

# Reutilización de paja de cereales en la producción de aislantes y su aplicación en envolventes energéticamente eficientes

**Estudiante:** Eduardo De Jesús Olivares Reyes

**Profesor guía:** Marcelo Huenchuñir B.

Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo

## Resumen

El cambio climático es un cambio de paradigma el cual nos afecta a todos; desde la arquitectura, el impacto se aborda desde la eficiencia energética y los materiales con baja huella de carbono, en el presente artículo se plantea la exploración de materiales naturales con el objetivo de lograr dicha eficiencia.

Buscando el más adecuado para el contexto chileno, se decantó por la paja de cereales, y surge la inquietud por cómo aplicar y hacer compatible con los sistemas estructurales en Chile. De esta manera, mediante un diagnóstico de los sistemas existentes y estudio del estado del arte, se hace un cruce de conocimientos; logrando validar el uso de estos materiales según distintos niveles de exigencia y exponiendo diferentes soluciones aislantes dejando la puerta abierta para que cada arquitecto tome sus propias decisiones, pero con el conocimiento y la mente abierta a nuevas materialidades amigables con el medio ambiente.

**Palabras clave:** Paja, Eficiencia energética, Acondicionamiento térmico, Biomateriales, Huella de carbono.

## 1. Introducción

*“El cambio climático es, sin duda, el mayor desafío que tenemos como generación y enfrentarlo con decisión y sentido de urgencia es, para nuestro gobierno, un imperativo ético, social y económico...La ciencia es clara y contundente sobre la urgente necesidad de alcanzar un objetivo universal para la reducción de emisiones, y en el que todos los países, empresas y actores no estatales deben trabajar: la carbono-neutralidad y resiliencia al cambio climático para 2050”. (Carolina Schmidt ministra del Medio Ambiente de Chile, 2021)*

Desde la arquitectura, el impacto de la huella de carbono se puede abordar de diferentes maneras, ya que, abarca desde el objeto arquitectónico como tal, hasta el gasto energético (de manera indirecta) que supone alcanzar el confort dentro las edificaciones. Es por esto en los últimos años se ha velado por una eficiencia energética y diseño pasivo en las edificaciones, para evitar en la medida de lo posible sistemas activos de calefacción, ventilación e iluminación para ahorrar energía y por ende cargar con menos emisiones.

El problema es que el foco está centrado en el carbono operacional y se deja de lado el carbono incorporado en los materiales de las edificaciones. Debido a esto, se terminan utilizando poliestirenos, derivados de hidrocarburos y fibras sintéticas para lograr envolventes eficientes; los cuales tienen un gran peso en términos de emisiones, tanto en su producción como en su transporte e importación, sin mencionar que la vida útil de los edificios es limitada, y posterior a ésta, dichos materiales tardan entre 500 y 800 años en descomponerse.

Aquí es donde entran en valor los materiales con “carbono biogénico”, entendidos como aquellos materiales naturales que durante su proceso de crecimiento absorben carbono, hablamos de algas, árboles y variedad de plantas; la importancia de estos materiales es que al usarse en la construcción podríamos terminar con edificaciones con menores huellas de carbono, incluso negativas.

Chile tiene una tremenda oportunidad de aprovechar estos recursos, y no solo la madera, sino también los desechos de la producción agrícola, lo que detona esta investigación.

Tenemos referentes a nivel mundial que trabajan estos desechos; construcción en paja, aislantes con corcho, paneles con fibras de madera, prefabricados con aislamiento en fibras de arroz, etc., los cuales son igualmente eficientes energéticamente que los tradicionales, pero, a su vez tienen una huella de carbono negativa y al tener un origen natural, una vez cumplido el ciclo de vida del edificio tardan menos tiempo en descomponerse.

En general estos potenciales materiales aislantes no son autoportantes, por ende, nace la preocupación por integrarlos y aplicarlos a sistemas estructurales rígidos aprobados por normativa en Chile, de esta manera poder reemplazar los aislantes sintéticos y derivados de hidrocarburos, por los hechos a partir de desechos agrícolas; a su vez, se estarían aprovechando residuos que actualmente en Chile se incineran, reduciendo en gran medida la contaminación y potencialmente ahorrando los costos de construcción.

Bajo esta premisa se planteó la siguiente pregunta de investigación:

*¿Qué materiales naturales y desechos de las producciones vegetales en Chile tienen potencial de ser utilizados para mejorar la envolvente térmica de las viviendas? ¿De qué manera se las puede trabajar para hacerlas compatibles con los sistemas estructurales aprobados por la normativa?*

Se propuso **desarrollar** soluciones alternativas a los materiales sintéticos y derivados de hidrocarburos en la producción de envolventes eficientes, potenciando materiales de origen biogénico (específicamente residuos agrícolas) ayudando a reducir la huella de carbono de las edificaciones sin comprometer la eficiencia.

**Revisando** los sistemas estructurales aceptados por normativa chilena, su estado actual en términos de eficiencia energética, características propias y flexibilidad, dando así una base sobre la cual aplicar el aislante natural, **Caracterizando** el trabajo de referentes internacionales en el área de aislantes con biomateriales generados a partir de desechos de producción agrícola en su contexto, y encontrando correlaciones en el contexto agrícola chileno; **Integrando** según el sistema estructural, la aplicación de estos aislantes naturales y **validando** el uso de estos materiales mediante la comparación con los diferentes estándares de exigencia, en criterios de eficiencia energética.

## 2. La importancia de un buen rendimiento energético en las edificaciones

Al orientar el diseño de una edificación bajo el criterio de alto rendimiento energético se tiene en mente requerir de la menor energía posible para lograr el confort dentro de un edificio, hablamos de gastos en calefacción, ventilación, iluminación, entre otros. De esta manera se busca disminuir el impacto en **huella de carbono** del edificio, ya que un alto porcentaje de la electricidad que se consume para cubrir estas necesidades se produce mediante la quema de carbón.

### 2.1. Huella de carbono y carbono incorporado en las edificaciones

*“La huella de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente. Se refiere a la cantidad en toneladas o kilos de dióxido de carbono equivalente de gases de efecto invernadero, producida en el día a día, generados a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, calefacción y transporte entre otros procesos”. (CEPAL, 2009, p.17-18).*

Según Souza (2020) el “carbono incorporado” es la suma del impacto de todas las emisiones de gases efecto invernadero atribuidas al material durante su ciclo de vida. Estos van desde su extracción, fabricación, y construcción, hasta su mantención y eliminación. Es importante tener en cuenta que existen dos tipos de emisiones de carbono en relación a los edificios: el “carbono incorporado” y el “carbono operacional”. Este último siendo todo el dióxido de carbono emitido durante la vida útil de un edificio, asociado al consumo de electricidad, calefacción, refrigeración, entre otras actividades.

Se debe tener una mirada completa de ambas emisiones, ya que, una edificación puede tener una baja huella de carbono incorporado y no ser eficiente, teniendo alta huella de carbono operacional; asimismo, una edificación con baja huella de carbono operacional pero hecha con materiales y/o procesos con alta huella de carbono incorporado, no se estaría teniendo una visión completa. Es imperativo considerar ambas, pensando en que estamos en una situación a contrarreloj.

El Consejo Mundial de Edificación Sustentable afirma que el impacto del sector edificación es responsable globalmente del 36% del consumo de energía, 38% de la energía relacionada a emisiones de carbono, 50% del consumo de recursos y se espera que esta huella se duplique de aquí al 2060; Aproximadamente 49% de este gasto corresponde a los materiales y 51% al sector operacional del edificio.

### 2.2. Reglamentación térmica y estándares de eficiencia energética para la reducción de la huella de carbono

Es por lo anteriormente mencionado y por los estándares de confort que se definen normativas con valores mínimos para la transmitancia térmica de la envolvente de las edificaciones, a menor valor de transmitancia térmica “U” mejor el aislamiento.

