

# Seminarios <sup>de</sup> Investigación <sup>en</sup> Tecnología

Carrera de Arquitectura  
Semestre Primavera 2022

## Contenidos

Presentación .....	6
<b>Investigaciones presentadas en formato artículo</b>	
<i>Emilia Angulo Aguilera ~ Prof. Guía Jeannette Roldán</i>	
Análisis de la habitabilidad, calidad del ambiente interior y consumos energéticos. Caso de la vivienda calificada en un conjunto residencial D.S.49 en la comuna La Granja.....	8
<i>José Arel Cabedo ~ Prof. Guía Gabriela Muñoz</i>	
Depósito Monte Verde: Infraestructura en deuda con el patrimonio arqueológico del yacimiento.....	26
<i>Constanza Aros Alfaro ~ Prof. Jíng Chang Lou</i>	
Innovaciones en paneles SIP: Paneles Rootman, paneles tipo SIP con un aislante natural y ecológico. ....	51
<i>Victoria Carvajal Olivares ~ Prof. Guía Cristián Muñoz</i>	
Aplicación de biopolímeros biodegradables en cerramientos: Arquitectura y material.....	70
<i>Nicolás Cornejo Peñaloza ~ Prof. Guía Gabriel Felmer</i>	
Desarrollo de un Panel Biocompuesto de Absorción Acústica en Base a Micelio de Lentinus lepideus con Rastrojo de Trigo ( <i>Triticum turgidum</i> ) .....	84
<i>Iann Espinoza Gárate ~ Prof. Guía Hernán Elgueta</i>	
Cowork y acústica: desafíos acústico-arquitectónicos en un espacio de cowork. ....	105
<i>Nicolás Figueroa Gariglio ~ Prof. Guía Matías Honorato</i>	
Consideraciones que debe tener un arquitecto al diseñar por impresión 3D en hormigón. ....	120
<i>Camila Garcés Orellana ~ Prof. Guía Cristián Muñoz</i>	
Estudio para la incorporación de sistemas estructurales reutilizables en la vivienda de emergencia chilena.....	139

<i>María José Gatica Arriagada ~ Prof. Guía Natalia Jorquera</i> Estrategias de respuesta al clima de las viviendas vernáculas de la región de Aysén. ...	161
<i>Javier Ibarra Espinoza ~ Prof. Guía José Ignacio Torres</i> Nuevos paneles prefabricados de construcción para viviendas modulares en el sur de Chile .....	186
<i>Rodrigo Jiménez Cornejo ~ Prof. Guía Camilo Guerrero</i> Simuladores: los videojuegos como complemento a la formación profesional del arquitecto.....	206
<i>Janis López Alvarado ~ Prof. Guía Pedro Soza</i> Diseño generativo como herramienta en el proceso de diseño aplicado en conjuntos habitacionales.....	240
<i>Amanda Machuca Cornejo ~ Prof. Guía Carla Cortés</i> Evaluación de estructuras neumáticas como respuesta eficaz ante situaciones de emergencia sanitaria en Chile .....	268
<i>Martina Mansilla Yáñez ~ Prof. Guía Gabriela Muñoz</i> Prototipado de uniones plegables para envolventes conformadas por CLT y barreras de humedad .....	299
<i>Daniela Martuffi Lazo ~ Prof. Guía Pedro Soza</i> Redes neuronales artificiales aplicadas al proceso de diseño: Integración del stock de conocimiento semántico utilizado en esquemas de distribución de plantas arquitectónicas.....	322
<i>Javier Ochoa García ~ Prof. Guía Mauricio Loyola</i> Simulación computacional VR como método de evaluación pre-Ocupacional (PREOE): contraste entre el supuesto virtual y la realidad construida.....	344
<i>Eduardo Olivares Reyes ~ Prof. Guía Marcelo Huenchunir</i> Reutilización de paja de cereales en la producción de aislantes y su aplicación en envolventes energéticamente eficientes.....	365
<i>Paulina Orellana Tapia ~ Prof. Guía Gabriela Muñoz</i> Estrategias de diseño pasivo en depósitos de archivos: Una forma sustentable de conservar el patrimonio documental. ....	390
<i>Catalina Palma Quezada ~ Prof. Guía Miguel Angel Delso</i> Aplicación del cartón para el diseño de estructuras de refugio plegables como respuesta dentro de la arquitectura efímera de emergencia: el origami como inspiración .....	409
<i>Sergio Parra Huala ~ Prof. Guía José Ignacio Torres</i> Uso del efecto Bernoulli en el diseño de techos con el viento para zonas rurales .....	433

<i>Catalina Pérez Cofré ~ Prof. Guía José Ignacio Torres</i>	
Alternativas de implementación del aislante térmico semitransparente que aporten iluminación natural .....	447
<i>Emilio Rubio Ortiz ~ Prof. Guía Mauricio Loyola</i>	
Propuesta metodológica para la creación de recorridos virtuales en base a fotogrametría con drones, enfocados en gafas de realidad virtual autónomas.....	469
<i>Anwar Sabagh Bahna ~ Prof. Guía Natalia Jorquera</i>	
Técnicas constructivas vernáculas de la región de Tarapacá .....	480
<i>Pamela Salas Arriagada ~ Prof. Guía Cristián Muñoz</i>	
Estrategias de diseño para el traslado y reutilización de construcciones en zonas extremas desérticas. ....	510
<i>Diego Torres Diaz ~ Prof. Guía Carla Cortés</i>	
Potencialidad en Tensoestructuras con Sistema de Cables como estructura de soporte para el crecimiento de plantas trepadoras y su desarrollo en cubiertas vegetales .....	529
<i>Sofía Vega Raviola ~ Prof. Guía Pedro Soza</i>	
Sobre el uso de Impresión 3D en la reparación de lesiones constructivas en viviendas sociales. ....	545
<i>Katalina Zambrano García ~ Prof. Guía Felipe López</i>	
Análisis y evaluación de las posibilidades de una máquina Router CNC de tres ejes para la fabricación de uniones carpinteras patrimoniales.....	569

## **Resúmenes de investigaciones presentadas en formato informe**

<i>Paula Fustos Araya ~ Prof. Guía David Cortez</i>	
Evolución técnico-constructivo de la vivienda rural Aymara. Observaciones del caso de Codpa en la región de Arica y Parinacota.....	596
<i>Gabriel Latorre Castro ~ Prof. Guía Mirtha Pallarés</i>	
Evaluación de la Incorporación de Inmótica y Domótica en Edificios Residenciales .....	598
<i>Carolina Mora Uribe ~ Prof. Guía Camilo Guerrero</i>	
Espacio Virtual Digital: Herramientas para la participación del arquitecto en su diseño y desarrollo.....	601
<i>Salomé Marcel Cruzat ~ Prof. Guía Mirtha Pallarés</i>	
La acústica del micelio en función del aporte de distintos sustratos: cartón, aserrín y avena.....	604

*Camila Melendes Pino ~ Prof. Guía José Ignacio Torres*

Estudio de factibilidad técnica de viviendas de emergencia prefabricadas como un recurso público en zonas de catástrofe en Chile. .... 606

*Milagros Moreno Saiz ~ Prof. Guía Patricio Arias*

Desarrollo Tecnológico Blando: Una clave invisibilizada para la masificación de la construcción en tierra..... 609

*Andrea Provoste Candia ~ Prof. Guía Mauricio Loyola*

Oportunidades de la aplicación de la realidad virtual con fotografía 360° y modelos 3D..... 612

*Paulina Salazar Reinoso ~ Prof. Guía Patricio Arias*

Proceso de aligerado de mezclas de tierra para paneles aislantes prefabricados ..... 615

## Presentación

El Seminario de Investigación es una actividad formativa ubicada hacia el final de la carrera de arquitectura cuyo propósito es que el estudiante desarrolle las competencias necesarias para realizar investigación científica en temas propios de la disciplina. Se caracteriza por ser una actividad práctica y aplicada en la cual los estudiantes desarrollan de manera independiente un proyecto de investigación en un tema de su interés bajo la dirección de un profesor guía especialista en el área.

Curricularmente, se organiza en torno a dos cursos consecutivos: “Formulación Metodológica del Seminario” y “Seminario de Licenciatura”. En el primer curso, los estudiantes plantean, diseñan y planifican un proyecto de investigación y lo presentan utilizando un formulario estandarizado similar a los formatos característicos de los concursos de investigación. En el segundo curso, los estudiantes ejecutan el proyecto y preparan un artículo breve o, en casos excepcionales, un informe de investigación en extenso.

Para incentivar las sinergias entre investigaciones relacionadas, existen siete grupos de investigación, derivados de las certificaciones intermedias de la carrera, que agrupan a profesores y estudiantes con intereses similares. El área temática del grupo de tecnología se define de la siguiente forma:

*“Considera el ciclo de vida de las edificaciones desde el diseño, la ejecución, conservación y recuperación de la obra arquitectónica, considerando las variables involucradas en el diseño constructivo y estructural de los proyectos, desde las condiciones de seguridad y habitabilidad, hasta la experimentación con tecnologías digitales o la innovación en procesos constructivos”*

En el semestre Primavera 2022, los profesores integrantes del grupo fueron los siguientes:

Patricio Arias Cortés	Camilo Guerrero del Río	Cristián Muñoz Díaz
Carla Cortés Hernández	Matías Honorato Torrealba	Gabriela Muñoz Sotomayor
David Cortez Godoy	Marcelo Huenchuñir Bustos	Mirtha Pallarés Torres
Nora De la Maza Cabrera	Natalia Jorquera Silva	Jeannette Roldán Rojas
Miguel Ángel Delso Paez	Felipe López Taverne	Pedro Soza Ruiz
Hernán Elgueta Strange	Jing Chang Lou	José Ignacio Torres Barón
Gabriel Felmer Plominsky	Mauricio Loyola Vergara	

Los temas abordados este semestre cruzan todo el espectro de la tecnología en arquitectura, reflejando claramente la diversidad de intereses de los estudiantes y la amplitud de *expertise* de los profesores del grupo:

- En el área de sistemas constructivos, se investigaron sistemas con paneles Rootman, con impresión 3D en hormigón, con uniones plegables con CLT, con uniones carpinteras con router CNC y con elementos modulares prefabricados.
- En el área de materiales, los estudiantes investigaron cerramientos de biopolímeros biodegradables, paneles acústicos a base de micelio, aislantes de paja de cereales, aislantes térmicos semitransparente y paneles de tierra aligerados.
- En el área de estructuras, las investigaciones abordaron sistemas estructurales reutilizables, estructuras neumáticas, estructuras plegables con cartón, tensoestructuras para cubiertas vegetales y el estudio del efecto Bernoulli en el diseño de techumbres.
- En el área de tecnologías digitales, se investigaron aplicaciones con tecnologías de simulación en videojuegos, diseño generativo, redes neuronales artificiales, realidad virtual, drones, inmótica/domótica y fotografía 360°.
- En el área de sistemas constructivos patrimoniales, se estudiaron casos de viviendas en la región de Aysén, de construcción vernácula en la región de Tarapacá, de vivienda rural Aymara y del patrimonio arqueológico en Monte Verde.
- En el área de habitabilidad, las investigaciones abordaron el análisis de calidad de ambiente interior y consumo energético en conjuntos de viviendas, la acústica en espacios cowork y el diseño pasivo en depósitos de archivos.

Este documento reúne todos los artículos finales y resúmenes de informes de las investigaciones aprobadas este semestre. El propósito último es compartir y difundir el conocimiento generado, incentivar a los estudiantes con la publicación de sus trabajos, contagiar la curiosidad por las líneas de investigación y, en general, motivar nuevas investigaciones en el área, para así contribuir al crecimiento de esta actividad docente, y de paso, al avance del conocimiento en la disciplina.

## **Análisis de la habitabilidad, calidad del ambiente interior y consumos energéticos. Caso de la vivienda calificada en un conjunto residencial D.S.49 en la comuna La Granja.**

**Estudiante:** Emilia Beatriz Angulo Aguilera

**Profesor guía:** Jeannette Roldán Rojas

### **Resumen**

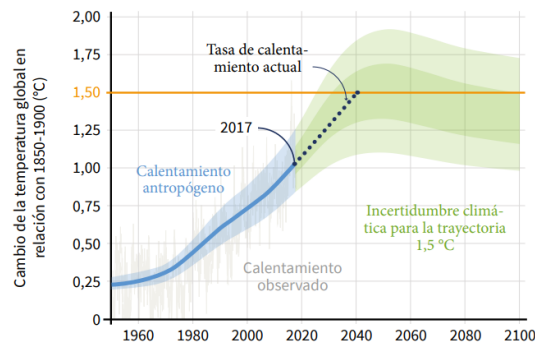
El interés por la comuna La Granja se debe al proceso de densificación a través de los años, causada por la erradicación hacia la periferia. Por esta razón la pregunta, cómo los nuevos conjuntos habitacionales cumplen con requerimientos de vivienda, y parámetros de habitabilidad, CAI y la incidencia en el consumo energético, considerando factores de aumento de temperaturas. Se escoge un conjunto habitacional D.S. 49 para analizarlo junto a la reglamentación térmica y calificación energética. Se analizan y evalúan variables de habitabilidad y CAI, relacionadas con aspectos constructivos, buscando optimizar el consumo energético a través de la modelación y evaluación. Los resultados reflejan el comportamiento térmico de seis unidades, aislada o pareada. Se observan resultados relacionados a la temperatura y asolamiento de la vivienda, y como afectaría la calidad de vida con respecto a la habitabilidad y CAI, además del consumo energético por la pérdida y ganancia de calor anualmente.

**Palabras clave:** Habitabilidad, Consumo energético, Calidad Ambiental Interior, Eficiencia energética, Conjunto habitacional.



## 1. Introducción

La situación ambiental evidencia claros aspectos del cambio climático, es por lo que se debe considerar factores como el constante aumento de temperaturas, puesto que se ha observado una tendencia lineal en aumento de  $0.14^{\circ}\text{C}$  por década, entre los años 1961 al 2020 (Dirección meteorológica Chile, 2020). Además, se observó que en el decenio de 2006-2015, el calentamiento llegó a  $0,87^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,12^{\circ}\text{C}$ ) en relación con 1850-1900, debido al aumento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera provocado por la actividad humana. Teniendo en cuenta que la temperatura global actualmente se incrementó  $0,2^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ) por decenio, y el calentamiento global de origen antrópico llegó a  $1^{\circ}\text{C}$  con respecto a los niveles preindustriales aproximadamente en 2017 y, si continua a ese ritmo, alcanzaría los  $1,5^{\circ}\text{C}$  en 2040, como se puede observar en la figura 1, la cual muestra el calentamiento provocado por la actividad humana (IPPC, 2019)

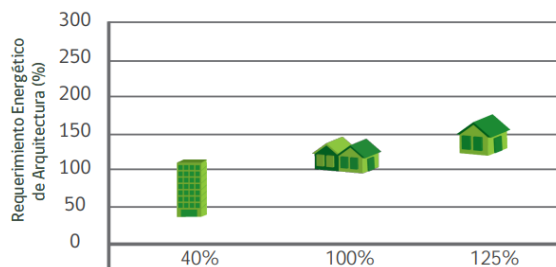


**Figura 1:** fuente: Recuperado de IPCC cambio climático, 2019, p 70.

A raíz de los factores climáticos anteriormente mencionados, se debe considerar y contribuir con la calidad de las viviendas teniendo en cuenta variables de habitabilidad y CAI, ya que la valoración del habitante sobre su ambiente residencial se asocia al grado de satisfacción y comodidad que tiene al respecto (Mejía-Escalante, 2012).

Desde ahí surge la duda con respecto a las tipologías de viviendas, y como contribuyen o afectan la eficiencia energética en relación con su consumo energético, CAI y habitabilidad, pues según el MINVU "si una vivienda pareada consume 100% de energía, la vivienda aislada consumirá más, ya que tiene mayor superficie de su envolvente expuesta, y el departamento consumirá menos porque su superficie expuesta al exterior es menor" (Figura 2).

Por esa razón La Granja, debido a la concentración de varios grupos familiares, y su escaso desarrollo de proyectos habitacionales desde 1996, necesitó una tipología que contribuyera energéticamente, y densificara el espacio urbano, dotándolo de una alta ocupación. Esta situación generó un interés en la investigación, ya que a pesar de la necesidad de proyectos habitacionales, no fue hasta el 2009, después de 13 años un conjunto residencial en altura, significando un avance en materia de política habitacional (Municipalidad de La Granja, 2015).



**Figura 2:** fuente: Calificación energética, informe de evaluación de eficiencia energética, 2013.

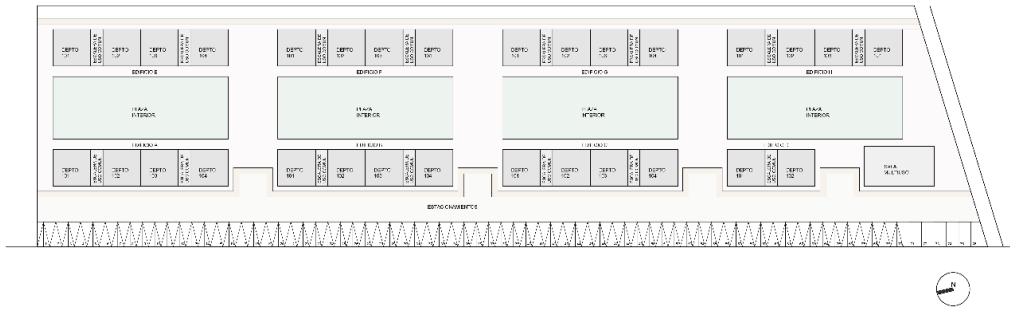
En relación con las tipologías y el progresivo aumento de temperatura se pone en duda la respuesta de la actual Reglamentación térmica, considerando además si la Calificación Energética de vivienda (CEV) voluntaria (2013), la cual califica la EE en 7 letras, A como la eficiencia excelente, y G como viviendas donde no se exigió ningún tipo de aislación térmica (MINVU, 2013).

Es relevante destacar esta información debido a que la Calificación Energética busca no tan solo evaluar energéticamente el conjunto, sino también busca contribuir con la calidad de vida del habitante (Ministerio de la vivienda y urbanismo. *Calificación energética de la vivienda*, 2013). Esto lo hace a través de datos relacionados a la transmitancia térmica de los elementos constructivos, en este caso como muros exteriores, techumbre y ventanas, es decir la envolvente térmica los cuales son útiles para relacionar a factores de habitabilidad y CAI, por ejemplo, confort térmico, acústico, ventilación, etc.

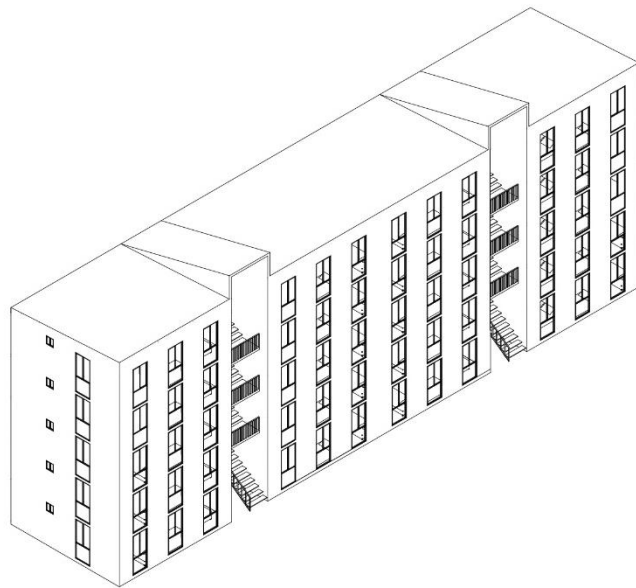
Por lo anterior se investigó un conjunto habitacional, Flor Naciente II, ubicado en comuna, el cual posee una Calificación Energética de Arquitectura entre D-E, según la ubicación del departamento, orientación geográfica, altura desde el nivel del suelo, y tipo de agrupamiento, pareado o aislado. En la unión de factores; arquitectura, equipos y tipos de energías, se califica en E (Código evaluación energética: 6849ad2017, 2017), significando que el conjunto se encuentra con la exigencia estándar actual de construcción, establecido en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC, 2007).

Para la investigación se consideran factores como el aumento de temperaturas, y como influyen en relación con la construcción, además de la habitabilidad, CAI y consumos energéticos. Factores ambientales (IEQ factors) como la calidad del aire, confort acústico y térmico, se toman en cuenta por la futura necesidad de aislar olas de calor especialmente en épocas de verano, evitando sensaciones de incomodidad y molestias al interior de la vivienda.

En cuanto a la composición del conjunto habitacional Flor Naciente II, posee ocho torres (Figura 3), seis de estas cuentan con cinco pisos (A-B-C-E-F-G) (Figura 4), y dos (D-H) poseen cuatro pisos. La Torre D es la única que cuenta con dos departamentos por piso, un total de ocho departamentos de 144.



**Figura 3:** Elaboración propia, Planta de Emplazamiento.



**Figura 4:** Elaboración propia, Axonométrica tipo Torre A-B-C-E-F-G

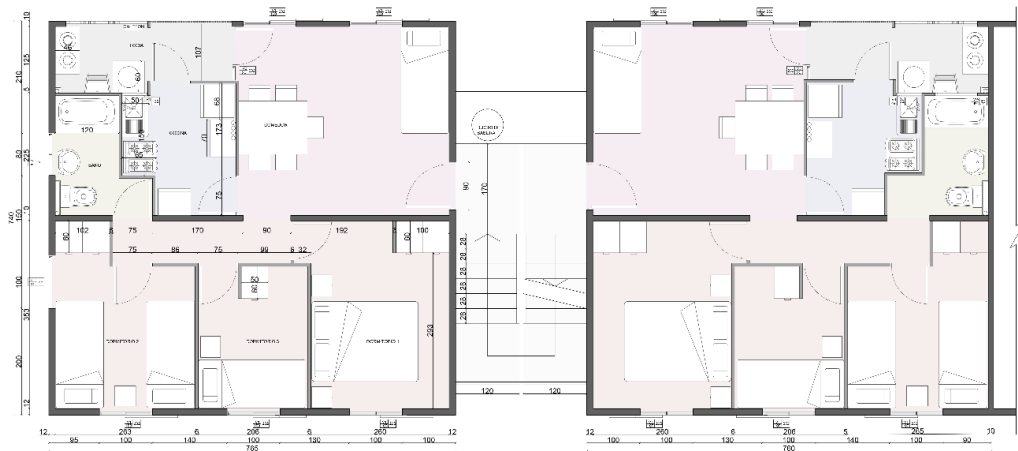


**Izq. Figura 5:** Elaboración propia, Noviembre 4pm, 2022.

**Der. Figura 6:** Elaboración propia Abril 6pm, 2022

De acuerdo a la orientación de las torres sus ventanas hacia el Este, Norte y Oeste, significando que las viviendas cuentan con una buena iluminación natural, según el informe de calificación energética del conjunto, posiciona el indicador que evalúa el riesgo de sobrecalentamiento en verano entre el dos y tres, significando un nivel alto en esta época del año. La sombra que se proyecta sobre las torres en provocada por estas mismas, ya que, al encontrarse frente a frente, con una distancia de 16,8 m, y emplazarse en una zona donde los vecinos del oeste son de dos niveles máximo (5 m de altura) y del este de cuatro niveles (9 m aprox.), los vecinos puede que obstruyan el asolamiento de las viviendas, pero aun así nomás que las propias torres del conjunto habitacional (Figura 5 y 6).

El conjunto posee dos tipologías de vivienda, los cuales se encuentran unidos por un bloque de escaleras. La primera tipología es la no pareada (Izquierda), cuenta con 55,68 m<sup>2</sup>; la segunda es la pareada (Derecha) que cuenta con 55,31m<sup>2</sup> (Figura 7). Ambas se componen por las mismas zonas, tales como comedor, cocina, baño, logia y tres dormitorios. Cada nivel tiene 2,32 m de altura, y según la ficha de CEV en relacion a equipos, este conjunto no posee sistemas de calefacción.



**Figura 7:** Elaboración propia, tipología de viviendas

Con respecto a todo lo mencionado anteriormente, respecto a la orientación, emplazamiento, asolamiento y cualidades estructurales de la vivienda, es que surge la duda del cómo se enfrenta al progresivo aumento de la temperatura, y como puede afectar la calidad ambiental interior e incrementar el consumo energético del conjunto residencial D.S.49, considerando que su exposición al sol es constante, por lo cual en verano significa un gasto energético mayor, ya que se necesita acondicionar térmicamente el espacio.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Habitabilidad y arquitectura

La vivienda debe satisfacer las necesidades que tienen relación con la calidad habitacional, acompañada de varios conceptos, por ejemplo, el confort, el cual es denominado como “el estado de comodidad y bienestar de las personas frente a una situación en particular, y en relación con su ambiente habitacional, se logra el confort cuando la persona no está expuesta a ningún tipo de malestar térmico, ruidos, olores y contaminación, entre otros” Aburto (Pag. 20, 2019). El confort térmico no sólo depende de factores ambientales; también de condiciones físicas, fisiológicas y psicológicas del ser humano, es por lo que su cuantificación resulta compleja, subjetiva y variable, y en la actualidad, dos son los conceptos planteados para la predicción de éste: Balance y Adaptación (Nematchoua, Tchinda, Ricciardi, & Djongyang, 2014).

El bienestar habitacional también se debe entender como un pilar importante de la habitabilidad, ya que según los autores Albornoz y Alberto (2014) determina factores relevantes para evaluar viviendas, considerando lo físico espacial, psicosocial, térmico, acústico, lumínico, seguridad y mantención. Además de estos factores, influyen variables externas, como el entorno inmediato de una vivienda y un entorno más a nivel macro (comunidad). Así, la vivienda es la estructura para la habitabilidad, puesto que en su conjunto de condiciones brinda comodidad, satisfacción física y psicológica.

Por lo anterior se debe entender que la habitabilidad y la arquitectura son dos vocablos íntimamente relacionados pero diferentes, ya que no hay arquitectura si no procura la habitabilidad, pero si puede haber habitabilidad sin arquitectura. Debido a que esta es una cualidad espacial que se fundamenta en múltiples aspectos más allá de los arquitectónicos, un lugar puede ser habitable, vivible, si tiene características afectivas que no necesariamente son físicos espaciales. Si se suman ambos aspectos se logra una plenitud en la experiencia de estar en un sitio. (Sánchez de Carmona, 2009, pág. 1)

Aun así, según García y Guzmán (2018), la habitabilidad se puede medir y estudiar desde enfoques físico-espaciales, medioambientales y psico-espaciales, pero lo que compete a la investigación, solo se centro en los primeros dos.

1. Físico-espacial: Relacionado con el construir y el habitar, el habitante elabora una adecuación de elementos físicos que lo configuran, directamente vinculados con la estructura de relaciones sociales que los congregan.
2. Medioambiental: Relacionado con los procesos medioambientales, que ubica a la habitabilidad como factor decisivo en la determinación del desarrollo urbano sustentable.

Estos términos dependen de la percepción de cada habitante, por lo que pueden variar, pero a su vez se debe comprender que la relación del concepto de habitabilidad está ligada directamente con necesidades básicas de la vivienda como el adecuado confort térmico,

convirtiéndose en un elemento fundamental en la calidad de vida de las personas, y un desafío el cómo mantener las condiciones óptimas para el bienestar humano, de manera integral.

## **2.2. Calidad ambiental interior relacionada con su entorno inmediato**

La vivienda se acomoda en el lote, conformando un binomio como un sistema referido a lo construido y lo no construido, de la relación entre ambos depende la eficiencia del otro y son mutuamente excluyentes, si uno aumenta el otro disminuye, impactando la habitabilidad de la vivienda (Torres y Perez 2014).

Es necesario tomar en cuenta para la ejecución de un espacio o vivienda; el análisis de las sensaciones y exigencias del medio ambiente, y de los habitantes; para alcanzar un óptimo equilibrio entre los estilos de vida de la sociedad, con el propósito de conseguir una calidad ambiental interior de los espacios sin contaminar y aumentar los cambios climáticos existentes, que puedan degradar el medio ambiente.

Por esta razón cuando se habla de calidad ambiental incluimos lo construido y la relación con su entorno. Puede evaluarse desde distintas escalas, como la vivienda, hasta la forma en que la ciudad se relaciona con el territorio y como lo percibe. Algunas escalas se analizan en conjunto con factores como el ámbito residencial, el barrio como entorno más cercano, la ciudad como un espacio complejo accesiblemente y el consumo energético en relación con su entorno, además de la vivienda. (Hernández, 2009).

La CAI es un avance conceptual, operativo, integral, moderno y complejo en la forma de asumir los riesgos. Debe poseer ambientes saludables, yendo más allá de la idea de limitar el aire interior como único contaminante. “Los sistemas de ventilación de los ambientes interiores acondicionan el aire, controlan las cargas térmicas y mantienen las diferencias de presión, por ello la ventilación podría ayudar a reducir la concentración de contaminantes, pero al mismo tiempo puede contaminar espacios previamente libres de contaminantes” (Spengler JD. Buildings operations and ETS exposure. Environ Health Perspect,1999).

Los factores considerados relevantes para evaluar la CAI en viviendas; según INVI 2005 son:

- Físico espacial, condiciones de diseño relativas a la estructura física habitable residencial: variables de dimensionamiento, distribución y uso.
- Psico-social, comportamiento individual y colectivo de los habitantes: condiciones de privacidad, identidad y seguridad ciudadana.
- Térmico, con factores como temperatura, humedad, ventilación, acústico y lumínico (condición presente para iluminación natural).

Con respecto a las condiciones ambientales que se originan entre las viviendas y el contexto inmediato; se plantea, la interrelación entre los materiales, sistemas constructivos y acabados empleados para la respuesta hacia el interior y exterior de las mismas, observando un aislamiento entre ellos. De esta forma, no mantienen un equilibrio que origine ambientes

internos y externos favorables que proporcionen confort, salud y bienestar al ser humano según Vargas y Gallego (2005), por lo tanto, deben ser utilizados aquellos que aporten mayor beneficio y sean más eficientes, ya que también generan contaminación, en menor o mayor cantidad, además de que contribuyen al deterioro de la CAI.

### **2.3. Consumo energético y eficiencia energética en el sector residencial**

El consumo energético, se entiende como el gasto de energía en una determinada acción. Se relaciona directamente con las industrias, construcción y viviendas de cada país.

Conforme a lo que respecta de Chile, según el Balance Nacional de Energía 2018, el sector comercial, público y residencial (CPR) representa el 23% del consumo nacional, siendo el residencial responsable del 69% del consumo del sector, dicho de otro modo, el sector habitacional es el que concentra el mayor consumo energético.

Actualmente para mantener las condiciones ambientales interiores óptimas se obtiene al mantener una temperatura, velocidad del aire y humedad. Calefaccionar o enfriar un espacio demanda un alto consumo de energía; que puede llegar a representar hasta un 60-70% del consumo total de energía del sector no industrial, pero es generando un excesivo uso del consumo energético, Manzano-Agugliaro et al., (2015).

Alcanzar máximos niveles en consumos de energía eléctrica, se ha convertido en una situación común en épocas de invierno y verano, con el fin de aclimatar la vivienda. Los costos energéticos para el mantenimiento de condiciones óptimas en el espacio interior significan mayor contaminación para el ambiente interior y exterior, lo que resulta en mayores costos para la mantención, generando un círculo vicioso, exigiendo un manejo racional y equilibrado entre las exigencias y el daño, Vargas y Gallego (2005).

En Chile el sector residencial consumió en el año 2018, 50.763 GWh, y en relación con su consumo eléctrico residencial por cliente en la Región Metropolitana (2021), 17,2 kWh/mes, y a nivel nacional fue de 14,3 kWh/mes (Comisión Nacional de energía, 2021).

Además de considerar el consumo energético, también se debe analizar la eficiencia energética de la vivienda, la cual busca optimizar y reducir recursos energéticos que se utilizan diariamente. En un país, disponer de un nivel adecuado de EE permite, por ejemplo, aumentar la seguridad de poseer un abastecimiento de energía suficiente para toda la población (Plan Nacional de EE 2022-2026, 2022. pag).

Es necesario resaltar la idea de que la CAI está directamente relacionada con el consumo energético, ya que *“La calidad del aire dentro de los edificios no puede mejorarse sin un enfoque global que tenga en cuenta múltiples fuentes de contaminación: equipamiento, mobiliario y la actividad humana”* (Comisión de Medio Ambiente, Salud Pública y Seguridad Alimentaria. Plan de Acción Europeo 2004-2010, 2004).

Es la razón por la que optimizar el consumo energético de las viviendas es importante, ya que según el informe final de usos de energía en los hogares de Chile (2018) un 53% del consumo

energético residencial se destina a calefaccionar y aclimatar. Infiriendo que, si la calidad de la vivienda se mejora y analiza, en cuanto a su espacialidad, aislamiento térmico y condiciones de la construcción, puede favorecer a la CAI y habitabilidad, además de disminuir requerimientos del consumo energético, optimizando la eficiencia energética, por medio de un buen comportamiento térmico en todo período del año, con estrategias compatibles para períodos fríos del año, sin afectar el confort en períodos calurosos (MINVU, 2009).

Respecto al plan de acción del área de la construcción, debería ser garantizado y ejecutado, ya que, sobre la situación actual, en relación a la alza de temperaturas, la contaminación ambiental y los consumos energéticos, empeorarán la calidad de vida del habitante. Además, no olvidar que la CAI debe generar bienestar, pero a su vez respetar el desarrollo sostenible y el cuidado del medio ambiente. Asimismo, debe adaptarse a cambios en las necesidades de los usuarios, sin olvidar que se necesita un planeta habitable para actuales y futuras generaciones.

### **3. Métodos**

El objetivo general de la investigación se centra en analizar los desempeños del ambiente térmico, para optimizar la calidad ambiental interior y consumo energético de un conjunto residencial durante el año, y los métodos se componen y corresponden a un estudio con enfoque cuantitativo y cualitativo.

#### **3.1. Primera etapa**

La investigación se divide en una parte cualitativa, en la cual se recopilan antecedentes con ayuda de referentes bibliográficos, ida a terreno para corroborar con la información obtenida a través de la dirección de obras de la comuna La Granja, en donde se identifican los detalles constructivos de muros divisorios constructivos/no soportantes, elementos soportantes horizontales, techumbre y aislación exterior e interior, además de planimetrías de distribución del espacio y emplazamiento del conjunto.

Se identifican las variables ambientales y físico-espacial que inciden en la habitabilidad, las cuales son calentamiento interior y asoleamiento, esto a través de mediciones durante todo el año, considerando los elementos constructivos los cuales se observan en la Tabla 1, en donde se especifica el tipo de elemento, código y la solución constructiva, la cual se encuentra en la parte de anexos

La información y detalles de los elementos constructivos se utiliza para analizar en conjunto con las variables de ventilación, calentamiento interior y asoleamiento, considerando además que la ubicación de las ventanas es de Este a Oeste.



### 3.2. Segunda etapa

Los aspectos cuantitativos se construye un modelo geométrico del conjunto habitacional Flor Naciente II, y a través de este se analizan los aspectos constructivos de la edificación. Para esto se consultó:

- Zonificación térmica 4110 bis. OGUC.
- Climatología meteorológica de Chile.
- Norma chilena Nch 853.Of2007 Acondicionamiento térmico.
- Planos, cortes y elevaciones del conjunto Habitacional Flor Naciente II. Municipalidad de La Granja, Dirección de obras.

Se modela geométricamente el conjunto en el programa BIM Archicad, en donde se indican elementos y materialidades de la construcción, los cuales tienen relación con los de la Tabla 1.

### 3.3. Tercer paso

Ya en la tercera parte de la investigación, se definió variantes de habitabilidad y calidad ambiental interior, en donde se simula el comportamiento térmico por unidad de departamento, puesto que así se pueden obtener datos más exactos y comparables, comprendiendo que la habitabilidad se puede entender mejor cuando se analiza por unidad habitacional, en comparación al análisis de la torre en su totalidad.

Se eligen unidades habitacionales del primer, tercer y quinto nivel, la elección de los departamentos varía en dos aspectos:

Por su posición en el eje vertical, considerando que en cada instancia se encuentra en contacto con diferentes superficies; el primer nivel, se relaciona a la transmitancia térmica dada por los muros exteriores, y su relación con el piso, para efectos de cálculo la losa superior se asigna como adiabática, ya que no tiene transmitancia térmica. En el tercer nivel se encuentra entre dos pisos, por ende, para relaciones de cálculo, se asigna que la losa superior e inferior es adiabática. Por último, en el quinto nivel los muros exteriores se encuentran en contacto con el exterior y transfiere calor, pero la losa inferior y superior no, esta última posee la techumbre, la cual posee aislación y cerchas, además de estar cubierta por planchas de fibrocemento y un forro galvanizado encima.

Exposición de fachadas, se escoge un departamento que se encuentra aislado y uno pareado, debido a que según estas características se hipotetiza que la respuesta de ambos sea diferente, ya que uno posee mayor superficie expuesta al exterior por ende requiere una mayor demanda de energía.

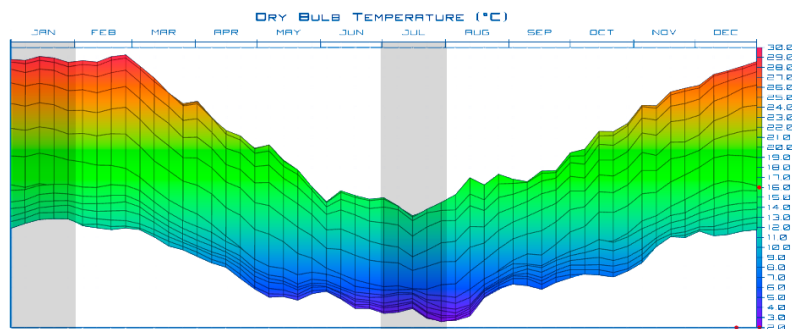
Como se mencionó anteriormente se utiliza Archicad, ya que dentro de este mismo programa se encuentra EcoDesigner, el cual brinda herramientas para el cálculo térmico del conjunto habitacional.

Además, considerar los puntos que se deben considerar para el análisis de los resultados, en donde se complementa con la siguiente Tabla 2, la cual nos muestra los puntos que se deben considerar a la hora de hablar de CAI en la vivienda, considerando factores como los mencionados en la tabla, y relacionarlos con la respuesta del edificio y su calificación energética, la cual es la mínima exigida.

## 4. Resultados

### 4.1. Asolamiento y calentamiento interior de la vivienda

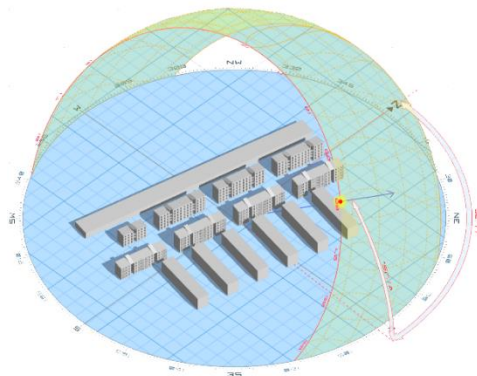
Respecto al siguiente análisis de temperaturas (Figura 8), se analizan y centra específicamente en dos meses del año, el primero desde el 1 hasta el 31 de Enero, y el otro desde el 1 al 31 de Julio. Se escogen estos dos meses en específico, ya que según la base de datos de Energyplus sobre la temperatura seca anual de 2021, estos habían sido los meses de mayor y menor temperatura del año.



**Figura 8:** Fuente: Base de datos climáticos Energyplus, Santiago de Chile, 2021.

La información reflejada en la figura 14, se destaca las temperaturas de los meses anteriormente mencionados, evidenciando la gran alza en los meses de verano (Diciembre-Enero-Febrero), y principalmente en Enero, por esta razón es que preocupa el sobrecalentamiento y asolamiento que puede sufrir la vivienda, la cual se encuentra constante expuesta.

Por esta razón se vuelve relevante para el análisis y resultados, ya que, como se observa en la siguiente Figura (15), a las 8 am el sol se encuentra de manera directa a las ventanas de la zona Este, generando un asolamiento excesivo hasta pasado el mediodía. Significando que en las épocas de verano puede presentarse un sobrecalentamiento desde la mañana hasta todo el día, puesto que las otras ventanas se encuentran hacia el lado Oeste, lo que implica que reciben todos los rayos del sol de la tarde.



**Figura 9:** Fuente: Elaboración propia, base de datos climáticos Energyplus, Santiago de Chile, 2021.

#### **4.2. Respuesta térmica por unidad habitacional**

Los requerimientos de energía se determinan en base a condiciones de uso, funcionamiento y temperaturas estándar al interior de la vivienda, y pueden diferir de la forma en que realmente se habita la vivienda; por tanto, son de carácter referencial y no representan necesariamente la demanda y consumo de energía real de la vivienda.

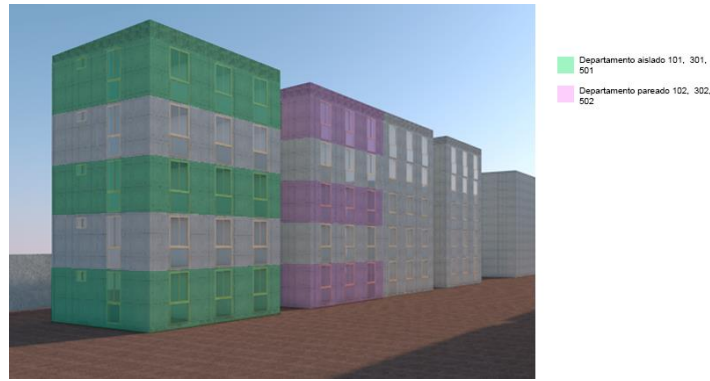
De igual forma se hipotetiza que en cada vivienda hay un rango de cinco a cuatro personas habitantes del espacio, y que solo se encuentran en un rango de tiempo en la vivienda, en donde dependiendo de la zona es el rango de tiempo que están, por ejemplo:

- La zona de Estar se promedia que pueden estar una hora en la mañana (aprox. a las 7 am) y cinco horas en la tarde (aprox. 5 pm en adelante), y no necesariamente todo el tiempo, sino que, por intervalos, además de que pueden encontrarse los cinco integrantes al mismo tiempo.
- La zona de Dormitorios se promedia que estén desde las 22:00 pm, hasta las 06:00/07:00 am, y se estima que por habitación hay una o dos personas como máximo al mismo tiempo.

En respecto a la temperatura interior de la vivienda, se considera un rango de temperatura dentro de la vivienda entre los 23°C a los 18°C, esto repetido en todas las zonas.

Se escogen seis departamentos de la torre E, de los cuales tres son aislados y tres pareados, además de encontrarse en diferentes niveles, para comparar la pérdida calorífica y refrigerante de un departamento relacionándolo a su condición de exposición hacia el exterior, y su ubicación en los niveles del conjunto, primer, tercer o quinto nivel (Figura 10).

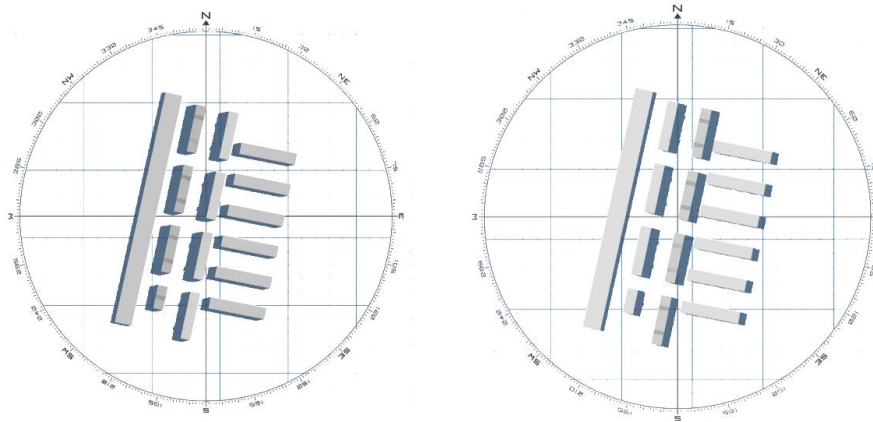
Los datos reflejados del análisis indican un alza en el requerimiento energético calorífico de los departamentos aislados, y una baja notable en los pareados, se observa de mejor manera en el gráfico de barras presentado en el análisis de resultados.



