaluación de soluciones constructivas para cada reglamentación térmica y según su presencia en el mercado nacional. Así, se dividió el país en 4 macrozonas (Norte: R. Arica y Parinacota a R. Atacama; Centro: R. Coquimbo a R. Maule; Sur: R. Biobío a R. Los Lagos y Austral: R. Aysén a R. Magallanes), entendiendo las similitudes de requisitos regulatorios de cada una de ellas y a la existencia de un desarrollo económico similar, representados en una capital zonal. Así, los casos definidos para este estudio son los detallados en la Tabla 1.

Tabla 1: Soluciones constructivas utilizadas para estudio, según normativa y sistema constructivo

MACROZONA	NORTE	CENTRO	SUR	AUSTRAL
Reglamentación	U máx. 2000 (W/m <sup>2</sup> K)	N.A.	N.A.	N.A.



**CLEM**  
2019 | 18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

Térmica de 2000	Madera	Solución constructiva vivienda 1 y 2 pisos	OSB, PD, YC	OSB, PD, YC	OSB, PD, YC	OSB, PD, YC	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	3,49	3,49	3,49	3,49	
		Solución constructiva edificio 6 pisos	YC, OSB* PD*, CA138, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA138, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA138, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA138, OSB*, 3YC	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	1,31	1,31	1,31	1,31	
	Hormigón	Solución constructiva	HA	HA	HA	HA	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	3,9	3,9	3,9	3,9	
	Albañilería	Solución constructiva	AL	AL	AL	AL	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	2,1	2,1	2,1	2,1	
Reglamentación Térmica de 2007	U máx. 2007 (W/m <sup>2</sup> K)		4,0	1,9	1,7	0,6	
	Madera	Solución constructiva vivienda 1 y 2 pisos	OSB, PD, LV, YC	OSB, PD, LV, YC	OSB, PD, LV, YC	OSB, PD, LV, YC	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	0,47	0,47	0,47	0,47	
		Solución constructiva edificio 6 pisos	YC, OSB* PD*, CA58, LV, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA58, LV, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA58, LV, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA58, LV, OSB*, 3YC	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	0,37	0,37	0,37	0,37	
	Hormigón	Solución constructiva	HA, PE10, YC*	HA, PE10, YC*	HA, PE20, YC*	HA, PE60, YC*	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	1,9	1,9	1,3	0,6	
	Albañilería	Solución constructiva	AL, PE10, YC*	AL, PE10, YC*	AL, PE10, YC*	AL, PE50, YC*	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	1,3	1,3	1,3	0,6	
	Reglamentación Térmica de 2014	U máx. 2014 (W/m <sup>2</sup> K)		4,0	0,8	0,4	0,35
		Madera	Solución constructiva vivienda 1 y 2 pisos	OSB, PD, LV, YC	OSB, PD, LV, YC	OSB, PD, LV*, YC	OSB, PD, LV**, YC
			U (W/m <sup>2</sup> K)	0,47	0,47	0,38	0,34
Solución constructiva edificio 6 pisos			YC, OSB* PD*, CA18, LV***, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA18, LV***, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA18, LV***, OSB*, 3YC	YC, OSB* PD*, CA18, LV***, OSB*, 3YC	
U (W/m <sup>2</sup> K)			0,28	0,28	0,28	0,28	
Hormigón		Solución constructiva	HA, PE10, YC*	HA, PE60, YC*	HA, PE90, YC*	HA, PE140, YC*	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	1,9	0,6	0,4	0,3	
Albañilería		Solución constructiva	AL, PE10, YC*	AL, PE50, YC*	AL, PE70, YC*	AL, PE100, YC*	
		U (W/m <sup>2</sup> K)	1,3	0,6	0,5	0,3	