El estándar promedio de transmitancia térmica en muros principales de viviendas chilenas ronda un  $U=1,584 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  (MINVU, MIEN, 2017), lo cual es preocupante teniendo en consideración otros estándares más elevados como *Passivhaus*, que, aunque no define los espesores ni la materialidad

de los aislantes propiamente tal, vela por un conjunto de principios para lograr la eficiencia energética, entre ellas, la estanqueidad de la envolvente, minimizar puentes térmicos, renovación de aire, alta calidad en puertas y ventanas, y finalmente las que nos convoca, la envolvente con baja transmitancia térmica. Según el mapa de zonas climáticas del instituto *passivhaus* (Fig. 1), Chile se ve conformado por tres zonas climáticas, principalmente cálida, seguida de fría templada y fría; las cuales manejan valores de transmitancia térmica para muros de entre 0,5 W/m<sup>2</sup>K a 0,12 W/m<sup>2</sup>K.

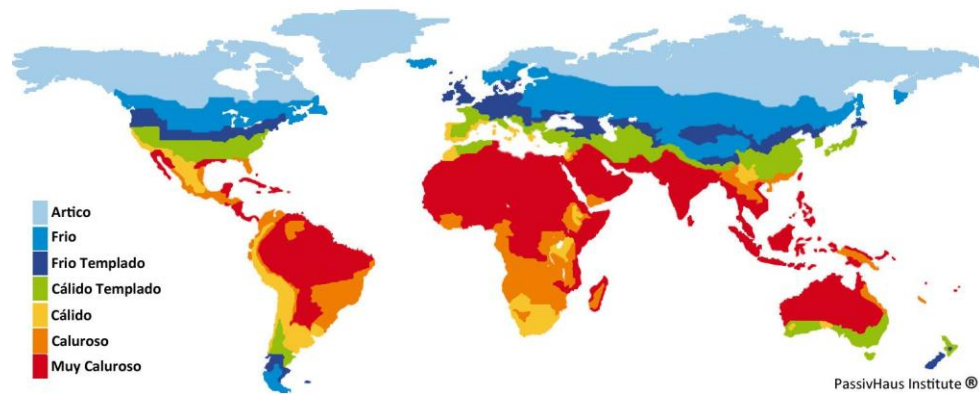


Fig. 1 Mapa zonas climáticas según instituto *passivhaus*, fuente (Passivhaus costa del sol, 2019).

Zonas Climáticas según el PHPP (Passive House Planning Package)	Envolvente Opaca en contacto con el aire		Ventanas y Puertas exteriores
	Aislamiento por el Exterior	Aislamiento por el interior	Coeficiente máx. de Transmitancia de Calor
	Coeficiente máximo de Transmitancia de Calor		
	(Valor = U)		U <sub>wi</sub> ventana instalada
	[W/(m <sup>2</sup> K)]		Posición vertical
	[W/(m <sup>2</sup> K)]		[W/(m <sup>2</sup> K)]
Artica (Arctic)	0,09	0,25	0,45
Fria (Cold)	0,12	0,30	0,65
Fria Templada (Cold Temperate)	0,15	0,35	0,85
Cálida templada (Warm Temperate)	0,30	0,50	1,05
Cálida (Warm)	0,50	0,75	1,25
Calurosa (Hot)	0,50	0,75	1,25
Muy calurosa (very Hot)	0,25	0,45	1,05

Fig. 2 Tabla coeficiente mínimo de transmitancia térmica U [W/(m<sup>2</sup>K)] según instituto *passivhaus*, fuente (Passivhaus costa del sol, 2019).

Sin embargo, en Chile se está desarrollando una nueva reglamentación térmica, la cual se considera para las comunas con *PDA (plan de descontaminación atmosférica)*, lo cual es un avance, aunque sin llegar a ser tan exigente como el estándar *passivhaus*, en la región metropolitana el *PDA* dicta una transmitancia térmica para muros de  $0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . (MINVU, 2018).

### 2.3. Como se realiza el acondicionamiento térmico

Según el *Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico*, existen diferentes maneras de aislar térmicamente una edificación, dependiendo del sistema constructivo y materialidad. Simplificando, se pueden categorizar en tres sectores; aislamiento adosado a la cara interior del muro, aislamiento dentro del muro y aislamiento adosado al exterior del muro. (CDT Concepción, 2016)

#### 2.3.1 Adosado al interior

Este sistema es principalmente utilizado para muros macizos como los de hormigón y albañilería, aunque es aplicable a todo tipo de muros, se compone por una sucesión de capas añadidas al muro por la cara que da al interior de la edificación (Fig. 3).

Podemos tomar como ejemplo a Volcapol® cuyo kit consta de: un adhesivo que se aplica sobre el muro, el material aislante (generalmente EPS), una barrera de vapor y una capa de terminación a la vista (Volcapol®, 2022).

Una desventaja es que, al ubicarse al interior del recinto, termina restando espacio al área habitable; además, se producen puentes térmicos inevitables con riesgo de condensación intersticial.

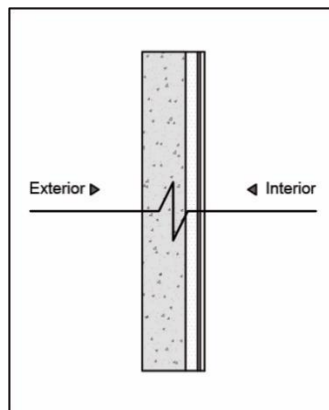


Fig. 3 Sección esquemática sistema de aislamiento adosado al interior, elaboración propia.

#### 2.3.2 Dentro del muro

Consiste en aplicar el material aislante en el alma del muro, aplicado generalmente en sistemas de entramados, donde los muros son huecos y dejan espacio para ser rellenados (Fig. 4). También es aplicable a muros macizos, pero requiere un trabajo por capas, donde se debe realizar un doble muro, primero se ubica el aislante y posteriormente la faena húmeda alrededor.

Se debe tener en consideración que el espesor del aislante será definido por el espesor del muro, por ende, si se aplica en un muro delgado, la capa aislante puede llegar a ser insuficiente, como

solución, tendrá que ensancharse el muro o agregar capas exteriores de aislamiento; igualmente, el espesor total del muro será inferior a si solo se aplicara aislante por fuera.

Este sistema puede ser industrializado, con elementos prefabricados como los paneles SIP, que son a su vez estructura y aislamiento, con la limitante de ser aplicables solo a edificaciones de mediana altura (alrededor de 5 pisos).

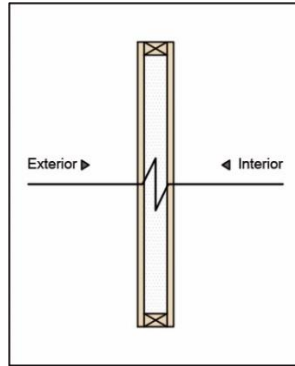


Fig. 4 Sección esquemática sistema de aislamiento dentro del muro, elaboración propia.

### 2.3.3 Adosado al exterior

También conocido como E.I.F.S o S.A.T.E, por sus siglas “sistema de aislante térmico exterior”; en este caso el aislante se ubica por fuera del muro mediante capas, las cuales varían según el tipo y materialidad del muro al que se adhiere (Fig. 5).

Al aplicarse por el exterior del muro evita en gran medida la aparición de puentes térmicos, mejorando la inercia térmica del edificio cuando se trata de muros de hormigón o albañilería. Otra ventaja, es que hace posible el reacondicionamiento térmico a todo tipo de edificios, ya que es un agregado al muro existente y no es necesario romperlos.