**Figura 10:** Fuente: Elaboración propia en Archicad, en base a datos de la Tabla 1.

### 4.3. Comportamiento termico relacionado a su orientación

Como se mencionó anteriormente, las ventanas del conjunto habitacional se encuentran dirección Este, Norte y Oeste, por ende, se encuentran mayormente del día expuesta a la radiación solar. En las siguientes figuras se observa una comparación de maquetas solares, las cuales nos presentan la sombra proyectada en el solsticio de verano a las 10 am (Figura 11) y a las 3 pm (Figura 12).



**Izq. Figura 11:** Fuente: Elaboración propia, base de datos climáticos Energyplus, Santiago de Chile, 2021.

**Der. Figura 12:** Fuente: Elaboración propia, base de datos climáticos Energyplus, Santiago de Chile, 2021.

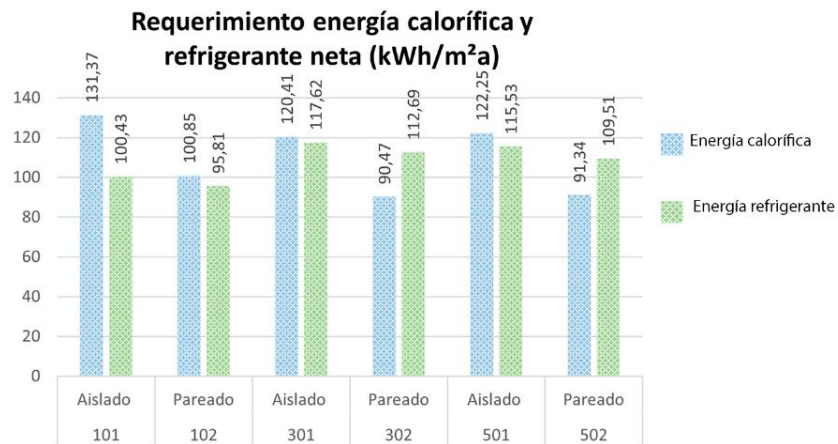
La actual situación de orientación y emplazamiento del conjunto potencia la radiación solar de las viviendas por medio de las superficies acristaladas, ya que como se observa en las maquetas solares, la exposición de las ventanas con dirección Este, se ve expuestas aproximadamente desde las 7 am hasta las 12 pm, y en la zona Oeste, se encuentra expuesta todas las horas restantes de día, ósea hasta las 6 pm aproximadamente.

Para el análisis de los resultados antes expuestos, primero se debe entender y enlazar la información con respecto a la incidencia que tiene sobre la Habitabilidad y CAI, ya que los datos anteriormente evidenciados, reflejan y hablan sobre requerimientos energéticos,

comportamiento térmico y asolamiento de la vivienda. Estos factores inciden en cómo se habita, ya que de acuerdo con lo que se menciona en la Tabla 2 (Anexos), la CAI de la vivienda debe tener ciertos parámetros para mantener un adecuado confort térmico, lumínico, acústico y la calidad del aire. Además de considerar parámetros para la habitabilidad, los cuales son más complejos de comprender, ya que no dependen solo de cualidades arquitectónicas, sino que de percepciones y condicionantes físicos, fisiológicos y psicológicos, pero para aspectos de la investigación solo se consideran aquellos que tengan relación con la arquitectura.

La adaptación del espacio para el habitante, en relación con factores de CAI y habitabilidad va ligada a la respuesta dada a través del comportamiento térmico de la vivienda, ya que puede significar una mala o buena respuesta frente a estos parámetros, dependiendo de los requerimientos que exija.

Los requerimientos energéticos varían según muchos factores de la vivienda, por ejemplo, el cómo la superficie se encuentra contacto, y se exponen límites externos. En el siguiente gráfico (Figura 13), podemos observar la comparación del requerimiento energético calorífico y refrigerante de seis departamentos, además se observa que algunos, como los de condición pareada, requieren de un menor requerimiento energético calorífico, debido principalmente porque posee una menor superficie expuesta que los departamentos aislados, ya que en comparación con los otros expone solo tres caras, y no cuatro.



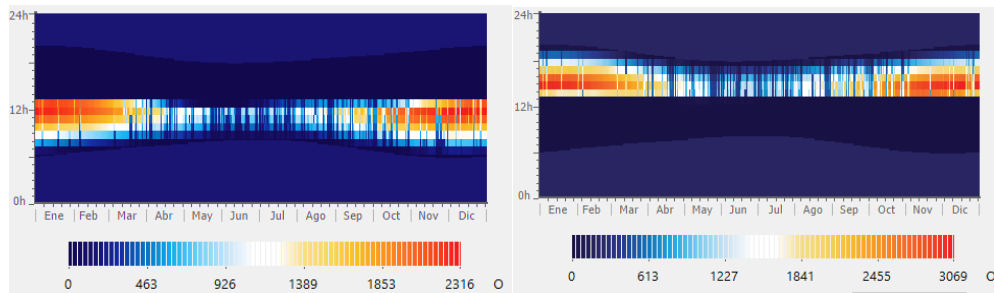
**Figura 13:** Fuente: Elaboración propia, base de datos de análisis térmico de los departamentos.

Relacionado a lo anterior, se analizó el requerimiento energético, y como si este aumenta o disminuye perjudica la calidad de vida del habitante, y los parámetros de CAI y habitabilidad, por ejemplo, en factores relacionados al confort dentro de la vivienda. Si bien el ‘confort’ se puede entender y resolver en varias aristas, se asimila que su cumplimiento puede lograrse a través de soluciones de envolvente y aislación, si hablamos de la respuesta arquitectónica. Si lo anterior no cumple, significa un mayor aumento en el gasto energético, por ende, un mayor consumo y menor EE, además considerando que la cantidad de habitantes por departamento

se estima de cuatro a cinco personas, las cuales para un espacio de 55m<sup>2</sup> puede significar un mayor consumo y requerimiento energético.

Lo anterior es importante para la evaluación, y a su vez también lo es la relación que se obtiene a través de gráficos, los cuales muestran índices de radiación solar recibida por la vivienda en ciertas horas del día, el cual pudiese llegar a generar un sobrecalentamiento y asolamiento dentro de la vivienda. Relacionado con los factores de confort, asolamiento y sobrecalentamiento, pueden ser solucionados a través de envolventes, pero a su vez, también puede ser afectada no solo por la calidad y aislamiento de sus límites, sino que influye de igual forma la orientación, ubicación y las entradas de luz.

La información que se entrega en los siguientes gráficos, están relacionados a la radiación solar del departamento 502, el cual se encuentra en el quinto piso, se observa una constante exposición del sol en los meses de Noviembre hasta Marzo (Figura 14 y 15). Además, si consideramos que, en épocas tanto de invierno como verano, se busca la aclimatación del espacio habitado, significando un gasto energético mayor, por la situación de constante exposición y radiación solar. Por otra parte, los factores como la sombra proyectada tanto por el mismo conjunto como por sus vecinos no interfieren en la exposición, puesto que no proyecta en gran significancia sobre el conjunto habitacional.



**Izq. Figura 14:** Fuente: Obtenida de Ecodesigner, datos climáticos de radiación solar, 2021.

**Der. Figura 15:** Fuente: Obtenida de Ecodesigner, datos climáticos de radiación solar, 2021

Si se relacionan todos los factores antes mencionados; consumo energético, parámetros tanto de habitabilidad, CAI, y el asolamiento de la vivienda, se debe comprender que cada uno de estos factores puede condicionar al otro, significando que, si el consumo energético aumenta, los parámetros de CAI también se ven afectados, y por consiguiente la calidad de vida del habitante.

Considerando el caso hipotético del aumento de temperatura a través de los años, en meses de verano existiría un posible sobrecalentamiento al interior de la vivienda, lo que significaría que, aunque la vivienda se encuentre calificada energéticamente, y con las exigencias mínimas requeridas por la RT, implicaría que aun así no mantenga un adecuado confort para el habitante, sobre todo lumínico y térmico. Por consiguiente, conlleva un aumento en los gastos energéticos de la vivienda, puesto que aumenta de temperatura

interior y el asolamiento, se vuelve un problema por la recurrente exposición solar alrededor de todo el día.

## **5. Conclusiones**

Concluyendo respecto al cómo se abordaron y respondieron los objetivos, tanto generales como específicos; se analizó y estudio el ambiente térmico de la zona, viendo como esta insidia frente al conjunto habitacional, además de observar como en ciertos meses la temperatura tiene un alza o una disminución.

El análisis se realizó para optimizar la CAI y consumos energéticos durante el año, para esto se debió identificar los comportamientos de habitabilidad del conjunto habitacional, los cuales para esta primera instancia se logro construir y entender la condicionantes constructivas de la vivienda, y por consiguiente ver como esta se resolvía arquitectónicamente para suplir necesidades como confort térmico, lumínico y acústico. Además, se concluyó que la orientación y emplazamiento de la vivienda influyen en su desempeño, ya que existe la posibilidad de presentar exceso de asolamiento, el cual perjudicaría en épocas de verano.

Por último, la construcción del modelo geométrico ayudo a realizar un análisis térmico, el cual nos da bases para entender como el conjunto residencial responde hacia ciertos parámetros como el uso, materialidades de construcción y su limites expuestos.

Si bien los resultados evidenciaron un posible problema térmico de la vivienda, lo que conlleva un problema en para la habitabilidad y CAI del habitante, y su entorno, también implica un gasto energético mayor. Lo que podemos concluir es que la vivienda a pesar de estar con los estándares mínimo necesarios de la RT, y encontrarse calificada energéticamente con lo mínimo, en un futuro no muy lejano, las alzas de las temperaturas tendrán bastante peso por sobre las decisiones a la hora de construir y poner nuevos parámetros para la calificación energética de la vivienda, que aunque no sea un procedimiento obligatorio, si debe considerarse como algo importante de evaluar en todos los conjuntos residenciales, sobre todo en viviendas otorgadas a través de subsidios, los cuales deberían asegurar una condición de habitabilidad digna para el habitante, sin implicar mayores consumos energéticos.

## **6. Referencias**

Aburto. Rodrigo (2019). Análisis de las condiciones de ventilación y calidad de aire interior de la vivienda tipo 3 de la obra foresta 4 de la Comuna de San Pedro de la Paz. Universidad Técnico Federico Santa María, sede concepción rey Balduino de Bélgica Concepción.

- Albornoz, A. (2014). Bienestar habitacional y mejoramiento de aislación térmica, Estudio de Vivienda Social Tipo 5, Villa Cervantes. Universidad Andrés Bello, Facultad de ingeniería, ingeniería en construcción. TESIS
- Attia S. y Salvatore C. (2015). Impacto de diferentes modelos de confort térmico en edificios residenciales de energía cero en clima cálido
- Ballén, S. (2009). Vivienda social en altura. Antecedentes y características de producción en Bogotá. Revista Invi 24 (67). Recuperado de:  
<https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62306>.
- BIBLIOTECA NACIONAL DE CHILE. "Poblamiento", en: Santiago (1930-2006). Memoria Chilena. Disponible en <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-93813.html>.
- CORFO (2019) Escombros de la construcción llenaría 15 veces el Estadio Nacional para 2025 ¿Qué hacemos para evitarlo? Construye 2025. Disponible en:  
<https://construye2025.cl/2019/11/05/escombros-de-la-construccion-llenarian-15-veces-el-estadio-nacional-para-2025-que-hacemos-para-evitarlo/>
- Corporación de desarrollo tecnológico CChC (2008) Aislación térmica exterior. Manual de diseño para soluciones en edificaciones. Disponible en:  
<https://extension.cchc.cl/datafiles/21539-2.pdf>
- Dirección Meteorológica de Chile (2021). Reporte Anual de la evolución del clima en Chile. Disponible en: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/ReporteClimatico2020-edmay2021.pdf>
- García, R. Herrera, R. Muñoz, C. y Wandersleben, G. (2015). Desempeño ambiental de recintos habitacionales. Comparación de simulaciones, monitorización y percepción de residentes en seis viviendas de Concepción. vol. 20, núm. 47, pp. 71-84.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a06>.
- García, R. y González, A. (2014). Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro-sur de Chile. Revista INVI, 29(80), 111-141.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582014000100005>
- Hernández Aja, Agustín. (2009). Calidad de vida y medio ambiente urbano: Indicadores locales de sostenibilidad t calidad de vida urbana . Revista INVI, 24(65), 79-111.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582009000100003>
- IPCC (2019) Informe sobre el calentamiento global de 1,5°C. Disponible en:  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15\\_Summary\\_Volume\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf)
- Mejía-Escalante, Mónica. (2012). Habitabilidad en la vivienda social en edificios para población reasentada: El caso de Medellín, Colombia. EURE (Santiago), 38(114), 203-227.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612012000200008>



- Ministerio de Energía (2018) Resumen ejecutivo de usos de energía de los hogares de Chile. Disponible en:  
[https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/resumen\\_ejecutivo\\_caracterizacion\\_residencial\\_2018.pdf](https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/resumen_ejecutivo_caracterizacion_residencial_2018.pdf)
- Ministerio de Energía (2022) Plan nacional de eficiencia energética 2022-2026. Disponible en:  
[https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan\\_nacional\\_de\\_eficiencia\\_energetica\\_2022-2026.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_nacional_de_eficiencia_energetica_2022-2026.pdf)
- Ministerio de vivienda y urbanismo (2013). Calificación energética de viviendas. Disponible en:  
<http://old.acee.cl/sites/default/files/noticias/documentos/Presentacion%20Ragnar%20%20Branth.pdf>
- Ministerio de vivienda y urbanismo (2013). Estándares de construcción sustentable para viviendas en Chile. Tomo II energía. Disponible en:  
<https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/ESTÁNDARES-DE-CONSTRUCCIÓN-SUSTENTABLE-PARA-VIVIENDAS-DE-CHILE-TOMO-II-ENERGIA.pdf>
- MINVU (2020). Informe final de evaluación programas gubernamentales. Fondo solidario de elección de vivienda DS 49. Disponible en: [https://www.dipres.gob.cl/597/articles-205713\\_informe\\_final.pdf](https://www.dipres.gob.cl/597/articles-205713_informe_final.pdf)
- MINVU. (s. f.-b). Manual de Aplicación. Reglamentación Térmica. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Artículo 4.1.10 - Caldera. Biblioteca Digital. Disponible en:  
<http://www.plataformacaldera.cl/biblioteca/589/w3-propertyvalue-26017.html>.
- Orrego Salinas, D. (2018). Análisis del programa de mejoramiento de condominios sociales frente al deterioro del hábitat residencial de conjuntos habitacionales en el AMS: comunas de Independencia y Recoleta. Disponible en  
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170027>.
- Vargas Marcos, Francisco, & Gallego Pulgarín, Isabel. (2005). Calidad ambiental interior: bienestar, confort y salud. Revista Española de Salud Pública, 79(2), 243-251. Recuperado en 15 de julio de 2022, de  
[http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272005000200011&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200011&lng=es&tlng=es).
- Villota Pantoja, J. (2017). Lo informal habitado. Variables de habitabilidad y dimensión proyectual del barrio La Cruz. Disponible en:  
<http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58681>

## **Depósito Monte Verde: Infraestructura en deuda con el patrimonio arqueológico del yacimiento**

**Estudiante:** José Vicente Arel Cabedo  
**Profesor guía:** Gabriela Muñoz Sotomayor

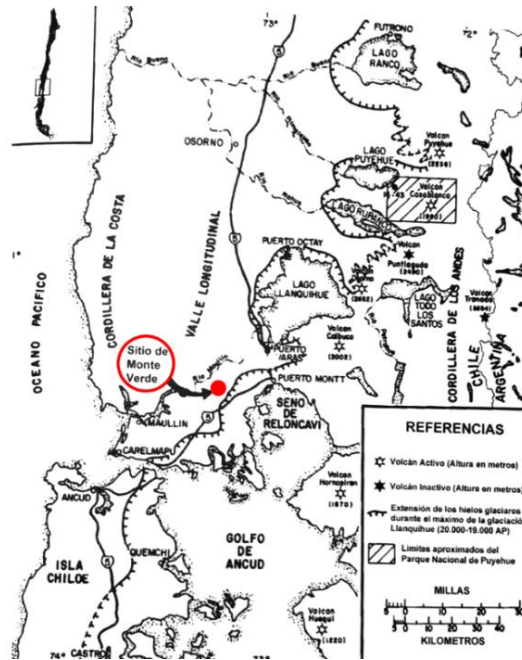
### **Resumen**

La presente investigación estudia las maneras en las que adecuadamente se debiera conservar el patrimonio arqueológico del monumento Monte Verde, el cual sido descuidado y rodeado de incertidumbre respecto a la puesta en valor del monumento. En base a esto se vuelve necesaria la implementación de un depósito local en el sitio, que efectúe una conservación adecuada del patrimonio arqueológico “in-situ”, respondiendo al Plan Nacional de Infraestructura Patrimonial promovido por el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. Considerando un estudio del lugar como de la conservación de las piezas, comparado con casos nacionales, revelando lineamientos tecnológicos que apuntan a la conservación y buscando tratar positivamente el patrimonio arqueológico de la zona, pudiendo extrapolarlo a otros casos de estudios.

**Palabras clave:** Patrimonio arqueológico, Conservación in-situ, Depósito patrimonial, Monte Verde, Lineamientos tecnológicos

## 1. Introducción

La región de Los Lagos cuenta con un amplio registro cultural prehistórico, como es el descubrimiento de actividad humana en la zona hace más de 13.000 años, cuyo hito principal es el monumento nacional en categoría de monumento histórico y arqueológico Monte Verde, ubicado a 27 km de la localidad de Puerto Montt (Figura 1). En dicho yacimiento desde 1977 hasta la actualidad se han hallado herramientas líticas, huellas humanas y hogueras, pudiendo recrear la forma en que los montevertinos vivían y se organizaban en pleno pleistoceno tardío. A partir de esto existe un importante valor patrimonial en el sitio, desde el estado de conservación de las piezas arqueológicas, que datan de los primeros humanos en América, hasta la manera en la que, mediante la organización comunitaria y la arquitectura de ese entonces, permitió que sobrevivieran y se adaptaran al bosque templado húmedo. Por este motivo se encuentra en la lista tentativa de Patrimonio de la Humanidad, definida por el Consejo de Monumentos Nacionales, desde 2016.



**Figura 1:** Mapa del centro-sur de Chile, Región de los Lagos, mostrando la ubicación del Sitio Monte Verde. “Fuente: Elaboración propia en base a Dillehay, T, 2004”

En base al deber de salvaguardar la integridad de los bienes patrimoniales ya mencionados, surge la necesidad de articular una infraestructura patrimonial que cumpla con aquellos criterios de conservación del mueble, dicho recinto se entiende como depósito, del cual no existe una definición en la Ley 17.288 ni existe un servicio nacional de depósitos, como si lo hay de museos, bibliotecas y archivos. Debido a esto, resulta complejo el buen trato del sitio en la zona, ya que al no constatar al depósito como un servicio independiente la ley recurre a instituciones externas, pertinentes y amparadas por el Estado para cumplir con el resguardo de los objetos, siendo estos desplazados de su zona geográfica de origen.

A raíz de esto, el Ministerio de las Culturas, Artes y el Patrimonio (MINCAP), mediante el Plan de Infraestructura Patrimonial, busca descentralizar la tenencia del patrimonio material mueble que se encuentra tanto en la capital como en regiones, contactando comunidades y resguardándose en los territorios, por lo cual se requiere desarrollar una infraestructura patrimonial de depósito que pueda sostener la conservación adecuada de los bienes. Es por ello que en esta investigación se trabajarán lineamientos arquitectónicos enfocados en la tecnología para afrontar óptimamente la demanda presente en Monte Verde, siendo este caso de estudio un puntapié inicial para la investigación en materia de conservación y análisis de variables. De esta forma se plantea que la información a producir sirva para otras experiencias similares a Monte Verde, así como para nuevos procesos investigativos.

A partir de lo anterior surge la pregunta: ¿cuáles son las variables tecnológicas necesarias en el monumento histórico Monte Verde para establecer una adecuada conservación del bien patrimonial arqueológico? Por lo tanto será necesario establecer los lineamientos para una adecuada conservación de los bienes patrimoniales arqueológicos, reconociendo su relevancia cultural en el monumento Monte Verde, pudiendo identificar variables de conservación de la colección Monte Verde y su ubicación a través del tiempo, observar las variables tecnológicas de conservación implementadas en casos de estudio de la Región Metropolitana y por último definir las variables estructurales y espaciales para la adecuada conservación de los bienes.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Patrimonio cultural**

Dentro de esta investigación es imperante la definición que se le da al patrimonio cultural, tomándolo como un concepto global y articulador de la problemática, el cual permite definir el campo de acción pertinente en el que nos movemos (Figura 2). El patrimonio cultural como lo entendemos hoy es:

*“un conjunto determinado de bienes tangibles y naturales que forman parte de prácticas sociales, a los que se le atribuyen valores a ser transmitidos y luego resignificados, de una época a otra, o de una generación a las siguientes” (Servicio Nacional del Patrimonio Cultural, s.f.)*

A partir de esta lectura, el patrimonio cultural se puede dividir en dos esferas: el patrimonio cultural inmaterial, que se entiende como:

*“...los usos, representaciones, expresiones, conocimientos y técnicas -junto con los instrumentos, objetos, artefactos y espacios culturales que les son inherentes- que las comunidades, los grupos y en algunos casos los individuos reconozcan como parte integrante de su patrimonio cultural.” (UNESCO, 2003)*

Por otro lado, está el patrimonio cultural material, constituido por:

*“...monumentos: obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos (...), los conjuntos: grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional (...), los lugares: obras del hombre u obras conjuntas del hombre y la naturaleza.” (UNESCO, 1972)*

Por lo tanto, el patrimonio material tiene que ver con la interacción de un grupo de individuos con su medio, generalmente dando lugar a la arquitectura y diversas producciones humanas tangibles. Dentro del patrimonio cultural, se busca definir y trabajar con el patrimonio arqueológico, el cual:

*“Representa la parte de nuestro patrimonio material para la cual los métodos de la arqueología nos proporcionan la información básica. Engloba todas las huellas de la existencia del hombre y se refiere a los lugares donde se ha practicado cualquier tipo de actividad humana, a las estructuras y los vestigios abandonados de cualquier índole, tanto en la superficie, como enterrados, o bajo las aguas, así como al material relacionado con los mismos.” (Cuadernos del CMN, 2015)*

Además, la Carta internacional para la gestión del patrimonio arqueológico incorpora principios aplicables en materia de legislativa de este mismo, incluyendo:

*“garantizar la conservación del patrimonio arqueológico en función de las necesidades, la historia y las tradiciones de cada país y región, y esmerarse para favorecer la conservación “in situ” y los imperativos de la investigación.” (Cuadernos del CMN, 2015)*

El eje principal es la relación del patrimonio con su contexto, ya que, al ser desplazado de este, se pierden las cualidades representativas que definen las comunidades de origen sobre el patrimonio en cuestión, priorizando la extracción y conservación en el yacimiento. Dadas de las definiciones y garantías que debe tener el patrimonio arqueológico, es importante establecer las partes que le componen, que según la Ley de Monumentos Nacionales:

*“...son Monumentos Arqueológicos de propiedad del Estado los lugares, ruinas, yacimientos y piezas antro-po-arqueológicas que existan sobre o bajo la superficie del territorio nacional.” (CMN, 2019)*

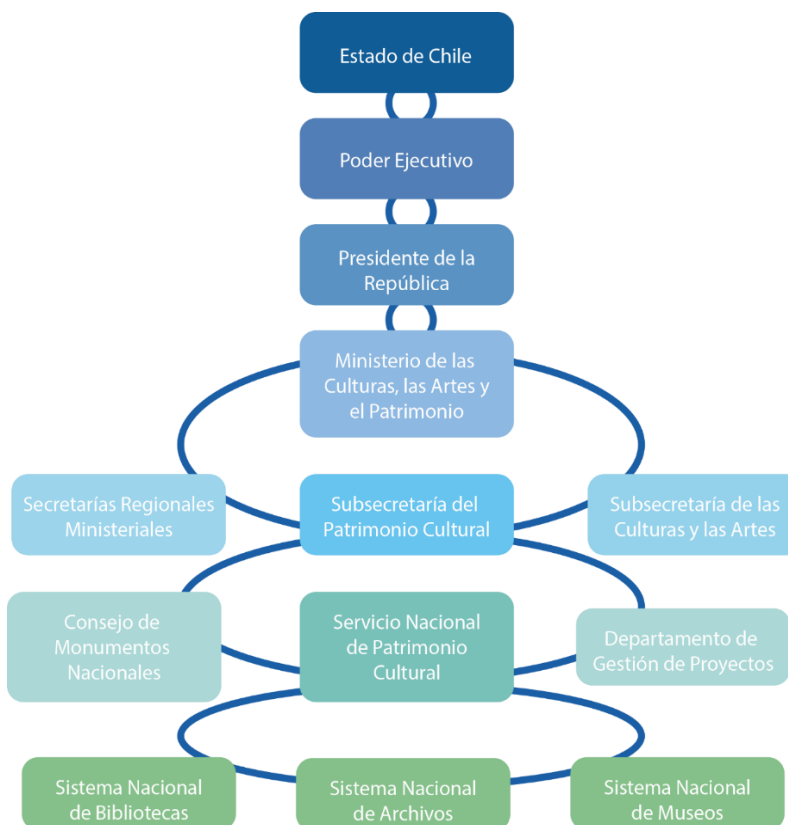
Al ser considerados una propiedad estatal, en la presente investigación también se hará uso del término “bien patrimonial”, “bien arqueológico” o “pieza arqueológica” para referirse al objeto que compone al monumento arqueológico.



**Figura 2:** Diagrama de desglose patrimonial “Fuente: Elaboración Propia”

## 2.2. Plan de Infraestructura Patrimonial y gobernanza

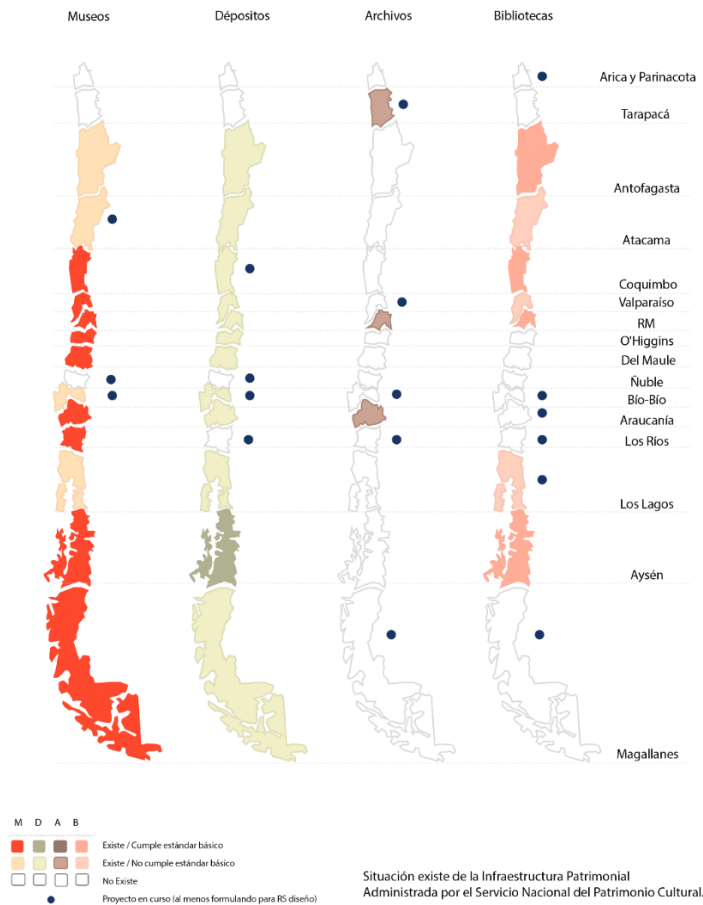
A partir del 2013, el Ministerio de Educación (MINEDUC) busca reunir todos los roles que se encuentran dispersos desde la década de 1990, además de dotar una nueva institucionalidad cultural mediante un organismo más complejo, dando como resultado la Ley 21.045 orientada a la creación del Ministerio de las Culturas, Artes y el Patrimonio (MINCAP) en 2017 (Figura 3), a su vez abriendo paso a la Subsecretaría del Patrimonio Cultural, que según la ley debe “proponer políticas al Ministro/a, diseñar y evaluar planes y programas” (BCN, 2017).



**Figura 3:** Diagrama de desglose institucional “Fuente: Elaboración Propia en base a MINCAP, s/f”

La creación de nuevas infraestructuras que promuevan el resguardo de los bienes patrimoniales culturales de una manera descentralizada con mirada regional, haciendo partícipe a las comunidades de sus propios valores patrimoniales, es un alegato que se toma en consideración en la Declaración de París en 2011, enunciando que:

*“El desafío de integrar el patrimonio y asegurar que tenga un rol en el contexto de desarrollo sustentable, es una forma de demostrar que el patrimonio interviene en la cohesión social, el bienestar, la creatividad y la atracción a nivel económico” (Cuadernos del CMN, 2015).*



**Figura 4:** Situación existente de la Infraestructura Patrimonial administrada por el Servicio Nacional del Patrimonio Cultural “Fuente: MINCAP, 2021”

En base a esta declaración, se materializa el Plan Nacional de Infraestructura Patrimonial en 2020 (Figura 4), que revitaliza el patrimonio mediante la elaboración de concursos de arquitectura, licitaciones, estudios y la conformación de mesas nacionales y regionales que deben definir criterios e iniciativas en base a estudios y elaboración de planes regionales de infraestructura patrimonial concretos. De esta manera, el trabajo del Plan se enfoca en cuatro tipos de proyectos que se consideran infraestructura patrimonial: museos, archivos, bibliotecas y depósitos, teniendo los tres primeros planes de acción y procedimientos

establecidos. Sin embargo, no se incorpora a la infraestructura de depósito como un programa aparte, sino que se detalla como un complemento del Sistema Nacional de Museos. Aun así, en el marco del presente plan, normado por la Ley 17.288, se entiende que, el Estado debe normalizar y supervisar al depósito, por lo que este:

*“... debe garantizar las condiciones apropiadas para su resguardo. Por lo anterior y sumado a la falta de espacio para almacenar y estudiar dichos descubrimientos arqueológicos, es que se están generando iniciativas que ayuden a solucionar este problema” (Plan de Infraestructura Patrimonial, 2021).*

### **2.3. Depósitos**

Mediante el manual de estándares mínimos de registro y conservación preventiva de colecciones arqueológicas y paleontológicas, elaborado por la Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos (DIBAM) mediante el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN), podemos hacer las observaciones base de los estándares mínimos de conservación que deben tener las colecciones arqueológicas en general, promoviendo directrices que pueden tomar quienes diseñen depósitos a la hora de proyectarlos, también si se busca una adecuada habilitación de un depósito existente o en su defecto, atendiendo la gestión a través del tiempo de esta infraestructura patrimonial.

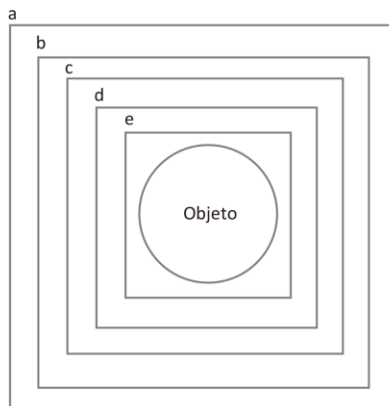
En el contexto nacional, otro documento que entrega garantías es el publicado por el Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR), titulado Requerimientos para depósito de colecciones. Se hace un esfuerzo por definir los depósitos mediante el uso de diversas citas que entregan distintos puntos de vista acerca de la finalidad del depósito. En este sentido, una definición oportuna es:

*“el depósito de colecciones es el espacio donde se almacenan y cuidan las colecciones de los museos. Es equivalente a una bóveda, en la cual las colecciones van a pasar gran parte de su vida.” (Valenzuela, P. 2003)*

Asimismo, a partir de este esquema (Figura 5) podemos entender que la conservación de los bienes resguardados en depósitos está compuesta por distintas capas que no pueden trabajar independientemente, ya que el funcionamiento en conjunto de todas ellas brinda una conservación adecuada, existiendo mayor importancia desde la arquitectura las capas a y b, complementándose con las c, d y e, que nacen desde el diseño industrial.

Dado que no existe en Chile por ley una definición como tal de depósito y que este funciona como un complemento a las demás infraestructuras patrimoniales, resulta importante entender la relevancia del depósito para la conservación *“in situ”* de los bienes arqueológicos y materiales en general, ya que es mediante esta intervención en el espacio que se busca entrelazar los vínculos del patrimonio con la comunidad. Medidas promovidas por UNICEF, ICOMOS y, por consiguiente, el actual Plan de Infraestructura Patrimonial del MINCAP.





- a. Muros, cubierta, piso, entrepiso del edificio que alberga el depósito (envolvente exterior);
- b. Muros, cielo, piso o entrepiso del depósito (envolvente interior);
- c. Mobiliario, como estanterías, cajoneras, planeras, etc. que albergan los objetos;
- d. Contenedor que alberga el objeto, como cajas o bandejas;
- e. Material de embalaje con calidad de conservación que cubre o apoya el objeto al interior de su contenedor, como papel tissue, muselina, espuma de polietileno, etc.

**Figura 5:** Esquema de protección de un objeto. "Fuente: CNCR, 2017"

A partir del Plan de Infraestructura Patrimonial, existe una voluntad de ahondar en información acerca de la infraestructura de depósitos debido a lo poco que existe sobre estos. A raíz de ello, al buscar definiciones internacionales podemos encontrar el International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM), plantea el término de: "Espacio designado para almacenar la colección del museo" (ICCROM, 2018), para referirse al depósito en sí, teniendo en consideración el almacenaje de colecciones como el principal uso. Por último, UNESCO mediante el Manual de Protección del Patrimonio Cultural, plantea la relevancia del depósito al tratarlo como el núcleo del museo, ya que:

*"...cumple un importante papel en el desarrollo de la institución y sus programas por su estrecha vinculación a otras actividades como la investigación, la consulta, las exposiciones, la conservación y los préstamos. En el almacén se garantiza la preservación y el acceso a la colección." (UNESCO, 2010)*

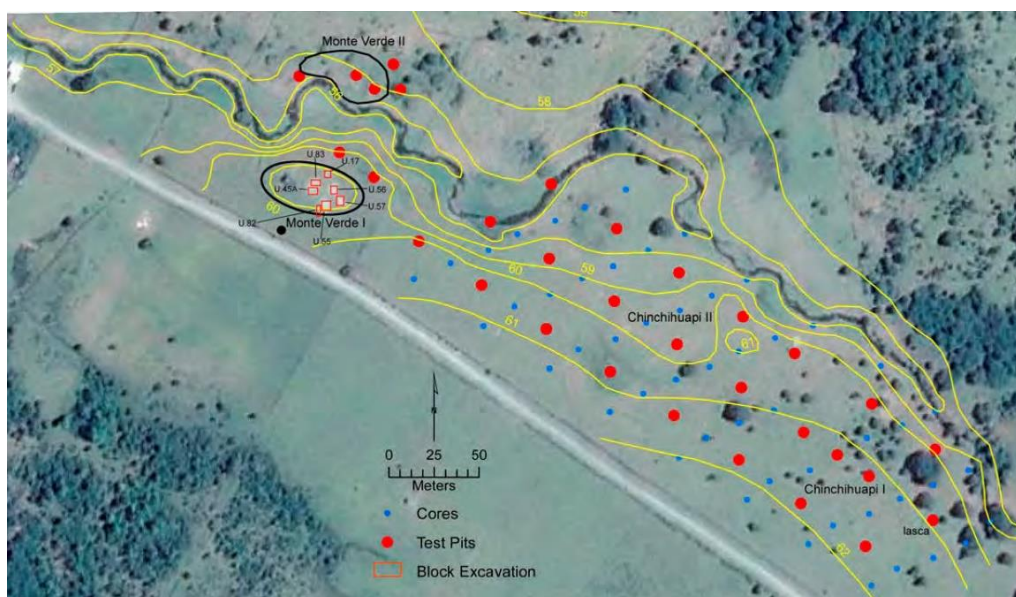
A partir de la escasez de datos entregados desde el aparato gubernamental sobre las definiciones de los depósitos, se vuelve fundamental recolectar y analizar información acerca de estos, haciéndole frente a la necesidad tanto nacional como internacional de generarlos, ya que:

*"Debido a la complejidad que implica el resguardo de las colecciones y a la existencia de zonas de riesgos naturales en Iberoamérica, los depósitos con el tiempo se vuelven insuficientes o no cuentan con la infraestructura necesaria, del mismo modo el registro y catalogación se realiza bajo criterios dispares que no atienden normas internacionales. Solucionar este problema, desconocido para muchos tomadores de decisiones, representa un reto de cara a la tercera década del siglo XXI." (ICCROM, 2018)*

Definir parámetros claros acerca de depósito debe ser indispensable para dotar de mayor relevancia y visibilidad, entendiéndose como un ente que se encuentra en déficit alrededor del mundo debido a la cantidad de material nuevo que requiere ser depositado, por lo que la generación de conceptos acordados entre instituciones, incide en la elaboración de depósitos que si pueden permitir una conservación de buena manera, no dejando dudas entre profesionales sobre los requerimientos, funciones y definiciones del depósito en sí.

## 2.4. Monte Verde

El monumento arqueológico e histórico Monte Verde se ubica en la región de Los Lagos, Chile. Se encuentra a 27 kilómetros de Puerto Montt en dirección sureste y lo cruza el estero Chinchihuapi, parte del Río Maullín, que nace en el Lago Llanquihue. Se ubica en la planicie litoral y contempla un clima de bosque templado húmedo. Se tiene la certeza de la existencia de cuatro sitios dentro del predio, una ubicada en el lado norte del estero y tres del lado sur. Correspondiendo respectivamente a Monte Verde II (MV-II) que data de una antigüedad de 15.000 AP (Antes del presente). Monte Verde I (MV-I) con 33.000 AP. Chinchihuapi I (CH-I) y Chinchihuapi II (CH-II), ambos con 14.500 AP (Figura 6).

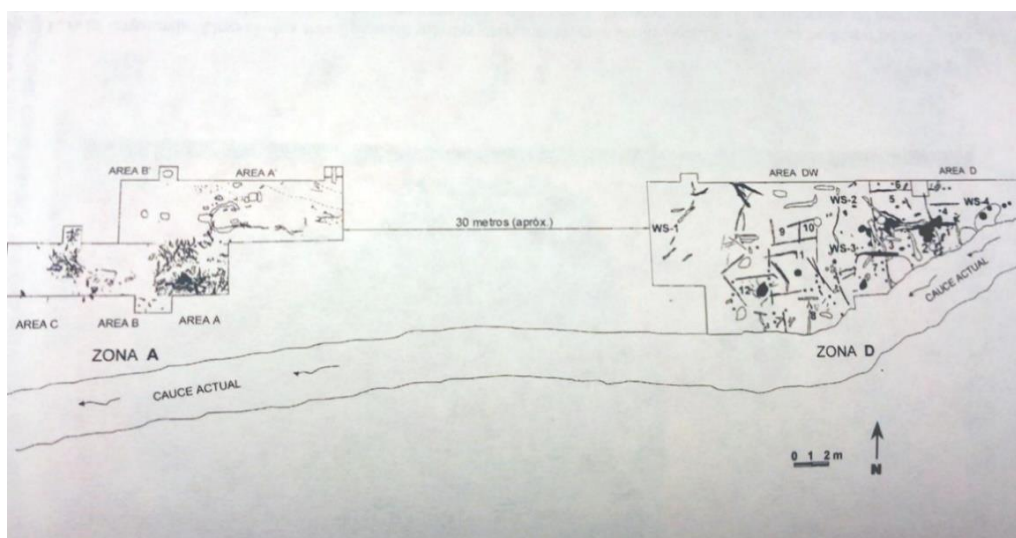


**Figura 6:** Ubicación de sitios arqueológicos dentro de Monte Verde “Fuente: Dillehay, T, 2015”

En Nuevo México, se encontraron en los años 30 restos arqueológicos de actividad humana que comprenden un fechado radiocarbónico entre 11.300-10.800 A.P. Siendo las evidencias más ancestrales que se tenían datadas a esa fecha, se aceptó que los denominados Clovis fueron los grupos nómada que dieron fundamento a la teoría clásica de poblamiento americano. Premisa cuestionada debido al accidental descubrimiento de Monte Verde en 1973, por parte de lugareños en torno al estero Chinchihuapi. Situación que llamó la atención y en 1977 se llevaron a cabo las primeras excavaciones, estando a cargo de un equipo multidisciplinario de la Universidad Austral de Chile (UACH). Se aseguró un fechado

radiocarbónico de por lo menos 13.500 A.P, mucho más antiguo que los descubrimientos Clovis y en una zona del continente que, según la evidencia presentada por los científicos norteamericanos, fue de las últimas en poblarse en base a la teoría clásica.

Durante el tiempo en el que se generó debate científico en torno a Monte Verde y la veracidad de su importancia, se realizaron diversas excavaciones, siendo la de 1976 a 1979 de las más importantes ya que delimitó las zonas donde se encontraban los restos arqueológicos (Figura 7) y se realizaron los trabajos dando enfoque a MV-II, donde se encontró la mayor cantidad de restos. Hasta que en 1997 se realizó una reunión en la Universidad de Kentucky donde se presentaron los detalles del trabajo hecho en el predio Monte Verde hasta esa fecha. A raíz de esto se le dio mayor aceptación por parte de la comunidad científica al monumento y significó un punto de partida para las gestiones de conservación del predio en materia gubernamental.



**Figura 7:** Zonas de ubicación restos arqueológicos “Fuente: Dillehay, T, 2004”

En 2008 el CMN hizo efectivo el otorgamiento de monumento histórico y arqueológico al predio Monte Verde, moción impulsada por la Fundación Monte Verde, la Municipalidad de Puerto Montt, la UACH y la Gobernación Provincial de Llanquihue, protegiendo así 9 hectáreas que comprenden los puntos neurálgicos de la excavación. En función de ello se inician las gestiones en 2008 para construir en Puerto Montt un museo arqueológico a cargo del arquitecto Jorge Lobos, proyecto que hasta el día de hoy no ha sido posible concretar.

A partir de una moción autorizada por el CMN, el equipo de investigación de Tom Dillehay pudo volver a trabajar sobre el predio Monte Verde en el año 2013, encontrando evidencia de piezas arqueológicas de hace 18.500 años A.P, además del trabajo realizado en CH-I y CH-II, que comprenden un sitio de investigación 500 metros río arriba respecto Monte Verde.

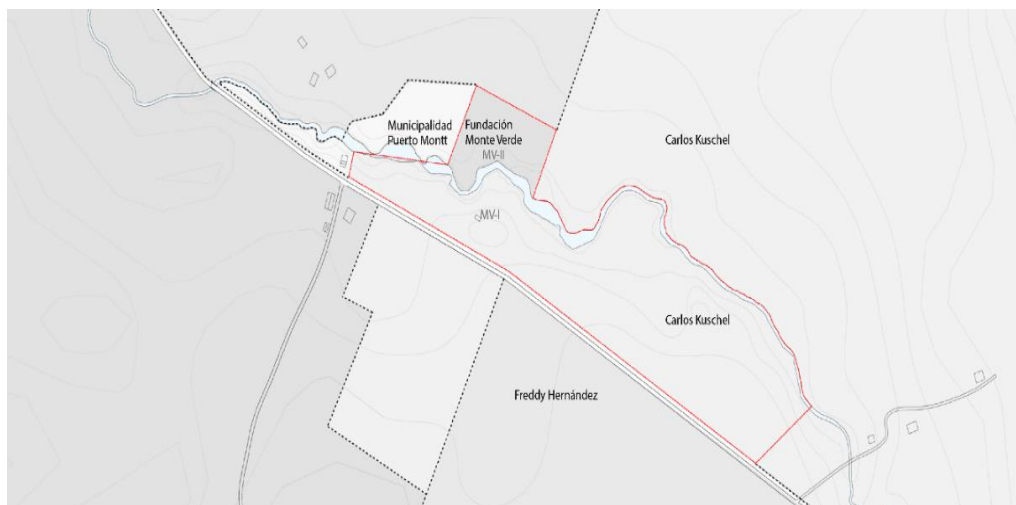
Según de la evidencia científica que respalda la existencia de humanos hace más de 13.000 años A.P en el predio Monte Verde, el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) ha

propuesto desde 2016 que se reconozca el sitio como Patrimonio Mundial de la UNESCO, pero esto no será posible hasta que los propietarios públicos y privados de los distintos terrenos del predio se pongan de acuerdo en materia de expropiación del terreno privado, puesto que:

*“...el organismo internacional no va a mover un dedo mientras el sitio físicamente no le pertenezca al Estado chileno.” (Pino, 2015).*

Situación que, en conjunto a la pausa de todos los proyectos de museo que se han hecho, deja al sitio y a todo el material arqueológico no descubierto en una situación de ambigüedad y precariedad, siendo afectada la investigación por agentes privados.