OSB: OSB 11,1mm; OSB\*: OSB 9,5mm; PD: Pies derechos 41x90mm @400mm; PD\*: Pie derecho 41x138mm @400mm; YC: Yeso cartón 15mm; YC\*: Yeso cartón 10mm; HA: Hormigón armado e= 140mm; AL: Albañilería de ladrillo e= 140mm; LV: Lana de vidrio 11kg/m<sup>3</sup> e= 80mm; LV\*: Lana de vidrio 35kg/m<sup>3</sup> e= 80mm; LV\*\*: Lana de vidrio 35kg/m<sup>3</sup> e= 80mm; LV\*\*\*: Lana de vidrio 35kg/m<sup>3</sup> e= 90mm; PE: Poliestireno expandido 15kg/m<sup>3</sup> e=variable (indicado en la tabla en mm); CA: Cámara de aire e= variable (indicado en tabla en mm)

Estas soluciones son presupuestadas según viviendas tipo, cruzando información de costos de construcción entregada en informe elaborado por la Dirección de Extensión en



Construcción de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, DECON UC (DECON UC, 2019) y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile a través de sus tablas de costos de construcción regionales. Según el análisis estadístico de presencia de los distintos materiales previamente expuesto, y en consideración a su presencia real en el parque de viviendas de los últimos años, se contrasta el costo de construcción de la madera solamente con la albañilería para viviendas de 1 y 2 pisos; mientras que en el caso de edificios de 3 a 6 se considera el costo de construcción de un edificio tipo de 6 pisos de altura.

Tabla 2: Costo construcción vivienda tipo, según soluciones constructivas, normativa y ejecución en obra (USD/m<sup>2</sup>)

Norma térmica	Zona	Vivienda 1 piso aislada			Vivienda 2 pisos pareada			Edificio 6 pisos		
		Albañilería	Madera	Var. %	Albañilería	Madera	Var. %	Hormigón	Madera	Var. %
2000	Norte	913	879	4%	727	721	1%	564	635	-11%
	Centro	776	754	3%	628	631	0%	502	570	-12%
	Sur	811	789	3%	610	614	-1%	547	626	-13%
	Austral	998	958	4%	802	734	9%	NA	590	NA
2007	Norte	963	909	6%	780	758	3%	597	651	-8%
	Centro	815	771	6%	671	652	3%	537	577	-7%
	Sur	853	815	5%	657	623	5%	547	631	-13%
	Austral	1.107	989	12%	857	814	5%	NA	672	NA
2014	Norte	963	909	6%	780	758	3%	599	651	-8%
	Centro	859	771	11%	719	652	10%	562	577	-3%
	Sur	929	856	9%	737	636	16%	606	644	-6%
	Austral	1.201	1.043	15%	857	787	9%	NA	706	NA

\*Cabe destacar que el costo asociado a las soluciones constructivas en madera, para el caso de edificios, considera la implementación de un sistema completamente industrializado, con sus consecuentes optimizaciones en recursos y tiempos de ejecución (McKinsey Global Institute, 2017), (Smith, 2010)

La tabla de costos de construcción, según tipología de vivienda y material seleccionado, muestra que la implementación de valores normativos mínimos de aislamiento térmico (máximas transmitancias térmicas), tienden a hacer más atractivo económicamente una solución en madera de entramado ligero. Esto entendiendo que, a igual requerimiento estructural y normativo, el aislamiento térmico del sistema de entramado de madera tenderá a ser mejor que el de otros sistemas tradicionales; atendiendo a que la madera tiene una menor conductividad térmica y permite tener cavidades dentro de su entramado estructural, que pueden ser fácilmente llenadas con aislamiento térmico como lana de vidrio o similar. También es importante considerar que, a mayor altura de la edificación, la sección de madera del entramado tenderá a aumentar, por su requerimiento estructural, y por ende el espesor de la cámara disponible para incorporar aislamiento térmico.

Así, si bien el escenario normativo del año 2000, que solo requería valores mínimos de desempeño térmico para cubiertas, presentaba costos competitivos de construcción entre la albañilería y la madera para viviendas de 1 a 2 pisos, y ampliamente ventajosos para el hormigón en edificios de 6 pisos; bajo los estándares definidos para el año 2014, esto se revierte presentando al sistema constructivo en madera como más atractivo en el segmento 1 a 2 pisos, y como una alternativa competitiva en el segmento de 6 pisos.