También es industrializable, bajo la lógica de *kits* con diferentes espesores de materiales, acabados y tipos de fijación según el muro. Tenemos casos en Chile como *Sto Chile* o *Weber* que trabajan bajo esta lógica utilizando *EPS* como principal aislante. (*StoTherm®*, 2022)

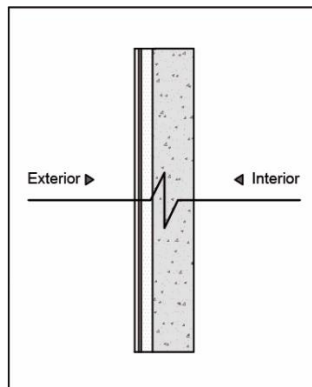


Fig. 5 Sección esquemática sistema de aislamiento adosado al exterior, elaboración propia.

### 3. Diagnostico sistemas constructivos en Chile

Para tener una base desde la cual trabajar, se hizo una tabla comparativa, la cual considera una solución de muro genérica por sistema constructivo que cumpla con el mínimo considerado según la normativa chilena para un clima promedio, tomando como ejemplo Santiago ( $U=1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) ya que además es la comuna con mayor población del país, por ende, crecimiento y edificaciones.

Con el objetivo de tener un punto de medición y evaluación, se desarrolló una herramienta indicadora (Fig. 6), la cual consta de una barra que contempla un espectro de transmitancias térmicas aplicables para Santiago según distintos estándares, éste considera como punto mínimo la actual reglamentación térmica ( $U=1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), pasando por la futura reglamentación térmica ( $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), hasta lo recomendado por *Passivhaus* según el mapa de zonas climáticas visto anteriormente ( $U=0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

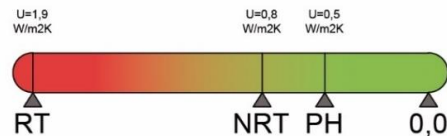


Fig 6 Barra medidora de coeficiente de transmitancia térmica, elaboración propia.

Tabla 1: comparativa sistemas de muro según normativa chilena, elaboración propia.

Nombre sistema	Hormigón armado	Mampostería en ladrillo	Entramado de madera	CLT	Entramado Metalcon
Sección Calificación y Valor U					
Composición	15 cm H.A. 20 mm EPS 15 mm yeso cartón	14 cm muro ladrillo macizo 15 mm yeso cartón	11 mm OSB 9 cm entramado 11mm OSB 15 mm yeso	9 cm CLT pino 15 mm yeso cartón	11mm OSB 9 cm entramado 11 mm OSB 15mm yeso
Observaciones respecto a la normativa chilena	Material estructural con conductividad térmica "insuficiente".	Conductividad térmica "suficiente". Sistema constructivo cada vez menos usado.	Material estructural con conductividad térmica "suficiente", muro hueco, rellenable.	Material estructural con conductividad térmica "suficiente", la mejor entre las cinco.	Sistema constructivo con conductividad térmica "suficiente", alta huella de carbono incorporado.

### **3.1. Conclusiones diagnosticas**

En base a los resultados obtenidos en la tabla 1, podemos ver lo deficiente de la normativa actual, ya que presenta como aceptables o “suficientes” a muros que ni siquiera cuentan con elementos aislantes. Esta deficiencia en parte se está mejorando con la futura reglamentación térmica antes mencionada, que en el caso de Santiago pasa de exigir un U de 1,9 W/m<sup>2</sup>K a un U de 0,8 W/m<sup>2</sup>K, lo cual es más razonable, pero que aun así no llega a ser *Passivhaus*.

De todas formas, al haber un incremento en exigencia, tanto en la futura normativa, como estándares a nivel global, se hace necesario un conocimiento en la aplicación de aislantes, ya sea para nuevas edificaciones, como para el reacondicionamiento de existentes que son insuficientes.

Es este cambio de paradigma el cual da la iniciativa a explorar nuevas materialidades para el acondicionamiento térmico. Actualmente estamos lejos respecto a los altos estándares, hay un amplio margen de mejora para las edificaciones construidas para cumplir solo con la normativa chilena vigente; siendo esta la situación, aunado a la filosofía de reducir la huella de carbono de las edificaciones, nace la posibilidad de incorporar materialidades con bajo impacto ambiental; tanto para las nuevas edificaciones, como para reacondicionar las existentes. Es aquí donde entran en valor los biomateriales como candidatos y objeto de esta investigación.

## **4. Por qué aislar con biomateriales**

Podemos considerar biomaterial a aquel cuya composición sea más natural que química o sintética, esto implica que tienen menor huella ecológica, tanto por su producción como al final de su vida útil. Entre estos podríamos considerar los de origen animal y vegetal, siendo los primeros, materiales como la lana de oveja o las plumas; los siguientes, derivados de plantas, como las fibras de cáñamo, la paja, el micelio, algodón, corcho, entre otros. Son estos últimos los de mayor relevancia para la investigación, ya que por su procedencia vegetal almacenan carbono durante su crecimiento, lo que podría llegar a resultar en edificios con huella de carbono negativa.

### **4.1. Matriz de biomateriales**

La huella ecológica de los biomateriales es una gran ventaja, pero ¿Son comparables a los aislantes tradicionales en términos de eficiencia? Teniendo como comparación el EPS y la lana mineral como los materiales más habituales para el acondicionamiento térmico, con transmitancia térmica aproximada de 0,040 W/mK. podemos ver según el cuadro comparativo de aislamientos térmicos vegetales (Tabla 2), que el rango está entre los 0,029 W/mK hasta los 0,150 W/mK dependiendo del material. Lo interesante es el amplio abanico de posibilidades, haciendo que según lo producido en cada lugar del mundo sea posible encontrar alguno de estos materiales o similares, todos competentes en comparación a los tradicionales.



**Tabla 2:** Cuadro comparativo de aislamientos térmicos vegetales. Elaboración propia en base a “LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS DE ORIGEN VEGETAL (Beyond Sustainable, 2013)”, lana mineral Ayrsa (Ayrsa ©, 2022), EPS aislapol (Aislapol ©, 2022)

Material	Materia prima	Formato	Residuo	Espesor	Eco-data	Densidad kg/m3	Conductividad térmica W/mK	Coste aprox. CLP
EPS <i>aislapol</i>	Poliestireno expandible	Paneles, proyectado	-	20-100 mm	Reutilizable	10-30	0,036-0,043	1.000-6.500/m2
Lana mineral AYRSA	Arena de sílice y vidrio	Paneles, rollo	-	30-90 mm	Reciclable	80-120	0,034-0,041	7.000-30.000/m2
Fibra de madera	Madera	Panel	Separación selectiva	6-240mm	Biodegradable y reciclado	25-260	0,037-0,050	<36.000/m2
Corcho	Árbol de corcho / residuos	Panel o rollo	Separación mínima. Se utiliza para biomasa	2-10mm	Biodegradable	120-250	0,040-0,150	<22.500/m2
Fibra de cáñamo	Cáñamo	Panel	Separación selectiva	30-220 mm	Biodegradable y reciclado	30-45	0,038	<22.500/m2
Balas de paja	Paja	Bala	Separación selectiva	350-450 mm	Biodegradable	100	0,045-0,065	900-3600/bala aprox. 10.000/m3
Celulosa	Papel-cartón, papel de periódico reciclado	Panel, rollo, proyectado y a granel	Separación mínima	-	Reciclado	28-40	0,039	<22.500/m2
Fibra de lino	Lino	Panel, rollo y proyectado	Separación mínima	45-100 mm	reciclable	40-50	0,037-0,047	<22.500/m2
Fibra de coco	Fibra de la corteza del coco	Panel o rollo	Separación selectiva	-	Biodegradable	70-110	0,042-0,047	<36.000/m2
Algodón	Algodón	Rollo	Separación selectiva	-	Biodegradable	25-40 (soplada) 20-60 (en manta)	0,029-0,040	<9000/m2

## 4.2. La paja de cereales como material con mayor potencial en Chile (características principales y secundarias)

A la hora de decidirse por un material, lo ideal es aprovechar recursos que se encuentran localmente. Según el *INE*, el grupo de cultivo con mayor superficie sembrada en Chile corresponde a cereales, de un total de 576.415 Ha; 443.315 Ha corresponden a cereales, siendo los principales, trigo y avena, esto es motivo para poner a la paja de cereales como fuerte candidata para el estudio.