Actualmente lo que comprende el monumento predio Monte Verde se encuentra dividido entre los terrenos del actual Senador Carlos Kuschel Silva, que de las 110 hectáreas que comprenden su terreno, hay 8 que son parte del monumento arqueológico, y la Fundación Monte Verde, que administra una de las 9 hectáreas del monumento. A su vez, la Municipalidad de Puerto Montt adquirió un terreno colindante para en él poder realizar el museo planificado en conjunto a la Fundación Monte Verde (Figura 8). Desde 2016 también se ha buscado la expropiación del terreno de Carlos Kuschel perteneciente al monumento, esto de la mano del Ministerio de Obras Públicas y la Municipalidad de Puerto Montt, situación que se ha visto truncada y ha permitido que en 2019 se hayan instalado estructuras secundarias con fundaciones de hormigón para realizar un emprendimiento privado de turismo dentro del terreno del senador.



**Figura 8:** Repartición predial Monte Verde “Fuente: Silva, J, 2018”

Desde las primeras excavaciones realizadas la colección ha estado bajo el alero de la Universidad Austral de Chile, en su sede central de Valdivia, debido a que:

*“...en Puerto Montt no se contaba con la infraestructura, recursos y capital humano para conservar y documentar una colección tan relevante para la prehistoria del poblamiento americano (...)” (Lemp, 2022)*

Situación que en 2020 cambió a raíz del desplazamiento de la colección al Laboratorio de Conservación y Documentación de Colecciones de la universidad, ubicado en Puerto Montt. Contemplando así una tenencia por más de 40 años fuera del emplazamiento y región cultural original, trabajando de una manera contraria a la estimada en la Carta internacional para la gestión del patrimonio arqueológico, que indica:

*“Conservar “in-situ” monumentos y conjuntos debe ser el objetivo fundamental de la conservación del patrimonio arqueológico. Cualquier traslado viola el principio según el cual el patrimonio debe conservarse en su contexto original. Este principio subraya la necesidad de una conservación, una gestión y un mantenimiento apropiados.”*  
(Cuadernos del CMN, 2015)

Cabe destacar que, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, el tema ya ha sido abordado en el curso Proyecto de Título, específicamente por Ana María Pérez-Cotapos Ferrada en 2015 y José Miguel Silva Riveros en 2018, planteando un Centro de Interpretación Arqueológica Monte Verde en ambos casos.

### **3. Métodos**

La investigación consta de un objetivo general que es: Establecer los lineamientos para una adecuada conservación de los bienes patrimoniales arqueológicos, reconociendo su relevancia cultural en el monumento Monte Verde. Contando con tres objetivos específicos que se abordarán principalmente en dos etapas (Figura 9). La primera fase considera la recolección de información base, mediante el cumplimiento de los dos primeros objetivos específicos estipulados.

A partir de la premisa del primer objetivo específico: Identificar variables de conservación de la colección Monte Verde y su ubicación a través del tiempo. Se hizo un seguimiento de las instituciones en las cuales ha sido depositada y conservada la colección de piezas arqueológicas de Monte Verde.

En base a esto se pudo verificar que desde su descubrimiento y hasta la fecha se ha conservado oportunamente en distintas unidades de la Dirección Museológica de la UCh y que prontamente será trasladada al Laboratorio de Conservación y Documentación de Colecciones de la misma casa de estudios, pero ubicada en la sede Puerto Montt.

La manera en la que se lograron las observaciones fue mediante la conversación sostenida con la encargada de colecciones y laboratorio de la UCh sede Puerto Montt, Cecilia Lemp Urzúa, (las transcripciones completas de la entrevista se presentan en el Anexo 4), a quien se le propuso el poder realizar una entrevista para dar con las variables de conservación implementadas tanto en la situación desde Valdivia, lo que se realiza en Puerto Montt y su respectivo traslado entre depósitos.

El segundo objetivo específico de esta primera etapa consistió en: Observar las variables tecnológicas de conservación implementadas en casos de estudio de la Región

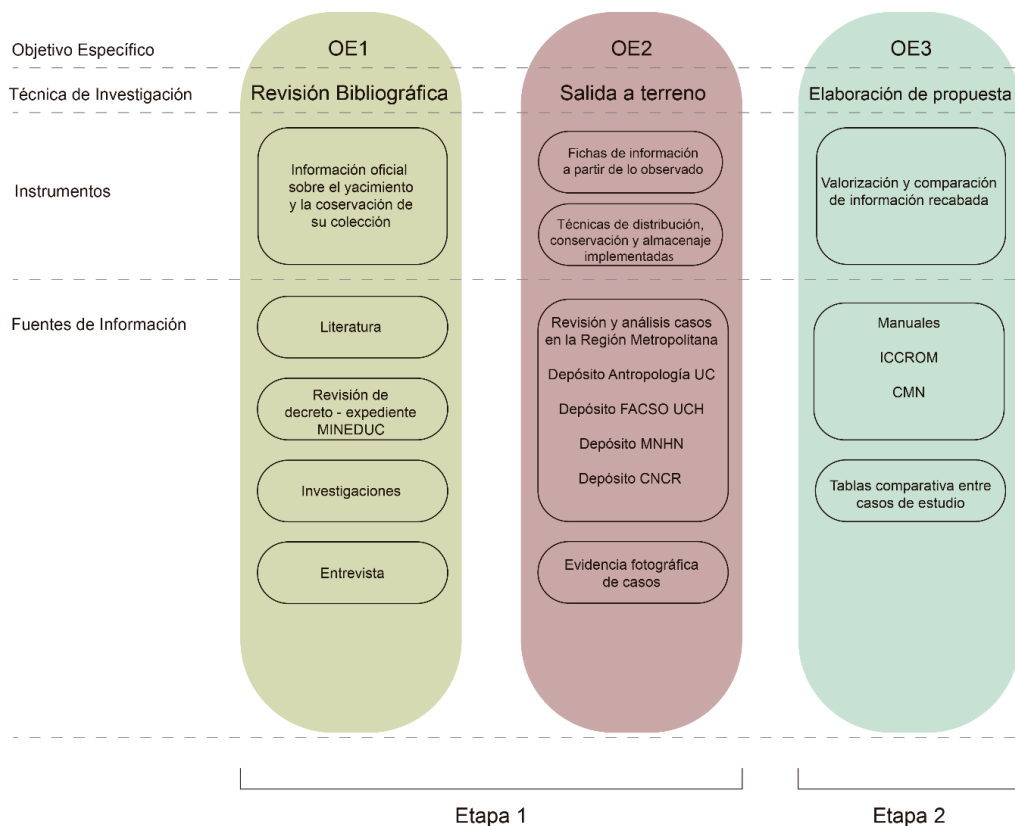
Metropolitana. Por lo tanto, este objetivo buscó llevar la investigación a un plano de análisis de casos complementarios y alejados del contexto de Monte Verde, viendo cómo se configuran depósitos dentro de otras instituciones tanto académicas como gubernamentales, esto se logró mediante la visita a los distintos casos, pudiendo levantar información sobre las variables tecnológicas implementadas en cada uno de ellos. Esto con la finalidad de poder levantar información de lo que se ha hecho en otros casos nacionales y además tener la posibilidad de ir a terreno, para entender cómo funciona un depósito, cómo se organiza y qué desafíos conlleva.

Los cuatro casos estudiados se encuentran en Santiago de Chile, tratándose de: el depósito y laboratorio del Departamento de Antropología de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC), el depósito de la Unidad Patrimonial de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile (FACSO), el depósito del Museo Nacional de Historia Natural (MNHN), y por último el depósito temporal del Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR).

A partir de las salidas a terreno, se realizó una observación de los recintos a simple vista y por lo conversado con los encargados de los depósitos. Esto se plasmó en una ficha de estudio que incorporó variables básicas que funcionan como directrices para la observación, siendo estas: estructura, espacialidad, instalaciones, y mobiliario. Estas aristas fueron escogidas porque permitieron que todas las variables que componen un depósito quedaran normadas, pudiendo identificar garantías como amenazas, además de tomar nota de lo existente.

Para realizar el tercer objetivo específico de la investigación, que es: Definir las variables estructurales y espaciales para la adecuada conservación de los bienes. La segunda etapa de la investigación se diferenció de la anterior en que, a partir de la información conseguida en la primera, tanto del caso de Monte Verde como de los casos de estudio complementarios, se realizó una comparación de estrategias tecnológicas utilizadas para poder dar con las variables necesarias que cumplen el objetivo, el cual se configuró de esta manera debido a que la finalidad de la investigación es poder entregar esas propuestas como indicadores a considerar en una conservación in-situ de la colección Monte Verde.

En este objetivo se utilizaron dos documentos que funcionaron como instructivos, el primero es: RE-ORG. Un método para reorganizar el depósito de ICCROM y el segundo es: Requerimientos para depósito de CNCR. Se utilizan específicamente estos dos documentos debido a que dan directrices para la conservación óptima de las piezas bajo el contexto de depósito, contienen una cantidad amplia de variables a tomar en cuenta en un depósito y se centran en la arista estructural. Los instrumentos utilizados para la elaboración de este objetivo fueron principalmente tablas comparativas entre casos de estudio, las cuales permitieron analizar la información recabada de una manera óptima y organizada, para poder dar finalmente con los aciertos correspondientes de cada caso de estudio.



**Figura 9:** Metodologías de Investigación aplicadas “Fuente: Elaboración Propia”

## 4. Resultados

La investigación completa consta de tres resultados. En primer lugar, desde el primer objetivo específico se realizó una síntesis diagramática de la situación existente (Figura 11), considerando las variables de conservación que, desde un punto de vista tecnológico, fueron tomadas en cuenta sobre la colección Monte Verde. En segundo lugar, se optó por la observación y descripción sobre las variables tecnológicas presentes en los depósitos visitados en la Región Metropolitana mediante el uso de tablas. Por último, esta información se comparó en base a documentos que aportan directrices de conservación y se generó una tabla de lineamientos tecnológicos a seguir, esto como recomendación para poder ser implementados en un depósito in-situ en el predio Monte Verde.

### 4.1. Conservación actual de colección Monte Verde

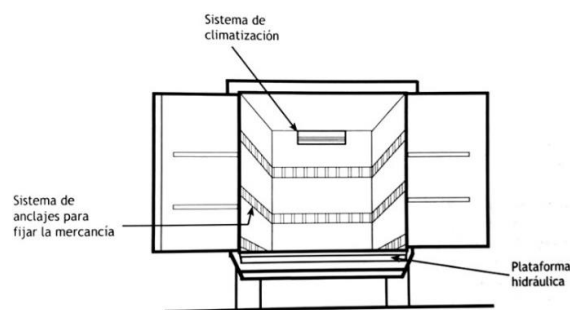
La colección Monte Verde ha sido custodiada por distintas unidades de la UACH, durante este periodo de tiempo principalmente el trabajo de conservación se centró en estabilizar las piezas arqueológicas a un ambiente ajeno a las inmediaciones del Río Maullín, que es donde se descubrieron. Esto conllevó específicamente un proceso de deshidratación de las piezas que duró 10 años. Su conservación se fue dando intermitentemente entre depósitos

transitorios hasta que se implementa un depósito en las inmediaciones del museo MVDM, tratándose de una estructura de un piso aislada del edificio central que incorpora todo el aparataje museográfico.

*“...no es hasta el año 2007 que la colección cuenta con un recinto permanente habilitado con mobiliario y equipo de control de humedad y temperatura.” (Lemp, 2022)*

En base al traslado que se busca hacer de los bienes desde Valdivia a Puerto Montt, el viaje en si requiere que se den una serie de condiciones de conservación dentro del vehículo para garantizar que este cambio de sede se haga de la manera más responsable posible (Figura 10).

*“Se debe planificar la distribución del material en el transporte de forma que se segregue el material con tratamiento de estabilización listo de aquel que no lo tiene. (...) Asimismo, se deberá distribuir las cajas con material más pesado y resistente en la base del vehículo y el más delicado y liviano en la parte superior. Deberá habilitarse el espacio interno del vehículo con pisos y tabiques sin son necesarios para no generar columnas de cajas altas. Así también se deberá cuidar de trasladar el material muy delicado en un vehículo particular con un embalaje especial.” (Lemp, 2022)*



**Figura 10:** Camión preparado para transportar una obra de arte “Fuente: Rotaeche, M. 2008”

Ya considerando la conservación que se efectuará en el depósito de Puerto Montt, mediante la entrevista también se clarificó la existencia de un plan de manejo de las colecciones que gradualmente vayan llegando al depósito, tomando en cuenta los requerimientos tanto de espacio como de estructura, teniendo en consideración la zona geográfica en la que se emplaza el edificio, la cual si bien es similar a la situación en Valdivia, en Puerto Montt la sede está ubicada cerca del seno de Reloncaví, por lo tanto es una condición más costera.

Esto en conjunto a que el edificio se encuentra semienterrado, generan planes de acción que se dirigen a la prevención de problemas respecto a la humedad que puede permear la estructura y por lo tanto, generar biodeterioro en las piezas arqueológicas.

*“...al encontrarse el edificio situado a 150 metros de la costanera y unos 200 o 300 m de un arroyo, las napas freáticas son muy superficiales y es muy probable que haya humedad residual del estrato que sube hasta los cimientos de depósito.” (Lemp, 2022)*



Respecto a los requerimientos espaciales, se busca habilitar un depósito de llegada de las colecciones. Esto se debe a que las piezas deben pasar por un proceso de cuarentena antes de integrarse al resto de las colecciones almacenadas en lo que es el depósito en sí, el cual implementa mobiliario full-space, que dependiendo si están muy cerca de vanos o muros, se disponen colecciones menos frágiles que las de los módulos centrales del espacio, que son más dóciles y contemplan específicamente donde se resguardará la colección Monte Verde.

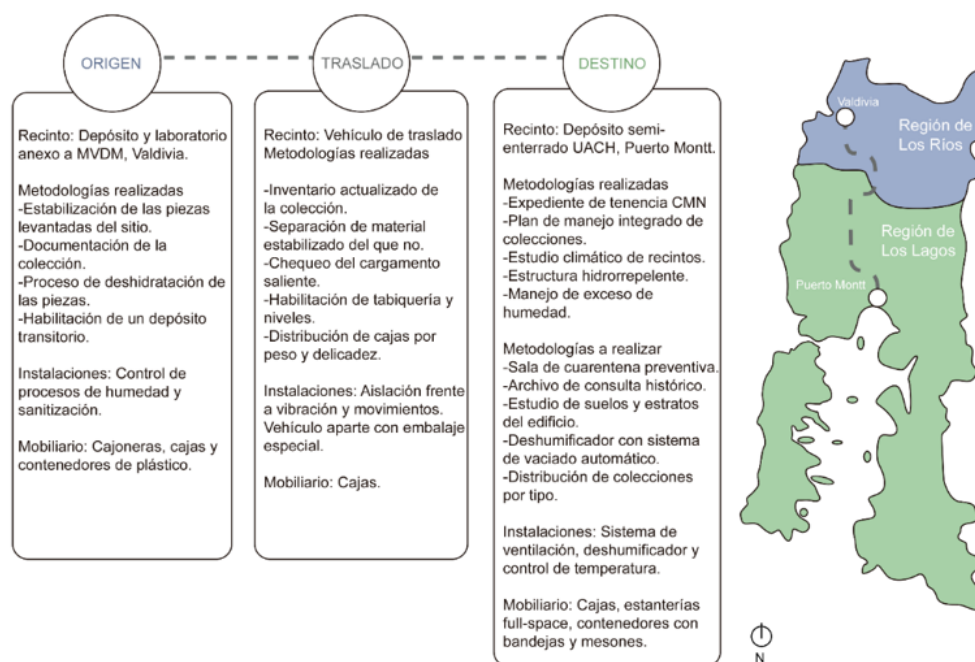


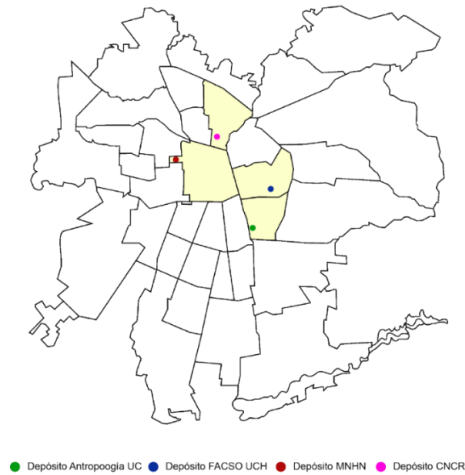
Figura 11: Diagrama de conservación de la colección Monte Verde “Fuente: Elaboración Propia”

#### 4.2. Análisis de variables tecnológicas en casos de estudio complementarios

En base al segundo objetivo específico resultó el levantamiento de información en terreno de los referentes presentes en la Región Metropolitana (Figura 12), con la finalidad de analizar sus respectivas variables estructurales, espaciales, de instalaciones y mobiliario, pudiendo dar con el estado actual de los depósitos estudiados. Esto mediante la elaboración de fichas de cada caso de estudio.

El depósito de Antropología de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Católica (Figura 13) se ubica en el Campus San Joaquín de dicha universidad y funciona como una entidad privada educativa, con las siguientes características: Se trata de un depósito y laboratorio que comparten el mismo espacio y está manejado principalmente por un antropólogo, practicantes, investigadores y alumnos. El recinto al estar ubicado dentro de una sala de clases reacondicionada como depósito, se encuentra en medio del edificio tipo bloque que alberga todo el programa educativo de la facultad, por lo que la salida de este da directamente con un pasillo abierto al campus.

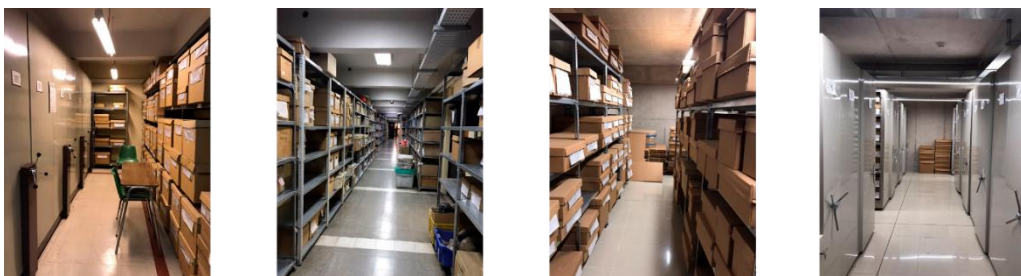
La Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile (Figura 14) fue fundada en 1989 y funciona como una entidad pública educativa, con las siguientes características: Se trata de una Unidad Patrimonial manejada principalmente por una conservadora, practicantes, investigadores y alumnos. El edificio antiguo que alberga dos de los cinco depósitos fue construido en 1993. Por otro lado, el nuevo edificio alberga a los restantes tres depósitos y fue construido en 2015. Está situado en el campus Juan Gómez Millas de la Universidad de Chile. Los depósitos en cuestión se encuentran todos en los subterráneos correspondientes de cada edificio.



**Figura 12:** Plano general de ubicación de depósitos en el Gran Santiago “Fuente: Elaboración Propia”



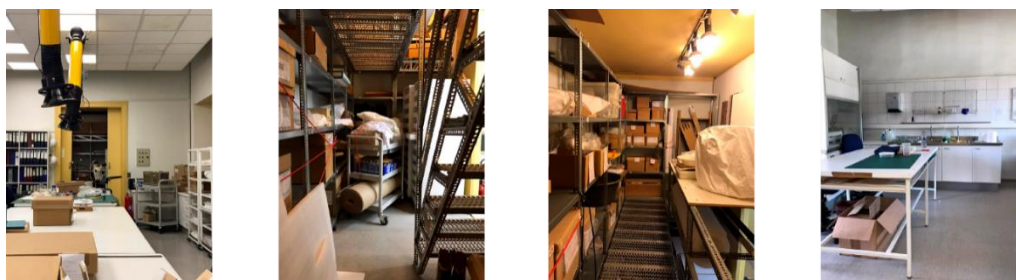
**Figura 13:** Recolección Imágenes. Depósito Antropología UC “Fuente: Elaboración Propia”



**Figura 14:** Recolección Imágenes. Edificios FACSO UCH. Depósito 2. Pasillo unidad patrimonial. Depósito 5. Depósito 3 “Fuente: Elaboración Propia”

El Museo Nacional de Historia Natural fue fundado en 1876 en el parque Quinta Normal y funciona como una entidad pública de carácter cultural, en ella el Servicio Nacional de Patrimonio Cultural administra la actividad depositaria, con las siguientes características: Se trata de toda un ala del museo manejada principalmente por administradores, conservadores, investigadores, tesisistas o voluntarios. El edificio contempla el cuidado de siete depósitos dispuestos en los distintos niveles del museo, a partir del tercero.

El Centro Nacional de Conservación y Restauración (Figura 15), ubicado dentro del monumento histórico Iglesia y Convento de la Recoleta Dominicana, obra terminada en 1890 y que funciona como una entidad pública cultural. Dentro de esta, el depósito visitado está a cargo de la Unidad de Patrimonio Arqueológico y Etnográfico, ubicado en el segundo nivel del inmueble de convento, teniendo las siguientes características: Se trata de una unidad patrimonial manejada principalmente por un equipo multidisciplinar de arqueólogos. El recinto alberga un depósito transitorio de colecciones, en consecuencia, la estadía de las piezas depende del tiempo que les tome realizar su trabajo a los arqueólogos.



**Figura 15:** Recolección Imágenes. Depósito CNCR “Fuente: Elaboración Propia”

En base a la información recabada, los depósitos estudiados de carácter público y cultural (MNHN y CNCR) al tratarse de instituciones emplazadas en monumentos históricos, realizar cambios o modificaciones en su componente arquitectónico es complejo de tramitar, ya que está protegido por ley. Es así como se dificulta mucho la labor de estos depósitos, ya que las medidas de acondicionamiento que no se pueden implementar mediante la aislación o revestimientos de la estructura, debe hacerse de forma remota con el uso de dispositivos que garanticen las condiciones necesarias para la adecuada conservación de las colecciones. Esta medida termina siendo negativa para las instituciones, debido a que no se cuenta con un presupuesto que pueda salvaguardar el funcionamiento de los sistemas climáticos. Situación que también ocurre en el depósito de la FACSO, que teniendo grandes y tecnológicas instalaciones, estas se encuentran bajo suelo y por consiguiente, sometidas a los cambios de temperatura que se dan y a la cantidad de humedad que hay en el suelo. Si bien se disponen de sistemas autónomos de climatización, no existe la posibilidad de mantenerlos activos de manera constante por la falta de recursos.

**Tabla 1.** Resultados de salidas a terreno, noviembre 2022.

Variable	Depósito Antropología UC	Depósito FACSO UCH	Depósito MNHN	Depósito CNCR
Cantidad de depósitos	1	6	7	1
Estructura	Hormigón armado	Hormigón armado	Hormigón	Adobe
Aislación	No	Si	No	No
Instalaciones	Deshumificador/ Extintor/ Medidor temperatura/ Tablero eléctrico/Extractor/Zona húmeda	Deshumificador/ Extintor/ Medidor temperatura/ Extractores	Deshumificador/ Extintor/ Medidor temperatura	Deshumificador/ Extintor/ Medidor temperatura
Mobiliario	Full-space/ Rack de metal/ Cajoneras/ Cajas estandarizadas/ Cajas sueltas/ Contenedores de plástico/Mesones/ Bolsas/ Refrigerador	Full-space/ Rack de metal/ Cajoneras/ Cajas estandarizadas/ Cajas sueltas/ Mesas/Pallet	Rack de metal/ Cajoneras/ Cajas estandarizadas/ Cajas sueltas/ Armario de metal	Rack de metal/ Cajoneras/ Cajas de distinta dimensión

**Tabla 2.** Resultados de salidas a terreno, noviembre 2022.

Depósito	Espacialidad
Depósito FACSO UCH	En el edificio antiguo un pasillo central conecta los depósitos y demás recintos de la Unidad Patrimonial. En el edificio nuevo se trata de un bloque de recintos depositarios conectados por un pasillo interior. Los depósitos son espacios herméticos y oscuros en el edificio antiguo y en el nuevo son espacios amplios y con buena iluminación donde se pueden disponer una gran cantidad de muebles. En ambos casos el uso del mueble tipo full-space permite que los mobiliarios no sean fijos y que, gracias a los rieles, el lugar puede cambiar de dimensiones dependiendo de las necesidades del conservador.
Depósito Antropología UC	El recinto da a un pasillo exterior que conecta con todo el campus. Dentro del depósito tienen una buena organización de los objetos, haciendo funcionales los desplazamientos y la ocupación. El problema radica en que almacenan tantas cosas que el espacio no da abasto y deben utilizar el suelo para almacenar.
Depósito MNHN	La circulación del edificio en general es bastante organizada en todas sus plantas, aunque cuando se trata de los depósitos, estos están ubicados en distintas partes de la zona de Antropología y Arqueología del museo, por lo que el mismo recorrido entre depósitos es confuso al disponerse en distintos niveles.
Depósito CNCR	El depósito transitorio que contempla la unidad está bien aprovechado para el pequeño espacio que tiene. Al estar dentro del laboratorio se hace mucho más rápido el poder mover piezas de un lado a otro. Por otro lado, el recinto donde se tratan los restos humanos se encuentra en una edificación alejada al convento, por lo que el traslado entre ambos edificios se vuelve tedioso.

### **4.3. Lineamientos tecnológicos por tomar en cuenta en Monte Verde**

A partir del tercer objetivo específico, se elaboraron lineamientos de conservación, generando una tabla comparativa de parámetros tecnológicos que inciden en la conservación, tomando en cuenta los casos estudiados complementariamente, mediante el uso de dos documentos que apuntan a lineamientos de conservación: RE-ORG. Un método para reorganizar el depósito del museo de ICCROM (Figura 16) y Requerimientos para Depósito del CNCR (Figura 17).

El uso de tablas comparativas, a partir de las variables tecnológicas de conservación propuestas por las dos instituciones utilizadas como base (ICCROM y CNCR), permitieron desglosar una serie de lineamientos tecnológicos que apuntan a la adecuada conservación de los bienes materiales, así cada depósito consiguió un puntaje a partir de los criterios cumplidos por cada uno, ganándose estos a medida que cumplían las aristas de manera positiva, pudiendo dilucidar cuáles son las materias tecnológicas que deberían ser más trabajadas a futuro y cuales si están bien cubiertas por cada institución.

En relación con los aciertos y preocupaciones de cada depósito, se generó una tabla de lineamientos tecnológicos con perspectiva arquitectónica a seguir que contempla aspectos estructurales y espaciales, los cuales son las variables desde las que la arquitectura puede aportar para priorizar la conservación (Figura 5). Esta tabla funciona en base al cómo el diseño arquitectónico puede responder de manera positiva para la óptima conservación de la colección Monte Verde, enfatizando en que esta va dirigida al cuidado dentro de un depósito in-situ en el monumento histórico y arqueológico predio Monte Verde, por ende, se consideró en conjunto los dos resultados anteriores de la investigación. Si bien se busca que puedan ser utilizados en un primer lugar en el caso de estudio Monte Verde, se disponen con miras a que puedan servir como base y ser extrapolables en beneficio de otras situaciones y contextos, que requieren una implementación de variables tecnológicas desde la arquitectura, pero poniendo el enfoque en las colecciones arqueológicas.

Por último, luego de la recepción de este documento, se reenviará esta investigación como una retroalimentación a las instituciones que prestaron sus instalaciones para la realización de esta misma, además del diálogo coordinado para generar información acerca de los depósitos en el marco del Plan Nacional de Infraestructura Patrimonial hacia el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio.

	Antropología UC	FACSO UCH	MNHN	CNCR
Gestión	9/9	8/9	8/9	8/9
Edificio y Espacio	8/10	5/10	8/10	7/10
Colección	6/7	6/7	6/7	2/7
Mobiliario y pequeños equipos	5/8	7/8	7/8	7/8

**Figura 16:** Resultados de variables tecnológicas observadas en base a documento RE-ORG. Un método para reorganizar el depósito del museo. ICCROM “Fuente: Elaboración Propia”

	Antropología UC	FACSO UCH	MNHN	CNCR
Definición de Depósito de colecciones	6/7	6/7	7/7	6/7
Ubicación, Diseño y características constructivas del depósito	4/10	4/10	5/10	5/10
Clima	4/5	5/5	5/5	5/5
Iluminación	1/1	0/1	1/1	0/1
Seguridad	4/6	5/6	5/6	5/6
Uso	2/3	2/3	2/3	2/3
Mobiliario para el almacenamiento de colecciones	4/4	4/4	4/4	4/4

**Figura 17:** Resultados de variables tecnológicas observadas en base a documento Requerimientos para Depósito. CNCR “Fuente: Elaboración Propia”

**Tabla 3.** Lineamientos de conservación.

<b>Aspectos de diseño</b>	<b>Lineamientos de conservación</b>
Estructural	<p>El sistema estructural debe permitir la existencia de aislante térmico, de por sí la materialidad debe tener buena inercia térmica y resistencia al fuego.</p> <p>Debido a las concentraciones de humedad en el ambiente, la estructura debe desvincularse del suelo.</p> <p>Al estar cerca de un yacimiento arqueológico, debe disponerse a una distancia que no sea dañina al terreno.</p> <p>El clima de la zona requiere la disposición de una rasante pronunciada en su techumbre.</p> <p>Asegurando que la altura entre la rasante y la losa de piso nunca sea inferior a 2,5 metros.</p> <p>De disponerse el depósito en un nivel superior, la losa debe contemplar la carga de todo el mobiliario a disponer en el recinto.</p> <p>Cualquier instalación de zona húmeda debe estar alejado del recinto y sus cañerías no pueden cruzar a este.</p>
Espacial	<p>La disposición de vanos en los muros no debe ser utilizada.</p> <p>De diseñarse dentro de una edificación mayor (museo), el depósito debe disponerse lo más lejos de las fachadas posible.</p> <p>De disponerse el depósito en un nivel superior al del suelo, se debe proveer un montacargas en el nivel mismo.</p> <p>El depósito no debe proyectarse ni en un ático ni tampoco en un subterráneo.</p> <p>La disposición del mobiliario dentro del depósito debe permitir un ancho de pasillo en el que pueda moverse óptimamente una persona.</p> <p>La función del depósito solamente debe promover la conservación de las piezas, por lo que cualquier mobiliario u objeto no relacionado con ello no debe ser dispuesto. Para todos esos elementos se debe procurar un recinto aparte.</p>

## 5. Conclusiones

A lo largo de esta investigación, se hizo más evidente la necesidad de poder definir parámetros tecnológicos que se hicieran cargo de la conservación de las colecciones arqueológicas y en su defecto, de los depósitos que las contienen y resguardan. Esto debido a la situación generalizada de depósitos que se surgen a partir de la rehabilitación de un espacio que anteriormente no fue concebido como tal, lo cual trae problemas al recinto para adecuarlo con un enfoque en las piezas y no en las personas, que es a lo que en una primera instancia responde la arquitectura. Es por esto que la divulgación de conocimiento y literatura sobre los lineamientos generados es relevante desde un punto de vista arquitectónico, ya que al diseñar desde cero o reacondicionar depósitos, deben primar las necesidades de las colecciones desde una mirada estructural y espacial, de manera en la que la conservación de los bienes arqueológicos sea respetada con el rigor correspondiente al tratarse de objetos que son parte del patrimonio cultural de las naciones.

Respecto a la colección Monte Verde, este tampoco se queda al margen de lo anteriormente dicho, ya que los esfuerzos de generar estos lineamientos tecnológicos van estrechamente de la mano con la búsqueda de poner en valor la importancia nacional e internacional, tanto científica como cultural, del yacimiento arqueológico al que se le extrajo la colección. Las implicancias de esta valorización están vinculadas al contexto original al que pertenecen las piezas que han generado tanto debate desde la década del 70, puesto que Monte Verde debe seguir apostando a tener un rol principal en la historia de la arqueología en Chile y a ser un emblema del que los puertomontinos puedan tener conocimiento. Pudiendo generarse un vínculo entre el patrimonio y la comunidad, tanto social como académica, que permita que este perdure por mucho tiempo, puesto que al haber un interés general en el tema, se garantiza aún más que el bien patrimonial pueda recibir la atención pertinente de las autoridades y se conserve correctamente.

## Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos a los distintos profesionales de Arqueología, Antropología y Etnografía que me abrieron las puertas. Particularmente me dirijo a Nicole Barreaux, encargada del Área Patrimonial FACSU UCH, Felipe Martínez, director Antropología UC, Cristian Becker, curador jefe MNHN, Natalia Naranjo, coordinadora del CNCR y Cecilia Lemp, encargada colecciones UACH.

## Referencias

- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN. (2017). Ley 21.945. Crea el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. Ministerio de Educación.  
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1110097&idVersion=2022-06-09&idParte=9845588>
- Calás, E. Catalán, D. González, J. Navarro, X. Santander, G. (2015). Diagnóstico Estado de Depósitos Instituciones Museográficas Chilenas. Colegio de Arqueólogos de Chile.  
[https://colegiodearqueologos.cl/wp-content/uploads/2011/10/Diagnostico\\_Estado\\_Depositos\\_CACH.pdf](https://colegiodearqueologos.cl/wp-content/uploads/2011/10/Diagnostico_Estado_Depositos_CACH.pdf)
- Consejo de Monumentos Nacionales. (2019). Ley Nº 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas. (7ª Edición). República de Chile.  
<https://www.monumentos.gob.cl/publicaciones/libros/ley-monumentos-nacionales-normas-relacionadas-ano-2019#:~:text=La%20Ley%20N%C2%BA%2017.288%20de,conservaci%C3%B3n%20de%20nuestro%20patrimonio%20monumental.>
- Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. (s.f.) Sector Predio Monte Verde. República de Chile. Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio.  
<https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-arqueologicos/sector-predio-monte-verde>



- Cuaderno del Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. (2015). Cuaderno Nº 111 Documentos de ICOMOS.  
<https://www.monumentos.gob.cl/publicaciones/libros/cuaderno-ndeg-111-documentos-icomos>
- Cultura.gob.cl. (s/f). Organigrama Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio.  
<https://www.cultura.gob.cl/organigrama/>
- Departamento Gestión de Proyectos, Subsecretaría del Patrimonio Cultural (2021). Plan Nacional de Infraestructura Patrimonial 2021-2026. Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. Documento no publicado.
- De Ruijter, M. (2010). La manipulación de las colecciones en el almacén. UNESCO.  
[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000187931\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000187931_spa)
- Dillehay, T. (2004). Monte Verde. Un asentamiento humano del pleistoceno tardío en el sur de Chile. LOM Ediciones.
- Dillehay, T. Ocampo, C. Saavedra, J. Sawakuchi, A. Vega, R. Pino, M. et al. (2015). New Archaeological Evidence for an Early Human Presence at Monte Verde, Chile.  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0141923>
- Duarte, C. (2018). Estándares mínimos de registro y conservación preventiva de colecciones arqueológicas y paleontológicas. (1ª Edición). Consejo de Monumentos Nacionales de Chile.  
[https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/manual\\_estandares\\_de\\_conservacion\\_web.pdf](https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/manual_estandares_de_conservacion_web.pdf)
- Instituto Nacional de Antropología e Historia. (2015). Lineamientos generales para el manejo, destino y depósito de monumentos arqueológicos muebles.  
<https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01472569726.PDF>
- International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property. (2018). Método RE-ORG: Un método para reorganizar el depósito del museo. (Ibermuseos). Plataforma de publicación Ibermuseos. (Obra original publicada en 2018).  
<http://www.ibermuseos.org/recursos/publicaciones/metodo-re-org/>
- Laboratorio de Escultura y Monumentos. (2017). Requerimientos para depósitos de colecciones. Centro Nacional de Conservación y Restauración. Documento no publicado.
- Munita, D. Álvarez, R. y Mera, R. (2011). Los antiguos habitantes de la Provincia de Llanquihue. (1ª Edición). Consejo de Monumentos Nacionales de Chile.  
<https://www.monumentos.gob.cl/publicaciones/cartillas-folletos/antiguos-habitantes-provincia-llanquihue>
- Pérez-Cotapos, A. (2015). Centro de interpretación arqueológica Monte Verde, Puerto Montt. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142439>

- Rincón, I. y Simon, G. (s/f). Guía de Informes Paleontológicos. Área de Patrimonio Natural. Consejo de Monumentos Nacionales de Chile.  
<https://www.monumentos.gob.cl/publicaciones/cartillas-folletos/guia-informes-paleontologicos>
- Servicio Nacional del Patrimonio Cultural. (s.f.). Qué entendemos por patrimonio cultural. Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio.  
<https://www.patrimoniocultural.gob.cl/que-entendemos-por-patrimonio-cultural>
- Silva, J. (2018). CIAMV: Centro de Interpretación Arqueológico Monte Verde. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/169924>
- Ulloa, A. (2018). Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio: Hacia un tercer capítulo de la institucionalidad cultural en Chile. Revista de Gestión Cultural, 4-5.  
<http://mgcuchile.cl/wp-content/uploads/2018/09/REVISTA-MGC-11-final.pdf>
- Universidad Austral de Chile. (s.f.). Sede Puerto Montt se posiciona como centro para la conservación y documentación patrimonial arqueológica. Escuela de Arqueología.  
<http://arqueologiapm.uach.cl/2021/05/28/sede-puerto-montt-se-posiciona-como-centro-para-la-conservacion-y-documentacion-patrimonial-arqueologica/>
- UNESCO. (2003). Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial.  
[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000132540\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000132540_spa)
- UNESCO. (1972). Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural.  
<https://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>
- Valenzuela, P. (2003). Depósitos en Museos. Centro Nacional de Conservación y Restauración. Documento no publicado.

## **Innovaciones en paneles SIP: Paneles Rootman, paneles tipo SIP con un aislante natural y ecológico.**

**Estudiante:** Constanza Aros

**Profesor guía:** Jing Chang Lou

### **Resumen**

El panel Rootman es un panel tipo SIP de origen chileno, ecológico y 100% biodegradable, que ocupa como núcleo un colchón radicular (CR) a base de raíces aportando así a la disminución de la huella de carbono por procesos constructivos. En este trabajo se comparan las propiedades del panel Rootman y el panel SIP bajo los criterios de las normas chilenas en cuanto a resistencia al fuego, aislación térmica y aislación acústica. Se analizan los procesos constructivos para una vivienda básica, así como el costo de los paneles requeridos y también los ciclos de vida de cada producto. Con los resultados de análisis comparativos, se pudo determinar que el panel Rootman presenta más ventajas en cuanto a propiedades y ciclo de vida, mientras que el panel SIP aventaja en procesos constructivos. Finalmente, se destaca de los paneles Rootman su aporte al ecosistema y a las tecnologías constructivas actuales.

**Palabras clave:** Panel Rootman, Panel SIP, Propiedades, Colchón radicular

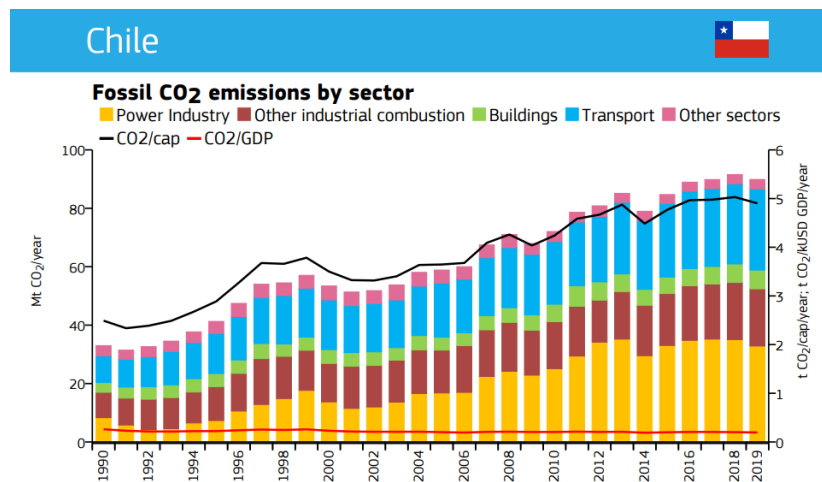
## 1. Introducción

El panel Rootman es un panel tipo SIP (Structural Insulated Panel) que presenta una innovación a los sistemas constructivos actuales por su aislante ecológico Thermoroot, el cual es un colchón radicular (CR) hecho totalmente de raíces y 100% biodegradable, haciendo posible reemplazar el poliestireno expandido (EPS) del panel tradicional. Desde el proceso de producción hasta su proceso de degradación, presenta un aporte a la disminución de los gases que fomentan el efecto invernadero y el crecimiento del calentamiento global.

El calentamiento global y la contaminación por CO2 que existe en este momento es una preocupación a nivel mundial, según el Informe de estado global de edificios y construcción del 2021 de la *Global alliance for building and construction*, las cifras del 2015 ya mostraban que la construcción de edificios fue responsable del 38% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO2). En el 2020, los niveles de CO2 cayeron un 10% debido en gran manera a la reducción de la demanda de energía debido a la pandemia de COVID-19, pero las emisiones ya crecieron nuevamente con el aumento de la actividad económica. (United Nations, Environment Programme 2021).

El sector de la edificación y la construcción (incluyendo la producción y el transporte de materiales de construcción) en los países de la OCDE consume del 25 % al 40 % de la energía total utilizada (hasta el 50 % en algunos países) (Asif, Muneer y Kelley, 2007).

En Chile, las emisiones de CO2 durante el 2021 han aumentado en un 2,64% con respecto al 2020. En el ranking de 184 países más contaminantes, Chile se encuentra en el puesto número 140 por sus emisiones de CO2. En la figura 1 se puede observar las emisiones fósiles de Chile desde 1980 hasta 2020 y cómo estas han ido en aumento a través de los años. Estas incluyen fuentes del uso combustible, procesos industriales y uso de productos (Crippa et al.,2020).



**Figura 1:** Gráfico de emisiones de CO2 en diferentes sectores productivos de Chile. Fuente: Crippa et al., 2020.

Junto con estas cifras que van en aumento, también lo está la preocupación y la búsqueda de soluciones para enfrentar las emisiones de CO<sub>2</sub>. En el área de procesos industriales se encuentra la producción de materiales para edificaciones más sustentables y que sean un aporte al medio ambiente. Uno de estos innovadores productos que se tomará como objeto de investigación es el panel Rootman, un sistema de construcción ecológico, sustentable y 100% biodegradable. Este panel a pesar de prometer tanto, por su corta vida en el mercado, se encuentra con una falta información que circula en la web. Es por eso que se decidió estudiar este panel teniendo por punto de comparación el panel SIP (Structural Insulated Panel), del cual el panel Rootman está inspirado y busca ser una solución con su alma de colchón radicular al aislante del panel SIP que es de poliestireno expandido.

Al investigar este producto, se está aportando con información que no existía en la web, y se busca darle más reconocimiento y divulgación a través del área de la tecnología, ya que es un gran aporte en innovación en proceso constructivo y propone una mejora para las condiciones de seguridad y habitabilidad en las viviendas.