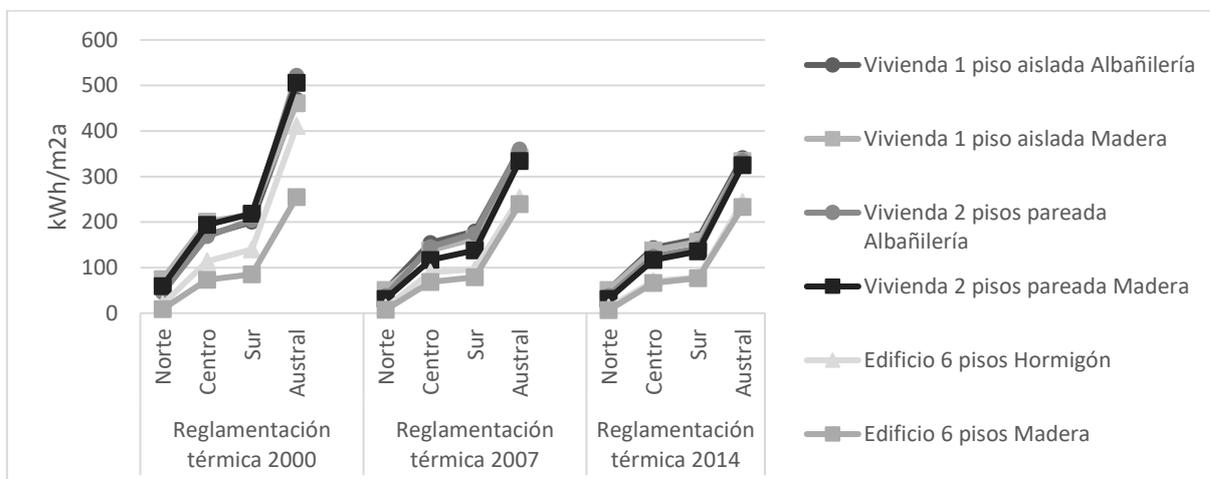


Figura 5: Demandas térmicas (kWh/m<sup>2</sup> año) para las soluciones constructivas

Los gráficos muestran que a pesar de que la madera exhibe resultados favorables en cuanto a reducir la demanda de calefacción, esta diferencia no es significativa excepto en casos puntuales, como lo podría ser en la Zona Austral (clima frío) para la reglamentación térmica del año 2000 en la tipología de edificio en donde la madera muestra un resultado de 313,1 kWh/m<sup>2</sup>a contra del hormigón que muestra 411,0 kWh/m<sup>2</sup>a. En este caso, existe una diferencia absoluta de 97,7 kWh/m<sup>2</sup>a. Otro caso que muestra un resultado destacable es la solución en la Zona Norte con la reglamentación térmica del año 2007 en la tipología de edificio, donde la madera muestra un resultado de 6,7 kWh/m<sup>2</sup>a y el hormigón un 12,3 kWh/m<sup>2</sup>a. En este caso la diferencia absoluta no es tan relevante, sino que es destacable la diferencia porcentual (84%)

### 3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio sobre la tendencia de elección de materiales para la construcción de viviendas en Chile, muestra que la elección de la madera como material principal de construcción ha ido aumentando año a año, llegando a ser el segundo material a partir del año 2015, y frente a una caída continua de otros materiales como la albañilería. También se muestra que la madera se encuentra actualmente relegada al segmento de edificaciones de 1 a 2 pisos, existiendo un espacio de crecimiento importante en el segmento de 3 a 6 pisos; segmento en el cual el hormigón armado ha desplazado a la albañilería, y en el cual la madera históricamente no ha tenido presencia en el país.