Otra característica a resaltar, es que, según el *gremio de bioconstrucción en Chile*, luego de cada cosecha se queman aproximadamente 4.000.000 Ton de paja, material que podría ser utilizado para la construcción, teniendo valor por su huella de carbono negativa (Fig. 7) y por rescatar un desecho actualmente incinerado (Gremiobioconstruccion.cl, 2022).

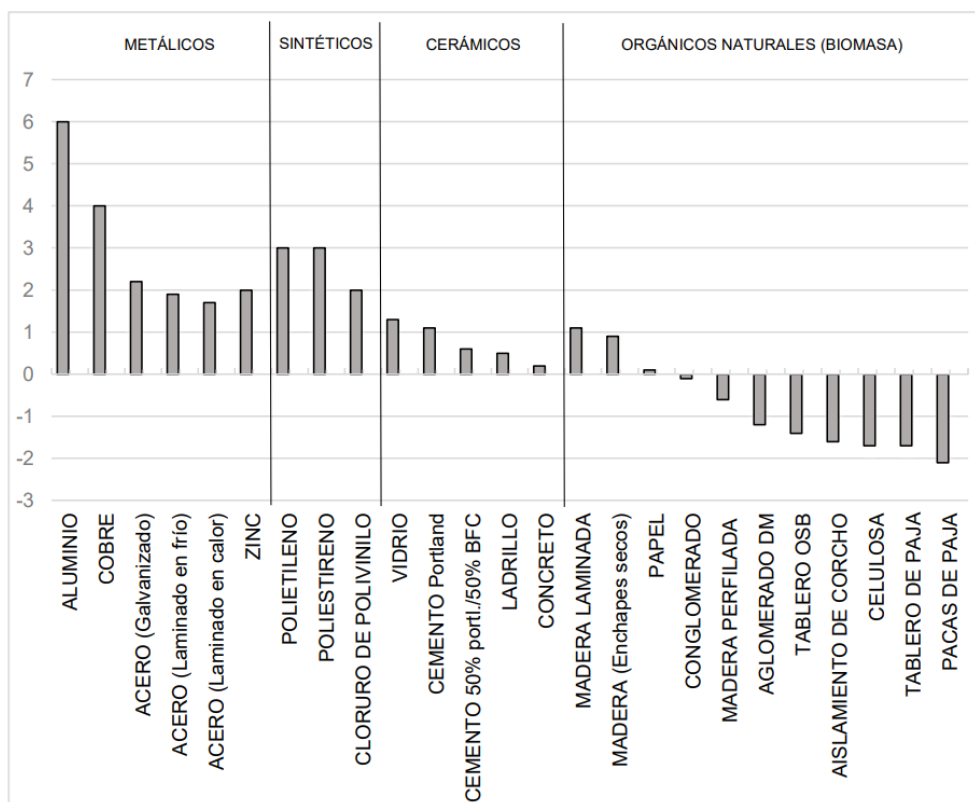


Fig. 7 Emisión neta de CO2 producida por Kg de material, fuente (Peña, 2018).

Cruzando con el cuadro comparativo (tabla 2), la paja al ser un residuo de otra producción, es muy barata, a diferencia de otros; por ejemplo, para las fibras de madera, se utiliza el propio árbol para fabricar el producto. En el caso de las cosechas de cereales el producto es el trigo o avena, el residuo es la paja y es ésta la rescatable para el aislamiento, resultando en una opción muy económica y sustentable.

A demás de lo antes mencionado, la paja de cereales debido a su compresión, tarda bastante en quemarse, debido a que no permite un flujo suficiente de oxígeno; cabe destacar que la resistencia del conjunto variará en cada caso, debido a que todos los elementos estructurales se comportan de manera diferente, pero ya es una ventaja en comparación a otros aislantes como la lana mineral que

arden con facilidad, esto siempre y cuando la paja esté comprimida, ya que suelta si es altamente inflamable. A su vez, por su estructura de fibras, absorbe de buena manera las ondas acústicas, siendo otra característica destacable para el material.

## **5. Análisis de referentes en construcción con paja**

En la presente etapa, se procedió a un estudio de casos relacionado al aislamiento con paja, con la finalidad de tener un conocimiento del estado del arte a modo de referencia a la hora de desarrollar una futura matriz de soluciones aplicadas para mejorar cada sistema diagnosticado en el capítulo 3.

Por lo general en las construcciones más tradicionales con fardos de paja, se utilizan éstos como elementos estructurales a la vez que aislantes, por ende, terminan encerrados en diseños de baja altura. El desafío, y lo que se quiere lograr, es poder flexibilizar el uso de este aislante natural para todo tipo de edificaciones, dejándole el esfuerzo sísmico a los sistemas estructurales, pudiendo aplicarse tanto a nuevas edificaciones, como al acondicionamiento de edificaciones existentes.

Con el objetivo de reunir conocimientos constructivos, se analizaron siete casos en base a fichas, desde los más tradicionales hasta los más contemporáneos en el campo de la aplicación de la paja en la producción de envolventes, tanto a nivel internacional como nacional.

Las fichas se desarrollaron con la finalidad de aclarar ventajas, desventajas, así como cualidades propias de cada sistema; cada ficha contempla los siguientes puntos:

- Nombre del sistema u obra.
- Imagen de referencia.
- Sección esquemática.
- Año de invención o construcción.
- Oficina de arquitectura.
- Ubicación.
- Zona climática según *Passivhaus*.
- Materialidad.
- Tipo de sistema constructivo.
- Valor U del complejo.
- Calificación (misma escala utilizada en diagnóstico).
- Breve párrafo de descripción, contextualización y análisis.

## 5.1. Fardo de paja autoportante

### SISTEMA NEBRASKA

Año de invención: Finales de siglo XIX.

Ubicación de origen: Nebraska, Estados Unidos.

Latitud: 40.6754, Longitud: -95.8612 40° 40' 31" Norte, 95° 51' 40" Oeste

Zona climática: Fría.

Materialidad: Fardos de paja y paneles de madera.

Sistema constructivo: Autoportante o sistema Nebraska

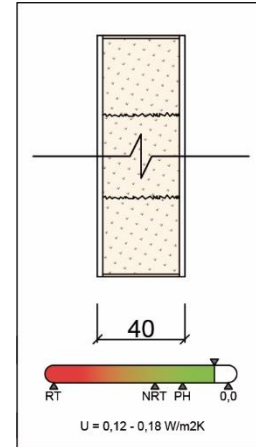


Fig. 8-9 Sistema Nebraska (Taller Karuna ©, 2015) (CONSTRUPAJAARGENTINA, 2015)

Este sistema es considerado de los más antiguos, con origen en Nebraska a fines del siglo XIX, donde debido a la falta de materiales como la madera, se hicieron edificaciones en un principio temporales, pero que luego de ver su efectividad económica, aislante y autoportante se empezó a popularizar hacia las primeras décadas del siglo XX.

Estructuralmente funciona a compresión, donde el propio fardo se lleva el esfuerzo, esta estructura no tiene pilares, solamente marcos para los vanos y el soporte para el techo.

Es un sistema muy sencillo, tanto en costos (ya que utiliza menos madera y no se interviene el fardo), como en su aplicación que no requiere de mucha experiencia, además al tener una materialidad constante, no hay presencia de puentes térmicos.