De ahí surge la pregunta: ¿Es el panel Rootman una alternativa viable con respecto al panel SIP en las construcciones de viviendas en Chile? Y para responderla se busca como objetivo principal establecer las ventajas comparativas entre panel Rootman vs panel SIP tradicional para determinar el más conviene a utilizar al construir viviendas en Chile.

## **2. Antecedentes**

Las propiedades térmicas, acústicas y de resistencia al fuego son normativas que establecen el mínimo de confort para que una vivienda sea habitable, es por esto que se decidió investigar estas características, recopilando información de la normativa chilena y desde distintas fuentes que tuvieran ensayos realizados en relación al panel SIP y al panel Rootman para poder llevar a cabo una comparación entre ambos.

De la resistencia al fuego, cabe recordar que todo edificio, según su destino, deberá cumplir con las normas mínimas de seguridad contra incendios, asegurándose de que, con el diseño del edificio, se facilite el salvamento de los ocupantes en caso de incendio, se reduzca al mínimo el riesgo de incendio, se evite la propagación del fuego, y se facilite la extinción de los incendios. (Brunet, 2014)

Para los edificios con destino habitacional, la normativa establece que el número de pisos define el tipo de resistencia al fuego que se necesita. Las viviendas de hasta 2 pisos, cuya superficie edificada sea inferior o igual a 140 m<sup>2</sup>, tendrán una resistencia al fuego a lo menos de F-15 en todos sus elementos y componentes soportantes, siempre que el muro de adosamiento o muro divisorio, según corresponda, cumpla con las exigencias de muros divisorios entre unidades. (Brunet, 2014)

De las propiedades térmicas se considera la resistencia térmica (RT) del material, que es la capacidad de resistirse al paso del calor. Se mide en  $[m^2K/W]$  y está relacionada con la aislación térmica.

Para obtener una vivienda confortable y de bajo consumo energético, se debe instalar un aislante con baja conductividad térmica y alta resistencia térmica (Brunet, 2014).

La reglamentación térmica nacional divide el país en 7 zonas de acuerdo con la temperatura media del lugar o más bien con respecto a la diferencia de temperaturas entre una interior de base y la temperatura exterior por medio del método de Grados - Día correspondiente al Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Decreto Supremo 47, 2006).

De acuerdo con la norma NCh853 Of.2007, la resistencia térmica requerida de un producto depende de la zona térmica según la siguiente tabla.

**Tabla 1:** Exigencias de acondicionamiento térmico Art.4.1.10 OGUC. Fuente: Méndez et al.,2021.

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

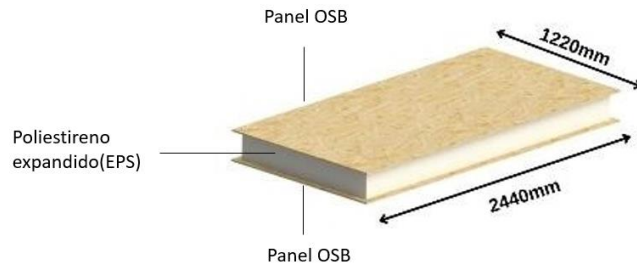
Para las propiedades acústicas, en relación con la aislación acústica de los elementos, los requisitos mínimos que deben cumplir las construcciones están establecidos por la Nch 352/1. Of 2000, los cuales están hechos para permitir a sus habitantes el descanso frente a ruidos provenientes de otras viviendas, y ruidos provenientes de las instalaciones externas a esta (NCh 352/1, 2000). Según OGUC del MINVU - Artículo 4.1.6, los elementos constructivos vertical y horizontal deberán tener un índice de reducción acústica mínima de 45dB(A), y presentar un nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo de 75Db (Pino, 2016).

## 2.1. Panel SIP

El panel SIP llegó ya hace algunas décadas a nuestro país, como un producto innovador en cuanto a estructura, rapidez constructiva y resistencia térmica. Este producto nace en Estados Unidos y pronto se esparce por el mundo como un producto para una construcción firme y rápida junto con muy buenas cualidades aislantes gracias a su composición de dos placas de OSB con poliestireno expandido como núcleo.

Este tipo de panel puede ser usado de forma estructural o no estructural, tanto en muros como pisos y techos y varía en sus espesores totales según su uso y requerimiento de zona térmica en donde se vaya a construir.

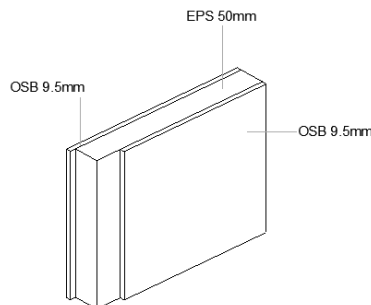
Las dimensiones de cada panel son generalmente de 122 cm de ancho por 244 cm de largo, y no pesan más de 50 kg por unidad de producto.



**Figura 2:** Configuración panel SIP. Fuente: A partir de Newtrade.

Para la **resistencia al fuego**, de acuerdo con el “Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo”, el ensayo N° 417.404, hecho por la empresa Tecnopanel S.A. en el año 2015, mostró que para un panel SIP simple compuesto de placas de OSB de 9.5mm de espesor y con poliestireno expandido de espesor 56mm, da como resultado un F-15. Mientras que el ensayo N° 507.254, hecho por la empresa TERMOCRET LTDA. en el año 2015, mostró que, para un panel SIP de 175mm de espesor con OSB DE 11.1mm y núcleo de 53mm más terminaciones con dos planchas de yeso-cartón de 10mm a cada lado, con uniones selladas con polietileno “Joint” y pasta a base de yeso, además de los espacios libres formados por la separación del panel y las planchas de yeso cartón de ambas caras va relleno con lana de vidrio de 50 mm de espesor comprimida a 30 mm, obtuvo como resultado un F-60 para la resistencia al fuego.

Para la **aislación térmica**, se calculó la resistencia térmica ( $R_t$ ) del panel SIP según lo establecido por la norma Nch 853 Of.2007, esto para poder mostrar con qué valores de muros, techos y pisos ventilados cumple de acuerdo con los estándares mínimos según las zonas térmicas del país.



**Figura 3:** Composición y medidas Panel SIP simple. Fuente: Elaboración propia.

Para un panel SIP simple, los resultados de resistencia térmica para muros, pisos ventilados y techumbre se muestran en las siguientes figuras.

**Tabla 2:** Cálculo de resistencia térmica panel SIP. Fuente: Elaboración propia

	Espesor e (m)	Coeficiente Aislación térmica $\lambda \text{ m}^2 \times \text{K/W}$	$R_t = e / \lambda \text{ m}^2 \times \text{K/W}$		
			MUROS	PISOS	TECHOS
OSB 9.5mm x2	0.019	0.13	0.146	0.146	0.146
EPS 50mm	0.05	0.041	1.21	1.21	1.21
Rsi	-	-	0.12	0.17	0.09
Rse	-	-	0.05	0.05	0.05
Resistencia térmica Rt	-	-	1.526	1.576	1.496

Para la **aislación acústica**, se obtuvieron dos ensayos desde “Comportamiento acústico de tres viviendas: un prototipo de vivienda de emergencia fabricado bajo el sistema constructivo SIP (Structural Insulated Panel), una vivienda social y una vivienda social de emergencia actual (mediagua)”, el primer ensayo fue realizado en un panel SIP simple (OSB+EPS+OSB), y el segundo en un panel simple más una capa de yeso cartón por uno de sus lados.

Estos ensayos se llevaron a cabo según la norma NCh2786, dando como resultado para el primer panel un  $R'w(C;Ctr)$  30(0;-1) dB; para  $R'w+C$  dio 30 dBa, y para  $R'w+Ctr$  dio 29 dB. Y para el panel SIP+yeso cartón, los resultados para  $R'w(C;Ctr)$  son de 39(-1;-4)dB; para  $R'w+C$  dio 38 dBa, y para  $R'w+Ctr$  dio 35 dB.

## 2.2. Panel Rootman

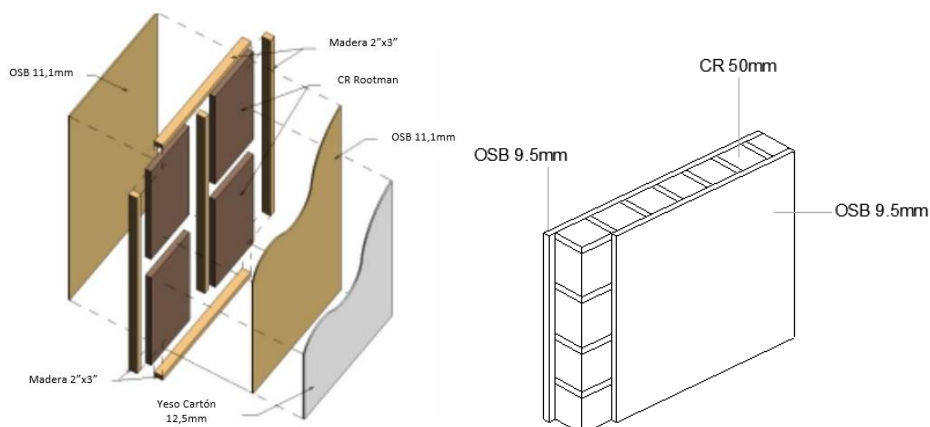
El Panel Rootman es un producto chileno que nace en la empresa Rootman a través de la creación de su colchón radicular (CR), material aislante biodegradable y 100% natural, fabricado sobre la base de raíces, sin modificaciones genéticas.

El Panel Rootman, es un panel tipo sándwich, constituido por dos planchas de OSB de 11.1 mm o 9.5mm, con un armazón interior en pino de 1" x 2" más un pilar central de 2" x 2" y un alma de colchón radicular denominado Thermoroot.

Según los ensayos publicados en la página oficial de Rootman, los resultados para la **resistencia al fuego** que se obtuvieron fueron según la norma NCh 935/1. Of.97, ocupando un panel de 11,1 cm de espesor con un núcleo de 76mm de Thermoroot, una placa de OSB de 11,1 mm a cada lado, y yeso cartón de 12,5mm en la cara expuesta al fuego.

La temperatura puntual máxima admisible de 198 °C en la cara no expuesta al fuego se produjo a los 92 minutos de iniciado el ensayo, lo que determinó el tiempo de resistencia al fuego de clasificación F-90 (Rootman, 2020).





**Izq. Figura 4:** Composición de panel Rootman. Fuente: Rootman, 2022.

**Der. Figura 5:** Composición y medidas Panel Rootman. Fuente: Elaboración propia.

Para la **aislación térmica**, se calculó la resistencia térmica ( $R_t$ ) según lo establecido por la norma NCh 853 Of.2007 para un panel de espesor 69 mm permitiendo demostrar en cuáles zonas térmicas cumple las exigencias mínimas de  $R_t$  para muros, techos y pisos ventilados.

Y los resultados de resistencia térmica para muros, pisos ventilados y techumbre se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 3:** Cálculo de resistencia térmica panel Rootman. Fuente: Elaboración propia

	Espesor e (m)	Coeficiente Aislación térmica $\lambda \text{ m}^2 \times \text{K/W}$	$R_t = e / \lambda$ $\text{m}^2 \times \text{K/W}$		
			MUROS	PISOS	TECHOS
<b>OSB 9.5mm x2</b>	0.019	0.13	0.146	0.146	0.146
<b>CR 50mm</b>	0.05	0.036	1.388	1.388	1.388
<b>Rsi</b>	-	-	0.120	0.170	0.090
<b>Rse</b>	-	-	0.050	0.050	0.050
<b>Resistencia térmica <math>R_t</math></b>	-	-	1.704	1.754	1.674

Para la **aislación acústica**, se obtuvieron los datos del informe publicado por Rootman. El elemento ensayado fue un Tabique acústico Soundroot 111/50 según la NCh-ISO 10140/2:2014 y la NCh 2786.Of2003 (ISO 140- 3:1995). Las dimensiones del panel son de 2,40 x 4,18m y 111mm de espesor, compuesto por 2 placas de yeso cartón de 12.5mm a cada lado, y relleno de CR de 50mm.

Los resultados para ensayo fueron de  $R'w(C;Ctr)$   $48(-4;-10) \pm 2.5$  dB; para  $R'w+C$  dio  $44 \pm 2.1$  dBa, y para  $R'w+Ctr$  dio  $38 \pm 2.5$  dB.

### 3. Métodos

Para responder a la pregunta de investigación, en este trabajo se utilizó el método descriptivo, en donde, a través de una recopilación de datos, se llevaron a cabo comparaciones descriptivas de ambos paneles, partiendo por un enfoque general para señalar sus características y propiedades, hasta llegar a lo más particular.

Por falta de recursos y tiempo, no se pudieron realizar ensayos con los productos ni hacer visitas presenciales a las empresas ya que estas llevan entre 3 a 8 horas llegar hasta donde están los productores de cada panel. Es por esto que el trabajo se centra en el análisis de datos obtenidos principalmente en una revisión de literatura de ensayos, tesis e investigaciones realizadas sobre ambos paneles. Dado que el panel SIP es un producto que ya ha sido investigado ampliamente, no fue difícil encontrar información sobre sus propiedades, mientras que para el panel Rootman, la mayoría de la información se obtuvo desde las publicaciones de la empresa Rootman, o contactando directamente con ellos.

Se emplearon informaciones publicadas por la OGUC con respecto a las normativas mínimas para la habitabilidad de las viviendas, y se recurrió a los listados del MINVU sobre los ensayos de protección contra el fuego y las soluciones constructivas para la aislación acústica. También se ocuparon tesis e informes específicos para cada propiedad del panel SIP.

Para obtener información adicional sobre el modo de construir de ambos paneles, se entrevistó a Felipe López, quien es un arquitecto con experiencia en obra con ambos paneles.

Posteriormente, se realizó una comparación de los antecedentes obtenidos, estableciendo cuál cumple mejor con las normas chilenas actuales para viviendas. Para esto, la investigación se dividió en 3 etapas, primero se hizo una comparación de las propiedades ya mencionadas en los antecedentes, en donde se utilizó como metodología de referencia el informe utilizado en Estudio comparativo entre muro de metacón revestido con placa OSB y panel SIP aplicado a una vivienda tipo ubicada en la ciudad de Valdivia en términos de eficiencia energética para calcular la resistencia térmica de cada panel en relación con la aislación acústica. Luego, se hizo un análisis de los procesos constructivos de las viviendas, lo que incluye procesos de montaje, tiempos de construcción y costos. Se ocupó la información entregada en las distintas páginas web que venden los paneles y se hizo una cotización para poder comparar los precios de ambos para construir una casa básica. También se ocupó la información obtenida en el punto anterior sobre las resistencias térmicas para calcular cual espesor de panel ocupar para construir la vivienda en la zona escogida. Por último, se realizó un análisis de ciclo de vida de cada panel para verificar acerca de cuánto aportan en disminuir la huella de carbono existente. Para esto se consultó el artículo Análisis de ciclo de vida simplificado aplicado a viviendas de paneles SIP (structural insulated panels) y la tesis “Proceso constructivo ecoeficiente mediante la utilización del sistema prefabricado de paneles SIP para la construcción de viviendas unifamiliares en la ciudad de Lima”. El análisis de ciclo de vida requiere un cálculo especializado de los productos, pero por falta de tiempo y recursos, no se pudo realizar. El

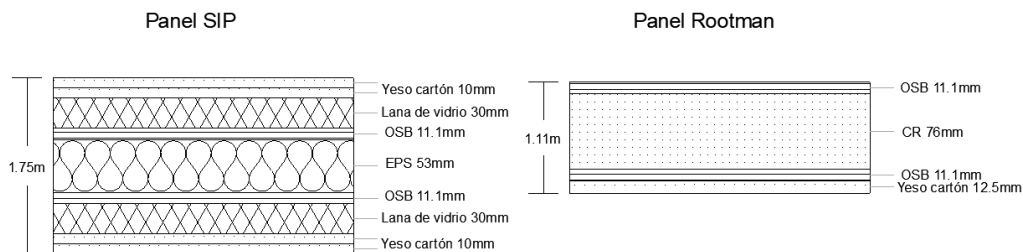
análisis que se realizó en esta investigación es un acercamiento a las fases de ciclo de vida presentados por Guzinski, F. en Impacto Ambiental del Sector de la Construcción: Análisis Comparativo de Cerramientos Externos Aplicando el Enfoque de Ciclo de Vida. También se ocupó de referencia la entrevista con Felipe López para saber sobre los procesos constructivos de las viviendas y cómo estos influyen en su ciclo de vida.

Para finalizar, se llevó a cabo la observación de los resultados de la investigación y se llegó a conclusiones que lograron determinar cuál de estos paneles tiene más ventajas comparativas para construir viviendas en Chile.

#### 4. Resultados

Los datos obtenidos para la **resistencia al fuego** fueron los siguientes:

El panel SIP cumple con F-60, y el Panel Rootman con un F-90. Si bien ambos paneles dieron buenos resultados como resistencia al fuego, existe una gran diferencia al comparar los componentes que usaron para que dieran esos resultados.



**Figura 6:** Panel SIP F-60 y panel Rootman F-90 en resistencia al fuego. Fuente: Elaboración propia.

Según las propiedades estudiadas, para la resistencia al fuego, el panel Rootman es el que tiene mejores resultados presentando una resistencia de F-90 frente a un F-15 para un panel SIP simple. Lo que hay que tener en consideración es que para el ensayo de Rootman, se utilizó una capa extra de yeso cartón que ayudó a tener un resultado mejor, en cambio para el panel SIP, el ensayo hecho está con capas de OSB en ambas caras y EPS en el núcleo.

En el Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, se listan ensayos ya hechos con panel SIP que presentan distintos resultados de resistencia al fuego que van desde F-15 hasta F-60 en donde se puede concluir que, para que el panel SIP tenga mejores resultados, se le deben agregar más capas de revestimiento al panel aumentando así su capacidad de protección contra el fuego. Lo mismo se puede aplicar para el panel Rootman.

Otro punto para tener en consideración es que lo que aporta al panel Rootman no son solo las capas extras, sino las raíces del núcleo ya que estas tienen una gran resistencia y capacidad de soportar las llamas, por lo que hace que el panel no necesite más capas de revestimiento adicionales.

Para la **aislación térmica** se calculó la resistencia térmica (Rt) de ambos paneles ocupando los mismos espesores de las placas OSB y el mismo espesor de núcleo de EPS para panel SIP, y de CR para el panel Rootman, esto para poder obtener resultados bajo las mismas condiciones. Los cálculos se hicieron según la norma NCh 853 Of.2007 y se compararon estos valores por cada zona térmica del país para ver si los resultados cumplen con lo mínimo exigido. En las siguientes figuras se muestran los resultados por zona del panel SIP, para muros, techos y pisos.

**Tabla 4:** Resultados de resistencia térmica panel Rootman por zona. Fuente: Elaboración propia.

Zonas	Rt Muros	Observaciones	Rt Techos	Observaciones	Rt Pisos Ventilados	Observaciones
Panel SIP	1.526		1.496		1.576	
Zona 1	0.25	Cumple	1.19	Cumple	0.28	Cumple
Zona 2	0.33	Cumple	1.67	Cumple	1.15	Cumple
Zona 3	0.53	Cumple	2.13	No cumple	1.43	Cumple
Zona 4	0.59	Cumple	2.63	No cumple	1.67	No cumple
Zona 5	0.63	Cumple	3.03	No cumple	2.00	No cumple
Zona 6	0.91	Cumple	3.57	No cumple	2.56	No cumple
Zona 7	1.67	No cumple	4.00	No cumple	3.13	No cumple

Para los muros, el panel SIP cumple con todas las zonas climáticas del país, exceptuando la zona 7 que corresponde a la Cordillera y la Zona Austral. Para los techos, solo cumple con las primeras dos zonas climáticas, y para los pisos ventilados, cumple con las primeras tres zonas.

Para el panel Rootman, las siguientes tablas muestran sus resultados por zona en muros, techos y pisos.

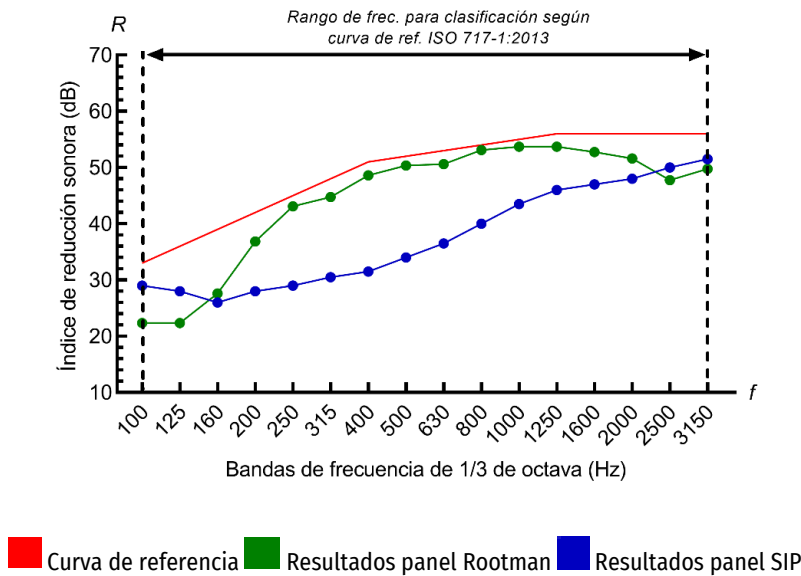
**Tabla 5:** Resultados de resistencia térmica panel Rootman por zona. Fuente: Elaboración propia.

Zonas	Rt Muros	Observaciones	Rt Techos	Observaciones	Rt Pisos Ventilados	Observaciones
Panel Rootman	1.704		1.674		1.754	
Zona 1	0.25	Cumple	1.19	Cumple	0.28	Cumple
Zona 2	0.33	Cumple	1.67	Cumple	1.15	Cumple
Zona 3	0.53	Cumple	2.13	No cumple	1.43	Cumple
Zona 4	0.59	Cumple	2.63	No cumple	1.67	Cumple
Zona 5	0.63	Cumple	3.03	No cumple	2.00	No cumple
Zona 6	0.91	Cumple	3.57	No cumple	2.56	No cumple
Zona 7	1.67	Cumple	4.00	No cumple	3.13	No cumple

Al comparar los resultados de ambos paneles, se puede observar que no hay grandes diferencias entre uno y otro, para los muros, el panel Rootman cumple en las 7 zonas mientras que el panel SIP cumple en las primeras 6. Para los techos, ambos paneles solo cumplen con las dos primeras zonas, así que para ambos se deben aumentar los espesores de núcleo para obtener mejores resultados, y para piso, el panel Rootman cumple con 4 zonas de las 7 en comparación con el panel SIP, que cumple solo con 3 de ellas.

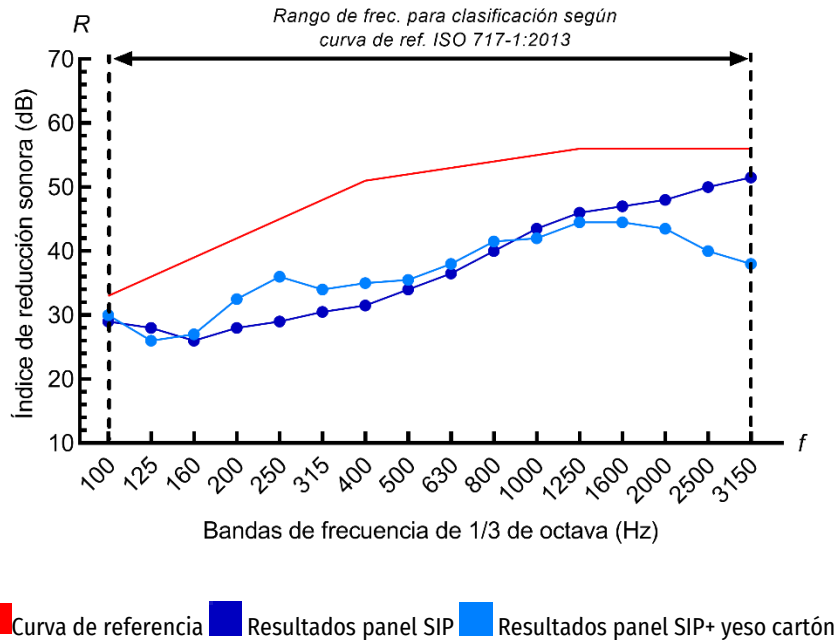
Otro dato relevante es que, a pesar de las similitudes de ambos paneles, para muros, la resistencia térmica del panel Rootman (1.704 m<sup>2</sup>K/W) es mucho más alta que la del panel SIP (1.526 m<sup>2</sup>K/W), estableciendo que el colchón radicular Thermoroot es mejor aislante que el poliestireno expandido.

Para la última propiedad, correspondiente a la **aislación acústica**, los resultados del panel Rootman (R'w(C;Ctr) 48(-4;-10)± 2.5 dB) son mejores ya que de los dos paneles, es el único que cumple y sobrepasa lo mínimo exigido por el MINVU; aunque hay que tener en consideración que las partes ocupadas en este panel no son las mismas que las de un panel Rootman 'normal' pues en vez de placas OSB, se ocuparon dos placas de yeso cartón a cada lado.



**Figura 7:** Rango de frecuencia panel Rootman versus panel SIP. Fuente: Elaboración propia en base Laboratorio CPIA, 2018 y Pino, 2016.

Similar pasa con el panel SIP, ya que al comparar los resultados entre el panel simple (R'w(C;Ctr) 30(0;-1) dB) y el panel con una capa de yeso cartón por un lado (R'w(C;Ctr) son de 39(-1;-4)dB), se observan mejoras en su rendimiento de aislación acústica.



**Figura 8:** Rango de frecuencia panel SIP versus panel SIP + yeso cartón. Fuente: Elaboración propia en base a Pino, 2016.

A partir de estos resultados se puede inferir que los paneles solo con placas de OSB no dan buenos resultados para la aislación acústica por lo que se hace necesario agregar capas extra a fin de que el ruido al viajar tenga más obstáculos para llegar al otro ambiente, siendo el yeso cartón un material óptimo para esto.

Por otro lado, según la OGUC Art. 4.1.6, cuando el panel SIP no cumple con las exigencias mínimas normativas, de debe recurrir al “Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico” del MINVU, para mejorar las condiciones del material (DITEC, 2005). Para un panel SIP con núcleo de EPS de 53mm y con paneles de OSB de 11,1mm, la solución es agregarle lana de vidrio de 50mm comprimida con pino cepillado de 30mm\*90mm para sostener la lana, y terminarlo con dos planchas de yeso cartón a cada lado

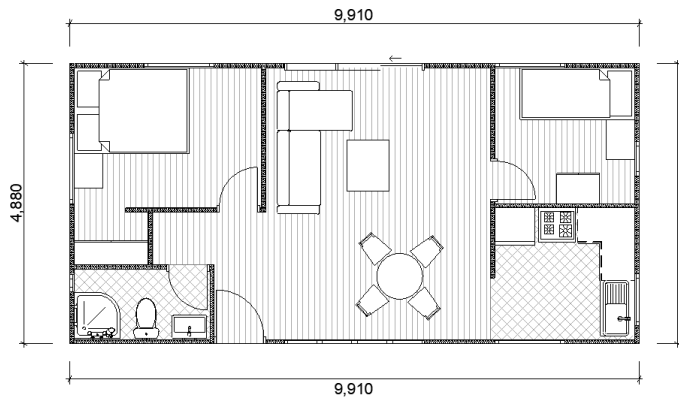
Los **procesos constructivos** de montaje de ambos paneles son similares al ser ambos tipo SIP y se pueden usar tanto para pisos como techos y muros, solamente variando los espesores de los paneles de OSB y de los núcleos de EPS y CR respectivamente. Depende del método que se elija para ensamblar los materiales los costos adicionales que se requerirán, algunos métodos incluyen paneles de espesor menor, uniones hechas entre los mismos paneles o a través de vigas de madera. (Rootman, 2020).

La mano de obra necesaria para el montaje también es similar, siendo completamente posible instalar los paneles con personas no profesionales en el área. En ambos casos se necesitan de al menos 3 personas que hayan sido capacitadas para su instalación.

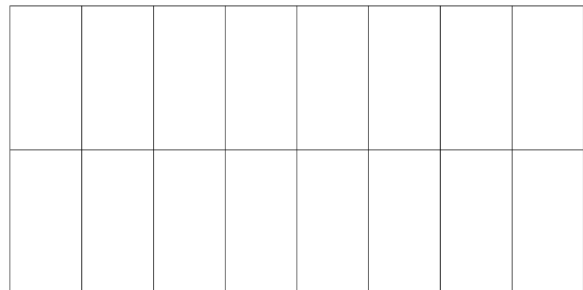
Una diferencia importante cuando se instalan los paneles y se hacen los vanos para las puertas y ventanas es que el panel SIP se puede cortar en cualquier parte sin dañar la estructura, en cambio el panel Rootman, al tener un envigado entre paneles que sostienen el núcleo de raíces (ver figura 4), la estructura se puede ver dañada con el mal manejo de esto. Presentando una ventaja comparativa el panel SIP.

Para llevar a cabo una comparación más precisa de los procesos constructivos de los paneles, se propone la construcción de una casa básica en una de las 7 zonas térmica del país, lo que permitió analizar costos de los productos y de despacho, tiempos de espera y manos de obra requeridas, todo esto de forma teórica para fines únicamente comparativos. De este proceso, se escogió la zona térmica 4 ya que su clima no es tan variado como en los extremos del país y un modelo de casa básica de 48 m<sup>2</sup>. La primera propuesta incluía hacer una cotización de un kit básico, sin embargo, la empresa Rootman solo venden los paneles. Es por esto que esta comparación se realizó en base a valores actualizados de paneles entregados directamente por las empresas especializadas y los cálculos para la elección del espesor de panel correspondiente se hicieron en base a las normas de la zona térmica 4.

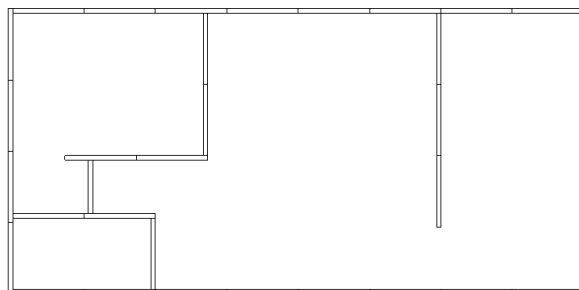
Para el panel SIP se eligió cotizar con la empresa IngePanel de Talca, y para el panel Rootman, con la empresa Rootman, que se encuentra en Los Ángeles. A continuación, se muestran los planos de la casa básica, incluyendo los de piso, muros y techo:



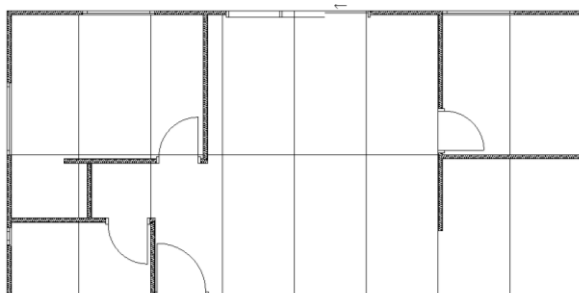
**Figura 10:** Planta casa básica. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 11:** Esquema disposición paneles en planta de techumbre. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 12:** Esquema disposición paneles de muro. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 13:** Esquema disposición paneles en planta de piso. Fuente: Elaboración propia.

Esta casa ocupa un total de 35 paneles para muros, 17 paneles para pisos y 17 paneles para techo. La cotización que se llevó a cabo fue la siguiente:

**Tabla 6:** Cotización para una vivienda de 48m<sup>2</sup> en panel Rootman y panel SIP. Fuente: Elaboración propia a partir de valores entregados por Rootman e Ingepanel.

	PANEL SIP	PANEL ROOTMAN
Muros	OSB 9.5mm x 2 + EPS 56mm = Panel de 7,5cm espesor Valor \$54.931 c/panel 35x\$54.304= \$1.900.640	OSB 11.1mm x 2 + CR 50mm = Panel de 7,5cm espesor Valor \$70.000 c/panel 35x\$70.000= \$2.450.000
Techos	OSB 11,1mmx2 + EPS 120mm = Panel de 14.22cm espesor Valor \$71.279 c/panel 17x\$71.279= \$1.211.743	OSB 9,5mmx2 + CR 75mm = Panel de 9,4cm espesor Valor \$70.000 c/panel 17x\$70.000= \$1.190.000
Pisos	OSB 1.11mmx2+ EPS 5.6mm = Panel de 7.5cm espesor Valor \$58.931 c/panel 17x\$58.931= \$1.001.827	OSB 9,5mm+OSB11.1mm + CR 5,6mm = Panel de 7,5cm espesor Valor \$82.000 c/panel 17x\$82.000= \$1.394.000
Flete	\$100.000	\$220.000
Total	\$4.214.210	\$5.254.000



Hay que tener en consideración que solo se cotizó el valor de los paneles, faltando más estudio sobre los tipos de uniones, aislantes extras y recubrimientos que utilizaría la casa. Esos valores no están incluidos en la cotización, pero queda abierto para futuras investigaciones.

Los tiempos de entrega del panel SIP son 3 semanas y para el panel Rootman son 2 semanas. Según los datos obtenidos, el panel que más ventajas comparativas tiene es el Panel SIP.

A partir de cotizaciones hechas, se encontraron grandes diferencias en los costos de construcción y en la oferta de productos entre ambos paneles en donde la empresa Ingepanel ofrece el doble de productos que la empresa Rootman. Las cotizaciones, hechas en base a las exigencias térmicas de piso, techo y muro de la zona 4, muestran que, para la misma cantidad de paneles, el costo total de los paneles SIP es de un 20% menos que el de Rootman.

El **ciclo de vida** de los paneles se analizó en base a las distintas fases de la construcción, como se pueden observar en la siguiente figura:



**Figura 14:** Fases del ciclo de vida de la construcción. Fuente: Guzinsky, 2012

Para el panel SIP, la fase A de extracción de las materias primas y fabricación del panel depende de la empresa en donde la mayoría compran por separado los paneles de OSB y las planchas de EPS, especializándose en la fabricación y ensamblaje de paneles. Los efectos adversos de estos procesos en el medio ambiente suceden antes de producir el panel. Para los paneles Rootman, las planchas de OSB también son compradas pero la fabricación de su aislante es distinta, ellos mismos se encargan de cultivar las raíces para fabricar el colchón radicular, este proceso dura entre 10 y 15 días y se desarrolla al interior de cámaras aisladas, donde se produce el cultivo hidropónico de semillas de grano de avena o cebada, utilizando bandejas que definen el espesor requerido de las raíces. Este proceso de germinación se puede realizar en cualquier momento del año y no necesita una ubicación geográfica específica, dejando una baja huella ecológica al presentar requerimientos mínimos de energía y agua (Rootman,2022).

Para la fase B de construcción, ambos procesos son similares, diferenciándose en los residuos que quedan al hacer los vanos para puertas y ventanas. Para el panel SIP, la posibilidad de reutilización de los trozos de panel van únicamente en las dimensiones de este y en si sirven o no para poner en alguna parte de la construcción de la vivienda sino, la oportunidad de reutilización se reduce a la posibilidad de separar el OSB del poliestireno expandido, que se dificulta al estar pegado con adhesivo en base a poliuretano. En cambio, el

panel Rootman al funcionar distinto en su interior, las posibilidades de reutilización de los trozos de panel son distintas, las raíces, al no estar pegadas, se pueden poner dentro de otros paneles, o simplemente se pueden compostar, al igual que los listones de 2"x3" de pino radiata, que forman la estructura interna o los paneles de OSB, ya que son elementos por separado, dan la posibilidad de utilizarlos o reciclarlos según se estime conveniente.

Para la fase C de usos y mantenimientos, la duración de las construcciones de ambos paneles depende únicamente en las capas de aislación y revestimiento que se tengan con el exterior e interior, ya que ambos paneles al ser de madera deben ser protegidos de la humedad. Para esto, se puede tener una capa de membrana hidrófuga para techos y muros y el piso debe ser piso ventilado. Si se construye con paneles con resistencia térmica menor a lo exigido, se van a necesitar de artefactos o instalaciones externas al panel para temperar o enfriar la casa, lo que produciría efectos negativos en el medio ambiente.

Por último, para la fase D de deconstrucción, fin de la vida, reciclaje y reutilización, el panel Rootman presenta ventajas sobre el panel SIP ya que todos sus componentes se pueden reutilizar o reciclar, ya que no genera desechos al ser un producto ecológico y 100% biodegradable.

Según todas las propiedades analizadas, se pueden observar variaciones importantes entre los paneles, el panel Rootman es el que presenta mayor cantidad de ventajas comparativas en sus propiedades. Si bien este panel tiene un valor más alto, requiere menos revestimientos adicionales por lo que termina siendo una inversión a futuro en cuanto a costos extras necesarios para aislar la vivienda del frío o calor por la gran capacidad aislante que tiene gracias a las raíces. Y es un aporte al medio ambiente por la circularidad de su ciclo de vida, algo clave en la actualidad.

## **5. Conclusiones**

Basado en lo investigado, se puede afirmar que el panel Rootman sí es una alternativa viable para las construcciones de viviendas en Chile. Los resultados muestran una inclinación favorable con el panel Rootman, exceptuando casi únicamente por la diferencia de costos, los cuales se pueden ver como una inversión en seguridad, gracias a su gran resistencia al fuego, y en menores gastos extras para mejorar la aislación térmica y acústica de la vivienda.

Estos resultados son de gran importancia al analizar un producto relativamente nuevo en el mercado chileno. Es fundamental para la arquitectura actual que haya productos ecológicos con los que trabajar ya que la industria de la construcción es responsable de hasta un 40% de las emisiones globales de dióxido de carbono en la capa de ozono.

Para el Panel SIP, ya existen diversos escritos sobre el producto y sus soluciones constructivas. Con este trabajo se espera abrir puertas para empezar a estudiar a fondo el panel Rootman y todas las posibilidades que tiene este nuevo producto y darle más reconocimiento y divulgación en el área de la tecnología y la sustentabilidad.

Por limitaciones de tiempo y recursos económicos durante el desarrollo de este trabajo, futuras investigaciones podrían incluir hacer ensayos actualizados de ambos paneles con distintos componentes a los que ya se tienen, ya que, por ejemplo, el ensayo acústico del panel Rootman está hecho con paneles de yeso cartón en vez de OSB, y en los ensayos de panel SIP se podrían hacer con mayores espesores de EPS para ver cuánto mejora sin agregar elementos extras. También se podrían hacer análisis y pruebas para ver adhesivos que sean ecológicos en el panel SIP, que permitan la separación de sus elementos para poder reutilizarlos o reciclarlos. E incluso se podrían estudiar formas de abaratar los costos del panel Rootman. Y finalmente se podrían hacer ensayos en terreno con casas ya construidas.

Se espera que la información publicada en este trabajo abra muchas puertas para seguir desarrollando y mejorando las nuevas tecnologías como el panel Rootman, un producto que aporta con innovación al sistema constructivo actual.

## Referencias

- Asif M., Muneer T. and Kelley R. (2007), "Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*", 42(3), 1391–1394.  
doi:10.1016/j.buildenv.2005.11.023
- Brunet, M. (2014) "Recopilación de la normativa nacional de seguridad contra incendios". Cámara Chilena de la Construcción, Santiago, Chile.
- Cárdenas, J., Muñoz, E., Riquelme, C., Hidalgo, F. (2015). "Simplified life cycle assessment applied to structural insulated panels homes". *Revista ingeniería de construcción*, 30(1), 33-38. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000100003>
- Construcción 2011, (2011). "Panel SIP (Structural Insulated Panel)". <https://construccion2011.wordpress.com/2011/04/07/panel-sip-structural-insulated-panel/> (Accedido el 15 de Nov. 2022)
- Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E.(2020) , "Fossil CO2 emissions of all world countries - 2020 Report", EUR 30358 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-21515-8, doi:10.2760/143674, JRC12146
- Decreto Supremo N° 47 (1992), "Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones". Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile.
- DITEC (2005). "Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo". MINVU. Chile  
[http://serviu10.minvu.cl/documentos/Urbanismo%20y%20Construccion/Normativa%20Tecnica/Listado\\_Oficial\\_acustico4653.pdf](http://serviu10.minvu.cl/documentos/Urbanismo%20y%20Construccion/Normativa%20Tecnica/Listado_Oficial_acustico4653.pdf) (Accedido el 15 de Nov. 2022)
- Garay, R., Pfenniger, F., Tapia, R., Larenas, J. (2014). "3. Especificaciones técnicas para viviendas de emergencia". Universidad de Chile. (ISBN) 978956-19-0858-1

- González A., (2021). "¿De qué material es mejor construir mi casa?". Casas Brunel.  
<https://www.casasbrunel.cl/post/de-que-material-es-mejor-construir-mi-casa>  
(Accedido el 15 de Noviembre 2022)
- Guzenski,F. (2012). "Impacto Ambiental del Sector de la Construcción: Análisis Comparativo de Cerramientos Externos Aplicando el Enfoque de Ciclo de Vida".  
<https://www.behance.net/gallery/3131177/Impactos-ambientales-del-sector-de-la-construccion> (Accedido el 15 de noviembre de 2022)
- IDIEM, (2018). "Informe de ensayo - resistencia al fuego en tabique según NCh935/1.OF97".  
FCFM, Universidad de Chile. Chile
- International Organization for Standardization (ISO). 2020. "Standard ISO 717-1: Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: airborne sound insulation".  
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/77435/1609f1821aa54f128753faa0423d239a/ISO-717-1-2020.pdf>
- Laboratorio CPIA (2018). "Informe de ensayo oficial: Tabique acústico SOUNDROOT 111/50",  
Rootman (Informe n° 202). Santiago, Chile
- Méndez, D., Caamaño, J., et al. (2021). "Manual de soluciones constructivas en madera. Centro de innovación en madera UC". Minvu. Chile
- Modulor Arquitectura. "OGUC – De la Arquitectura – De las Condiciones de Seguridad Contra Incendio". <https://modulor.cl/oguc-de-la-arquitectura-de-las-condiciones-de-seguridad-contra-incendio/> (Accedido el 15 de Nov. 2022)
- Navarrete, S. (2021). "Estudio comparativo entre muro de metalcón revestido con placa OSB y panel SIP aplicado a una vivienda tipo ubicada en la ciudad de Valdivia en términos de eficiencia energética". [Tesis para optar al título de Ingeniero, Universidad Austral de Chile]. <https://es.scribd.com/doc/295328847/Panel-SIP-y-Metalcon-pdf> (Accedido el 15 de noviembre de 2022)
- Newtrade, "Paneles SIP". <https://newtradecorp.cl/paneles-sip/> (Accedido el 15 de Nov. 2022)
- Norma chilena oficial N° 352/1. (2000). "Aislación acústica parte 1: construcciones de uso habitacional. Requisitos mínimos y ensayos". INN, Chile
- Norma chilena oficial N° 853. (2007). "Acondicionamiento térmico. Envoltura térmica de edificios. Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas". INN, Chile
- Pino, N. (2016). "Comportamiento acústico de tres tipos de viviendas: Un prototipo de vivienda de emergencia fabricado bajo el sistema constructivo SIP (Structural Insulated Panel), una vivienda social y una vivienda de emergencia actual (mediagua)". [Tesis para optar al título de Ingeniera, Universidad de Chile]. Repositorio institucional, Universidad de Chile

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151538/Comportamiento-acustico-de-tres-tipos-de-viviendas-un-prototipo-de-vivienda-de-emergencia-fabricado-bajo-el-sistema-constructivo-SIP-%28Structural-Insulated-Panel%29-una-vivienda-%20social-y-una-vivienda-de.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quispe, M., Nilver, L. (2022). "Proceso constructivo ecoeficiente mediante la utilización del sistema prefabricado de paneles SIP para la construcción de viviendas unifamiliares en la ciudad de Lima". [Tesis para optar al título de Ingeniero, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio institucional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659939>

Rootman (2020). "Solución constructiva de envolvente térmica. Muro de tabiquería de madera con aislación térmica rootman". <https://www.rootman.com/wp-content/uploads/2022/07/11.-FT-Panel-ROOTMAN.pdf> (Accedido el 15 de Nov. 2022)

United Nations Environment Programme (2021). "2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector". United Nations

## **Aplicación de biopolímeros biodegradables en cerramientos: Arquitectura y material.**

**Estudiante:** Victoria Esperanza Carvajal Olivares

**Profesor guía:** Cristian Eduardo Muñoz Díaz

### **Resumen**

Esta investigación se enfoca en uno de los materiales biobasados más estudiados, los biopolímeros biodegradables, cuya aplicación en arquitectura se ha limitado a interiores y a construcciones de uso temporal debido a sus propiedades mecánicas reducidas respecto a polímeros sintéticos. Así, sus propiedades sugieren su aplicación en elementos no portantes y ligeros en arquitectura. Los biopolímeros aún son un material reciente, cuya información dispersa y no orientada al campo limita su conocimiento. A lo largo de la investigación se estudian los biopolímeros biodegradables y sus aplicaciones en arquitectura para establecer un estado de avance de estos, luego se genera una comparación entre estos y polímeros sintéticos aplicados en cerramientos, dado que en este elemento es posible evaluar factores que afectan a los materiales, como la exposición a la intemperie, determinando así, las cualidades que los condicionan para su uso según su comportamiento.