Los resultados de este trabajo también señalan que, de no mediar requerimientos normativos mínimos de aislamiento térmico en la envolvente, la construcción de viviendas con soluciones menos eficientes de aislamiento térmico como la albañilería y el hormigón, pueden resultar más competitivas desde una perspectiva económica. Es más, de considerarse solamente la regulación establecida en el año 2000 para techumbres, ésta no muestra mayores efectos en la selección de madera para nuevas edificaciones. Es sin embargo relevante destacar, que la implementación de requerimientos mínimos de transmitancia térmica para muros de la envolvente, si presenta un incentivo claro para el uso de sistemas de entramado de madera; cómo se puede apreciar en el aumento de la tendencia del uso de la madera, en forma posterior a



la implementación de los requerimientos establecidos en el año 2007 para toda la envolvente de la edificación. Esto entendiendo que la madera presenta una menor conductividad térmica y a que la cavidad interna dejada por el entramado estructural, permite incorporar aislación térmica a bajo costo y por sobre el estándar obtenido por otros sistemas masivos.

Es importante destacar, que los incrementos en los requerimiento de aislamiento térmico establecidos para la normativa del año 2014, para algunas zonas del país, si bien tienden a equiparar las demandas de calefacción entre distintos sistemas constructivos; se aprecia que debido a los grandes espesores de aislamiento térmico adicionados a los sistemas masivos, las soluciones de entramado ligero de madera pueden llegar a ser un 15% más competitivas económico respecto a la albañilería, en viviendas de 1 a 2 pisos; mientras tenderán a equipararse en costos con edificios de seis pisos en hormigón, con variaciones que pueden llegar a ser inferiores al 3% en el costo de construcción.

Es también importante destacar que, para obtener los resultados esperados de eficiencia energética en viviendas de entramado de madera, es fundamental abordar los problemas asociados a la hermeticidad al paso del aire de la envolvente. Esto ya que, una vivienda en madera con sellos deficientes puede llegar a tener una tasa de infiltraciones equivalente al doble de una de albañilería u hormigón (Universidad del Bío-Bío); afectando en igual medida las demandas asociadas a calefacción y dejando sin efecto el objetivo de mejora del aislamiento térmico buscado por las normativas. Es más, los requerimientos técnicos establecidos en la normativa del año 2014 establecen especificaciones mínimas respecto a la hermeticidad de las viviendas, y que tenderán a ser más restrictivos en nuevas versiones. De igual forma, y no menos relevante, existe importante experiencia internacional respecto al riesgo del sobrecalentamiento de edificios de entramado de madera, pudiendo incrementarse este riesgo frente a condiciones de mayor hermeticidad de la envolvente.

Debido lo anterior, se plantea que futuras investigaciones apunten a ahondar en los efectos que podría tener la implementación de normas relativas a la hermeticidad al paso del aire en estructuras de entramado de madera. Al igual que el efecto en otras variables relevantes, como el sobrecalentamiento interior en viviendas de madera con baja inercia térmica y alta hermeticidad.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Corporación Chilena de la Madera. (24 de Julio de 2019). *Madera 21*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/licitacion-minvu-serviu-ohiggins-edificio-madera/>

Corporación Chilena de la Madera. (10 de Abril de 2019). *Madera21*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/e2e-y-su-apuesta-por-industrializar-la-construccion-en-madera/>

DECON UC. (2019). *Evaluación de presupuestos de construcción de viviendas en madera*. Santiago.

McKinsey Global Institute. (2017). *Reinventing Construction: A Route to higher productivity*. McKinsey&Company.

Ministerio de Energía. (2018). *Balance Nacional de Energía 2017*.



Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (23 de Noviembre de 2018). *MINVU*. Obtenido de <https://www.minvu.cl/noticia/agenda-ministerial/ministro-monckeberg-visita-terrenos-donde-se-construira-el-primer-edificio-de-madera-para-viviendas-sociales-del-pais/>

Sierra, A., & Ugarte, J. (2016). *Eco-sustainable neighborhoods: Prefabricated economic Housing in Timber*.

Smith, R. (2010). *Prefab Architecture, A guide to modular design and construction*.

United Nations Environmet Programme. (2007). *Annual Report UNEP 2007*.

Universidad del Bío-Bío. (s.f.). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*.