Sus desventajas son claras, su versatilidad a la hora de diseñar se ve limitada por la estructura, que no aguanta más de dos o tres pisos, y en el contexto chileno, difícilmente podría sobrellevar el esfuerzo sísmico.

## 5.2. Entramado relleno con fardo de paja

MURO DE DOBLE ENTRAMADO RELLENA DE FARDOS DE PAJA

Año de construcción: 2013.

Oficina de arquitectura: BAG offinamobile.

Ubicación: Roma, Italia.

Latitud: 41.8905, Longitud: 12.4942 41° 53' 26" Norte, 12° 29' 39" Este.

Zona climática: Cálida.

Materialidad: Listones de madera y fardos de paja.

Sistema constructivo: Doble entramado relleno de fardo.

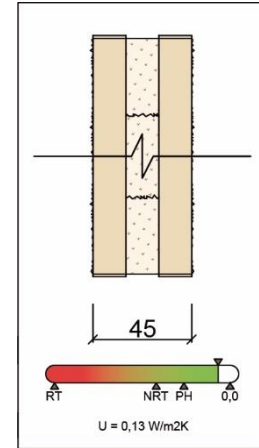


Fig. 9-10 Casa de doble entramado rellena de fardo de paja (Franco, 2013).

Se utilizó un doble marco de madera de ingeniería, diseñado para albergar el fardo en su totalidad, al hacer esto se puede utilizar el fardo tal cual viene sin tener que procesarlo, lo que ahorra en gastos y tiempo, se compacta dentro de los muros y luego se aplica una capa de terminación a elección.

Esta solución es principalmente para obras nuevas, ya que el muro por sus dimensiones y estructura es autoportante, por lo que, a la hora de reacondicionar con este sistema, debería aplicarse como un E.I.F.S / S.A.T.E agregado al muro existente, ya que difícilmente un muro existente tenga el espesor suficiente para albergar un fardo de paja completo como relleno.

### 5.3. Entramado metálico relleno con fardo de paja

MURO DE ENTRAMADO METALCON RELLENO DE FARDO DE PAJA

Año de construcción: 2015.

Oficina de arquitectura: Habitissimo.

Ubicación: Maitencillo, Chile.

Latitud: -32.6446° Longitud: -71.4326 32°38'40.56" Sur, 71°25'57.36" Oeste

Zona climática: Cálida

Materialidad: Metalcon, paja, planchas de madera y revoque de tierra.

Sistema constructivo: Doble entramado relleno de fardo

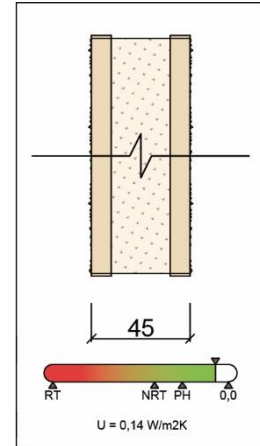


Fig. 11-12 Casa Maitencillo, entramado Metalcon relleno de fardo (Habitissimo ©, 2015).

Se utilizó un doble entramado con perfiles de Metalcon, diseñado para albergar el fardo en su totalidad, al igual que el caso anterior el fardo viene sin procesar, lo que ahorra en gastos y tiempo, se compacta dentro de los muros y luego se aplica una capa de terminación a en tierra cruda.

Al igual que el proyecto anterior, es una metodología para obras nuevas, aunque en este caso al usar perfiles metálicos, los elementos estructurales son más delgados, sin embargo, hay presencia de puentes térmicos debido a la alta conductividad térmica de los elementos estructurales.

Otra consideración, es que la huella de carbono del edificio será mayor a la de otros casos, debido a la estructura metálica. Si bien no se midió como parte de la investigación, como se puede ver en el grafico de emisiones de CO2 (Fig. 7), los materiales de origen metálico tienen una alta huella de carbono, en comparación, por ejemplo, a la madera, no obstante, la huella de carbono negativa del fardo compensa en cierta medida esta huella.

#### 5.4. Paja suelta como relleno

##### QUINCHA CONTEMPORANEA LIVIANA

Año de invención: Sin datos.

Ubicación: Chile.

latitud -35.6751 y longitud -71.5429 35°40'30.5" Sur 71°32.578' Oeste.

Zona climática: Cálida / fría templada / fría...

Materialidad: Listones de madera, paja suelta y tierra cruda.

Sistema constructivo: Entramado ligero de madera, Quincha liviana.

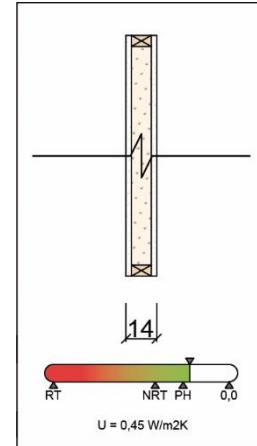


Fig. 13-14 Quincha liviana (Riquelme, 2022).

Últimamente se han retomado y reinventado las técnicas de la antigua construcción en tierra cruda, una de estas es la Quincha ligera, existen diferentes tipos, en sí, consiste de un marco de entramados (tradicionalmente madera aunque también hay casos en Metalcon) cubierto con un tejido (un patrón de madera, fibras naturales o una malla) el cual contiene el relleno, es puede ser húmedo (mezcla de tierra y paja) o seco (fardo de paja o paja suelta), en este caso para diferenciar de los demás se toma el caso de la paja suelta.

A diferencia de los tres casos anteriores, al utilizar la paja suelta, el ancho del muro puede ser variable, dando más libertad al diseño, pudiendo ahorrar en material y espacio en lugares donde no es necesario espesores tan grandes para lograr el confort, esto permite aplicar el concepto a un tabique existente, donde el espacio está definido.

Como principal desventaja es que, al tratarse de entramados ligeros, el diseño se limita a edificaciones de baja altura.

Al usar paja suelta, que es más inflamable a diferencia del fardo ya que pierde la compresión, el sistema recurre a revoques de tierra de 2,5 cm para lograr proteger el relleno del fuego.

## 5.5. Paneles prefabricados de paja

ENTRAMADOS MODULARES RELLENOS DE PAJA.

Año de invención: 2008

Oficina de arquitectura: Ecococon ©.

Ubicación: Bratislava, Eslovaquia

Latitud: 48.1485 y Longitud: 17.1077 48° 8' 54.95" Norte 17° 6' 27.89" Este

Materialidad: Listones de madera, paja, membrana estanqueidad y panel de fibra de madera.

Sistema constructivo: Prefabricado

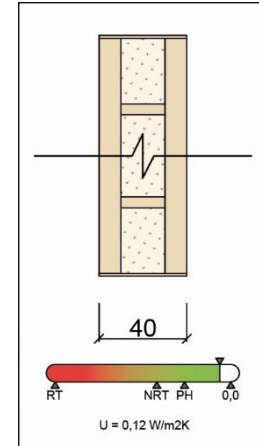


Fig. 15-16 Paneles prefabricados Ecococon (Ecococon ©, 2008).

A diferencia de los sistemas anteriores, donde la estructura y el relleno eran elementos separados, aquí se plantea todo de manera integrada, se diseña una serie de entramados de madera bajo condiciones rigurosas, las cuales aseguran un estándar controlado, dentro de este marco de alrededor de 40cm de espesor, se ubica la paja, la cual se comprime hasta llegar a una densidad de  $110 \text{ kg/m}^3$ , cuenta con una membrana de estanqueidad (para requerimientos *passivhaus*) y un panel de fibra de madera, la cual aporta con aun más acondicionamiento térmico a la par que terminación.