**Palabras clave:** Biopolímeros Biodegradables, Arquitectura, Material, Cerramientos, Polímeros Sintéticos

## 1. Introducción

*“Uno de los mayores desafíos que enfrentamos los arquitectos e ingenieros hoy día es alcanzar un equilibrio entre las necesidades de construcción de una población global creciente y la protección del ambiente y la salud humana”. (Carballo, 2009)*

Durante los últimos años se ha dado especial énfasis al impacto ambiental, siendo el campo de la arquitectura y la construcción uno de los mayores responsables considerando que el 37% de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía pertenecen a este sector a nivel internacional (ONU, 2021).

En Chile, la construcción es responsable de la generación de más de un tercio de las emisiones totales de gases efecto invernadero (MINVU, 2018), junto con la alta generación de residuos sólidos que alcanza el 34% a nivel nacional (MINVU, 2021) siendo gran parte de estos residuos no reciclados y acumulados. Por estos problemas es que la arquitectura y la construcción tienen un trabajo importante en la búsqueda de prácticas más sostenibles, con el objetivo de regular la cantidad de recursos naturales consumidos, la contaminación creada, la cantidad de energía desperdiciada y la cantidad de residuos generados (Rahman, 2011).

Con la premisa de la innovación de materiales, uno de los materiales biobasados más estudiados son los biopolímeros, los cuales se han desarrollado en diferentes elementos arquitectónicos como reemplazo de los polímeros tradicionales y otros materiales, como vidrio o metales usados en fachadas (ITKE, 2013). Entre sus características como material, una parte de los biopolímeros son biodegradables y compostables, con un tiempo de degradación de meses o años, según su composición y condiciones ambientales (El-Kadi, 2010), lo que permite al material descomponerse en componentes compatibles con el medio ambiente. Así mismo, este carácter ha limitado su aplicación a interiores y a construcciones de uso temporal como pabellones (Gökçe y Ates, 2018), debido a sus propiedades mecánicas reducidas respecto a polímeros sintéticos del mismo carácter. Sin embargo, como todo polímero, los bioplásticos se caracterizan por “su bajo peso propio, su buena maleabilidad, su comportamiento distintivo relacionado con el tiempo y su combustibilidad” (Knippers et al., 2011), lo que sugiere su aplicación en elementos no portantes y ligeros en arquitectura.

Pese a su uso e investigación, los biopolímeros aún son un material reciente en la arquitectura, cuya información dispersa y no orientada al campo, limita su conocimiento. Para avanzar en su aplicación, es necesario comprender su estado de avance e indagar en su comportamiento e influencia en el diseño arquitectónico.

Para profundizar en esto se plantea la siguiente pregunta ¿qué cualidades condicionan el uso de biopolímeros biodegradables en cerramientos en comparación al uso de polímeros sintéticos? Para resolver esta inquietud, la investigación tiene como objetivo comparar biopolímeros biodegradables y polímeros sintéticos en su aplicación en cerramientos, respecto a su impacto ambiental, comportamiento en el entorno, y sus propiedades mecánicas y térmicas.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Biopolímeros biodegradables

#### Impacto ambiental

“Los materiales plásticos se consideran en la actualidad materiales muy importantes por sus propiedades y prestaciones frente a otros materiales como el metal y la madera” (Bezirhan y Duygu, 2015), permiten una amplia gama de aplicaciones y tienen un potencial de ahorro mediante formas de construcción que utilizan los materiales de forma eficiente (Knippers et al., 2011), sin embargo, abren un debate respecto a su uso, dado que

*“Las mismas propiedades de durabilidad que hacen que los plásticos sean ideales para muchas aplicaciones, como en los envases, los materiales de construcción y los productos básicos [...], pueden provocar problemas de eliminación de residuos en el caso de los plásticos tradicionales derivados del petróleo, ya que estos materiales no son fácilmente biodegradables y, debido a su resistencia a la degradación microbiana, se acumulan en el medio ambiente.” (Vroman y Tighzert, 2009).*

Debido a esto y a la aplicación intensiva para usos corrientes de nuestra vida cotidiana, los polímeros sintéticos han generado fuentes de contaminación atmosférica y visual, además de contaminación de suelos y medios marítimos (Aradilla, 2012).

A la luz de estos problemas y de la disminución de las reservas de recursos de nuestro planeta, ha aumentado el interés en disminuir el impacto medioambiental de la producción y la eliminación de los materiales utilizados (Knippers et al., 2011), donde el estudio sobre el uso de polímeros biodegradables y en especial de biopolímeros biodegradables, avanza como una potencial solución.

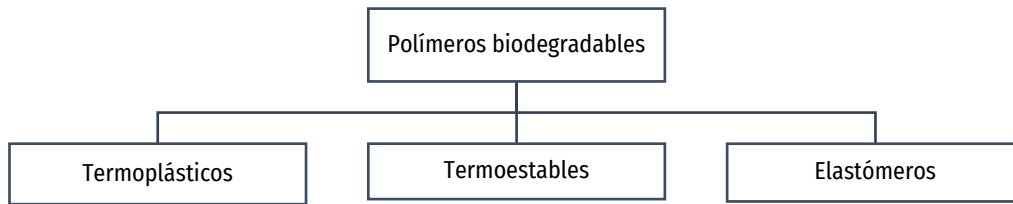
#### Definición y clasificación

Estos polímeros destacan por su carácter como material biodegradable donde su degradación resulta de la acción de microorganismos naturales o enzimas, con un tiempo de degradación de meses o años, según las propiedades físicas y químicas de estos o según efectos del ambiente como la radiación UV o la oxidación (Sayed et al., 2020), lo que les otorga una ventaja respecto a polímeros sintéticos en cuanto a su eliminación.

Los polímeros biodegradables se clasifican, según su origen, en polímeros derivados de recursos petrolíferos (sintéticos), biopolímeros o polímeros derivados de recursos renovables (naturales) y mezclas (compuestos) (Vroman y Tighzert, 2009).

Así, los biopolímeros son materiales de base biológica, es decir, son obtenidos, en su mayoría, a partir de biomasa como por ejemplo el almidón, la caña de azúcar o la celulosa, gracias a esto ahorran recursos fósiles y tienen el potencial de neutralidad de carbono (European Bioplastics, s.f.) y, al igual que los polímeros tradicionales, se clasifican según su grado de su comportamiento térmico, en termoplásticos, termoestables y elastómeros.





**Figura 1.** Clasificación de polímeros biodegradables según su comportamiento térmico.

- **Termoplásticos:** Las moléculas en los termoplásticos no están entrecruzadas. Por lo tanto, son de baja resistencia mecánica y baja resistencia al calor. Pueden ser fundidos y remodelados una y otra vez, lo cual da ventaja para la fabricación industrial y el reciclaje. La mayoría de los artículos plásticos cotidianos como muebles, telas y envases, son hechos de estos materiales (Knippers et. al, 2011).
- **Termoestables:** Los termoestables tienen moléculas densamente reticuladas, por lo que tienen alta resistencia y mejor durabilidad. No se pueden volver a fundir y tienen una resistencia alta al calor. Son usados en elementos eléctricos como interruptores, enchufes y contactores (Knippers et. al, 2011).
- **Elastómeros:** La materia prima de los elastómeros es el caucho bruto resistente, que se vuelve elástico mediante la reticulación de sus moléculas. No pueden volver a fundirse una vez producidos y tienen baja resistencia al calor. Son usados en su mayoría como cojinetes de transferencia de cargas (Knippers et. al, 2011).

Para efecto de la investigación se consideran los termoplásticos, donde se encuentran biopolímeros importantes desde una perspectiva global de mercado, como el ácido poliláctico (PLA), el ácido polihidroxibutírico (PHB), mezclas de almidón y derivados de la celulosa, los cuales han sido más desarrollados en arquitectura, especialmente para su uso en biocompuestos, donde los biopolímeros termoplásticos, son reforzados con fibras naturales presentando mejoras en sus propiedades mecánicas (Baillie, 2004). Estos biopolímeros son evaluados durante la investigación respecto a sus propiedades más relevantes para su uso en arquitectura.

### **Propiedades**

Como todo polímero, los biopolímeros se caracterizan por “su bajo peso propio, su buena maleabilidad, su comportamiento distintivo relacionado con el tiempo y su combustibilidad” (Knippers, et al., 2011). Comparten valores similares a los de los polímeros convencionales en módulo elástico, rigidez y resistencia, pero la mayoría de los biopolímeros termoplásticos absorben más humedad que los polímeros a base de petróleo (Knippers, et al., 2011) y por ende son menos resistentes a la intemperie.

Al respecto, uno de los factores más importantes para la biodegradación de los biopolímeros es la exposición a la intemperie dado que, “la entrada de humedad y la exposición a la radiación UV pueden tener efectos perjudiciales para la resistencia y la durabilidad del material” (Baillie, 2004), al igual que la exposición química de sales y ácidos.

En cuanto a sus propiedades mecánicas, tanto los valores de resistencia a la tracción como su módulo de elasticidad inciden directamente en el comportamiento de los polímeros como material arquitectónico. La resistencia a la tracción describe la tensión máxima que el material puede soportar (Engelsmann et al., 2010), mientras que el módulo de elasticidad describe el alargamiento del material cuando se somete a una tensión, un módulo elástico alto corresponde a una deformación baja (Knippers et al., 2011).

También, al igual que los polímeros tradicionales, los biopolímeros presentan buenas propiedades térmicas como su baja transmitancia térmica (Engelsmann, et al., 2010).

## 2.2. Biopolímeros en arquitectura

### Aplicaciones en arquitectura

En la arquitectura, el uso de polímeros “ha permitido ampliar espectacularmente la gama de formas, colores y acabados posibles, presentándose a simple vista o bien adoptando una apariencia más neutra” (Campos, 2007) como material. Pese a esto, los bioplásticos biodegradables aún son un material reciente en el campo, cuya maleabilidad permite múltiples posibilidades para su aplicación, pero se limita a las propiedades alcanzadas por estos frente a los efectos del medio ambiente.

Entre las aplicaciones de bioplásticos en arquitectura que se pueden destacar está “el edificio del pabellón Arboskin, como la salida de incendios de un edificio y derivada de materia prima biodegradable, como la lignina y la celulosa” (figura 3) y el prototipo del pabellón biodegradable Things which necrose (figura 4), “este muro de superficie performativo transitorio se presentó en una exposición en Dinamarca. Los visitantes presenciaron el deterioro de la superficie con el tiempo y su degradación fue controlada por la humedad dentro de la habitación” (Gökçe y Ates, 2018), ambos casos donde la biodegradabilidad del cumple el papel más importante.



Izq. Figura 2: Pabellón ArboSkin. ITKE, 2013.

Der. Figura 3: Muro Things which necrose [Cosas que se necrosan]. New Territories, 2011.

Así mismo, en el libro *Construction Manual for Polymers + Membranes* (Knippers, et al., 2011) se menciona como potencial de los biopolímeros su uso en construcción ligera, en envolventes térmicas, en el moldeo de geometrías complejas, y en elementos en que se aproveche su translucidez y transparencia. También se da a entender su emergente “investigación en uso de pigmentos termocrómicos, fosforescentes o fotocromáticos para envolvente de edificios inteligentes” las cuales usan estos materiales sensibles como captadores de luz, calor y humedad.

Pese a esto, en el libro se menciona la biodegradabilidad de estos polímeros como una desventaja frente a los efectos del clima y el medio, planteando una “contradicción fundamental entre el deseo de un material de construcción duradero por un lado, y un uso ecológicamente neutral por el otro”, cuestionando así “Hasta qué punto los biopolímeros podrían ser adecuados para soportar cargas o encerrar componentes en edificios” (Knippers, et al., 2011) o, en otras palabras, hasta qué punto pueden reemplazar materias primas finitas o no renovables como lo son los polímeros tradicionales. Ante este cuestionamiento, se plantea el estudio de la aplicación de biopolímeros en cerramientos.

### **Aplicación en cerramientos**

La envolvente, es “la capa separadora y filtrante entre el exterior y el interior, entre la naturaleza y espacios interiores ocupados por personas” (Herzog et al., 2004). Como parte de esta, los cerramientos cumplen la función de delimitación, cerrando aberturas para acondicionar los espacios, siendo en su mayoría elementos no portantes y, por tanto, teniendo menos exigencias mecánicas.

El uso de polímeros en cerramientos depende de ciertos requisitos dependiendo de las condiciones de la ubicación (exterior) y los requisitos del entorno habitado (interior). En el caso de la aplicación de biopolímeros se consideran (Knippers et. al, 2011):

- Vida útil deseada (tiempo de biodegradación)
- Exposición a la intemperie (radiación UV, absorción de humedad y agresión química)
- Especificación de propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y módulo de elasticidad)
- Aislamiento térmico

Los polímeros sintéticos no biodegradables son comunes en su uso en cerramientos, dadas sus propiedades inherentes de ligereza, maleabilidad y buen aislamiento térmico (Engelsmann, et al., 2010). En este sentido, la investigación considera como materiales de comparación polímeros usados en Chile, como lo son el policloruro de vinilo (PVC), el metacrilato y el policarbonato, usados en ventanas y puertas (Glasstech, s.f.), en estructuras (PolimerTecnica, 2019) y en cubiertas (DVP, s.f.). De esta forma y considerando las propiedades antes expuestas, se compara el uso de biopolímeros y polímeros sintéticos.

### 3. Métodos

La siguiente investigación tiene un enfoque cualitativo e indaga en el comportamiento de los biopolímeros biodegradables ampliando la información sobre este tema a través de la recopilación teórica de sus propiedades y aplicaciones.

La investigación se divide en dos etapas, en las cuales se hace uso de distintos instrumentos de recopilación y análisis de información.

#### 3.1. Etapa 1: Recopilación de información - Estado del arte

La primera etapa de esta investigación consta de la recopilación de información relacionada al tema de biopolímeros biodegradables. En primera instancia, se realizó una recopilación bibliográfica referente al impacto ambiental de este tipo de materiales, su definición y clasificaciones, junto con su implicancia en el diseño arquitectónico, para definir un resumen de su estado de avance y aplicación en la actualidad. Para esto se realizó una búsqueda sistemática de documentos, haciendo uso de la base de datos de la Biblioteca Digital de la Universidad de Chile y Google académico, donde se obtuvo información usando palabras claves como biopolímeros biodegradables, arquitectura, material, cerramientos y polímeros sintéticos, cumpliendo con una metodología similar a la usada en revisiones como Bioplásticos: Contexto Actual, Aplicaciones y sostenibilidad (Duarte, 2022). Cabe acotar, que se hace uso y mención del término *plástico* que, si bien se refiere a “compuestos que contienen plastificadores, estabilizadores, rellenos y otros aditivos” (Beylerian y Dent, 2008), diferenciándose así de polímeros, es usado como sinónimos de estos en gran parte de los textos referidos al tema y durante la investigación. Además, se realizó una revisión de casos donde se hace uso de polímeros sintéticos no biodegradables en elementos de cerramientos en Chile, con el objetivo de establecer un objeto de comparación para los biopolímeros.

#### 3.2. Etapa 2: Comparación teórica de materiales

Para esta etapa, se generó una ficha de materiales que considera los polímeros estudiados, biopolímeros (PLA, PHB, mezclas de almidón y derivados de celulosa) y polímeros sintéticos (PVC, metacrilato y policarbonato), rescatando información de la anterior recopilación bibliográfica y organizándola de manera de facilitar el acceso visual y rápido a la información necesaria para la comparación que le precede, esta puede ser consultada en anexos.

Para la evaluación de los materiales, se consideró información relacionada a cuatro grupos de criterios de comparación establecidos.

**Impacto Ambiental:** dado su relevancia en la innovación de materiales, se establecen como factores un análisis del ciclo de vida (LCA) de los materiales considerando sus emisiones desde su origen hasta su producción. La clasificación y diseño del análisis se apoya en el libro *Green composites* (Baillie, 2004). Para la extracción de los recursos, se considera como óptimo el uso de recursos renovables y el menor impacto ambiental, en la producción se

considera la menor cantidad de emisiones y energía utilizada y, en transporte se considera óptimo cuando la materia prima y producción se realiza en el mismo país. Además, se establece como factor el tiempo de degradación de los materiales, con el que se incluye la comparación entre factores ambientales. La información se consigue a través de investigaciones del impacto ambiental de cada material.

**Tabla:** Diseño del análisis de ciclo de vida de los biopolímeros

Categoría de impacto			
Extracción de los recursos	Procesos altamente contaminantes (0)	Los procesos no son preferibles (1)	El proceso es óptimo (2)
Producción	Procesos altamente contaminantes (0)	Los procesos no son preferibles (1)	El proceso es óptimo (2)
Transporte	Procesos altamente contaminantes (0)	Los procesos no son preferibles (1)	El proceso es óptimo (2)

**Exposición a la intemperie:** considerando la calidad de degradable o biodegradable que tienen los materiales, es necesario tomar en cuenta factores ambientales que puedan afectar al material. Para este grupo se consideran los factores de radiación UV, absorción de humedad y agresión química, cuya forma de clasificación se extrae del libro Industria del Plástico (Richardson y Lokensgard, 1999) y su información se extrae en su mayoría de la página de internet Mexpolimeros.

**Propiedades mecánicas:** para este grupo se consideran los factores que inciden en elementos de cerramientos, Resistencia a la tracción [N/mm<sup>2</sup>], Módulo elástico [N/mm<sup>2</sup>], cuya información se extrae en su mayoría del libro Construction Manual for Polymer + Membranes (Knippers, et al., 2011) y del libro Engineering Biopolymers (Endres y Siebert-Raths, 2011).

**Tabla:** Clasificaciones de factores del grupo Exposición a la Intemperie.

Exposición a la intemperie				
Radiación UV	Atacado (0)	Afectado (1)	Poco afectado (2)	Resistente (3)
Agresión Química	Atacado (0)	Afectado (1)	Poco afectado (2)	Resistente (3)
Absorción de humedad	Atacado (0)	Afectado (1)	Poco afectado (2)	Resistente (3)

**Propiedades térmicas:** se considera el aislamiento térmico, medido según la conductividad térmica [W/ (mk)] de los materiales, también influyente en el diseño de cerramientos. Un material con conductividad térmica menor a 0.1 [W/ (mk)] se considera aislante térmico. La información se extrae del libro Industria del Plástico (Richardson y Lokensgard, 1999).

Con la información ordenada, se realiza la comparación teórica de biopolímeros biodegradables con los polímeros sintéticos. Para esto se hace uso de gráficos, en especial de Gráficos de Ashby (Ashby, 1999) o gráficos de dispersión, cuyo uso permite observar y comparar dos o más propiedades de varios materiales a la vez, al igual que se aplicaron en el

seminario de investigación *Polímeros Biodegradables y su aplicación en arquitectura* (Johnson, 2015). Con este método, se puede evidenciar las variaciones en las cualidades de los grupos de polímeros, sacar conclusiones respecto a su comportamiento y, responder a la pregunta de investigación.

## **4. Resultados**

En la siguiente sección se realizó el análisis de los gráficos planteados, complementado con información encontrada durante la investigación de los datos y su evaluación.

### **4.1. Impacto ambiental**

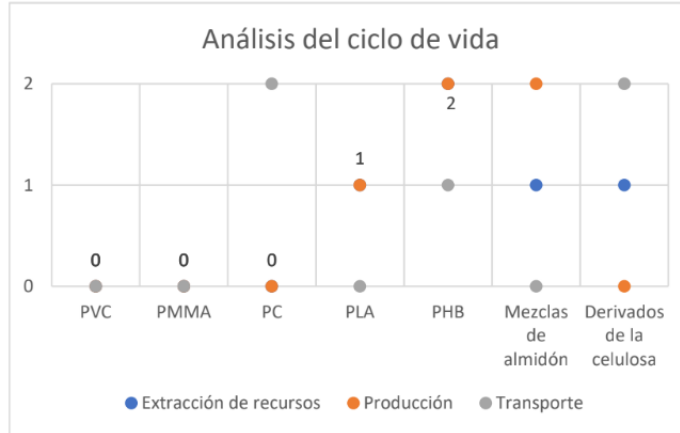
Ambos gráficos (Figura 4 y 5) evidencian que los polímeros sintéticos, PVC, PMMA y PC tienen mayor desventaja frente a su impacto ambiental. Sus valores son bajos respecto al análisis del ciclo de vida, solo el PVC marca un valor alto en cuanto a transporte dado que se produce también en Chile y por tanto genera menos emisiones. En cuanto a su degradación, los tres tienen tiempos demasiado extensos que, si bien se puede considerar dentro de su durabilidad, también generan el problema de acumulación de residuos sólidos mencionado anteriormente.

Los bioplásticos destacan por la extracción de recursos, dado que son materias primas renovables, sin embargo, también producen efectos adversos en el medio ambiente como la eliminación de áreas considerables de bosque nativo (Torres, 2017). También, como se ha mencionado durante la investigación, destacan por su rápida degradación de meses o años. En este sentido el PLA presenta la mayor cantidad de tiempo de degradación (80 años), cercano al mínimo tiempo de degradación del PVC.

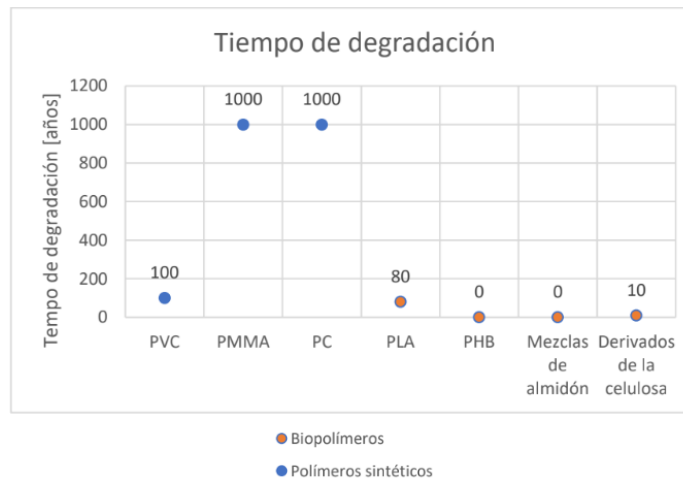
Sin embargo, los biopolímeros se quedan atrás en los valores dados por el factor transporte, esto debido a que, tanto el PLA, el PHB y las mezclas de almidón aún no son producidas en Chile, por lo que se importan de otros países. Mientras que la producción de celulosa es posible dentro del país. Esto evidencia que, pese a que Chile tiene una gran producción agrícola y por tanto existe la posibilidad de usar estas materias primas como biopolímeros, no se ha desarrollado la industria, por lo que el transporte desde otros países genera un impacto igual al de los polímeros sintéticos.

### **4.2. Exposición a la intemperie**

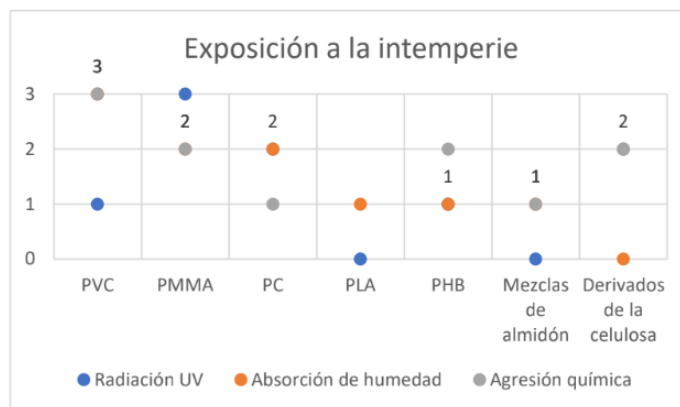
En este caso, se evidencia una gran diferencia entre polímeros sintéticos y biopolímeros, estando estos últimos en desventaja sobre todo en cuanto al efecto de la radiación UV y absorción de humedad dado que son higroscópicos, es decir, la humedad se retiene dentro de sus estructuras moleculares por lo que se ven afectados internamente (Mexpolimeros, s.f.)



**Figura 4.** Gráfico de Análisis del ciclo de vida de los materiales. Nota: los datos indicados con números se superponen.



**Figura 5.** Gráfico de tiempo de degradación de los materiales.



**Figura 6.** Gráfico de Exposición a la intemperie. Nota: los datos indicados con números se superponen.

### 4.3. Propiedades mecánicas

Respecto a sus propiedades mecánicas, a excepción de los derivados de celulosa cuya resistencia a la tracción no ha sido determinada, los otros biopolímeros varían notablemente entre ambos factores, diferenciándose entre sí, mientras que los polímeros sintéticos mantienen propiedades similares. En este sentido, el más cercano a los valores de los polímeros convencionales es el PLA, lo que explica su mayor uso en arquitectura.

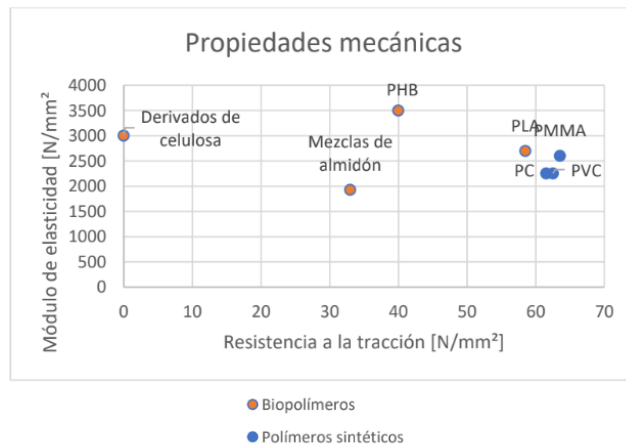


Figura 7. Gráfico de Módulo de elasticidad vs Resistencia a la tracción.

### 4.4. Propiedades térmicas

En el caso del aislamiento térmico, la conductividad indica que entre menor sea su valor, considerándose un material aislante aquel cuyo valor de conductividad térmica sea menor que 0,1 [W/m<sup>2</sup> k] por lo que este caso destacan los derivados de la celulosa como aislantes térmicos y el PHB y las mezclas de almidón quedan en desventaja respecto a polímeros sintéticos.

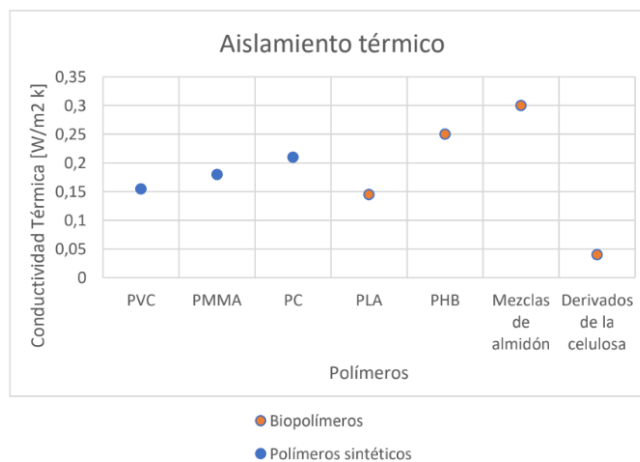


Figura 8. Gráfico de Aislamiento térmico



## 5. Conclusiones

Podemos concluir que las propiedades que condicionan a los biopolímeros en su uso en cerramientos son principalmente sus propiedades mecánicas, factor donde presentan la mayor desventaja frente a los polímeros convencionales, junto a la exposición a la intemperie que influye directamente en su biodegradación y por ende en sus propiedades mecánicas. Ante el impacto ambiental, los biopolímeros mantienen preferencia dados sus valores positivos, donde su mayor dificultad es respecto al transporte.

En este sentido, el uso de biopolímeros en cerramientos no es factible, con excepciones como el PLA que, si bien es el biopolímero mayormente usado en arquitectura, no supera por mucho las características de los polímeros convencionales, teniendo un alto impacto ambiental, y una alta exposición a la intemperie.

Es importante en un futuro desarrollar investigaciones que permitan ampliar la información respecto a los biopolímeros en arquitectura, enfocándose en el mejoramiento de estos materiales, haciendo factible su uso e incitando su desarrollo en Chile.

## Referencias

- Aradilla, D. (2012) Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente. <https://www.tecnicaindustrial.es/polimeros-biodegradables-una-alternativa-de-f/>
- Ashby, M. (1999). Material Selection in Mechanical Design [Selección de Materiales en Diseño Mecánico]. Oxford: Elsevier.
- Baillie C. (2004). Green composites. Polymer composites and the Environment [Compuestos verdes. Compuestos poliméricos y el Medio ambiente].
- Betancourth, B. (2017). Huella ecológica de la empresa almidones de occidente en el año 2016. Universidad ICESI. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/85362/1/TG02631.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/85362/1/TG02631.pdf)
- Beylerian, G. & Dent, A. (2008). Ultramateriales. Barcelona: Blume.
- Bezirhan, E. y Duygu, H. (2015). A Review: Investigation of Bioplastics [ Una Revisión: Investigación de los Bioplásticos] [https://www.researchgate.net/publication/277593613\\_A\\_Review\\_Investigation\\_of\\_Bioplastics](https://www.researchgate.net/publication/277593613_A_Review_Investigation_of_Bioplastics)
- C. L. (2019) ¿Qué tan «ecológico» es realmente el filamento PLA? <https://www.3dnatives.com/es/ecologico-realmente-filamento-pla-230720192/>
- Campos, C (2007). Plastic Design [Diseño en Plástico]. Köln: Daab. <https://archive.org/details/plasticdesign0000camp/page/n5/mode/2up>

Carballo, E. (2009). Futuro en los plásticos.

Duarte L. (2022). Bioplásticos: Contexto Actual, Aplicaciones y sostenibilidad.

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/4872/LuisAntonioDuarteRam%c3%adrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DVP. (s.f.). Sistema Modular de Policarbonato Danpalon. Archdaily.

[https://www.archdaily.cl/catalog/cl/products/9881/sistema-modular-de-policarbonato-danpalon-dvp?ad\\_source=neufert&ad\\_medium=gallery&ad\\_name=close-gallery](https://www.archdaily.cl/catalog/cl/products/9881/sistema-modular-de-policarbonato-danpalon-dvp?ad_source=neufert&ad_medium=gallery&ad_name=close-gallery)

El-Kadi, S. (2010). Bioplastic Production from Inexpensive Sources. Bacterial Biosynthesis, Cultivation System, Production and Biodegradability [Producción de Bioplásticos a partir de Fuentes Económicas. Biosíntesis bacteriana, Sistema de cultivo, Producción y Biodegradabilidad]. USA: VDM (Verlag Dr. Müller) Publishing House.

[https://www.researchgate.net/publication/260480411\\_Bioplastic\\_production\\_from\\_inexpensive\\_sources](https://www.researchgate.net/publication/260480411_Bioplastic_production_from_inexpensive_sources)

Endres, H. y Siebert-Raths, A. (2011). Engineering Biopolymers [Biopolímeros de Ingeniería]

Hanser. <https://www-sciencedirect-com.uchile.idm.oclc.org/book/9783446424036/engineering-biopolymers>

Engelsmann, S., Spalding, V. y Peters, S. (2010). Plastics in Architecture and Construction. [Plásticos en Arquitectura y construcción]. München: Birkhäuser.

European Bioplastics. (s.f.). ¿Qué son los bioplásticos?. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>

Glasstech. (s.f.). Ventanas y Puertas de PVC. Archdaily.

[https://www.archdaily.cl/catalog/cl/products/856/ventanas-y-puertas-de-pvc-glasstech?ad\\_source=neufert&ad\\_medium=gallery&ad\\_name=close-gallery](https://www.archdaily.cl/catalog/cl/products/856/ventanas-y-puertas-de-pvc-glasstech?ad_source=neufert&ad_medium=gallery&ad_name=close-gallery)

Gökçe Özdamar, E. y Ates, M. (2018) Architectural Vantage Point to Bioplastics in the Circular Economy [Punto de Vista Arquitectónico de los Bioplásticos en la Economía Circular]. Journal of Architectural Research and Development. Vol 2 No 5.

<http://ojs.bbwpublisher.com/index.php/JARD/article/view/386/485>

ITKE. (2013). ArboSkin, Stuttgart 2013. Universidad de Stuttgart. <https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/built-projects/arbo-skin/>

Johnson, M. (2015). Polímeros Biodegradables y su aplicación en arquitectura.

Knippers, Cremers, Gabler y Lienhard. (2011). Construction Manual for Polymer + Membranes [Manual de Construcción para Polímeros + Membranas]. DETAIL.

Mena A. y Capuz S. (s.f.) Sustainability and chemical industry: The polycarbonate life cycle case [Sostenibilidad e industria química: El caso del ciclo de vida del policarbonato].

[https://www.aepro.com/files/congresos/2005malaga/ciip05\\_1367\\_1377.285.pdf](https://www.aepro.com/files/congresos/2005malaga/ciip05_1367_1377.285.pdf)

Mexpolimeros. (s.f.) PMMA Polimetacrilato de metilo.

<https://www.mexpolimeros.com/pmma.html>

Mexpolimeros. (s.f.) Policarbonato – PC.

<https://www.mexpolimeros.com/policarbonatos.html>

Mexpolimeros. (s.f.) PVC Policloruro de vinilo. <https://www.mexpolimeros.com/etp/PVC.html>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU. (2018). Estándares de construcción sustentables para viviendas de Chile. Tomo V Impacto Ambiental.

<https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/EST%C3%81NDARES-DE-CONSTRUCCI%C3%93N-SUSTENTABLE-PARA-VIVIENDAS-DE-CHILE-TOMO-I-SALUD-Y-BIENESTAR.pdf>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU. (2021). HOJA DE RUTA RCD Economía circular en construcción 2035. <https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/HOJA-DE-RUTA-RCD-ECONOMIA-CIRCULAR.pdf>

New Territories. (2011). Things which necrose [Cosas que se necrosan]. <https://www.new-territories.com/twhichnecrose.htm>

Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2021). 2021 Global Status Report for Buildings and Construction [Informe de Estado Global de Edificios y Construcción].

[https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC\\_Buildings-GSR-2021\\_BOOK.pdf](https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf)

PolimerTecnica. (2019). Arquitectura etérea en metacrilato

<https://www.polimertecnica.com/arquitectura-eterea-metacrilato/>

Rahman, A. (2011). Innovations and Sustainability in Modern Architecture: The impact of building material selection [Innovaciones y Sustentabilidad en Arquitectura Moderna: El impacto de la selección de materiales de construcción].

Richardson y Lokensgard. (1999). Industria del plástico. Plástico industrial.

Sayed Patwary M. A., Surid S. M. y Gafur M. A. (2020). Properties and Applications of Biodegradable Polymers [Propiedades y aplicaciones de los Polímeros Biodegradables]. Journal of Research Updates in Polymer Science. No 9 p 32-41.

[https://www.researchgate.net/publication/344395100\\_Properties\\_and\\_Applications\\_of\\_Biodegradable\\_Polymers](https://www.researchgate.net/publication/344395100_Properties_and_Applications_of_Biodegradable_Polymers)

Torres, G. (2017). Impacto ambiental de la industria de la celulosa en Chile. Universidad de Concepción.

Vroman, I. y Tighzert, L. (2009). Biodegradable Polymers [Biopolímeros biodegradables]. Materials.

## **Desarrollo de un Panel Biocompuesto de Absorción Acústica en Base a Micelio de *Lentinus lepideus* con Rastrojo de Trigo (*Triticum turgidum*)**

**Estudiante:** Nicolás Cornejo Peñaloza

**Profesor guía:** Gabriel Felmer Plominsky

### **Resumen**

En Chile, el problema del ruido representa más de la mitad de las denuncias recibidas por el Ministerio del Medio Ambiente. En la vivienda, los materiales comúnmente utilizados para resolver este problema son: lana de vidrio, poliestireno y lana mineral; materiales que conllevan altas emisiones de carbono. El objetivo de esta investigación es diseñar un nuevo panel de absorción acústica para reducir la propagación de ruido en elementos de medianero y envolvente exterior, utilizando un nuevo biocompuesto de micelio de la especie *Lentinus lepideus* con residuos de cosecha de trigo (*Triticum turgidum*). La metodología consistió en tres etapas: 1) Preparación del biocompuesto, 2) Elaboración de las muestras y 3) Análisis microestructural y acústico. Se obtuvo como resultado seis prototipos de panel, 3 secciones, 10 muestras y los resultados de los análisis. Se concluyó que el valor de absorción acústica es posible de calibrar en función de la manipulación del sustrato.

**Palabras clave:** Micelio; Absorción Acústica; Vivienda Económica; Entramado Ligero.

## 1. Introducción

El ruido ambiental es un contaminante cotidiano presente en el día a día de las personas habitantes de las grandes urbes del mundo. De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el ruido es la segunda problemática ambiental que afecta la salud, detrás de la contaminación atmosférica (partículas en suspensión). De hecho, las consecuencias de esta contaminación pueden provocar distintos problemas de salud como trastornos del sueño, molestias graves, estrés, problemas metabólicos, problemas cardiovasculares y deterioro cognitivo en los niños (OMS, 2018). Investigaciones recientes realizadas por la Agencia Europea de Medio Ambiente afirman que:

*“El número total de personas expuestas a niveles de ruido día-tarde-noche de 55 dB o más se estima en 113 millones para el ruido del tráfico rodado, 22 millones por ruido ferroviario, 4 millones por aviones ruido y menos de 1 millón por ruido causado por industrias”. (European Enviromental Agency, 2021. p15)*

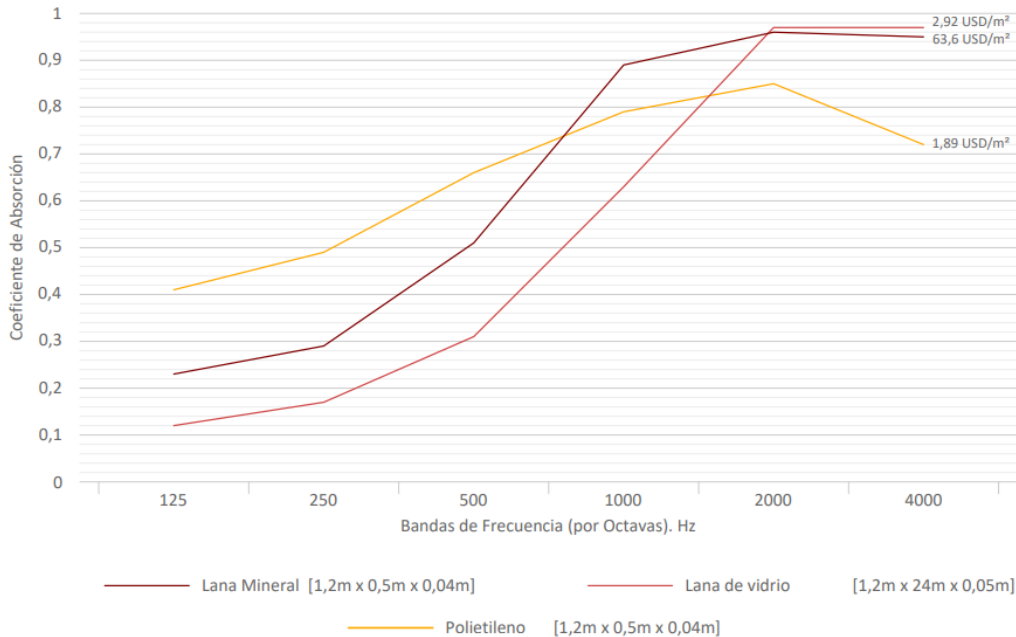
En Chile, la propagación de elevados niveles de ruido es una de las principales problemáticas ambientales que afecta la calidad de vida residencial. De acuerdo con cifras recientes del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), el 50% de las denuncias recibidas por su Superintendencia de Medio Ambiente, corresponden al contaminante ruido (MMA, 2022). Por otra parte, cifras del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) indican que, durante el día, el 31% de la población urbana se encuentra potencialmente expuesta a niveles de ruidos inaceptables en su vivienda, que corresponde a un valor mayor a 65 dBA OCDE, y, durante la noche, un 51,9%, que corresponde a un valor de 55 dBA OCDE (INE, 2018).

La problemática de la propagación de ruido aéreo afecta al stock construido de viviendas y se puede resolver por medio de la adición de materiales absorbentes o aislantes dentro de muros y/o pisos para mitigarlo; o por medio del adosamiento de algún elemento que contribuya a solucionar el problema.

De la propagación del ruido aéreo se pueden desprender dos fenómenos acústicos, estos corresponden a la aislación y la absorción acústica. La aislación consiste en limitar la transmisión del sonido entre dos ambientes. Mientras que la absorción consiste en mejorar el confort acústico y mitigar la reverberación. La propagación de sonido exterior afecta a la vivienda de tres maneras distintas: a) por medio del aire, a través de las ventanas, puertas e instalaciones; b) a través de los muros, que, en el caso de las viviendas de entramado ligero, provoca un efecto “tambor” por la vibración de los paneles y el vacío entre los tabiques; y c) a través de las juntas, considerando muros, lozas, pilares, tabiques, vigas y techos.

De acuerdo con cifras del Centro de Innovación en Madera de la Universidad Católica, durante el período 2015-2019 el porcentaje de viviendas de 1 y 2 pisos construidas en sistemas constructivos en madera alcanzó el 20%, liderando la preferencia respecto a otros sistemas como la albañilería y el hormigón (UC, 2021). Este sistema generalmente no cumple por sí mismo con las exigencias acústicas para la reducción de ruidos, que según el artículo 4.1.6 de la OGUC, corresponde a 45 dB de reducción acústica por transmisión aérea y 75 dB de

reducción acústica por impacto. Usualmente, para mitigar estos problemas, las soluciones utilizadas corresponden a los aislantes térmicos tradicionales que, por lo general, presentan un comportamiento acústico que permite mitigar en cierta medida la problemática, como lo muestran los datos en la Figura 1: Estos aislantes son la lana de vidrio, el polietileno y la lana mineral.



**Figura 1:** Propiedades absorbentes de los aislantes térmicos tradicionales. Elaboración propia a partir de (Rodero, Peinado. 2007), (Jimenez, 1990), (Lyes, Samia, Hamza, 2015), (iacaoustics, 2022)

Si bien estos aislantes ofrecen además una solución térmica, como se mencionó antes, no resuelven los problemas acústicos que presentan las viviendas de entramado ligero de madera (traspaso de ruidos a través de la tabiquería, efecto tambor, resonancia de la estructura). Además, resultan en una inversión costosa para los hogares de bajos y medios ingresos, costo que se suma con la mano de obra que realice la intervención. Por otra parte, estos tipos de soluciones no son posibles de auto fabricar, por lo que siempre significarían un gasto, independiente de su valor.

Por otro lado, estos tipos de aislantes generan un gran impacto en el medio ambiente, tanto durante su producción como al final de su vida útil, convirtiéndose en desecho. Al ser en su mayoría derivados del petróleo, perduran como desechos por cantidades muy prolongadas de tiempo. Se le denomina a este tipo de producción “economía lineal”, y consiste en la explotación de los recursos, la producción de bienes, la distribución de estos, el consumo y finalmente el desuso, terminando la cadena como residuos.

En respuesta a esto nuevos materiales surgen como posibles alternativas orgánicas: el algodón, las algas de posidonia, el colchón radicular, el trigo y el micelio de hongo. Estas

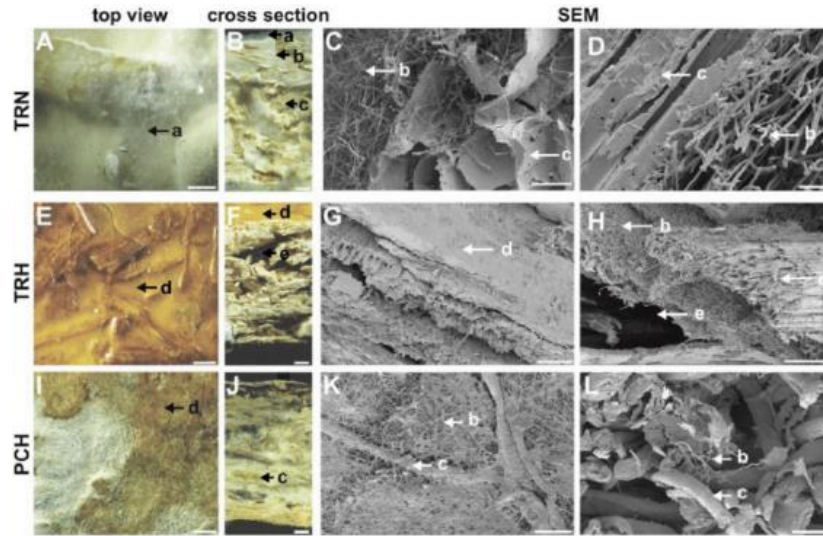
alternativas son vistas como parte de un sistema de “economía circular”. Este proceso consiste en la extracción de materias primas, el diseño de productos, la producción de estos, su distribución, la reutilización de los productos, el reciclaje y nuevamente su uso como materias primas. De estos materiales orgánicos, los que presentan mejor comportamiento acústico absorbente son el colchón radicular y el micelio de hongo, siendo este último el que ha demostrado mejores resultados.

## **2. Antecedentes**

El uso del micelio de hongo en combinación con diversos sustratos de origen orgánico es un área de la investigación que ha tomado fuerza por diversas razones, una de ellas es la diversidad de materiales que es posible conseguir de este biocompuesto (Ecovative Design, 2007), los buenos comportamientos que ha demostrado en diversas áreas, los cuales, según Elsacker et. al. (2019), comprenden desde su resistencia como material estructural hasta su capacidad térmica y acústica; y gracias a que los biocompuestos de micelio son elaborados con residuos de materia orgánica, permiten la aplicación de otros tipos de desechos orgánicos para su uso como sustrato, abriendo así la posibilidad de desarrollar nuevos campos en la economía circular (Lelivelt, 2015).

Respecto a la empresa Ecovative Design, fundada en el año 2007 y pionera en el uso de micelio de hongo, esta ha sido capaz de demostrar la versatilidad de este biocompuesto, manipulando su composición y elaborando diversos diseños, creando así materiales en remplazo del cuero, la espuma de alta resistencia, empaques y aislantes; demostrando de esta manera la posibilidad de producir diversos materiales a partir del mismo material orgánico. En la misma línea del micelio, Mogu, una empresa inspirada por Ecovative Design, continuó la exploración y desarrolló paneles acústicos utilizando residuos textiles reciclados que podían ser aplicados en espacios interiores como elementos de mejoramiento acústico y decorativos. Estos paneles poseen la cualidad de tener un buen acabado estético, variables diseños y una buena respuesta absorbente dependiendo de los tipos de paneles desarrollados, que varían desde espumas suaves y ligeras a otras más densas y firmes.

Tanto el tipo de micelio resultante de las diferentes cepas de hongo como el tipo de sustrato utilizado para el biocompuesto generan resultados variados con distintas propiedades, y cómo se puede observar en la Figura 3, el corte de los distintos bloques permite apreciar las diferencias en la estructura, notándose diferencias entre el volumen de aire y el volumen de total del compuesto. Esto es lo que se conoce como porosidad y, como afirman Möser y Barros (2009), es juntamente en materiales porosos donde se pueden obtener elevados valores de amortiguamiento interno (o absorción acústica).



**Figura 1:** Estereomicroscopía de diferentes compuestos de micelio y sustrato orgánico. (Girometta, et al. 2019)

Existen cuatro variables que influyen principalmente en el comportamiento acústico de un material, que como se puede apreciar en la Tabla 1 corresponden a: La densidad, el espesor, la rigidez y la porosidad. Un material que se considera buen absorbente acústico presenta una buena densidad, un buen espesor, poca rigidez y gran porosidad.

**Tabla 1:** Variables que influyen en el comportamiento acústico de un material.

Densidad	Relación entre masa y volumen de una sustancia.
Espesor	Dimensión más pequeña de un cuerpo de tres dimensiones.
Rigidez	Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.
Porosidad	Fracción del volumen de espacios vacíos de un material respecto del volumen total, entre 0 y 1, o como porcentaje entre 0 y 100%.

Coefficiente de absorción ( $\alpha$ ): Forma de medir la capacidad o la eficiencia de absorción acústica que tiene un material. Se define como el cociente entre la energía absorbida por un material y la energía total que incide sobre ese material.

El micelio ha demostrado un buen comportamiento como material para la reducción de propagación de ruido aéreo por medio de la absorción, aplicándose dentro de la tabiquería de los sistemas constructivos de madera (Ecovative, 2013). Siguiendo la misma línea de investigación, dentro de la Universidad de Chile, la estudiante Katherine Donoso llevó a cabo una investigación sobre el comportamiento acústico de un biocompuesto de micelio como material absorbente. Para dicha investigación se utilizaron tres tipos de sustrato de origen orgánico residuales del proceso agrícola, que corresponden al rastrojo de trigo, el bagazo de cebada y la cascarilla de arroz, en combinación con micelio de hongo de las especies *Pleurotus ostreatus* y *Lentinus lepideus*.



Se observó el comportamiento acústico de tres combinaciones de biocompuesto por medio de la medición de muestras circulares de 2,9 y 9,9 cm de diámetro por medio de un instrumento de medición acústica denominado Tubo de Impedancia Acústica (Tubo de Kundt). Las combinaciones de biocompuesto que fueron sometidas a la prueba del Tubo de Kundt consisten en: a) Rastrojo de trigo “grande” con *Lentinus lepideus* (RTgLL), b) Rastrojo de trigo “pequeño” con *Lentinus lepideus* (RTpLL) y c) Bagazo de cebada con *Pleurotus ostreatus* (BCPO). Con estos resultados se calcularon los coeficientes de absorción acústica ( $\alpha$ ) de las muestras y se compararon con los valores de los absorbentes tradicionales (Donoso, 2021), como se observa en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados de pruebas acústicas de la investigación de Katherine Donoso.

	Lana Mineral	Lana de Vidrio	RTgLL	RTpLL	BCPO
NRC	0,66	0,52	0,5	0,6	0,6

NRC: Promedio (250, 500, 1000, 2000) Hz.

Tubo de Kundt: Demostración clásica de la formación de ondas estacionarias. Consiste en un tubo cerrado por sus extremos. Conectando una fuente de ondas sonoras se consigue que dentro del tubo se formen ondas estacionarias.

### Hipótesis

Se plantea como hipótesis para el desarrollo de esta investigación que el coeficiente de absorción acústica de los biocompuestos de micelio de hongo con sustratos orgánicos puede ser calibrado en función de dos variables que influyen sobre su composición final: (1) el tamaño y gramaje del sustrato y (2) la disposición geométrica del sustrato.

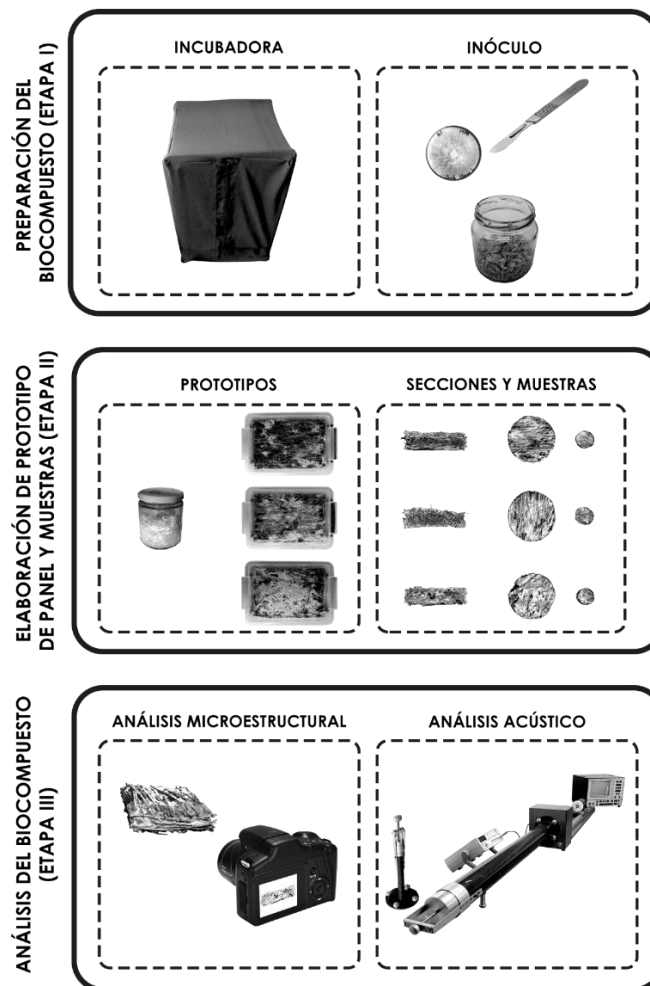
### Objetivo principal y específicos

El objetivo principal de esta investigación es contribuir al desarrollo de un nuevo panel de absorción acústica con alto potencial de aplicación al mercado nacional en base a un biocompuesto de micelio del hongo *Lentinus lepideus* con rastrojo de trigo (*Triticum turgidum*). Otros objetivos específicos son:

1. Elaborar una serie de muestras de biocompuesto de micelio del hongo *Lentinus lepideus* con rastrojo de trigo *Triticum turgidum*.
2. Realizar un análisis microestructural de las muestras y someterlas a pruebas de absorción acústica usando un tubo de impedancia acústica (Tubo de Kundt).
3. Formular lineamientos de diseño, recomendaciones de fabricación e instalación del nuevo panel de absorción acústica en base a los resultados de los análisis de las muestras.

### 3. Métodos

Para alcanzar los objetivos planteados, esta investigación se estructura en torno a tres etapas como se puede apreciar en la Figura 3: 1) Preparación del biocompuesto de hongo *Lentinus lepideus* y rastrojo de trigo *Triticum turgidum*, la cual consiste en cultivar el hongo en un primer sustrato de transición (arroz integral), para fomentar su crecimiento y posteriormente ser traspasado al sustrato principal, 2) Elaboración de los prototipos y muestras de biocompuesto, donde se probarán distintas variaciones en la disposición y proporción de sustrato en función de las cuatro variables previamente mencionadas y 3) a) Sometimiento de las muestras a análisis microestructural por medio de fotografías para apreciar las diferencias de porosidad y observar la estructura interna de los biocompuestos, b) Pruebas acústicas por medio de un Tubo de Kundt con el fin de calcular sus coeficientes de absorción acústica y compararlos con los materiales utilizados tradicionalmente para la absorción de ruido aéreo. La investigación se llevará a cabo en el Laboratorio de Fabricación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la U. de Chile (Fablab).



**Figura 3:** Resumen de la metodología para llevar a cabo esta investigación. Elaboración propia.

### **3.1. Preparación del biocompuesto (Etapa I)**

Para preparar el biocompuesto primero será necesario la producción del inóculo de micelio (*spawn*), que consiste en el cultivo del hongo a utilizar en arroz integral (medio de transición), logrando así un mayor desarrollo del micelio previo a la producción de las muestras.

Para realizar el proceso fue necesario construir una incubadora. Esta se fabricó con tubos de PVC, nylon transparente, tela bistrech negra y una repisa metálica y posee un volumen de 70x50x50 cm. Luego comenzó la producción del inóculo. Para ello se coció arroz integral con una proporción de agua de 1 y  $\frac{1}{4}$  por taza de arroz y posteriormente se colocó en un frasco hasta  $\frac{3}{4}$  de su capacidad, para permitir la ventilación y también sea posible agitar la mezcla. Estos frascos fueron previamente esterilizados por medio de un autoclave durante 1 hora y 20 minutos para eliminar cualquier microorganismo. La tapa contó con una perforación de 8mm aprox. la cual se cerró con un algodón para que actuara como filtro. La especie de hongo que se utilizó para generar el inóculo fue *Lentinus lepideus* cultivada en placa de Petri con una base de agar-agar (obtenidas gracias a Camila Albornoz Lobos, estudiante de Ingeniería en biotecnología de la Universidad Católica del Maule (UCM)). Con el uso de un bisturí esterilizado, se extrajo un corte de micelio, siguiendo una proporción de 5g de micelio por cada 100 gr de arroz, luego se agitó la mezcla para que el micelio se distribuyera en el sustrato uniformemente. Una vez listo el proceso, los frascos se colocaron en la incubadora esterilizada, la cual mantenía una temperatura constante de 25°C mediante un calefactor de 50w de potencia y un recipiente con agua purificada para generar un ambiente lo suficientemente húmedo para el crecimiento del micelio.

### **3.2. Elaboración de prototipos de panel y muestras (Etapa II)**

Esta etapa consistió en la colonización del sustrato esterilizado (rastrajo de trigo) con el inóculo de micelio del hongo *Lentinus lepideus*. Se dispuso el sustrato dentro de las matrices siguiendo tres tramas geométricas y dos variaciones de gramaje del sustrato de acuerdo con la hipótesis planteada hasta alcanzar los 4,1 cm de espesor, posteriormente se incubaron y dejaron colonizar hasta que el micelio creció homogéneo en su superficie. Finalmente, los bloques fueron cocidos para convertirlos en un material inerte.

Se utilizaron 300 gr de rastrojo de trigo (50 gr para cada muestra) y se pasteurizaron durante 1 hora a 70° con suficiente agua para cubrirlo por completo. Luego se retiró el exceso de agua colando el sustrato con instrumentos y guantes de látex esterilizados con etanol al 70%. Se extrajo una pequeña muestra del sustrato y se depositó en un frasco esterilizado con un poco de agua purificada, se agitó levemente el contenido y se le agregó un papel medidor de ph. El valor que se debe obtener para el crecimiento óptimo del micelio debe ser de 7 a 8 dentro de la escala de ph, y el sustrato rondó en entre 7 y 7,5.

Una vez chequeado el ph, se mezcló el inóculo con el sustrato siguiendo una proporción del 10% de peso del inóculo respecto al del sustrato (1 de inóculo por 10 de sustrato) y se agregó borra de café previamente pasteurizada en la misma proporción del 10% (la borra de café aporta nitrógeno al micelio, lo que sirve para acelerar su crecimiento) y se mezcló

constantemente durante 10 minutos con las manos usando guantes de látex esterilizados con etanol. Terminado este proceso se vertió la mezcla en las matrices plásticas, de medidas 20 x 12 x 5 cm, para producir los seis prototipos de panel.

Como se observa en la Figura 4, esto consistió en dos grupos de tres prototipos, el primer grupo “a” con un gramaje mayor (varillas de 8 a 10 cm aprox.) y el segundo grupo “b” con gramaje menor (varillas de trigo de 2 a 4 cm aprox.). A su vez, cada grupo se compone de tres tipos de variaciones en la disposición geométrica del sustrato, las cuales consisten en: 1) disposición sin orden, donde el sustrato solo se vertió en la matriz hasta lograr 4,1 cm de altura, 2) disposición paralela, donde el sustrato se vertió siguiendo la dirección del eje más largo de la matriz hasta alcanzar los 4,1 cm de altura y 3) disposición perpendicular, donde el sustrato se vertió primero en una dirección formando una capa de 1/4 del alto total del biocompuesto y luego una segunda capa en 90° respecto a la anterior, repitiendo en proceso hasta alcanzar los 4,1 cm de altura. El valor 4,1 cm corresponde al espesor interior de un tabique de entramado ligero de madera con palos de 2” x 2”.

**(a) Gramaje mayor.**



**(a) Gramaje menor.**



**Figura 4:** Seis variaciones en la composición del sustrato en las matrices para la producción de las muestras de biocompuesto. Grupo: (a) gramaje mayor, (b) gramaje menor. Tipo: (1) Sin Orden, (2) Paralelo, (3) Perpendicular. Elaboración propia.

Posterior a su colocación en las matrices, se dejó crecer el micelio durante 14 días en la incubadora, revisando día por medio para descartar el crecimiento de otros organismos contaminantes. Una vez terminado el proceso de crecimiento, con guantes y sobre una superficie esterilizada se desmoldó el biocompuesto sobre una lámina de film de aluminio esterilizada. Con el film de aluminio se construyó una estructura tipo cubo, cubriendo el biocompuesto sin tocar sus caras (a excepción de la cara colonizada), para que de esta manera terminaran de colonizarse las demás caras de los prototipos, obteniendo así un acabado uniforme en la superficie. Se realizaron perforaciones en la superficie de esta estructura de aluminio para permitir la ventilación del biocompuesto. Se dejó incubar durante otros 5 días y se retiró para su cocción, la cual consistió en cocer los prototipos en un horno durante 20 minutos a 170°C y otros 40 minutos a 100°C y de esta manera convertirlo en un material inerte. De cada prototipo se extrajo dos discos, uno de 2,9 cm y uno de 9,9 cm de diámetro utilizando una sierra de banco con hoja fina para no dañar la composición y cohesión de la estructura interna del biocompuesto y cumplir con el formato para ser sometidos a las pruebas acústicas en el tubo de Kundt.

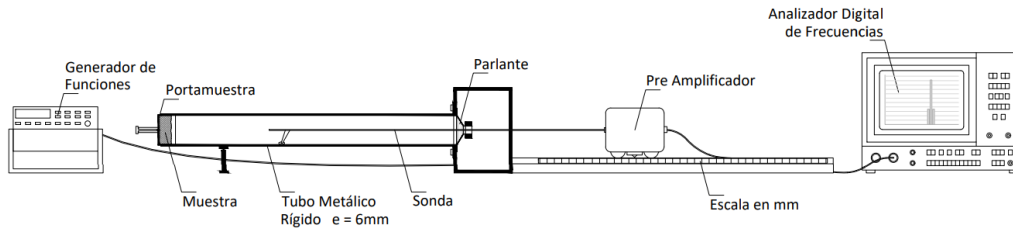
### **3.3. Análisis del Biocompuesto (Etapa III)**

#### **Análisis microestructural**

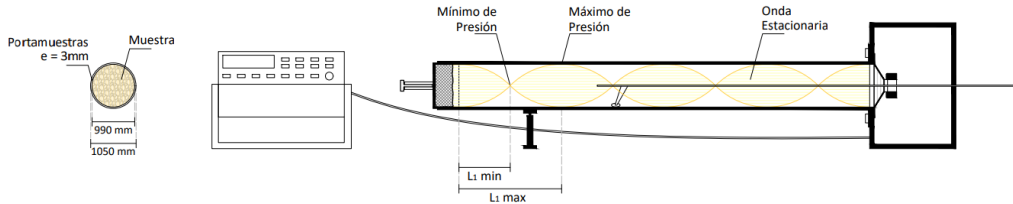
El análisis microestructural consistió en realizar un corte transversal a cada prototipo para obtener una muestra con el objetivo de poder observar la estructura interna del biocompuesto y comparar entre las distintas variaciones compositivas antes realizadas por medio de fotografía y posteriormente un análisis en blanco y negro con alto contraste para diferenciar el material del vacío. Así se logró poner en evidencia las diferencias de densidad y porosidad de los distintos biocompuestos elaborados.

#### **Análisis acústico**

Las pruebas acústicas consistieron en someter las muestras resultantes de biocompuesto a un Tubo de Kundt, disponible en el Departamento de Sonido de la Universidad de Chile, el cual se puede observar con todos sus componentes en la Figura 5. En palabras resumidas, se introduce al tubo una tono puro, produciendo así ondas estacionarias, generadas por la interferencia de la onda incidente y la onda reflejada por el material, lo que permite buscar por medio de un instrumento, que consiste en un carro preamplificador y una sonda metálica, los máximos y mínimos de presión de estas ondas estacionarias, como se aprecia en la Figura 6. Así, con el valor L (distancia en mm desde el tope de la muestra) del mínimo y el máximo, se establece una relación con la absorción acústica por medio de la ecuación representada en la Figura 7.



**Figura 5.** Composición del Tubo de Kundt. Elaboración propia.



**Figura 6.** Representación de la búsqueda de los mínimos y máximos de presión de una onda estacionaria dentro del Tubo de Kundt por medio del instrumento (carro preamplificador y sonda metálica). Elaboración propia.

$$\alpha = 1 - \left[ 10^{(\Delta L/20)} - 1 / 10^{(\Delta L/20)} + 1 \right]^2$$

**Figura 7.** Obtención del valor  $\alpha$  de absorción acústica utilizando la diferencia  $\Delta L$  del mínimo y máximo de presión de la onda estacionaria dentro del Tubo de Kundt. Transcripción de Profesora Carla Badani de original: (Möser, Barros. 2009)

## 4. Resultados

### 4.1. Crecimiento del micelio

#### Inóculo (*spawn*)

El hongo, en un lapso de 10 días, logró colonizar por completo el arroz de manera homogénea y abundante, formando un biocompuesto compacto y resistente, lo que significa que el micelio se desarrolló de manera ideal, como se puede ver en la Figura 8.



**Figura 8.** Crecimiento del inóculo de *Lentinus lepideus* en sustrato de transición (arroz integral). Elaboración propia.

### Prototipos de Panel

El crecimiento del micelio en el sustrato fue favorable principalmente para el grupo b. El micelio mantuvo su crecimiento en el grupo a con la misma velocidad que el grupo b durante los primeros días, pero posterior al quinto día este se vio ralentizado, a pesar de tener los mismos cuidados que el grupo b, que continuaba creciendo sin problemas. Un fenómeno que se observó fue la capacidad de mantener la humedad del grupo b sobre el grupo a.

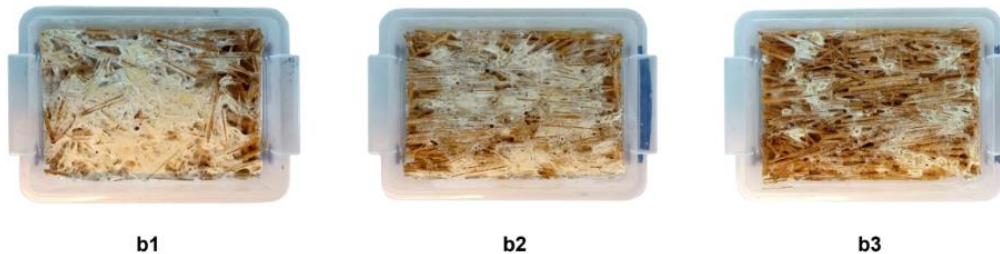
Respecto a las distintas disposiciones geométricas de los prototipos, el crecimiento resultó favorable principalmente para la disposición Tipo 1, seguido por la disposición Tipo 2 y finalmente la disposición Tipo 3. En la superficie del prototipo b1, como es posible observar en la Figura 9, se aprecia un mayor desarrollo del micelio respecto de los otros prototipos, notándose que se forma un acabado más homogéneo y abundante en micelio. El bajo crecimiento del micelio provocó que posterior a la cocción de los prototipos, la capacidad de cohesión del grupo a fuera muy débil, inferior a la del grupo b, cuyos prototipos sí resultaron capaces de mantener su integridad y así ser manipulados sin ningún impedimento, mientras que los prototipos del grupo a no permitían un libre manejo debido a que se desmoronaban o perdían sustrato cada vez que se manipulaban.

Otro resultado de la cocción de los prototipos fue la disminución de su espesor una vez terminado el proceso. El espesor original para el biocompuesto era de 4,1 cm (que fue pensando en el espesor interior de un tabique de entramado ligero de madera con palos de 2" x 2"), y posterior a la cocción de los prototipos este se vio reducido a aproximadamente 3 cm, debido a la pérdida de agua en el proceso.

#### (a) Gramaje mayor.



#### (b) Gramaje menor.



**Figura 9.** Comparativa de crecimiento entre los distintos paneles de biocompuesto. Elaboración propia.

#### 4.2. Elaboración de las muestras

Como consecuencia de la cohesión de los prototipos, la maniobrabilidad de estos se vio afectada en gran medida, perjudicando a los prototipos en los que el micelio no logró colonizar de la mejor manera. Esto provocó que los prototipos a1, a2 y a3 fueran más complicados de manipular al momento de ser cortados, siguiendo el siguiente orden respecto a dicha dificultad: a3, a2, a1. Como se puede apreciar en la Figura 10, un corte transversal en el prototipo a3 resultó en la desintegración de este, separándose sus capas y revelando la ausencia de micelio en su interior, por lo que resultó imposible obtener las muestra para su posterior análisis.



**Figura 10.** Resultado del corte del prototipo a3. Elaboración propia.

Los otros prototipos del grupo *a*, a pesar de presentar dificultades de maniobrabilidad, si permitieron, con bastante precaución y delicadeza, extraer las dos muestras para su posterior análisis, pero no así realizar el corte transversal de estas, ya que la pieza resultante se desintegró. Respecto al grupo *b*, los prototipos no presentaron ninguna clase de inconveniente al momento ser manipularlos y cortados. La buena maniobrabilidad de sus prototipos lograda por el micelio puso en evidencia la gran capacidad de cohesión que otorga este al sustrato.

Como se observa en la Figura 11, las muestras obtenidas del grupo *a* requirieron ser colocadas en contenedores de cartón couché para evitar su desintegración al momento de ser trasladadas y manipuladas, con el fin de lograr su posterior análisis acústico. Las muestras del grupo *b* de diámetro 2,9 cm fueron envueltas en papel para evitar de igual manera cualquier inconveniente durante su traslado.



(a)  $\varnothing = 9,9 \text{ cm}$



a1



a2



b1



b2



b3

(b)  $\varnothing = 2,9 \text{ cm}$



a1

a2

a3



b1



b2



b3

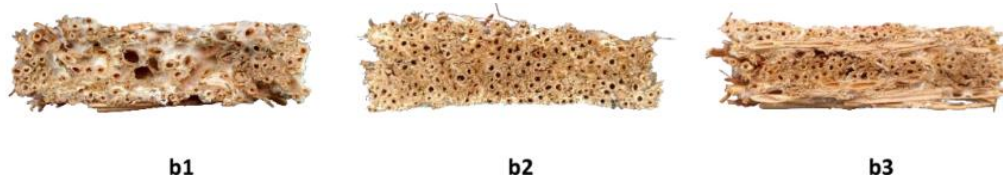
**Figura 11.** Resultado del corte de los prototipos para extraer las muestras. (a) Muestras de 9,9 cm de diámetro, (b) Muestras de 2,9 cm de diámetro. Elaboración propia.

### 4.3. Análisis de las muestras

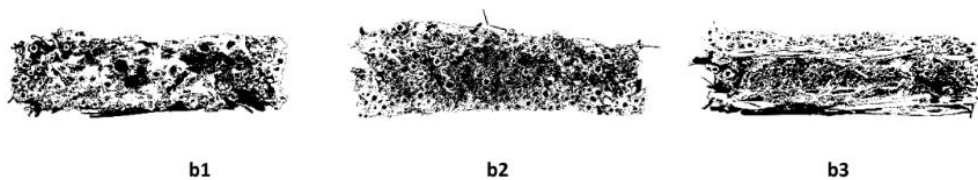
#### Análisis microestructural

Como es posible ver en la Figura 12, la estructura interna de cada variable de disposición geométrica resulta única en comparación con las demás. La Figura 13 permite apreciar las diferencias entre el material y el vacío de manera más evidente. Se logra apreciar en el corte de b1 como la formación de cavidades internas se distribuye de manera heterogénea y con distintos tamaños y formas, producto del azar al momento de elaborar el prototipo. En el corte de b2 se ve cómo la distribución de la materia y el vacío se produce de forma homogénea, aquí no predominan cavidades, sino que son las mismas varillas huecas de trigo las que otorgan el vacío, formando así un biocompuesto más compacto. Respecto al corte de b3, al tener capas paralelas, resulta similar a b2, sin embargo, las capas perpendiculares al corte se hacen evidentes y en entre ese cambio de capa se logra ver la formación de algunas cavidades.

Como se mencionó antes, y en consecuencia del crecimiento de más o menos micelio, las muestras con mejor comportamiento estructural al momento de ser manipuladas fueron las de Tipo 1, seguidas por el Tipo 2 y finalmente el Tipo 3. Las muestras del grupo *a*, como se ve en la Figura 14 y en consecuencia de lo antes mencionado, se volvían cada vez más frágiles y terminaban por desmoronarse con el paso del tiempo y el manejo de estas.



**Figura 12.** Corte transversal de los prototipos. Elaboración propia.



**Figura 13.** Imagen en blanco y negro de alto contraste del corte transversal de los prototipos.



**Figura 14.** Resultado de la manipulación de las muestras del grupo *a*. Elaboración propia.

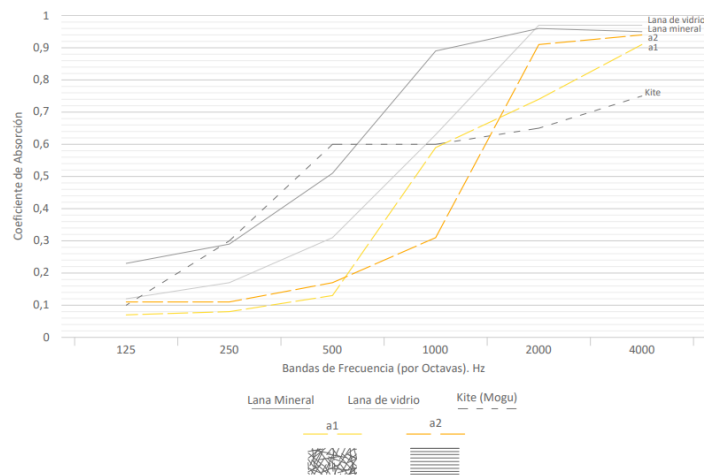
### Análisis de comportamiento acústico

Se tomó como materiales de referencia los dos aislantes tradicionales típicos en el mercado, que corresponden a la lana de vidrio ( $e = 50\text{mm}$ ), la lana mineral ( $e = 40\text{mm}$ ) y un el panel Kite de la empresa Mogu, y sus valores de absorción acústica. Las Figura 15 y la Figura 16 muestran la distribución de los valores  $\alpha$  de absorción acústica de los aislantes típicos y el panel Kite (grises) en conjunto con las muestras a1 y a2 (en amarillos en el caso de la Figura 14) y las muestras b1, b2 y b3 (en violetas en el caso de la Figura 15). Las muestras se analizaron en las frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz y posteriormente se calcularon los valores NRC (promedio de los valores en las frecuencias (250, 500, 1000 y 2000) Hz), representados en la Tabla 3.

Respecto al grupo a, en comparación a los aislantes tradicionales muestran una curva similar, pero por debajo de sus valores, con un valor NRC de 0,38 para ambas muestras. Se observa como la respuesta absorbente de este grupo es baja en las frecuencias de 125, 250 y 500 Hz, mientras que, en las frecuencias de 1000, 2000 y 4000 Hz la respuesta se acerca bastante a la lana de vidrio.

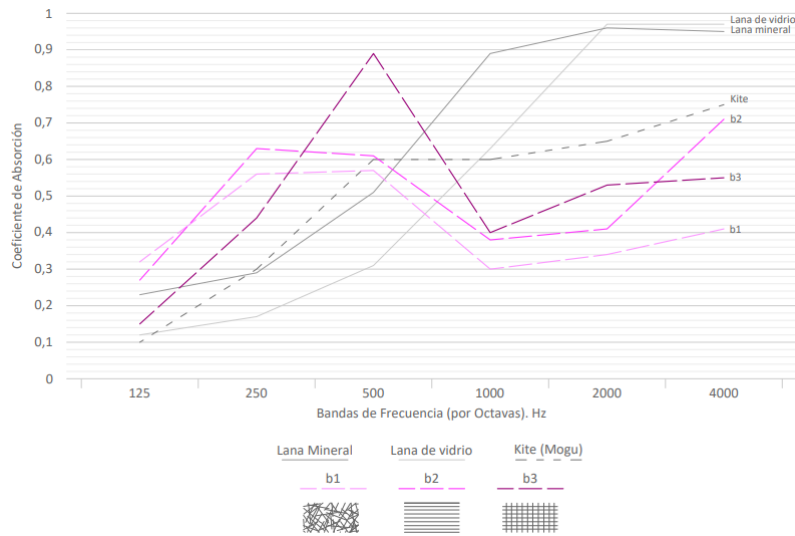
El comportamiento del grupo b es distinto al del grupo a y al de los aislantes tradicionales. La respuesta absorbente en las frecuencias de 125, 250 y 500 Hz supera a todas las muestras y aislantes, mientras que su comportamiento en frecuencias de 1000, 2000 y 4000 Hz está por debajo de todas las demás, mostrando bastante semejanza con la respuesta absorbente del panel Kite. Los valores NRC obtenidos de las pruebas a cada muestra corresponden a:  $b1 = 0,42$ ,  $b2 = 0,51$  y  $b3 = 0,57$ . Las muestras b1 y b2 se acercan al valor NCR de la lana de vidrio (0,52) y al panel Kite (0,53), mientras que la muestra b3 supera dichos valores y corresponde a la muestra con mejor comportamiento absorbente de todas las elaboradas en esta investigación.

#### Grupo a. Gramaje mayor.



**Figura 15.** Comparativa entre los resultados de absorción acústica de las muestras del grupo a, absorbentes tradicionales y panel Kite (Mogu).

**Grupo b. Gramaje menor.**



**Figura 16.** Comparativa entre los resultados de absorción acústica de las muestras del grupo b, absorbentes tradicionales y panel Kite (Mogu).

**Tabla 3.** Valores de las propiedades acústicas de las muestras y los absorbentes tradicionales

	Lana Mineral	Lana de Vidrio	Kite	a1	a2	a3	b1	b2	b3
NRC	0,66	0,52	0,53	0,38	0,38	x	0,42	0,51	0,57

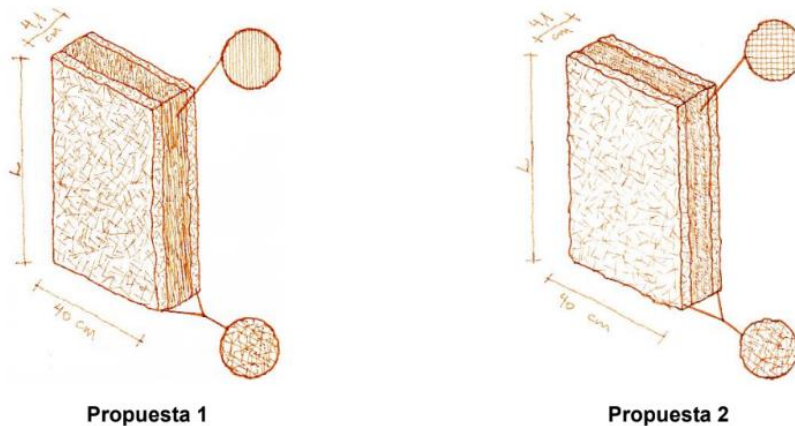
\*NRC: Promedio (250, 500, 1k, 2k) Hz.

**4.4. Propuesta de diseño**

Analizando los resultados tanto de crecimiento como de los análisis, se elaboró una propuesta de diseño para un nuevo panel de absorción acústica. Tomando en cuenta el comportamiento del grupo a, estructuralmente más débil, de lento crecimiento, con baja respuesta en frecuencias bajas pero buena respuesta en frecuencias altas, y el comportamiento del grupo b, estructuralmente más resistente, de crecimiento rápido, con buena respuesta en frecuencias bajas pero baja respuesta en frecuencias altas; se propone un panel compuesto utilizando dos combinaciones de prototipos de panel.

Como se observa en la Figura 17, la propuesta 1 consiste en un panel central del prototipo a2 y dos paneles, frontal y posterior, del prototipo b1. De a2 se consideró su comportamiento ante frecuencias altas, mientras que de b1 se consideró su gran capacidad estructural, su rápido crecimiento de micelio y su comportamiento ante frecuencias bajas, para que de esta forma el compuesto con mejor respuesta estructural esté expuesto a la manipulación. Además, se estima que por su buen desarrollo de micelio podría estimular el crecimiento en el prototipo a2.

La propuesta 2 es más experimental y consiste en un panel central del prototipo a3 (del cual solo se pueden hipotetizar sus resultados) o en su defecto del prototipo b3, que obtuvo el valor NRC más alto, y nuevamente dos paneles, frontal y posterior, del prototipo b1 dado su buen comportamiento estructural.



**Figura 17.** Propuesta de diseño en base a los resultados obtenidos de los análisis a los biocompuestos.

## 5. Conclusión

### 5.1. del crecimiento

El crecimiento del micelio tiene mejores resultados si es cultivado en un sustrato con gramaje menor que no supere los 4 cm de largo y que a su vez sea poco denso. Como consideración a investigaciones futuras, el cultivo en un sustrato de mayor gramaje y más densos posiblemente requiera de más tiempo de incubación para que el micelio logre colonizarlo del todo.

La pérdida del contenido de agua al momento de ser cocido reduce el volumen del biocompuesto en aproximadamente 2 cm. Una técnica que podría ser probada en investigaciones futuras es la deshidratación del biocompuesto por medio de una máquina deshidratadora, aunque existe la posibilidad de que el material no resulte inerte con este proceso, ya que la cocción permite matar al organismo de forma permanente.

### 5.2. del análisis microestructural

Como se pudo observar en las muestras de Tipo 1, el desarrollo del micelio se desarrolla de mejor manera en sustratos menos densos y con mayor cantidad de aire, resultando en un biocompuesto mucho más íntegro y firme. Las muestras de tipo 2 y 3 necesitan de más desarrollo del micelio para lograr su cohesión, dado que resultó más fácil romper la unión del micelio en las varillas ordenadas en línea, ya sea en la disposición paralela o perpendicular.

Respecto al grupo *a* se puede concluir, gracias a la observación del crecimiento del micelio, que la utilización de un gramaje mayor no resultó favorable para la colonización del sustrato dentro del periodo de tiempo estimado. Por esta razón, se estima que un gramaje menor a 4 cm, en el caso del trigo, resultaría más favorable para el correcto desarrollo del micelio en periodos de tiempo más cortos para investigaciones futuras.

### **5.3. del análisis acústico**

Se concluyó del análisis acústico que los biocompuestos con gramaje mayor poseen una menor respuesta absorbente en las frecuencias bajas, pero mayor respuesta en las frecuencias altas. Mientras que los biocompuestos con gramaje mayor, poseen un comportamiento inverso al grupo antes mencionado. Por otro lado, el desempeño de los distintos tipos de disposición geométrica resulta menos favorable para los biocompuestos con sustrato sin orden, seguido por la disposición paralela del sustrato y la disposición perpendicular, que obtuvo el mejor promedio NRC, superando incluso a la lana de vidrio de 50mm de espesor. Se estima que, a pesar de no contar con los valores de la muestra a3, esta disposición podría resultar en mejores resultados dado que el patrón de respuesta absorbente respecto a los tipos era similar: a1 y b1, respuesta más baja de su grupo, a2 y b2, mejor respuesta que a1 y b1 respectivamente; y b3, mejor respuesta de todas las muestras. Se propone para investigaciones futuras un mayor tiempo de cultivo para prototipos con gramaje largo (grupo *a*), a modo de investigación por su buena respuesta absorbente en las frecuencias altas.

### **5.4. Conclusión general**

Finalmente, se concluye que el aporte de la investigación a la literatura consiste la demostración de que el coeficiente de absorción acústica de un biocompuesto en base a micelio y desechos de origen orgánico es posible de calibrar por medio de la modificación del tamaño, gramaje y disposición geométrica del sustrato, permitiendo de esta manera manejar a criterio las cualidades estructurales tanto externas como internas, y la respuesta absorbente, ya sea en frecuencias bajas o altas, para un nuevo panel de absorción acústica elaborado dentro del contexto nacional.

### **Agradecimientos**

A Camila Albornoz Lobos, por proporcionar el micelio de *Lentinus lepideus*. A Carla Badani, por aportar con sus conocimientos en acústica y el manejo del Tubo de Kundt. A Carolina Espinoza, por aportar con sus conocimientos en acústica. A Katherine Donoso y Salomé Marcel por aportar a esta investigación con sus propias investigaciones respecto al micelio.

## Referencias

- Design, E. (2022). Myco composite. <https://ecovative.com/pages/mycocomposite>
- EEA. (2020). Environmental noise in Europe, 2020. Copenhagen. EU publications.
- Elsacker, E.; Vandeloock, S.; Brancart, J.; Peeters, E.; De Laet, L. (2019) Mechanical, physical and chemical characterisation of myceliumbased composites with different types of lignocellulosic substrates.
- Girometta, C., Picco, A., Baiguera, R., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., Savino, E. (2019). Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review. Sustainability. 11. 10.3390/su11010281.
- Iacacoustics. (2022). Noise-Foil Absortion Tables Spreadsheet. <https://www.iacacoustics.com/noise-foil-absorption-panels?file=files/content/literature/noise-foil/noise-foil-spreadsheet.pdf&cid=858>
- INE. (2018). Porcentaje de personas potencialmente expuestas a niveles de ruido diurno inaceptables. <https://www.ine.cl/herramientas/portal-de-mapas/siedu>
- INE. (2018). Porcentaje de personas potencialmente expuestas a niveles de ruido nocturno inaceptables. <https://www.ine.cl/herramientas/portal-de-mapas/siedu>
- Jimenez, J. (1990). Lana de vidrio como material acústico: modelo predictivo. San Antonio de Padua. Argentina.
- Lelivelt, R.J.J. (2015). The Mechanical Possibilities of Mycelium Materials. Master's Thesis. Eindhoven University of Technology, Eindhoven. The Netherlands. [https://www.researchgate.net/publication/330215408\\_Physico-Mechanical\\_and\\_Thermodynamic\\_Properties\\_of\\_Mycelium-Based\\_Biocomposites\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/330215408_Physico-Mechanical_and_Thermodynamic_Properties_of_Mycelium-Based_Biocomposites_A_Review)
- Lyes D, Samia B, Hamza A. (2015). Mechanical parameters effects on acoustics absorption at polymer foam.
- MMA. (2016). Ruido. <https://ruido.mma.gob.cl/temas/>
- MOGU. (2022). Acoustic. <https://mogu.bio/acoustic-collection/download-mogu-acoustic/>
- Möser, Barros. (2009). Ingeniería Acústica: Teoría y aplicación.
- OMS. (2017). Noise. <https://www.who.int/europe/news-room/fact-sheets/item/noise>
- Rodero, C., Peinado, F. (2007). Absorción acústica en las lanas minerales. Pº de la Castellana, Nº 77. 28046, Madrid.

UC. (2021, agosto). Estadísticas de Edificación año 2002-2019.

<https://www.disenamadera.cl/images/documentos/ESTADISTICAS-DE-LA-EDIFICACION-2002-2019.pdf>

Villalobos, R., Sommer, P. (2020). O.G.U.C. ilustrada i del urbanismo. Catálogo arquitectura.



## **Cowork y acústica: desafíos acústico-arquitectónicos en un espacio de cowork.**

**Estudiante:** Iann B. Espinoza Gárate

**Profesor guía:** Hernán A. Elgueta Strange

### **Resumen**

El cowork en Chile ha ingresado con fuerza en este último tiempo y tras la pandemia, se ha fortalecido su incorporación en el mercado mundial y Chile no ha sido la excepción. Existen diferentes formas de trabajar en un cowork, debiendo abordar las diferentes necesidades y formas de trabajo colaborativo; derivado de cada caso y uso nace el desafío para mantener un control acústico y un confort sonoro en cada espacio. El objetivo es conocer las diferentes soluciones acústicas para cada espacio dentro de un cowork. Existe la oportunidad de estudiar materialidades y terminaciones para las diferentes actividades desarrolladas, donde la metodología se desarrollará tras el trabajo de identificar lugares de oficinas cooperativas, con levantamiento de estos casos, para luego realizar el análisis de cada situación. Dentro de los resultados esperados están las características en común y diferencias espaciales que logren determinar intervenciones de mobiliario, materialidad y soluciones acústicas según cada espacio identificado.