Al ser un prefabricado, quien diseñe tendrá a la mano datos como la resistencia al fuego (F120), aislamiento acústico (54 db) y el térmico ( $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), así agilizando el proceso de diseño al no tener que calcular, de la misma manera se acelera el proceso de montaje, al ser una faena seca, solamente resta trabajar uniones y terminaciones.

Quizá en una primera instancia se vea como alternativa solamente para obra nueva, pero al tratarse de un panel que incluye terminación y es autoportante, podría considerarse para el reacondicionamiento de edificaciones de hormigón en altura con sistema de pilar y viga.



## 5.6. Paneles de paja en el alma del muro

CASA ARRACHAY 01

Año de construcción: 2020.

Arquitectos: Javier Mera Luna + Lesly Villagrán + María Beatriz Moncayo.

Ubicación: Papallacta, Ecuador.

Latitud: -0.2689, Longitud: -78.1431 0°22'1" Sur, 78°7'58" Oeste.

Zona climática: Calurosa.

Materialidad: Listones de madera, osb, perfiles metálicos y paneles de paja de arroz.

Sistema constructivo: Entramado de madera relleno de paneles prefabricados.

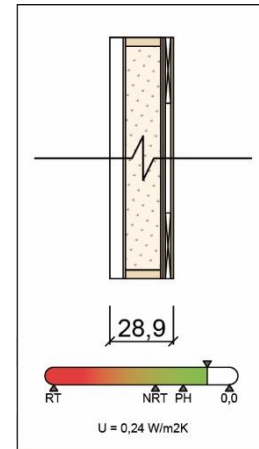


Fig. 17-18 Arrachay 01 / Javier Mera Luna + Lesly Villagrán + María Beatriz Moncayo. (Coulleri, A., 2021).

En este caso, similar a los anteriores, se utiliza una estructura de entramados para contener la paja, pero lo que caracteriza a este proyecto es el cómo se procesa.

Se fabrican paneles de paja de arroz a medida, de esta manera se pueden hacer muros más delgados y según los requerimientos de cada edificio, haciendo el diseño mucho más flexible, sin necesidad de sobredimensionar la estructura para albergar el fardo completo.

En este caso se utiliza en el alma del muro, pero deja las puertas abiertas para aplicarse como un E.I.F.S o S.A.T.E en el reacondicionamiento de muros macizos.

## 5.7. Paneles de paja como terminación

### CASA QUATTRO

Año de construcción: 2016.

Oficina de arquitectura: LCA Architetti.

Ubicación: Magnano, Italia.

Latitud: 45.4644, Longitud: 8.0033 45° 27' 52" Norte, 8° 0' 12" Este

Zona climática: Cálida templada.

Materialidad: Listones de madera y fardos de paja

Sistema constructivo: Entramado de acero con panel compuesto de paja y corcho a la vista.

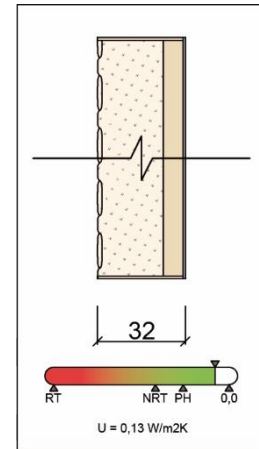


Fig. 19-20 Casa Quattro (LCA ARCHITETTI ©, 2016).

Finalmente, hemos explorado la paja como autoportante, como elementos prefabricados y como relleno; pero hay un ámbito en el cual poco se explora y es su cualidad estética.

En este proyecto, similar al anterior, se desarrolla un panel con paja y corcho, el cual, en vez de utilizarse como un relleno entre dos paneles de terminación, se deja a la vista, esto a su vez considera un tratamiento para que el material no se pudra, aunque deben considerarse las condiciones del entorno.

## 5.8. Conclusiones

Una vez revisado el estado del arte respecto a la aplicación de la paja como aislante en diferentes contextos, se obtuvieron ciertos patrones comunes; los cuales se pueden dividir en tres sectores principales; transmitancia térmica, rendimiento espacial y cualidades constructivas.

### Transmitancia térmica

Podemos ver que la mayoría de los sistemas constructivos estudiados cumplen o superan con lo recomendado por *Passivhaus*, de esta manera queda demostrado y validado el uso de la paja de cereales como aislante, logrando transmitancias térmicas de entre 0,45 W/m<sup>2</sup>k hasta 0,12 W/m<sup>2</sup>K, las cual es suficiente hasta para climas fríos, como por ejemplo la zona extremo sur de Chile o el norte de Estados Unidos.

### Rendimiento espacial

En términos de espesores de material, en muchos se utiliza el fardo completo, lo cual considera un espesor de aislante de mínimo 36 cm, esto lleva a pensar en muros rellenos o muy gruesos, pero también hay opciones con más procesamiento del material que pueden trabajarse con espesores menores; esto también facilita la aplicación y mano de obra. Todo dependerá del resultado que se quiera conseguir.

### Cualidades constructivas

Por lo general se trabaja con entramados, ya sean de madera o metálicos, ya que permiten muros más delgados al poder ser rellenos, en comparación a los muros macizos si se les tuviera que aplicar los mismos espesores de aislante. Sin embargo, podemos encontrar soluciones como los paneles procesados, los cuales podrían ser aplicables a estos muros macizos, como un adosado, tanto interior como exterior; gracias a esta lógica, el espesor de material aislante puede ser flexibilizado, por lo que no es necesario utilizar siempre el fardo completo. De esta manera tener opciones según el tipo de construcción, exigencias térmicas o materialidad de la estructura.

## 6. Aplicación de la paja a los sistemas constructivos chilenos

En base a las conclusiones y conocimientos adquiridos en el punto anterior, se plantea aplicar diferentes tratamientos aislantes con paja para cada sistema constructivo diagnosticado anteriormente en el capítulo 3, teniendo una matriz de soluciones de acondicionamiento térmico por sistema constructivo, teniendo como piso mínimo la futura reglamentación térmica para Santiago ( $U=0,8\text{W/m}^2\text{K}$ ) y como objetivo la recomendada por *passivhaus* para la misma zona climática ( $U=0,3\text{W/m}^2\text{K}$ ).

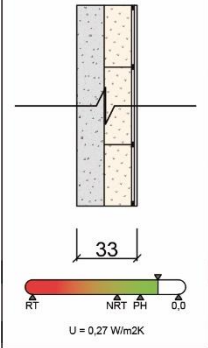
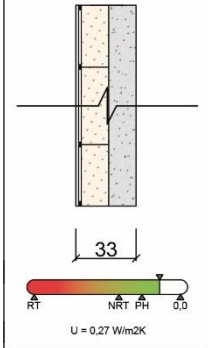
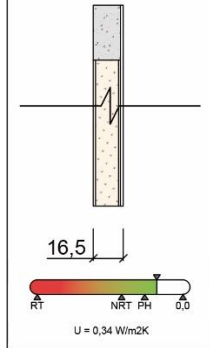
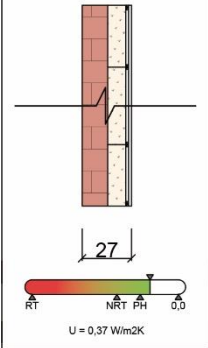
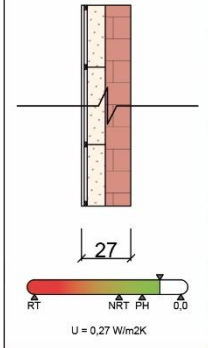
Se decantó por esta zona, ya que la región metropolitana tiene la mayor población y por ende mayor número de edificaciones a mejorar, sin embargo, el conocimiento es transversal y es aplicable a cualquier zona, simplemente se deberá modificar la transmitancia objetivo y cambiar espesores.

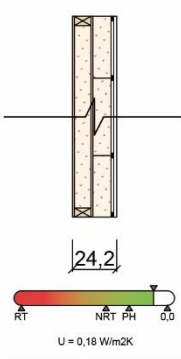
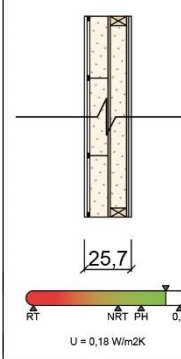
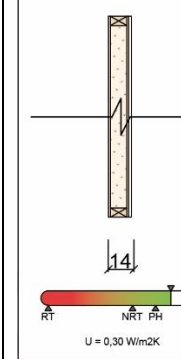
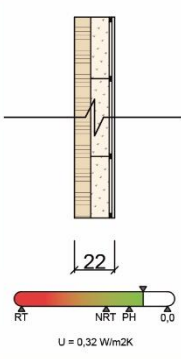
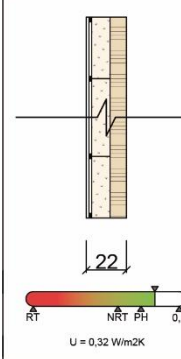
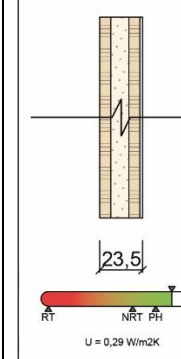
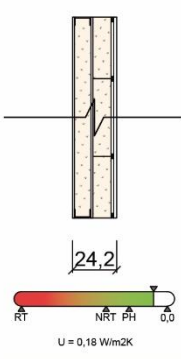
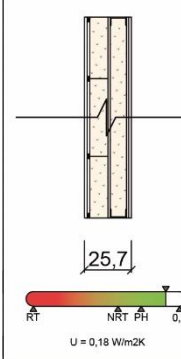
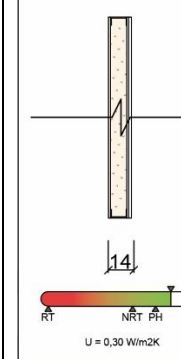
El objetivo es demostrar la factibilidad de estas distintas maneras de aislar una edificación, mediante un caso estándar, dejando a su vez libre la elección para quien diseñe según los requerimientos de su envolvente, pudiendo aumentar o reducir espesores de material o cambiar el detalle constructivo de la solución.

La matriz de soluciones considera lo siguiente:

- Sección esquemática de la solución.
- Espesor final del conjunto de muro.
- Valor U del conjunto de muro.
- Calificación.

**Tabla 3:** Aplicación de aislante de paja a sistemas constructivos tradicionales, elaboración propia

Sistema	Adosado al interior	Adosado al exterior	En el alma del muro	Observaciones
Hormigón Armado	 <p>33 U = 0,27 W/m2K</p>	 <p>33 U = 0,27 W/m2K</p>	 <p>16,5 U = 0,34 W/m2K</p>	<p>Material estructural con alta huella de carbono, preferible considerar para reacondicionamiento que para estructura nueva.</p> <p>Resultados por encima de recomendación <i>Passivhaus</i> sin comprometer demasiado el espesor.</p>
Mampostería ladrillo	 <p>27 U = 0,37 W/m2K</p>	 <p>27 U = 0,27 W/m2K</p>	No aplica.	<p>Material estructural cada vez en menos uso.</p> <p>Soluciones aplicables al reacondicionamiento.</p> <p>Resultados por encima de recomendación <i>Passivhaus</i> sin comprometer demasiado el espesor.</p>

<p>Entramado madera</p>	 <p>24,2</p> <p>U = 0,18 W/m2K</p>	 <p>25,7</p> <p>U = 0,18 W/m2K</p>	 <p>14</p> <p>U = 0,30 W/m2K</p>	<p>Material estructural con baja huella de carbono.</p> <p>Soluciones tanto para obra nueva como para reacondicionamiento.</p> <p>Resultados por encima de recomendación <i>Passivhaus</i> con espesores bajos.</p>
<p>CLT</p>	 <p>22</p> <p>U = 0,32 W/m2K</p>	 <p>22</p> <p>U = 0,32 W/m2K</p>	 <p>23,5</p> <p>U = 0,29 W/m2K</p>	<p>Material estructural con baja huella de carbono.</p> <p>Soluciones tanto para obra nueva como para reacondicionamiento.</p> <p>Resultados por encima de recomendación <i>Passivhaus</i> con espesores bajos.</p>
<p>Entramado Metalcon</p>	 <p>24,2</p> <p>U = 0,18 W/m2K</p>	 <p>25,7</p> <p>U = 0,18 W/m2K</p>	 <p>14</p> <p>U = 0,30 W/m2K</p>	<p>Material estructural con alta huella de carbono. preferible considerar para reacondicionamiento que para estructura nueva.</p> <p>Resultados por encima de recomendación <i>Passivhaus</i> con espesores bajos.</p>

## 7. Conclusiones finales

En una primera instancia, pensar en construir aplicando fardos de paja puede resultar intimidante, ya que se asimila con elementos de grandes espesores y edificaciones de baja altura; sin embargo, luego de los resultados obtenidos en el punto anterior, podemos concluir que no es necesariamente cierto, se pueden lograr construcciones aplicando paja de cereales como aislante sin sacrificar eficiencia ni espesor; mismamente los entramados destacan en este aspecto, logrando resultados de valor  $U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  sin superar los 14 cm, lo cual es suficiente para bastantes zonas climáticas.

Si bien esta investigación se desarrolló con las exigencias para zona térmica aplicable a Santiago de Chile, los conocimientos constructivos son **transversales** y aplicables a cualquier zona térmica, de hecho, muchos resultados, tanto de referentes como propuestos, tienen transmitancias térmicas que podrían aplicarse fácilmente a zonas más frías sin sufrir cambios, y en caso de zonas más

calurosas o si solo se quiere regir a la futura reglamentación térmica, es suficiente con regular los espesores según se desee.

De igual forma, es destacable mencionar que estas soluciones quedan a criterio de cada arquitecto, aunque siguiendo la filosofía inicial de reducir la huella de carbono, lo más adecuado sería priorizar los sistemas con menor huella de carbono para las nuevas edificaciones, sistemas como el CLT y los entramados de madera son los mejores candidatos; sin embargo no hay que desechar los conocimientos en otras materialidades, ya que nos ayudan a reacondicionar edificaciones existentes construidas bajo esa lógica.

Para finalizar, volviendo a la pregunta de investigación:

*¿Qué materiales naturales y desechos de las producciones vegetales en Chile tienen potencial de ser utilizados para mejorar la envolvente térmica de las viviendas? ¿De qué manera se las puede trabajar para hacerlas compatibles con los sistemas estructurales aprobados por la normativa?*

Luego de un análisis del medio, se llegó a la conclusión de que la paja de cereales era la mejor candidata para el contexto chileno; por su rendimiento térmico, sus características frente al ruido y el fuego, que a pesar de que solo se enfocó en el térmico y no se llegaron a medir el resto en la investigación, son atributos a tener en cuenta. Destaca por su condición de desecho, la cual al ser aprovechada podría reducir en gran medida la contaminación por su incineración; por su bajo coste, ligado a lo anteriormente mencionado y finalmente por ser un producto local, accesible a lo largo del país con bajo gasto en transporte.

El cómo se aplica quedó expuesto en los capítulos 5 y 6, pero en definitiva no se necesita necesariamente usar el fardo completo para acondicionar con paja una edificación. Las nuevas tecnologías ayudan a procesar la paja para crear elementos flexibles al diseño sin comprometer sus características que la hacen valiosa. Con estas implementaciones se deja la puerta abierta a implementar más elementos naturales en la construcción, comprobada su eficiencia y factibilidad, para que cada arquitecto tome sus propias decisiones, pero con el conocimiento y la mente abierta a nuevas materialidades amigables con el medio ambiente, una actitud necesaria para el cambio de época que estamos viviendo debido al cambio climático.