**Palabras clave:** Control acústico, Confort sonoro, Soluciones acústicas.

## 1. Introducción

Existe una nueva forma de trabajo colaborativo (cowork), como reemplazo de la forma tradicional de oficina, llegando a una organización colaborativa entre diferentes actores agrupados. “El cotrabajo, trabajo cooperativo, trabajo compartido, (del inglés coworking) es una forma de trabajo que permite a profesionales independientes, emprendedores, y pymes de diferentes sectores, compartir un mismo espacio de trabajo, tanto físico como virtual, para desarrollar sus proyectos profesionales de manera independiente, a la vez que fomentan proyectos conjuntos.” (Santander, 2022). Existen varias formas de producir espacios y de generar este tipo de trabajo, lo que a su vez, debería generar diferentes espacialidades arquitectónicas dentro de los recintos de oficinas colaborativas, con diferentes soluciones acústicas, independiente según cada uso.

La forma de organización de una oficina con estas características comienza con un espacio menos definido programáticamente, en contraste con una oficina tradicional, aquí es donde surgen soluciones para el control acústico y existe un lugar común de trabajo entre diferentes grupos de actores, donde todos cuentan con un lugar en común también para servicios. (Cracogna Blasco, 2019).

Estas características en común pueden distribuirse de diferentes maneras y acabados en un contexto de control sonoro. No existen estudios formales de la acústica traducida de espacios de cowork que determinen soluciones para un buen manejo de la acústica en estas áreas de trabajo, por lo tanto, se plantea que en ayuda de estudios paralelos en casos de estudio con áreas y acciones similares, donde se ocupa una metodología que determina una clasificación de actividades y soluciones de control sonoro según mobiliario, materialidad y terminaciones en dichas zonas, lo que ayudará a contestar la pregunta de investigación, ¿existen diferentes materialidades y soluciones arquitectónicas que favorezcan el control sonoro dentro de un espacio de trabajo colaborativo?, bajo la hipótesis de que existen diferentes tipologías clasificables de producción de espacios para cowork, definidas por usuario y el tipo de trabajo colaborativo que se realiza, donde de estas actividades se derivan soluciones en mobiliario, materiales, texturas y un manejo arquitectónico y tecnológico.

El objetivo principal, es identificar las diferentes actividades y áreas bajo un análisis espacial de los lugares de coworking en Santiago y compararlos con casos de estudio acústico en áreas semejantes según su uso, determinando las intervenciones necesarias; tras la nula investigación y desarrollo de estudios de control acústico en zonas de cowork, se ocuparan estas zonas homologables en base a estudios sonoros realizados en espacios diferentes, pero que comparten elementos en común, determinados por su uso, actividades y características espaciales.

El desarrollo de esta investigación ayudará en un marco tecnológico y científico tras definir las diferentes soluciones para un control ambiental y sonoro adecuado. La investigación tiene un valor agregado al encontrarse una variedad más que limitada de información e investigaciones previas del control sonoro en zonas de un trabajo colaborativo, entregando

información valiosa en el desarrollo de las soluciones adoptables para un control sonoro en las diferentes áreas estudiadas. Como valor agregado, las acciones derivadas de las soluciones acústicas nos entregan un manejo correcto del sonido para alcanzar un nivel cómodo de trabajo en las áreas de coworking.

## **2. Antecedentes**

Tras la modernización arquitectónica y la tecnologización, los espacios de trabajo en oficinas tradicionales se han visto obligados a mutar casi naturalmente a la medida de los tiempos actuales, la introducción de la metodología del coworking se ha arraigado tras los últimos años, muchas veces tras la idea de un trabajo cooperativo en grupo con una ayuda mutua, o diferentes grupos ligados por un fin común.

Existe un problema crucial tras el trabajo colaborativo, que per se, aglomera varias personas en un mismo espacio, este es el ruido, el que podría afectar un confort adecuado para una cita laboral, más aún cuando los grupos de trabajo están desarrollando diferentes labores en simultáneo. Definiremos ruido como el efecto que se produce tras una perturbación en un punto de un medio continuo, como por ejemplo el aire, dicha perturbación logra percibirse en los demás puntos del medio con un retraso y amplitud que depende de las características del medio y las distancias; dicho fenómeno se conoce como sonido. El sonido es una onda mecánica longitudinal y cuando alcanza niveles muy altos se dice que es ruido (Parrondo, J., 2006).

Cuando existen numerosas fuentes de ruido, definiendo un exceso de este mismo en un lugar específico, hablamos de contaminación acústica, que de acuerdo a los niveles tradicionales en un control sonoro y de calidad ambiental dentro de un recinto no debería superar los 65 dB en horario diurno promedio, sino esto afectará de forma negativa el confort y las labores de desarrolladas en un ámbito de cowork, esta medición es independiente del área y uso dentro de los espacios de coworking, sino más bien es el estándar máximo con el que se debe convivir en un espacio cerrado. Esta contaminación acústica se define como un sonido no deseado, que afecta de manera negativa al bienestar y la salud de las personas. Así, cuando el ruido se produce dentro de una ciudad, este ruido degrada en la mayoría de los casos del medio ambiente urbano y con ello la calidad de vida de los habitantes de la misma (Sánchez, R., 2015, p.1). Como unidad de medida internacional, el sonido se mide en decibelios (dB), donde un dB es una escala ponderada para juzgar el volumen que corresponde al umbral de audición del oído humano. Aunque el dB se usa comúnmente cuando se hace referencia a la medición del sonido, los humanos no escuchan todas las frecuencias por igual. Por esta razón, los niveles de sonido en el extremo de baja frecuencia del espectro se reducen ya que el oído humano es menos sensible a bajas frecuencias de audio que a altas frecuencias de audio (Soft dB, 2021).

El desarrollo adecuado para labores de trabajo, estudio o conversación informal, como espacios y actividades homologables, deben verse controladas por medidas que permitan controlar el nivel de ruido (Ambientum s.a., 2022). Se establece que, siempre se debe

considerar una propagación tanto por vía aérea como por vía sólida, es decir, en forma de vibraciones del medio. Por esto se deben manejar soluciones acústicas tanto en materiales de revestimiento, terminaciones de mobiliario y soluciones acústicas en cielos y verticales para amortiguar y disuadir la reverberación dentro del recinto.

Por ejemplo, las zonas más abiertas donde se presente un mayor flujo de personas dentro de un cowork, puede asemejarse al área de comedor o terraza en un pequeño restaurante o cafetería. De aquí se pueden ocupar estudios acústicos en el control de reverberancia, soluciones arquitectónicas para el confort sonoro y soluciones de mobiliario, además de texturas, materialidades y terminaciones asociadas a la acústica del lugar. En base a la cantidad de personas, flujos y usos se puede comparar la intervención y desarrollar una propuesta de soluciones en base a un estudio paralelo enfocado en los diversos tipos de cowork en Santiago.

Un efecto común del ruido en estos espacios con interacción social es el de la Reverberación, este fenómeno se describe como la reflexión múltiple del sonido, propia de recintos generalmente interiores, produce la distribución del sonido en un recinto y una prolongación en la duración de éste hasta disiparse. Cuando el recinto tiene mucha absorción en sus paramentos, este fenómeno se minimiza perjudicando la distribución (sala sorda), y cuando tiene mucha reflexión, los sonidos se prolongan demasiado, estorbando y perjudicando su inteligibilidad, sala sobre reverberante o con superposición confusa del sonido (Goldsack, L. 2018,p.6). A diferencia de esta reverberación que se produce en espacios cerrados, como por ejemplo una oficina tradicional, existe otro fenómeno acústico que ocurre en zonas abiertas, generalmente extensas conocido como eco, este fenómeno es de una única reflexión que produce sensación de duplicidad del sonido por focalización del sonido reflejado. Se produce bajo condiciones especiales de envolvente y distancia. El eco ocurre generalmente en paramentos lisos y curvos por focalización del sonido reflejado cuando el intervalo de tiempo que se distancia la percepción del sonido directo y el reflejado es igual o mayor como promedio a 1/15 o 0,066 segundos (Goldsack, L. 2018,p.9).

Las técnicas de un control sonoro, con el fin de alcanzar un confort acústico entendiéndose por confort como un parámetro de bienestar en el que se puedan desarrollar las actividades previstas para el uso destinado, son diversas y adecuadas según la solución que se busque determinar como por ejemplo si deseamos separar ambientes y actividades donde entendemos existe una más radiosa que otra, o en su defecto son actividades tan diferentes que requieren una hermeticidad una de la otra, se pueden generar soluciones de **aislación acústica**. Esta solución surge tras aumentar la densidad por unidad de superficie. La forma más simple de lograr aislación de dos espacios contiguos es usando tabiques densos, tal como la albañilería o elementos que excedan 100 kg/m<sup>2</sup>. Se asegura la máxima hermeticidad, de modo que no existan fisuras, poros o rendijas que permitan el paso del aire. Por ejemplo, una ventana fija puede aislar 10 dB más que la misma practicable. Otra forma de aislamiento es la de formar capas múltiples, dejando cámaras de aire entre estas capas. Esta técnica es efectiva sí cada capa del tabique tiene estructura independiente y portante (Goldsack, L. 2018,p.31).

Siguiendo con las soluciones acústicas, existen las soluciones interiores, con el objetivo de generar espacios interiores y soluciones que alcancen un confort acústico dentro de un recinto. Estas soluciones son variadas y aplicables a materialidad, soluciones constructivas e incluso mobiliario donde estos mismos deben verse contruidos o revestidos por materiales con alta porosidad, que permitan absorber especialmente las frecuencias altas, lo que llamamos **absorción acústica**. Existen gran variedad de textiles, fibras, espumas, cuya efectividad aumenta con el espesor y densidad. Sin embargo, deben excluirse aquellos materiales de células cerradas, tales como el poliestireno expandido o el poliuretano rígido, los que no son absorbentes acústicos hablando de revestimiento de envolventes. También se pueden utilizar materiales que forman membranas, o paredes flexibles, que permiten absorción de bajas frecuencias como solución de terminaciones. Los materiales que combinan una superficie perforada o ranurada con un relleno poroso pueden alcanzar elevada absorción en una amplia gama de frecuencias como revestimiento acústicos en paredes, pisos y cielos (Goldsack, L. 2018,p.32).

Por último, tenemos soluciones de **amortiguación acústica** que buscan frenar totalmente el paso del sonido de un lugar, medio o recinto a otro. Estas soluciones son adecuadas para el uso y control entre pisos de un edificio, para soluciones de shafts de servicios, o lugares herméticos que requieran una amortiguación del sonido tanto hacia dentro como hacia afuera de este. La acción de interrumpir la continuidad de las estructuras como son las juntas de dilatación, evitando elementos monolíticos, especialmente en los pareos evita el traspaso del sonido, también se pueden incorporar elementos flexibles en las fijaciones especialmente cañerías, ductos, descargas y otros elementos sujetos a vibraciones por donde se puede transmitir el sonido. Uso de losas flotantes donde se prevén golpes pisadas o apoyo de equipos y el montaje antivibratorio en estructuras mecánicas puede solucionar la amortiguación entre niveles (Goldsack, L. 2018,p.33).

Existen principalmente 2 tipos de ruido ambiental, el primero y el más común es del tipo aéreo, difundido a través del aire, medio físico. Algunas soluciones para este tipo de ruido se deben contemplar en la concepción de las envolventes, de los espacios o del equipamiento. Para soluciones de envolventes tenemos terminaciones en materiales porosos, cuando la energía acústica penetra al interior de poros o perforaciones propias de la naturaleza del material, la presión generada hace vibrar el aire interior, produciéndose una transformación energética a calor (energía acústica), lo que genera un control acústico dependiendo de la porosidad del material. Esta porosidad puede estar contemplada en elementos absorbentes como lana mineral, que se encuentra dentro de los tabiques aislantes, también pueden presentarse absorbentes espumosos comúnmente utilizados en revestimiento de muros interiores, cuando la onda acústica deforma una lámina impermeable al aire, conformando una cámara tras ella, las moléculas del aire confinado sufren una presión que es transmitida a la cara posterior . Si esta última posee un material poroso, recibirá esta presión bajo los mismos principios que el método anterior, pero modificada por el efecto previo de la lámina elástica, el sistema tiene efectos incluso para la frecuencia de resonancia de ella (Goldsack, L. 2018,p.34).

El segundo tipo corresponde al ruido por impacto, se produce tras las vibraciones producidas por un impacto de objetos y transmitida por estas mismas vibraciones físicas, el requerimiento fundamental para manejar este tipo de ruido es producir la discontinuidad mecánica entre la fuente productora y la estructura o materialidad susceptible de transmitirla (Incluyendo dentro de este concepto, al terreno mismo).

Se puede plantear a dos niveles: Apoyo amortiguador, con bases y suspensiones elásticas para las máquinas, instalaciones y ductos vibrantes. Alfombras y revestimientos blandos para las pisadas.

Uniones flotantes: Soluciones móviles entre elementos constructivos, pavimentos flotantes de entrepiso con huecos de aire y elementos absorbivos, soluciones elásticas a nivel de fundación y estructura, especialmente para vibraciones de origen externo no controlable, que pueden implicar cortes verticales y/o horizontales. También existen soluciones de tabiquería absorbente, con tabiques acústicos, entre otras soluciones (Goldsack, L. 2018,p.69).

Volviendo con el cowork propiamente tal, encontramos tres tipologías fácilmente reconocibles, pero antes se mencionarán las características en común entre espacios. La resolución de las áreas de coworking se disponen según el tipo de este mismo, pero con las mismas áreas de uso, salvo pequeñas variaciones. Todos los cowork cuentan con un área común con servicios (café, agua, lavaplatos, entre otros), esa área usualmente está abierta y conectada al resto de los recintos. Luego tenemos las áreas de trabajo, pueden ser abiertas y unidas a las áreas de servicios como un gran espacio colaborativo o nos encontramos con espacios cerrados donde se pueden desarrollar varios tipos de trabajos en simultaneo, en su defecto podemos encontrar cowork híbridos en este aspecto. Por último, tenemos áreas de reunión, son áreas más privadas y dotadas con soluciones acústicas que aíslen el ruido del resto de las áreas.

## 2.1. Tipos de cowork

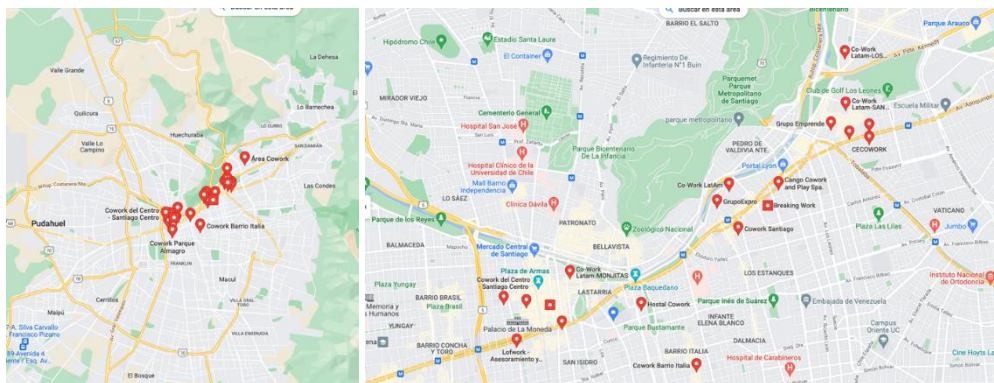


Figura 1: Coworks principales de Santiago. Fuente Google Maps.

Tras una búsqueda rápida de espacios de cowork en Google maps, se encuentran con que la mayoría de estas oficinas se ubican en el centro y sector oriente de la capital. En base a las

fotografías que entrega Google, de cada uno de los cowork, se definen parámetros comparativos que se repiten en todos los casos.

Algunos parámetros para definir las tipologías espaciales de un cowork son, la diferenciación del tipo de ruido, de donde proviene el ruido, flujo espacial, mobiliario, funciones y usos de los espacios, si cuenta con servicios, etc. Por esto, se decide crear una tabla comparativa, para desarrollar las tipologías correctamente.

**Tabla 1:** Tabla con parámetros comparativos según tipo de cowork.

<b>Cowork</b>	<b>Cuenta con Servicios</b>	<b>Áreas privadas para reuniones</b>	<b>Área común de trabajo</b>	<b>Fuente de Ruido Principal</b>
Tipo 1	Servicios de café, lavabos y otros.	No contempla.	Todo el recinto es un espacio común de trabajo.	Sonido de conversación y traslado de personas y máquinas de café.
Tipo 2	No contempla.	Todas sus áreas son privadas.	No contempla.	Dentro de las salas privadas, con trabajos segregados.
Tipo 3	Servicios de café, lavabos y otros.	Cuenta con áreas privadas y salas de reuniones.	Cuenta con áreas de trabajo colaborativo.	Conversación en las áreas colaborativas.

1. Tipo 1: Estos cowork cuentan con una conexión totalmente abierta entre las áreas de servicio y las áreas de trabajo y estar, cuentan con cafetería y zonas de alimentos ligados a grandes áreas de trabajo, se encuentran mesones y sillas que comparten diferentes grupos de trabajo, sumado a áreas de sofás y sillones destinados a un trabajo más informal y colaborativo entre grupos reducidos. Por ejemplo, esta tipología puede asimilarse a las plantas tipo Work/Café del Banco Santander.
2. Tipo 2: Estos cowork cuentan con áreas muchas veces arrendables o que se deben pedir con antelación, son áreas más bien privadas que separan los grupos de trabajos, son similares a salas de estudio y/o trabajo, en donde existen diferentes cubículos usados por grupos de trabajo diferente, enmarcado dentro de un gran mismo recinto. Esta tipología corresponde principalmente a los cowork privados de la capital. Por ejemplo Spaces Cowork en Av. El Bosque Nte. 211, Las Condes.
3. Tipo 3: Estos cowork cuentan con áreas más privadas, donde se pueden realizar reuniones en grupo, a la par de áreas abiertas conectadas con el área de servicios, generando una mixtura entre las actividades del trabajo colaborativo. Esta tipología corresponde a oficinas de empresas, donde se desarrollan diferentes trabajos pero destinados para el mismo fin, en ambientes diversos. Por ejemplo las oficinas de Grupo Expro, Almirante Pastene 244, Providencia.

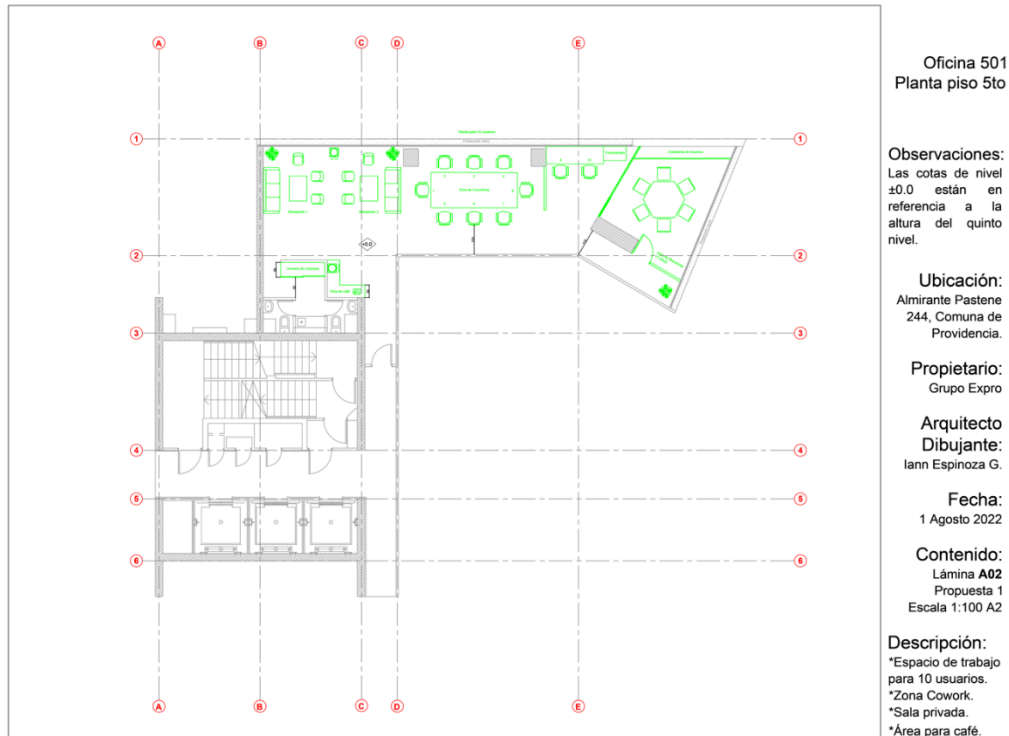


Figura2: Planta Tipo 3. Cowork Grupo Expro. Elaboración propia.

### 3. Métodos

En primer lugar, se debe entender que existen diferentes situaciones espaciales a desarrollarse en los espacios de trabajo colaborativo (cowork) presentes en nuestra Capital; se trata de identificar una tipología que ayude en la organización para el estudio de estas situaciones. Los planes de acción, soluciones y conclusión a la pregunta de investigación, son desarrolladas a través de textos sobre acústica ambiental y arquitectónica, seminarios y estudios y mejoramientos acústicos en terrazas y salones de restaurantes o cafeterías, además de áreas más privadas como bibliotecas o salones de lectura y trabajo, zonas homologables según su uso a las situaciones dentro de un espacio de trabajo colaborativo.

Tras los antecedentes de las tipologías de cowork, se escoge trabajar por efectos de tiempo y homogeneidad con la tercera tipología (Tipo 3) en un estado híbrido, contemplando una mixtura de elementos entre las tipología 1 y 2.

Para desarrollar las soluciones de acústica en los espacios de cowork, bajo el problema de que no hay mayor investigación del tema, se afronta la opción de comparar espacios y usos dentro de los cowork con otros espacios y usos de recientes diferentes, **donde se equiparan los usos**, y de esta manera se determinan los espacios a homologar ligándolos a los espacios contenidos en los cowork, dotando de las soluciones acústicas ya estudiadas.



**Tabla 2:** Clasificación de áreas homologables y fuentes de ruido.

<b>Espacios dentro del cowork</b>	<b>Características</b>	<b>Espacio homologable</b>	<b>Fuente de ruido</b>
Área de Servicios.	Zonas con shafts, quincallería y maquinas.	Cafetería.	Máquinas varias y/o cafeteras.
Área colaborativa.	Espacios abiertos con zona de mesas y/o asientos.	Comedor/ Cafetería.	Personas y servicios varios.
Salas privadas/reuniones.	Espacio cerrado, de uso particular.	Sala de clases.	Personas.
Cubículos semi cerrados.	Dentro de un mismo espacio se disponen biombos o tabiquerías.	Oficina tradicional.	Personas y artículos de oficina.

Se adicionan conceptos que permiten entender sobre los aspectos que influyen o aportan en la concepción de las situaciones que ocurren dentro los cowork y los espacios que ya se definen como homologables. Como complemento a esta primera parte, se realiza un análisis comparativo con las soluciones desarrolladas o adoptadas en estas áreas, tras utilizar la misma metodología recogida de los estudios o textos referidos a los espacios homologables se justifican los resultados obtenidos.

El estudio de mejoramiento acústico en terrazas de restaurantes en el ensanche de Barcelona refleja una falta de información acerca de la acústica en las terrazas, áreas de café y comedores, pero la investigación desarrolla un análisis cuantitativo y cualitativo de su entorno, capacidad y uso muy equiparable a la situación de un trabajo colaborativo con diferentes grupos en un mismo espacio de trabajo. El estudio consiste, entonces, en la determinación de un área que cumpla con ciertas características específicas, que proporcionaron los datos y el material adecuado para hacer comparaciones y sacar conclusiones sobre las terrazas en este sector de España. Para ello se hace la evaluación del paisaje urbano de la zona seleccionada, entendiendo sus componentes, emisores y receptores de ruido; se recorren las calles y se registran los primeros indicios.

Después de obtener las pautas iniciales, se procede al análisis profundo de las terrazas y del contexto. Por un lado, se las clasifica en tipologías y por ubicación. Por otro lado, se registró una única vez el nivel de ruido de estos espacios con sonómetros y grabadoras para compararlos con los proporcionados por estudios que hablan de estándares para mantener un confort acústico. Con la información recopilada, se escogen 5 terrazas y restaurantes a las que se les hace un estudio más profundo y detallado: se estudia, entonces, el confort acústico que perciben las personas que las ocupan (cualitativo), la intensidad sonora del espacio interior y exterior medible (cuantitativo), su conformación y soluciones arquitectónicas adoptadas.

Finalmente, con los datos obtenidos, se busca la clasificación de estos espacios, llegando a una tipología de comedores de terraza y restaurantes que mejor funcione en la actualidad y los conceptos más eficientes del resto de ellas para hacer una propuesta de mejoramiento acústico con base a productos del mercado que puedan adaptarse a espacios exteriores, así como con estrategias de densidad de mobiliario, formas, materialidad, entre otros.

*La intención es adaptar las envolventes de las terrazas de forma que contribuyan al buen funcionamiento acústico en dicho espacio y que los clientes puedan conversar tranquilamente sin verse afectados por el ruido de las calles (Yañez, M, 2018).*

La metodología con el estudio de las tipologías y soluciones se equipara tras definir estos espacios homologables entre el caso de estudio de las áreas de coworking y las áreas semejantes en uso de cafeterías, terrazas y otros. El ensanche de las terrazas y restaurantes del estudio de Seminario en Barcelona, tras no encontrarse estudios desarrollados a la acústica en los espacios de cowork, generó esta metodología validada en el estudio de campo y el buen criterio entre las áreas a homologar presenta una ventaja comparativa frente a la misma validación, pero es necesario destacar que la gran desventaja de la metodología es que no todos los casos corresponden en su totalidad al espacio homologable, tanto en uso y disposición espacial dentro de los recintos, por lo tanto los resultados esperados se adecuan a la realidad.

El desarrollo de los espacios a utilizar dentro de los coworks se extraen de un análisis base al visitar estos espacios de trabajo, donde se encontraron estos usos en común y algunos específicos por tipología. Se desarrolla un análisis cuantitativo de los decibelios en cada área dentro de la tipología escogida de cowork (tipo 3), con el fin de poder definir cuáles eran las fuentes principales de ruido en cada espacio y posteriormente los tipos de ruido con la ayuda de un Sonómetro (figura 1) ubicado en lugares estratégicos dentro de cada espacio a estudiar.



**Figura 3:** Sonómetro. Fuente Extech Sound

También, se hicieron encuestas a los usuarios de esta tipología, como análisis cualitativo, con el fin de entender la percepción de cuáles eran las fuentes de ruido predominante en los espacios interiores, se genera una encuesta de percepción (escalada del 1 al 7) donde se pregunta cuál es el nivel de ruido que perciben en cada espacio estudiado, además de un comentario personal refiriéndose al elemento específico que más ruido genera.

Luego viene el desarrollo comparativo, reflejando las soluciones necesarias tras el tipo de ruido y su fuente principal.

Finalmente, llega la validación del caso de estudio con el caso homologable, donde se comparan y determinan las soluciones que se acuñaron a cada recinto, determinado por un uso y actividad similar. La intención es entregar un correcto desarrollo del control del sonido en áreas de cowork, llegando a un confort acústico que permita tras las diferentes soluciones arquitectónicas un correcto desarrollo del trabajo colaborativo.

## **4. Resultados**

Tras la investigación en terreno, se puede mencionar que el uso del sonómetro fue fundamental para extraer los datos cuantitativos (exactos) a la hora de las mediciones, las que a su vez eran indispensables para el estudio acústico. El ejercicio con el sonómetro, fue colocarlo durante 20 minutos en diferentes lugares estratégicos ( mesón colaborativo, área de café o cafetería, zona de reuniones).

### **4.1. Trabajo práctico y comparativo:**

En primer lugar, se identifica un promedio de 36DdB en las zonas privadas o salas de reuniones (sector A), esta medición se extrajo mientras ocurría un reunión de empleados en la tipología de cowork estudiada (Grupo Expro), tras los niveles de ruido alcanzados, y el tipo de ambiente cerrado, esta área puede ser homologable a una zona de biblioteca que una curva recomendada de nivel de ruido para despachos y bibliotecas, según NC es de una escala de 30-35 (Carrión,1998), misma que convertida a dB se sugiere que sea entre 42-46 dB. En este mismo sentido para salas de despachos, bibliotecas y salas de justicia lo recomendable sería fijar el nivel entre 30-40 dB.

El estándar para una contempla que el ruido en las salas de lectura dentro de las bibliotecas debe fluctuar entre los 30 y los 50 dB (Consejo de Rectores de Universidades Chilenas Comisión Asesora de Bibliotecas y Documentación. 2001). Esto reafirmado por el Decreto 38 del Ministerio del Medio Ambiente del año 2011 y su posterior modificación en el año 2014 (norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas) entrega los niveles máximos permitidos de emisión sonora generados por fuentes fijas para la comunidad (BCN, 2014).

Comparando con el estudio de terrazas en Barcelona, para las zonas privadas o V.I.P. se crean soluciones simples con tabiquerías (DVH) y/o elementos colgantes que ayuden a la

reverberación de las ondas de sonido, una vez conocido el tipo de ruido aéreo que proviene de la voz de las personas, que en este caso fue un grupo de 3 trabajadores.

En segundo lugar, se identifica un promedio de 60dB con algunos picos de hasta 78dB en las zonas abiertas o colaborativas dentro del cowork (Sector B). Para contextualizar, esta área contemplan mesones con hasta 10 personas escribiendo en libretas y computadoras, intercambiando ideas, conocimiento y datos de trabajo simultáneamente. Las mediciones se hicieron en el centro de esta área a una altura de 1.00m desde el suelo durante 20 minutos. Esta zona puede homologarse a los salones comedores en restaurantes o terrazas interiores (que no den a un sector público exterior).

Una conversación normal en un recinto cerrado tiene un promedio de 70 a 80dB como pico de sonido (BCN,2014), equiparable a esta zona de trabajo colaborativo dentro del cowork. En el estudio de terrazas en Barcelona, se presentan soluciones de cielo y mobiliario para generar un confort acústico en zonas de comedor, como deck de madera o soluciones colgantes que limiten la propagación del ruido (Yañez, M, 2018, p.78).

En tercer Lugar, se identifica un promedio de 41dB en zonas de preparación café (Sector C), en esta zona no solo se preparaba café, alimentos o similares, sino que también era un punto de distracción para los mismo trabajadores, donde por unos minutos conversaban entre sí, temas diferentes a los laborales. Esta zona contempla ruidos aéreos y por impacto, una zona con ruido de máquinas de café, microondas, algunos electrodomésticos, además de la voz de las personas. Comparando el tipo de uso y dB, el Sector C, zona de cafetería, es comparable también con zonas de terrazas o comedores en restaurantes y cafeterías, son necesarias soluciones de terminación y materialidad rugosa, además de sistemas de absorción, soluciones colgantes o elementos que limiten la propagación y reverberación.

## **4.2. Entrevista**

Se desarrolla una entrevista estructurada, a 10 trabajadores con solo 3 preguntas en virtud a la acústica en el cowork.

**¿Qué zona (A, B O C) dentro del cowork considera que es la que presenta más ruido habitualmente?**

Respuestas: Se extrae que la Zona , área colaborativa, presenta más ruido habitualmente.

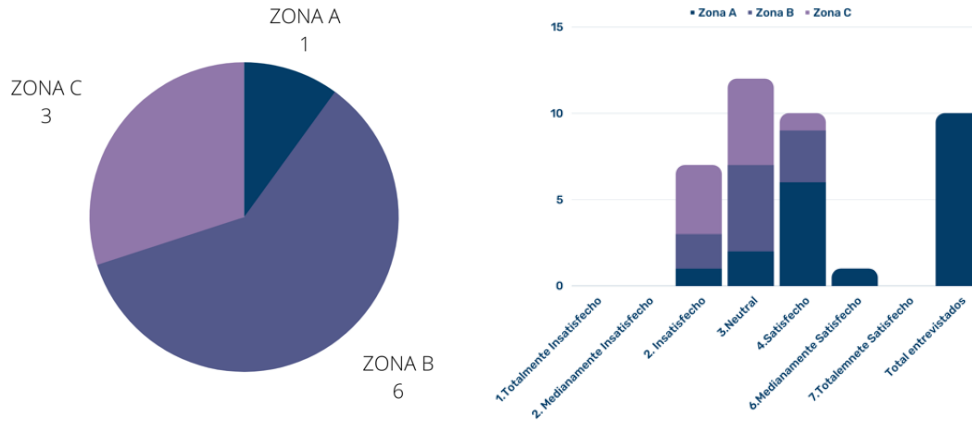
**Dentro de las Zonas A, B y C, determine el grado de confort acústico de dichas zonas. En una escala del 1 al 7, donde el 1 es un confort acústico prácticamente nulo y 7 es un confort totalmente adecuado y agradable (en términos de ruido y sonido).**

Respuesta: La Zona A es la más confortable acústicamente según los trabajadores.

**En un carácter de confort acústico, ¿se encuentra satisfecho con las soluciones acústicas, terminaciones o acabados y tipo de mobiliario dentro del cowork de Grupo Expro?. En una**

escala del 1 al 7, donde el 1 es totalmente insatisfecho y 7 es totalmente satisfecho (en términos de ruido y sonido).

Respuesta: La Zona A presenta mejores soluciones acústicas que las otras dos.



Izq. Figura 4: Zonas con mayor ruido (percepción usuarios).

Der. Figura 5: Percepción (1 al 7) acumulada, según grado de confort acústico.

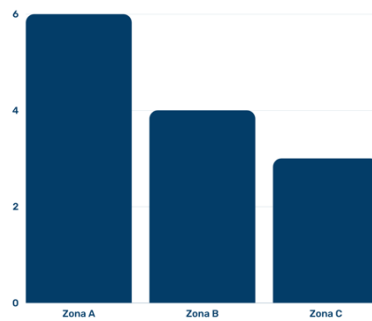


Figura 6: Percepción de zonas con mejor soluciones acústicas.

### 4.3. Tipologías.

Se identifican las tipologías de cowork en base al tipo de espacialidad arquitectónica, su uso y el tipo de ruido como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3: Se definen las tipologías de los coworks.

Cowork	Tipología	Fuente de Ruido Principal	Tipo de Ruido	Solución al Ruido
Tipo 1	Abiertos	Sonido de conversación y traslado de personas y máquinas de café.	Aéreo y por impacto.	Soluciones de terminación espumosas, porosas, etc.

Tipo 2	Privados	Dentro de las salas privadas, con trabajos segregados.	Aéreo.	Paneles o tabiques aislantes.
Tipo 3	Híbridos	Conversación en las áreas colaborativas.	Aéreo.	Separación de ambientes, según el uso, soluciones en terminaciones.

## 5. Conclusiones

Como síntesis final, la investigación acerca de los espacios de cowork en Santiago ha permitido determinar 3 tipologías extraídas de los elementos en común o diferencias de los espacios de cowork en la capital. Además, se ha podido justificar la homologación de espacios similares (según su uso), con investigaciones como el Estudio y mejoramiento acústico en terrazas de restaurantes en el ensanche de Barcelona, con el fin de encontrar soluciones acústicas y arquitectónicas para manejar un confort acústico en estos recintos de trabajo colaborativo. Gracias al trabajo de homologación se ha determinado que existen diferentes materialidades y soluciones arquitectónicas que favorezcan el control sonoro dentro de un espacio de trabajo colaborativo.

A partir de las limitaciones que se encontraron en el proceso de investigación, surge la principal contribución de la investigación acerca de los espacios de cowork en Santiago es justamente haber encontrado una metodología que validase soluciones ya definidas a espacios homologables, precisando en el valor y aporte para futuras investigaciones en la misma línea.

Cabe decir que no está todo resuelto, puesto que faltan investigaciones detalladas sobre materialidad, soluciones en terminaciones específicas, mobiliario, espacialidad arquitectónica, entre otras, con el fin de llegar a soluciones acústicas detalladas para cada espacio dentro de un cowork, sin tener que homologar a situaciones similares.

En línea general, esta investigación es el punto de inicio para futuros estudios más a detalle, reforzando la validación de los métodos y soluciones acústicas en áreas de coworking.

## Referencias

- Ambientum. (2022, 1 abril). Ambientum - Medio Ambiente, Noticias, Formación, Legislación, Empleo. Ambientum Portal Líder Medioambiente. <https://www.ambientum.com>
- Anónimo. (2003). ESTÁNDARES PARA BIBLIOTECAS UNIVERSITARIAS CHILENAS. 2a Edición de Rectores de Universidades Chilenas Comisión Asesora de Bibliotecas y Documentación. [http://cabid.cl/wpcontent/uploads/2019/08/ESTANDARES\\_PARA\\_BIBLIOTECAS\\_UNIVERSITARIAS\\_CHILENAS-1.pdf](http://cabid.cl/wpcontent/uploads/2019/08/ESTANDARES_PARA_BIBLIOTECAS_UNIVERSITARIAS_CHILENAS-1.pdf)

- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s. f.). Ruidos molestos. Ley Fácil - Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - BCN. <https://www.bcn.cl/leyfacil/recurso/ruidos-molestos>
- Carrión A. (1998) Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Barcelona España, Editorial: Ediciones UPC. <https://arqlemus.files.wordpress.com/2014/04/disec3b1o-acc3bastico-de-espacios-arquitectc3b3nicos.pdf>
- Cracogna Blasco. (2019). Evolución de los lugares de trabajo: De la oficina tradicional a los nuevos espacios de coworking. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/134266>
- Goldsack, L. (2018). Comodidad acústica, Universidad de Chile, Chile. [https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/AO305/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=455141](https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/AO305/1/material_docente/bajar?id_material=455141)
- Parrondo, Jorge. (2006) Acústica Ambiental. España. Ediuno. p153 (Se refiere a términos acústicos y conceptos específicos en un marco de control acústico ambiental).
- Sánchez, R. (2015). Evaluación y caracterización de la contaminación acústica en un núcleo urbano de tipo turístico costero (El Portil, Huelva) (tesis doctoral). Universidad de Huelva. Huelva, España. <https://core.ac.uk/download/pdf/60671036.pdf>
- Santander. (2022, julio 11). Coworking: qué es y cómo funciona. <https://www.santander.com/es/stories/que-es-el-coworking>
- Soft dB. (2021) Medición en decibelios: ¿Cuál es la diferencia entre dB y dB (A)? <https://www.adaptor.cl/softdb>
- Yáñez, M. (2018). Estudio y mejoramiento acústico en terrazas de restaurantes en el Ensanche de Barcelona. UPC, Escola Tècnica Superior de Arquitectura de Barcelona. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/181128?show=full>

## **Consideraciones que debe tener un arquitecto al diseñar por impresión 3D en hormigón.**

**Estudiante:** Nicolás Felipe Balthazar Figueroa Gariglio

**Profesor guía:** Matías Honorato

### **Resumen**

El hormigón armado tradicional es uno de los materiales más estudiados y utilizados en la construcción. Se reconocen restricciones del material en cuanto a la libertad geométrica a la hora de diseñar, por el uso obligatorio del encofrado. Frente a esto se propone estudiar la impresión 3D como método de diseño alternativo, se identifica falta de bibliografía que hable de los criterios de diseño para arquitectos que deseen utilizar el material. Para lograr elaborar los criterios, se estudian nueve proyectos construidos en impresión 3D y se realizan cuatro entrevistas con arquitectos, tres a cargo de los proyectos estudiados y uno que trabaja en sus propias investigaciones. Con el fin de encontrar patrones de diseño que sirvan para formular conclusiones que deriven en criterios. Los resultados demostraron que sí, existen patrones del uso del material en los proyectos y entrevistas, que servirán para arquitectos que deseen utilizar este método de diseño.

**Palabras clave:** Impresión 3D, Fabricación aditiva, Hormigón, Extrusión, Encofrado, Patrones.



## 1. Introducción

Los materiales definen criterios que tienen relación en la disciplina de la arquitectura. El hormigón armado tradicional posee criterios de diseño que se han ido puliendo por su extenso uso. Como lo son, medidas estándar de construcción, unión de esquinas, encofrado, enfierradura, etc.

Del uso de este material se identifican problemas en la construcción, como por ejemplo, restricciones geométricas que radican posteriormente en elevados costes para el proyecto, el uso del encofrado, ya que el realizarlo es un costoso y trabajoso proceso de construcción cualificado. Los materiales pueden variar en madera, contrachapado, plásticos o grandes estructuras prefabricadas que requieren de maquinaria pesada para colocarlos en sitio. Ronald Rael (2018) dice que hay una redundancia en la construcción de hormigón: se construye un edificio en madera en el que se vierte el hormigón, y después se desmonta, esto tiene un precio medioambiental y económico, además en Estados Unidos, el encofrado cuesta hasta el 60% del coste total de la construcción, y por lo general se desecha tras su uso.

Frente a esto aparecen otros sistemas, como la fabricación aditiva que es el nombre técnico que engloba todas las tecnologías de impresión 3D, se trata de la fabricación de objetos tridimensionales por aportación de material (Ortega, s. f.) a través de un dispositivo robótico controlado por G-Code (codificación), previamente hecho vía computador.

R. García (2020), en *Proyecciones de la construcción impresa en 3D en Chile* dice, que el país es uno de los emergentes en Latinoamérica, con una creciente industria de la construcción en el continente. En su artículo se hizo revisión de publicaciones científicas sobre construcción impresa en 3D a nivel mundial, se identificaron 144 documentos dedicados al análisis de esta tecnología. Los resultados arrojaron que las publicaciones fueron escritas principalmente por investigadores de universidades en Europa y Asia. Los temas principales fueron, describir actividades específicas (25%), y estudios panorámicos (22%), revisión de procesos particulares y materiales usados son temas comunes (García, Alvarado et al., 2020). Por lo tanto, existe muy poca bibliografía que hable de los criterios de diseño y del uso de la impresión 3D en hormigón para arquitectos.

El vacío de información se encuentra, en que habiendo mucho material técnico del hormigón armado tradicional hay falta de bibliografía que hable de la impresión 3D en hormigón, y específicamente de los criterios de diseño que se deben tener al ocupar este método de diseño. Así nace la oportunidad disciplinar de elaborar un set de criterios para la impresión 3D en hormigón, desde la perspectiva del arquitecto. A través de lo desarrollado anteriormente se elabora la pregunta de investigación ¿Cuáles son los criterios a considerar por un arquitecto al utilizar la fabricación aditiva en hormigón como método de diseño?

### **Objetivo general de la investigación**

Exponer algunos criterios a considerar en el diseño arquitectónico utilizando el método por fabricación aditiva en extrusión de hormigón.

## **Objetivos específicos de la investigación**

1. Formular conclusiones relacionadas a la fabricación aditiva en hormigón, a través de documentación de proyectos.
2. Detallar descripciones técnicas de la impresión 3D en hormigón por extrusión de material.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Hormigón**

El hormigón es un material constituido básicamente por materiales pétreos, aglomerantes y agua. La facilidad con lo que puede fabricarse y la gran resistencia del producto final, lo convierte en uno de los materiales más utilizados en la arquitectura y construcción (Rael & Fratello, 2018). Su renombre radica en que pasa de forma natural de un estado fluido a uno sólido, pudiendo llenar un molde, y al endurecerse sostener una carga (Wangler et al., 2016).

Para poder utilizar el hormigón armado como método de diseño hay que tener en cuenta una serie de consideraciones que serán descritas a continuación, fueron extraídas de Toirac Corral (2009), Hormigón Arquitectónico por Corporación de desarrollo tecnológico (CDT, 2018) y Diseño de estructuras de concreto armado (2002):

El diseño por rotura se fundamenta en la predicción de la carga que ocasiona la falla del elemento en estudio y analiza el modo de colapso del mismo. Algunas de las ventajas de este procedimiento son que permite controlar el modo de falla de una estructura compleja considerando la resistencia última de las diversas partes del sistema. Obtener un diseño más eficiente, considerando la distribución de esfuerzos que se presenta dentro del rango inelástico. Este método no utiliza el módulo de elasticidad del concreto, el cual es variable con la carga. Esto evita introducir imprecisiones en torno a éste parámetro y proyectar una volumetría de proyecto arquitectónico requiere de los planos de arquitectura de hormigón armado, que deben concordar con los planos de moldaje e indicar la geometría compatible con el resultado final que se busca.