## Referencias

- Aislapol. (2022). Ficha planchas aislapol. Obtenido de Aislapol: <https://tiendaaislapol.cl/aislapol/wp-content/uploads/2021/08/Ficha-Planchas-aislapol.pdf>
- Ayrsa. (2022). Ayrsa. Obtenido de <https://tienda.ayrsa.cl>
- Barbero, J. M. (2 de Diciembre de 2014). Passivhaus: la envolvente y el aislamiento. JM3 Studio. Obtenido de <https://jm3studio.com/passivhaus-la-envolvente-y-el-aislamiento/>
- Biomateriales de construcción: Definición y tipos. (2 de Enero de 2022). Servei Estació. Obtenido de <https://serveiestacio.com/blog/biomateriales-de-construccion-definicion-y-tipos/>
- Calificación energética de viviendas. (16 de Enero 2017). Informe técnico, calificación energética de viviendas. <https://www.calificacionenergetica.cl/media/Informe-Técnico-enero-2017.pdf>

- CEPAL. (2009). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Heloísa Schneider.  
[https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Huella\\_carbono\\_prod\\_dist\\_consumo.pdf](https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Huella_carbono_prod_dist_consumo.pdf)
- CDT Concepción. (2016). Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico. En C. Concepción, Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico (págs. 30-31).
- Consejo Mundial de Edificación Sustentable. (s.f.). The Net Zero Carbon Buildings Commitment. World Green Building Council. Obtenido de <https://www.worldgbc.org/thecommitment>
- CONSTRUPAJAARGENTINA. (05 de Julio de 2015). Sistema Nebraska. Obtenido de RED ARGENTINA DE CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA:  
<https://construpajaargentina.wordpress.com/2015/07/05/sistema-nebraska/>
- Consuegra, J. (25 de Marzo de 2019). Passivhaus: Aislamiento y puentes térmicos. KÖMMERLING: Obtenido de <https://retokommerling.com/passivhaus-aislamiento-puentes-termicos/#:~:text=El%20estándar%20te%20aconseja%20obtener,térmica%20menor%20será%20la%20transmitancia>
- Coulleri, A. (2 de Diciembre 2021). Arrachay 01 / Javier Mera Luna + Lesly Villagrán + María Beatriz Moncayo. Plataforma Arquitectura. Obtenido de [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/972786/arrachay-01-javier-mera-luna-plus-lesly-villagran-plus-maria-beatriz-moncayo?ad\\_medium=gallery](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/972786/arrachay-01-javier-mera-luna-plus-lesly-villagran-plus-maria-beatriz-moncayo?ad_medium=gallery)
- Ecococon ©. (2008). Ecococon. Obtenido de <https://ecococon.eu/es/the-panel>
- Franco, J. T. (08 de Enero de 2013). La primera casa urbana construida de fardos de paja en Roma, Italia. Obtenido de Archdaily: [https://www.archdaily.cl/cl/02-223937/la-primera-casa-urbana-construida-de-fardos-de-paja-en-roma-italia?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab&ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.cl/cl/02-223937/la-primera-casa-urbana-construida-de-fardos-de-paja-en-roma-italia?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all)
- Godoy, G. (9 de Septiembre de 2020). Día Mundial de la Agricultura: superficie sembrada de cultivos anuales en Chile se redujo 17,2% entre los años agrícolas 2017/2018 y 2019/2020. INE. Obtenido de <https://www.ine.cl/prensa/2020/09/09/d%C3%ADa-mundial-de-la-agricultura-superficie-sembrada-de-cultivos-anuales-en-chile-se-redujo-17-2-entre-los-a%C3%B1os-agr%C3%ADcolas-2017-2018-y-2019-2020>
- Habitissimo ©. (2015). Viviendas en Construcción. Obtenido de Habitissimo:  
<https://proyectos.habitissimo.cl/proyecto/viviendas-en-construccion>
- LCA ARCHITETTI ©. (2016). LCA. Obtenido de LCArchitetti:  
<http://www.lcarchitetti.com/proj/residencial/casa-quattro-bioarchitettura-architetto-varese-milano-ticino-prefabbricata-in-legno-bioedilizia>
- LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS DE ORIGEN VEGETAL | Beyond Sustainable. (13 de Noviembre de 2013). Beyond Sustainable. Obtenido de <https://beyondsustainablearchitecture.wordpress.com/2013/11/13/los-aislamientos-termicos-de-origen-vegetal/>

- Majumder, M. (18 de Febrero de 2021). Cómo su próximo proyecto de construcción podría reducir el carbono. Madera21. Obtenido de <https://www.madera21.cl/blog/2021/02/18/como-su-proximo-proyecto-de-construccion-podria-reducir-el-carbono/>
- MINVU. (22 de Octubre de 2018). ESTÁNDARES DE ACONDICIONAMIENTO TERMICO PARA VIVIENDAS NUEVAS DEL FSEV, EN EL MARCO DEL PDA RM. Santiago, Chile.
- MINVU, MIEN. (2017). Informe técnico Calificación energética de viviendas CEV.
- Passivhaus costa del sol. (27 de Marzo de 2019). Passivhaus costa del sol. Obtenido de <https://www.passivhauscostadelsol.com/2019/03/27/importancia-del-aislamiento-termico-y-el-passive-house/>
- Peña, M. S. (06 de Junio de 2018). Uso de la paja en la construcción de paneles aislantes o estructurales, aprovechamiento de residuos de cereales de la agricultura. Bogotá, Colombia.
- Principios Passivhaus. (s.f.). Plataforma PEP. Obtenido de <https://www.plataforma-pep.org/principios-passivhaus/>
- Riquelme, V. (06 de Septiembre de 2022). Quincha liviana: Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial en Chile. Obtenido de Archdaily: [https://www.archdaily.cl/cl/988392/quincha-liviana-sistemas-constructivos-sustentables-de-reinterpretacion-patrimonial-en-chile?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab&ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.cl/cl/988392/quincha-liviana-sistemas-constructivos-sustentables-de-reinterpretacion-patrimonial-en-chile?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all)
- Rodríguez, M. F. (23 de Noviembre de 2021). El porvenir de la arquitectura sostenible: edificios Net Zero. Conexiones 365. [https://www.conexiones365.com/nota/expo-cihac/ingenieria-y-construccion/arquitectura-sostenible-edificios-net-zero#\\_ftnref1](https://www.conexiones365.com/nota/expo-cihac/ingenieria-y-construccion/arquitectura-sostenible-edificios-net-zero#_ftnref1)
- Secil Martingança, S.A. (2013). SecilVit CORK, EXTERNAL THERMAL INSULATION SYSTEM WITH CORK AND NATURAL HYDRAULIC LIME. Obtenido de <http://www.stonewarestudios.com/newsite/wp-content/uploads/2015/05/Cork-Board-Application-guide-Full.pdf>
- Souza, E. (3 de Enero de 2020). Carbono incorporado en los materiales de construcción: qué es y cómo calcularlo. Plataforma Arquitectura. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/931223/carbono-incorporado-en-los-materiales-de-construccion-que-es-y-como-calcular>
- StoTherm®. (2022). Sistemas StoTherm® EIFS. Obtenido de <https://stochile.com/sistemas-stotherm-eifs/>
- Taller Karuna®. (Febrero de 2015). QUÉ SISTEMA ELEGIR PARA CONSTRUIR CON PAJA. Obtenido de Taller Karuna: <https://tallerkaruna.org/que-sistema-elegir-para-construir-con-paja/>
- Volcapol®. (2022). ESPECIFICAR CDT. Obtenido de Volcapol® Barrera de Vapor: <http://www.especificar.cl/fichas/volcapol-barrera-de-vapor#>