Otro aspecto importante a considerar es el tipo de hormigón a utilizar. Existen de uso general y sin propiedades especiales. De moderado calor de hidratación y alguna resistencia al ataque de los sulfatos. También de resistencia temprana y elevado calor de hidratación. El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. En general, el agua potable es adecuada para el concreto. Su función principal es hidratar el cemento, pero también se usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

El mezclado, transporte, colocación y curado del concreto son operaciones que influyen directamente en la calidad del material elaborado.

La enfierradura le brinda la capacidad de resistir los esfuerzos por tracción al hormigón armado. Se debe verificar, recubrimiento de armadura y mallas, corrosión, recubrimiento en

trabas, alambre de amarra con puntas hacia dentro y separadores. Además el acero debe estar libre de óxido durante su colocación pues éste perjudica la adherencia con el concreto.

Son tres los mecanismos que permiten desarrollar la adherencia entre acero y concreto. Adhesión química. Fricción. Aplastamiento del concreto por las corrugaciones de las varillas.

Las fundaciones son el elemento estructural que transmite las cargas de las columnas y muros al terreno. El tipo de cimentación apropiado para cada situación depende de varios factores entre los cuales se tiene: La resistencia y compresibilidad de los estratos del suelo. La magnitud de las cargas de las columnas. La ubicación de la napa freática. Y la profundidad de cimentación de las edificaciones vecinas. Tipos de fundaciones existentes son: zapata de muros, aislada, combinada, conectada, sobre pilotes y continua. La resistencia del suelo es menor que la resistencia del concreto, por ello, la fundación debe tener mayor área que su respectiva columna o muro para así reducir los esfuerzos que se transmiten al terreno. Cada tipo de terreno tiene sus características propias y reacciona ante cargas externas de distintos modos. Algunos de los factores que influyen en la distribución de la reacción del terreno son: la flexibilidad del cimiento respecto al suelo, el nivel de cimentación y el tipo de terreno.

Para poder establecer criterios de diseño del hormigón armado, se escogieron nueve proyectos como casos de estudio, con el fin de compararlos encontrar similitudes, diferencias y patrones de diseño.

## 2.2. Criterios generales del hormigón armado

**Tabla 1:** Casos de estudio hormigón armado tradicional

Nombre del proyecto	Descripción	País	Construcción
<b>Casa Concretus</b>	Vivienda de h.a de dos pisos	España	2016
<b>Casa Tejote</b>	Vivienda de h.a de dos pisos	México	2021
<b>Centro de innovación UC</b>	Centro de empresas, industria e investigación	Chile	2014
<b>Edificio de cocheras Uriarte 1520</b>	Edificio de estacionamientos	Argentina	2018
<b>Edificio IBM</b>	Edificio de oficinas	Argentina	1983
<b>Escuela primaria Jadgal</b>	Escuela de un piso	Irán	2020
<b>Iglesia Pampulha</b>	Iglesia de cielos y estructura curva de h.a	Brasil	1943
<b>Restaurante los Manantiales</b>	Restaurante formado por la intersección de cuatro paraboloides	México	1957
<b>SESC Pompéia</b>	Edificio cultural de h.a bruto a la vista	Brasil	1977

Respecto a las alturas máximas de los proyectos, estas varían según su función y tamaño del predio. Escuela primaria Jadgal, tiene una altura máxima de 3.7 m, la geometría interna es ortogonal que se organiza en función de la externa que es radial, tiene 50 m de diámetro y 480 m<sup>2</sup> construidos. La Iglesia Pampulha y Restaurante Manantiales también son proyectos de una planta, la iglesia posee una altura máxima de 7 m, mientras que el restaurante es una bóveda de 8.25 m de altura en su exterior y 5.9 m en su interior, y una superficie de 42 m de diámetro. Casa Concretus de 200 m<sup>2</sup> construidos y Casa Tejote de 650 m<sup>2</sup> son proyectos de viviendas de dos plantas, poseen una altura máxima de 8 m. El Centro de innovación UC es un proyecto donde convergen oficinas, centro de investigación, entre otros programas, tiene una altura de 45 m y posee 9.323 m<sup>2</sup> de superficie. Y finalmente el edificio IBM es una torre de 103 m donde convergen diferentes oficinas, y posee una superficie de 32.000 m<sup>2</sup> construidos. De esto se concluye que utilizar h.a tradicional como método de diseño permite proyectar edificios tanto de una escala baja como alta, sin tener mayores restricciones en el diseño.

En el diseño de la gran mayoría de los casos de estudio, prevalecen las geometrías ortogonales, esto debido al uso de encofrados con moldes rectos. Principalmente porque es el método más eficiente y menos costoso a la hora de utilizar el hormigón. Generando por consecuencia proyectos con cambios de direcciones rectos o diagonales en sus plantas, prevaleciendo órdenes con sentidos en el eje x e y.

En contraste a esto están los proyectos Iglesia Pampulha, su diseño se compone por cuatro bóvedas parabólicas asimétricas de h.a, con un espesor de muro de 20 cm, estas bóvedas fueron construidas a través de un encofrado de madera y enfierradura que dio finalmente la forma parabólica al proyecto, brindando espacialidad curva en altura y una capacidad estructural al proyecto, permitiendo que este se auto soporte. El Restaurante Manantiales formado por la intersección de cuatro paraboloides hiperbólicos, los cuales le brindan la capacidad estructural al proyecto, que se apoya en una subestructura de perfiles de metal construida en el borde exterior y las llegadas a suelo de la cáscara a zapatas de fundaciones. El encofrado se realizó de modo que las tablas siguieran los paraboloides, se utilizó un único encofrado para cada pieza, por la razón de que la estructura estaba diseñada para funcionar en conjunto, una vez completada la construcción del encofrado, se colocó la enfierradura y finalmente el hormigonado.

Ambos proyectos poseen curvas en su geometría, construidas por los métodos tradicionales, las cuales brindaron la capacidad de auto soportarse estructuralmente al proyecto. Sin embargo, construir los encofrados necesarios para estos proyectos, fue un laborioso trabajo de mano de obra calificada, que tuvo que construir todo un sistema de encofrado para poder verter el hormigón, por lo que el proyecto constó de dos construcciones, una el encofrado y otra el proyecto en sí mismo. Desencadenando en tener que ser proyectos con altos costes para su construcción y tiempo al demorar ambos proyectos dos años para su finalización.

Otro ejemplo son la Escuela primaria Jadgal, la geometría interna es ortogonal que se organiza en función de la externa que es radial, tiene 50 m de diámetro. Los muros externos orgánicos oscilan entre los 0.3 a 3 m, donde se alojaron algunas funciones programáticas esenciales del edificio. Utilizando paneles de poliestireno (EPS), perfiles de hierro

galvanizado y hormigón armado, la estructura se construyó sin pilares, gracias a las formas curvilíneas del diseño, brindándole la capacidad de ser auto portante. Con la necesidad de que la estructura fuera antisísmica, la escuela se construyó con el método ICF, con encofrado de hormigón aislante.

### **2.3. Encofrado**

El hormigón puede verterse in situ en obra o prefabricado. Sin embargo, todo hormigón requiere de encofrado. Los encofrados son estructuras provisionales que son usadas para soportar y dar forma al concreto (Harmsen, 2022). Normalmente el hormigón se coloca y luego se vibra para fabricar los componentes del edificio (Le et al., 2012).

El encofrado puede variar desde la madera y contrachapado unidos con herramientas manuales, hasta grandes estructuras prefabricadas que requieren de maquinaria pesada para su colocación (Rael & Fratello, 2018). Los encofrados de acero pueden ser reutilizados más veces que los de madera. Tienen gran resistencia y se usan cuando se requiere cubrir grandes luces o cuando se desea dar formas especiales al hormigón.

El costo del encofrado constituye de un 25% a 40% del costo total de la estructura. Deben ser diseñados con sumo cuidado pues las fallas que en él se presentan constituyen la mayor fuente de accidentes en obra. Algunas de las principales causas son: Remoción de puntales o desencofrado prematuro. Arriostamiento deficiente de los pies derechos. Vibración exagerada del concreto, ya sea ocasionada por los vibradores o por el tráfico de los equipos sobre el encofrado. Apoyo del encofrado en terreno inestable o blando. Y vaciado incorrecto del concreto.

### **2.4. Automatización de la arquitectura**

La fabricación digital puede definirse como la aplicación del modelado y las tecnologías digitales a la producción de objetos materiales personalizados (Wangler et al., 2016). Según Wangler, las principales ventajas de la fabricación digital son la arquitectura de forma libre y la colocación precisa de materiales que pueden combinarse con las ventajas adicionales de una mayor velocidad de construcción, la reducción de los costes de mano de obra y encofrado, y el aumento de la seguridad de los trabajadores.

La impresión 3D es un subconjunto de la fabricación digital, que a través de procesos sugieren ventajas substanciales sobre los procedimientos tradicionales de construcción (García et al., 2020). Existen varios métodos diferentes de fabricación aditiva, pero los utilizados con mayor frecuencia son, chorro aglutinante (Blinder Jetting), modelado por deposición fundida (FDM) y la extrusión de material (Contour Crafting).

Al igual que Wangler, Rael y Fratello (2018) fundadores de Emerging Objects (empresa dedicada al trabajo en impresión 3D), destacan que en el hormigón impreso en 3D, no hay encofrado, lo que significa que sus ventajas potenciales están en la cantidad de mano de

obra, una mayor complejidad de diseño sin mano de obra especializada, mayor precisión de diseño, menor cantidad de residuos y menos uso del agua.

Moretti (2021) dice que, una tonelada de cemento genera una tonelada de Co<sub>2</sub>, pero que con la impresión 3D es posible reducir más del 50% de las emisiones. Además cita a Marco Iurio, del Consorcio Stress, al decir que la impresión 3D, permite crear elementos curvos, huecos o con características especiales que requerirían complicados encofrados de madera (o prefabricados) para el hormigón fresco, con un considerable aumento de los costos.

Los autores precisan en que la fabricación digital y la impresión 3D en hormigón, podrían ser el futuro de una construcción más sostenible, debido a un diseño estructural más eficiente.

## **2.5. Fabricación aditiva por extrusión**

Lo primero que se debe tener en cuenta al diseñar en hormigón 3D es, si se extruye el hormigón en sitio o en fábrica. La producción in situ permite menor transporte, libertad de unidades más grandes y un enfoque menos modular. Sin embargo, requiere movilización importante, limitaciones del terreno y limitaciones climáticas. Por otro lado la producción en fábrica proporciona un entorno con un clima controlado que permite la producción en cualquier momento, una ubicación centralizada que permite al equipo del proyecto inspeccionar los elementos del equipo, producción de veinticuatro horas, entre otros. (Alawneh et al., 2018). Una de sus mayores desventajas es el esfuerzo del transporte de piezas al terreno que desencadena en mayores costos de obra.

Contour Crafting es uno de los proyectos pioneros de fabricación aditiva, se basa en la extrusión de dos capas de materiales cementosos para generar un encofrado (Gosselin et al, 2016). Es similar a los métodos tradicionales por deposición fundida, a diferencia de que el material no se calienta en una boquilla, al igual que este los objetos se construyen de abajo a arriba, capa a capa (Rael & Fratello, 2018).

En comparación con otros procesos de fabricación por capas son la mejor calidad de la superficie y la mayor velocidad de fabricación. Es un método híbrido que combina un proceso de extrusión para formar las superficies del objeto y un proceso de relleno para construir el núcleo del objeto (Khoshnevis, 2004).

Este método presenta una ventaja frente a los métodos convencionales, al permitir construir formas geométricas complejas sin necesidad de encofrado (Le et al., 2012).

*“El proceso de impresión consta de tres etapas: preparación de los datos, preparación del hormigón e impresión del componente. En la etapa de preparación de datos se diseña un componente como modelo CAD 3D, luego se convierte a un formato de archivo STL y se corta con la profundidad de capa deseada. A continuación se genera la ruta de impresión de cada capa para crear un archivo G-Code para la impresión. La preparación del hormigón consiste en mezclarlo y colocarlo en el contenedor. Una vez que el hormigón fresco se ha colocado en el contenedor, puede ser transportado suavemente a*

*través del sistema de bomba-tubo-boquilla para imprimir autocompactante, que puede construir componentes estructurales capa a capa” (Le et al., 2012).*

Los autores concluyen que las ventajas potenciales de este proceso incluyen:

Flexibilidad de diseño, ya que el proceso permite a los arquitectos diseñar estructuras con geometrías funcionales y complejas. Mejor control de la deposición del material de construcción puede producir mejores acabados. La creación de unidades integradas baja la probabilidad de que se realicen trabajos de reparación en obra. El proceso de construcción por capas con las técnicas de modelado de sólidos proporciona una mayor libertad de diseño. La integración de los servicios mecánicos y eléctricos dentro de los huecos formados en la estructura podría optimizar el uso de materiales y el trabajo en obra. Refuerzos debido a las altas presiones de extrusión, el material extruido se adhiere alrededor de las bobinas sin causar discontinuidades internas.

### **3. Métodos**

La investigación en su etapa inicial parte del estudio de la construcción tradicional en hormigón armado, enfocado específicamente en los criterios de diseño arquitectónico. Se revisó bibliografía constructiva del material y se escogieron proyectos para identificar diferentes criterios de diseño utilizados por los arquitectos, y así comprender el uso del material. Posterior a este análisis se describieron criterios de diseño del hormigón armado desde la perspectiva del arquitecto, extraídos desde la bibliografía leída y los proyectos seleccionados.

Una vez entendido los criterios de diseño y el uso del hormigón armado, se planteó estudiar la impresión 3D en hormigón, como un método de diseño alternativo, que implementa tecnología relacionada a la arquitectura.

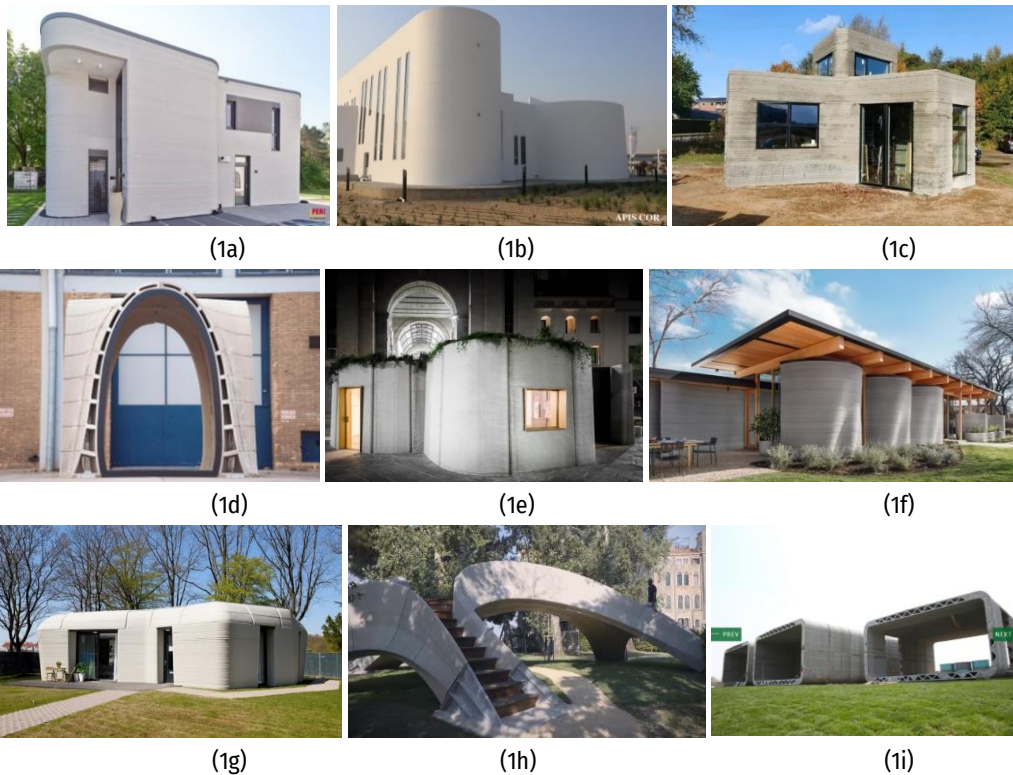
Se identificó un vacío de contenido bibliográfico desde la perspectiva del arquitecto, que hable de los criterios de diseño de la impresión 3D por extrusión de hormigón y se encontró un potencial como tema de investigación.

#### **3.1. Proyectos seleccionados**

Frente a esto para poder contestar la pregunta de investigación, se planteó estudiar nueve proyectos construidos en impresión 3D por extrusión de hormigón con el objetivo de encontrar patrones y diferencias entre los proyectos. Una vez obtenidos los datos, analizarlos y compararlos, buscando encontrar criterios de diseño que se relacionan o diferencian entre los proyectos, mediante un análisis cuantitativo y cualitativo.

**Tabla 2:** Casos de estudio impresión 3D en hormigón

Figura	Nombre del proyecto	Descripción	País	Construcción
<b>1a</b>	Beckum House	Vivienda de dos pisos	Alemania	2021
<b>1b</b>	Dubai Office	Edificio de oficinas	Dubai	2019
<b>1c</b>	Holstebro House	Prototipo de casa de estudiantes	Dinamarca	2021
<b>1d</b>	HPA	Pabellón impreso en 3D	Países Bajos	2022
<b>1e</b>	House 05	Prototipo de vivienda de una planta	Italia	2018
<b>1f</b>	House Zero	Prototipo de vivienda híbrida	EE.UU	2022
<b>1g</b>	Milestone House	Vivienda de una planta		2020
<b>1h</b>	Striatus Bridge	Puente temporal	Italia	2021
<b>1i</b>	3D printing Lai'an Bus Hub	Oficinas de una planta	Dubai	2016



**Fig1:** Presentación de los casos de estudio. **(1a) Beckum House**, fuente: The Beckum Project – Harcourt Technologies Ltd (htl.tech). **(1b) Dubai Office**, fuente: Gallery of Dubai Municipality to Become the World's Largest 3D-Printed Building - 27 (archdaily.com). **(1c) Holstebro House**, fuente: 3D PRINTED TINY HOUSE (cpt-worldwide.com). **(1d) HPA**, fuente: HPA | vertico. **(1e) House 05**, fuente: entregada por el autor. **(1f) House Zero**, fuente: ICON and Lake Flato build 3D-printed House Zero in Austin (dezeen.com). **(1g) Milestone House**, fuente: Project Milestone: 3D-Printed Home by Houben & Van Mierlo (parametric-architecture.com). **(1h) Striatus Bridge**, fuente: Striatus 3D concrete printed masonry bridge (striatusbridge.com). **(1i) 3D printing Lai'an Bus Hub**, fuente: Product Center-Yingchuang Building Technique (Shanghai) Co.Ltd. (WinSun) (winsun3d.com).



Una de las ventajas de la impresión 3D es la relación entre la superficie construida y el tiempo en realizar la construcción. Beckum house es un proyecto residencial de 160 m<sup>2</sup> construidos, tiene dos plantas y se tardaron trece días en su construcción. Dubai Office también es un proyecto de dos plantas, pero de 640 m<sup>2</sup>, es el proyecto construido con mayor escala hasta la fecha, y se tardaron veintiún días en su construcción. House 05, es un prototipo de vivienda que tenía el objetivo de mostrar cómo funcionaba la tecnología, con todos los programas típicos que componen una casa, es de 100 m<sup>2</sup> y se tardaron 48 hrs en imprimirla. House Zero también es un proyecto prototipo de residencia, tiene 186 m<sup>2</sup> construidos, tomó entre ocho a diez días el proyecto por completo, dos días para montaje y desmontaje de la impresora más el tratamiento del terreno, y ocho días en imprimir. Por otro lado Stratus bridge, es un puente peatonal impreso en 3D con una superficie de 50 m<sup>2</sup> peatonales y tardaron 84 horas en imprimir todos los bloques que lo componen. Finalmente 3D printing Lai'an Bus Hub es un proyecto compuesto por cuatro casetes de impresión 3D, cada uno de 185 m<sup>2</sup>, tardaron 12 horas en imprimir cada casete.

Hubo dos estrategias al imprimir los proyectos, los impresos in situ, y los impresos en fábrica. Una de sus diferencias fueron los robots utilizados, cuando imprimían in situ utilizaban robots tipo pórticos los cuales superan en dimensiones al proyecto a imprimir, a excepción del proyecto Dubái Office que utilizaron el robot cilíndrico "Frank", que se amplió en altura para permitir imprimir los muros de 4,7 m de altura en sesiones continuas, además tenía la capacidad de poder ser transportado, se desplazó por elevación entre veintidós posiciones diferentes. Mientras que cuando imprimían en fábrica, utilizaban robots estacionarios con brazo robótico, este tipo de robot tiene una mejor maleabilidad permitiendo lograr impresiones más complejas pero tiene restricciones en cuanto a las distancias de impresión. El proyecto House 05 también fue una excepción por que fue impreso in situ con un brazo robótico, la estrategia de diseño fue imprimir treinta y cinco módulos de muros, que finalmente se colocaron uno al lado del otro, logrando la envolvente y estructura de la casa.

Imprimir en fábrica permitía al equipo de trabajo tener mayor control sobre la mezcla. Este es un aspecto muy importante en la impresión 3D. La mezcla de hormigón debe tener la capacidad de ser lo suficientemente dura para soportar las cargas posteriores de capa y lo suficientemente viscosa para tener una correcta adherencia entre capas. En el proyecto Stratus Bridge, la humedad ambiental se controló artificialmente al 70% favoreciendo al rendimiento de la mezcla. Por otro lado imprimir in situ, significa tener una mezcla que se adapte a las condiciones medioambientales donde se imprime. En Milestone House, fueron impresas en fabrica múltiples piezas de hormigón curvos, esto permitió un mejor rendimiento de la mezcla al controlarse la humedad ambiental artificialmente para mantener un nivel mínimo del 65 %.

3D printing Lai'an Bus Hub fue impreso en fábrica, por una empresa China. Se adoptaron varias técnicas de prefabricación. Los casetes impresos en 3D se enviaron y montaron in situ en Dubái, y se apoyaron en zapatas de hormigón in situ. La estructura principal de carga son las estructuras prefabricadas de hormigón con forma de U con una longitud, altura y anchura

máximas de 8,1 m, 2,1 m y 2,1 m, estas dimensiones se determinaron en función de la impresora 3D y de las limitaciones de envío.

En ningún proyecto se utilizó encofrado, pero sí en algunos usaron enfierraduras para refuerzo estructural, al igual que en la construcción por hormigón armado tradicional, la enfierradura brinda resistencia a esfuerzos por tracción a los proyectos de hormigón en impresión 3D. Como lo es en el caso House Zero, en las cavidades (espacios vacíos entre muros que se generan por el lineamiento del cordón de extrusión) que funcionaban como encofrados, se colocaron enfierraduras verticales que luego fueron rellenados con hormigón, dando un refuerzo estructural y mayor fortalecimiento a los esfuerzos por tracción. Así también Dubái Office, se imprimieron simultáneamente los muros y los encofrados para los pilares y las vigas. A continuación, se instalaron manualmente las barras de acero de refuerzo en las cavidades y se procedió al vertido convencional del hormigón.

La mayoría de los proyectos poseen curvas en su diseño, esto por dos motivos, uno para generar un cordón de impresión continuo, es importante para el tiempo de impresión y secado de la mezcla, que la impresión no se detenga. Y también para crear estructuras auto portantes, al tener mayor superficie de contacto y adherencia con el suelo.

### **3.2. Entrevistas**

La metodología también involucró realizar cuatro entrevistas con arquitectos de los proyectos estudiados, con el objetivo de encontrar patrones y diferencias entre sus respuestas, también para poder realizar un posterior análisis de comparación, y comprobar si partes de sus respuestas son medios o métodos utilizados en los demás proyectos estudiados. Se determinaron comparar tiempos de construcción, geometrías, métodos de diseño, estructura, tiempos de impresión, dimensiones, tecnología, medioambiente.

El primer entrevistado fue Lewis Mcneel, arquitecto perteneciente a la oficina Lake Flato, estuvo a cargo del diseño del proyecto House Zero. El segundo entrevistado fue Luciano Locatelli arquitecto a cargo del diseño y construcción del proyecto House 05, el tercero es Kees Leemeijer arquitecto parte del equipo de trabajo de la empresa constructora Vertico, quienes realizaron el proyecto HPA, finalmente el ultimo entrevistado fue Pablo Banda arquitecto USM, Magíster UC, candidato a Doctor UBB, que está realizando al día de hoy pruebas en impresión 3D y que con su equipo de trabajo fueron ganadores de un proyecto de impresión 3D en Canadá. Todos los arquitectos fueron consultados por el consentimiento de poner su nombre en el artículo. Se realizaron doce preguntas que se adjuntaron en anexos.

## **4. Resultados**

A lo largo de esta sección se presentarán los resultados obtenidos en la investigación. Luego de toda la información recaudada se cruzaron los datos e información obtenida, entre la documentación de proyectos seleccionados en hormigón armado tradicional, documentación proyectos de impresión 3D y las entrevistas realizadas. Posterior a esto se buscaron patrones

de diseño que se repitieran o diferenciaban, las cuales derivaron en un set con algunos criterios de diseño a considerar por un arquitecto que desee diseñar hormigón por impresión 3D.

#### 4.1. Curvas

*“Nuestro lenguaje de diseño trataba de pensar cómo podemos encontrar un sistema envolvente perfecto y de alto rendimiento en impresión 3D en concreto...Entonces estudiamos diferentes maneras de imprimir curvas y trazados rectos. Empezamos a ocupar muchas curvas que tuvieron sentido estructuralmente, cuando estás curvando un muro obtienes un inherente ventaja estructural, el muro se vuelve más suave y estable, entonces la impresión 3D tiene una increíble ventaja en ese aspecto” (Lewis McNell, 2022).*

*“El desafío de que sea auto portante, es buscar una curvatura que aumente la estructuralidad del muro” (Pablo Banda, 2022).*

Proyectos como Beckum House (1a), House 05 (1e), House Zero (1f), Milestone (1g), diseñaron una curvatura tal que es la estructura de los proyectos, a través de muros auto portante.

**Un correcto uso de la curva en el diseño de un proyecto en impresión 3D, brinda al proyecto de mayor o menor estructuralidad, por lo que es importante encontrar una curvatura en el diseño que dote al proyecto a su máxima capacidad estructural auto portante.**

#### 4.2. Consideraciones de diseño

*“Si estamos imprimiendo una casa, tenemos que ver qué partes de la casa son más importantes para imprimir. Para House Zero rápidamente descubrimos, que para sacar el mejor provecho y uso, si nos enfocamos en imprimir solamente los muros exteriores envolventes. Y construimos de forma tradicional los muros interiores usando madera...El edificio terminó siendo un sistema de muros largos con curvas” (Lewis McNell, 2022).*

*“Está el problema de los terremotos, entonces cualquier casa tiene que ser suficientemente sólida. La empresa de ingeniería está estudiando los movimientos de los muros, por esta razón, construimos los muros en secciones de 1.5m, si hay un terremoto podría moverse un poco...Cuando imprimes el muro lo imprimes dejando un aire entre medio. Hicimos que el muro fuera más ancho en la base y más delgado en el cielo. Lo que hacía que tuviera más estabilidad...El muro era de 60 cm en la base y 40 cm en el cielo. En la impresión la máquina va en zig-zag, y ese es el refuerzo estructural del muro, y el resto es todo aire, que mantiene una buena aislación, y el zig-zag mantiene el muro rígido y sólido. Entonces cada elemento fue impreso independientemente y luego fueron apoyados uno al lado del otro, con cierta flexibilidad, además cada muro era sólido sin el apoyo de ninguno. Estudiamos con el ingeniero, la dimensión del ancho, para asegurarse que se quede en pie y también para aislar el interior del exterior.” (Luciano Locatelli, 2022).*

*“Las consideraciones de diseño son estrategias de cómo componen y descomponen. Cómo levantas elementos de una tonelada o dos. Cómo serán los puntos de sujeción. Problemática por los calibres del muro. Primero hubo que eliminar puentes térmicos y tener unas cámaras de aislamiento de más de 15 cm. Y eso pensando en la estructuralidad de los muros hay mucho más allá de 30 cm de grosor. Las más fundamentales serían tener claro el desempeño del material que vas a tener, y tener un suministro constante del mismo, hacer harto Form Finding de cosas primitivas, para ver cuánto material te aguanta y así tener tu paleta creativa. Como por ejemplo, altura del cordón, grosor del cordón y si necesitas refuerzo. Este es un punto importante que a veces se salta.” (Pablo Banda, 2022).*

*“Optimización para una forma óptima con el mínimo de material necesario. Por supuesto, teniendo en cuenta el método de fabricación, la geometría fue optimizada por la ingeniería de Summun” (Kees Leemeijer, 2022).*

Las consideraciones de diseño entregadas por los arquitectos son bien variantes según el punto de vista del proyecto. Por un lado para Lewis, fue importante decidir que parte de la casa debe ser impresa en 3D y cuáles no. Finalmente fueron los muros perimetrales los impresos, que son la estructura principal de la casa. El resto como, cerramiento, particiones y techumbre, fueron construidos por construcción tradicional, convirtiendo a esta casa como el único proyecto estructuralmente híbrido estudiado.

Para Luciano lo más importante fue dotar al proyecto de una buena estructura auto portante, por las condiciones contextuales de Italia, con temblores y terremotos. Por esto se tomó la estrategia de diseñar 35 módulos de impresión 3D, con la capacidad de moverse y rebotar en caso de un movimiento telúrico. Y también, en un estudio junto con el ingeniero, se trabajaron las dimensiones del ancho de los muros, teniendo dimensiones finales de 60 cm en la base y 40 cm en el cielo. Por otro lado, explica como el paso del cordón de extrusión dota de estructura al muro. Y que el aire entre muros es buena fuente de aislación natural.



**Figura 2:** Paso del cordón de extrusión en House 05. Fuente: Foto entregada por la oficina del proyecto.

Las cavidades (aire entre los muros), son utilizadas en el diseño de diferentes maneras entre los proyectos. En Beckum House (1a), la estructura presenta tres tipos de muros impresos, muros divisorios no portantes, muros estructurales de encofrado perdido impreso con

hormigón colado no reforzado, y muros de doble cáscara con una cáscara exterior no portante o con un encofrado impreso en 3D relleno de hormigón in situ. Muros de la Casa Milestone (1g), presenta de tipo sin patrón de relleno, y muros con una doble cavidad: una sin y una con patrón de relleno, específicamente diseñado para mantener la estabilidad del elemento durante la impresión.

En varios casos los elementos impresos actúan como encofrados perdidos para los elementos estructurales tradicionales que pueden ser en su mayoría integrados en los muros/particiones exteriores del edificio o fabricados específicamente para acomodar vigas/columnas fundidas, como en los casos de Dubai Office (1b) y House Zero (1f).

La descripción entrega por Pablo, va en concordancia con las medidas detalladas por Luciano. Además le da importancia a tener consideraciones en, el desempeño del material, altura y grosor del cordón de extrusión, y considerar el uso de refuerzos.

Para Kees, la consideración principal fue utilizar la mínima cantidad de material para lograr el objetivo de imprimir el proyecto. Para esto se hicieron optimizaciones de diseño en la geometría a través del uso de la tecnología.

**Que un muro tenga una buena estructura va a depender de, el diseño del patrón de relleno, el ancho y alto del cordón de extrusión, la curvatura del diseño y su geometría.**

**El diseño de un muro con 50 cm de ancho como mínimo, presenta buena estructura y aislación térmica.**

**Las cavidades se pueden utilizar como, aislación de aire o encofrados perdidos con posibilidades de colocar refuerzos de acero para muros o pilares, o rellenarlos con material cementicio.**

**Considerar usar la impresión 3D como método de diseño, no necesariamente es utilizarlo para todo el proyecto. Escoger que parte del proyecto rinde mejor la impresión tendrá mejores resultados finales, y podrá brindar grandes resultados de diseño.**

#### **4.3. Mezcla de hormigón**

*“Nosotros contactamos 3 empresas, una hacia el cemento para la impresora, entonces estudiamos el concreto, tenía que ser especial, porque cuando haces una línea el concreto es blando, pero no demasiado blando, porque si es demasiado blando no mantiene la forma, y no logra ser auto portante. Se tiene que secar rápido, pero no tan rápido, porque si se seca muy rápido, la segunda capa no se adhiere a la primera” (Luciano Locatelli, 2022).*

Como aprendizajes del equipo de trabajo en La'ian bus explican que es necesario mejorar la mezcla de hormigón para aumentar la capacidad de tracción y eliminar así la necesidad de añadir manualmente el refuerzo convencional durante el proceso de impresión. Además se requiere investigación para explorar el uso de hormigón de ultra alta resistencia en la

impresión de hormigón 3D. También se requiere un procedimiento de control de calidad para garantizar la consistencia de la mezcla de hormigón. Y se requiere un procedimiento de curado.

En cuanto al diseño de la mezcla, es importante tomar muestras de los materiales suministrados, eliminar los componentes no deseados, como los áridos de gran tamaño, y tener en cuenta el contenido de humedad y la absorción de los áridos en la mezcla. El control de calidad (QC) es un aspecto fundamental en todo proceso de construcción de hormigón. En dos casos, la humedad ambiental se controló artificialmente para mantener un nivel mínimo en Milestone (1g) del 65% o del 70% y en Striatum (1h) mediante un sistema de nebulización de agua.

**El diseño de la mezcla del hormigón tiene que ser lo suficientemente húmeda para que se adhieran las capas mientras se imprimen, y tiene que ser lo suficientemente seca para que soporten el peso estructural entre capas.**

**Imprimir en fábrica permite un mejor control de la humedad del ambiente, logrando obtener una impresión más fluida al tener un mejor control del secado de la mezcla.**

**Los componentes de la mezcla influyen en las capacidades finales del material seco. Como en esfuerzos de tracción. Escoger buenos materiales para la mezcla, podrá obviar requerir refuerzos posteriores en el proyecto.**

**Realizar pruebas de impresión es una consideración a tener para probar la mezcla, antes de realizar la impresión definitiva del proyecto.**

#### **4.4. Condiciones medioambientales**

*“Había mucha humedad, entonces estábamos imprimiendo en una carpa, porque si llueve sobre el concreto mojado es un desastre” (Luciano Locatelli, 2022).*

*“El diseño de la casa fue hecho en un clima muy caluroso y húmedo...Construimos un gran techo que cubre los muros para protegerlos de los rayos del sol y la lluvia, porque hay fenómenos climáticos extremos. En general evitamos utilizar mucho el vidrio, aunque de igual manera hubo un cierto uso estratégico” (Lewis McNell, 2022).*

*“Las condiciones ambientales de la impresión fueron a la vez una salvación y una bendición. Imprimimos los objetos en un espacio no acondicionado. Lo que nos obligó a forzar nuestra tecnología para poder hacerlo...Por ejemplo, el fraguado depende en gran medida de la temperatura, y la contracción (del secado) depende en gran medida de la humedad. Sí, tuvimos problemas de contracción en verano. Lo que nos obligó a imprimir elementos de nuevo y a llevar al límite nuestra tecnología de 2 componentes” (Kees Leemeijer, 2022).*

*“Se ha prototipado en fábrica pero se supone que se hará in situ...Si cambian 3 grados la temperatura. O si tienes que ir más lento o si varía la dimensión, todo tiene que estar nivelado” (Pablo Banda, 2022).*

En Beckum House (1a), las condiciones medioambientales alemanas, hicieron que la obra se parara un par de horas, y en otra ocasión un día completo, debido a los fuertes vientos que influían en la estructuralidad de la mezcla. En Dubái Office (1b), la mayoría de las impresiones se realizaron de noche, debido a los fuertes calores que hay durante el día, que influían rápido secado de la mezcla.

**Al imprimir el proyecto in situ, las condiciones medioambientales influirán directamente en el desempeño de la mezcla y estructuralidad de impresión. También se debería incluir en el diseño del proyecto un cuidado del cemento a las radiaciones solares extremas.**

**Imprimir en fábrica, permite un control durante las veinticuatro horas del día de la climatización, favoreciendo un proceso de impresión controlado.**

#### **4.5. Capacidades del robot**

*“Y la máquina podía imprimir la extensión de 1.5m de buena manera, pero no estaba lista para imprimir todo el perímetro de la casa” (Luciano Locatelli, 2022).*

*“No había ningún tejido implicado. El método de impresión tiene limitaciones relacionadas con la contracción y el ángulo de voladizo. La impresión en 2K nos permitió imprimir ángulos de voladizo que se ajustaran a la geometría final. Además, la altura variable de las capas nos permitió imprimir la geometría doblemente/singularmente curvada” (Kees Leemeijer, 2022).*

*“La restricción principal fue que el dispositivo de impresión tenía un límite en el ancho que no se podía sobrepasar que está relacionado con los rieles del robot, por lo que tiene que moverse por los bordes externos de la construcción. Respecto al largo no había límite. Y tuvimos un límite máximo de altura” (Lewis McNell, 2022).*

De los proyectos estudiados se identificaron tres tipos de robot, de pórtico, brazo robótico de seis ejes y el Frank en Dubái Office. Cada robot tiene capacidades diferentes, los pórticos permiten imprimir mayores dimensiones de proyectos pero realizan diseños más rígidos, al imprimir en un puro eje de arriba hacia abajo. Los brazos robóticos al tener 6 ejes permiten una impresión más flexible, logrando imprimir ángulos en voladizo como describe Kees del proyecto HPA.

**El diseño del proyecto estará restringido por las capacidades de impresión del robot. Tanto en dimensiones de los ejes x, y, z, como en la geometría que se busca imprimir.**

**Utilizar un robot de pórtico permite construir proyectos con mayores dimensiones, pero no es recomendable realizar voladizos. Mientras que ocupar un brazo robótico como medio de**

**impresión permite realizar impresiones más complejas, estas deben estar en concordancia con los anchos y altos del cordón de extrusión.**

**El robot que se utilice para el proyecto tiene que tener la boquilla de impresión acorde al cordón de extrusión que se busque imprimir.**

#### **4.6. Proceso de diseño**

*“Fue un proceso entretenido porque nuestro equipo de diseño trabajaba dibujando a mano y después hicimos una transición a Revit. En el proceso usamos algo del software Rhinoceros para las formas 3D complejas en la curvatura de los 3 frentes de la casa, esas fueron las únicas curvas complejas. Lo modelamos en Revit y se entregamos al cliente, el cliente lo analizaba e hicieron su propia triangulación sobre la robótica y el G-code” (Lewis McNell, 2022).*

*“Es exactamente lo mismo, el dibujo fue enviado al sitio. El diseño de la casa fue impreso en una pequeña versión de plástico de impresión 3D, después hicimos el modelo, y después imprimimos en papel la primera planta y el primer corte. Lo pusimos en el piso, y la máquina fue conectada con al computador, que seguía de forma exacta la forma” (Luciano Locatelli, 2022).*

*“Todo para este proyecto se realiza en Rhino + Grasshopper. Desde el modelado de las superficies hasta la generación del código con nuestro slicer desarrollado internamente...Este proyecto fue un proceso de iteración continua, ya que impulsamos la tecnología para mantenernos cerca de nuestro concepto inicial. Modular, eficiente en cuanto a materiales y sin necesidad de encofrado” (Kees Leemeijer, 2022).*

*“Así como lo describes como yo critico que es. Nosotros sabemos que en el proceso hay algo más allá de eso. Sobre todo un tercio de las publicaciones lo plantean como un problema de ese tipo. Pero la mayoría sabe que se está ocupando más parametrización, BIM con algoritmo, llámese Grasshopper o Dynamo, BIM con algoritmos de platón, etc. Tratando de hacer un diseño más personalizado, pero eso no lo muestran. La relación, más que decir soy un arquitecto y quiero ocupar esto, creo que es hacerse cargo del proyecto en su totalidad, por lo que hay que tener un enfoque más integrador. No hay que pensar la impresión 3D como una traducción. Hay una estética que hay detrás que hay que descubrir. Todavía son creaciones muy personales dispersas por el mundo” (Pablo Banda, 2022)*

La bibliografía leída y tres de los cuatro arquitectos describen el proceso de diseño de impresión 3D en tres fases principales. Modelamiento en software del diseño, principalmente utilizan Revit y Rhinoceros para las geometrías complejas, luego el paso del modelamiento a un software de Slicer que divide la geometría en capas y genera el G-Code, que son las coordenadas que harán mover al robot. Sin embargo, para Pablo Banda el proceso consta de más etapas, principalmente de iteraciones de diseño que van surgiendo al momento de estar diseñando y produciendo, de las cuales poco se hablan. Estas iteraciones que harán que



finalmente el diseño del proyecto integre de mejor manera instalaciones, puertas, ventanas, estructura y refuerzos.

**El proceso de diseño en hormigón 3D para un arquitecto consta de, sketches en el proceso creativo de la geometría, software para el modelo (principalmente Revit para el cálculo estructural y Rhinoceros para modelar geometrías complejas), iteraciones de diseño con uso de algoritmos que dotaran de un diseño más integrador, Slicer para subdividir la geometría en capas, G-Code que genera las coordenadas de movimiento del robot y finalmente las capacidades del robot para imprimir.**

## 5. Conclusiones

Una vez finalizada la investigación, y posterior al análisis y comparación entre la bibliografía de impresión en hormigón 3D, documentación de proyectos impresos en 3D y entrevistas a arquitectos a cargo de los proyectos estudiados, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

La impresión 3D en hormigón al día de hoy solo es capaz de realizar proyectos de arquitectura de baja escala. La mayoría de los proyectos estudiados son prototipos de viviendas y oficinas, donde los arquitectos buscaban medir y probar las capacidades que tienen la tecnología, por esto mismo los proyectos se consideran de una corta vida útil, pero con un futuro esperanzador.

A pesar de esto, existen coincidencias cualitativas y cuantitativas que permiten tener criterios de diseño para el trabajo de hormigón en impresión 3D. Se encontraron patrones de consideraciones de diseño como por ejemplo, donde se realizará el proyecto ya sea en fábrica o in situ, condiciones medioambientales que influyen directamente en las capacidades de la mezcla y posteriormente a la vida útil del proyecto, tiempo y velocidad de extrusión que son influyente en lograr un muro auto portante y secado de la mezcla, robots que darán los primeros indicios al arquitecto de las dimensiones del proyecto a trabajar, y las medidas de extrusión con las cuales se diseñaran los muros o elementos a imprimir.

## Referencias

Alawneh, M., Matarneh, M. & El-Ashri, S. (2018). The world's first 3D-Printed office building in Dubai. pci. [https://www.pci.org/PCI\\_Docs/Papers/2018/32\\_Final\\_Paper.pdf](https://www.pci.org/PCI_Docs/Papers/2018/32_Final_Paper.pdf)

Clément Gosselin, Romain Duballet, Philippe Roux, Nadja GaudilliÈre, Justin Dirrenberger, et al.. Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders. *Materials and Design*, Elsevier, 2016, 100, pp.102-109.  
□10.1016/j.matdes.2016.03.097□. □hal-01383481

García-Alvarado, R., Martínez, A., González, L. & Auat, F. (2020, abril). Proyecciones de la construcción impresa en 3D en Chile. *Revista ingeniería de construcción*, 35(1), 60-72.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-50732020000100060>

- Harmsen, T. E. (2022). Diseño de estructuras de concreto armado (3ra ed. ).
- Jimenez Montoya, García Meseguer, A., & Morán Cabré, F. (2000). Hormigón armado (14a. ed.). Gustavo Gili.
- Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S. et al. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. Mater Struct 45, 1221–1232 (2012). <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9828-z>
- Moretti, F. (2021, 5 agosto). Concrete beam created with 3D printing. WASP. Recuperado 30 de septiembre de 2022, de <https://www.3dwasp.com/en/concrete-beam-created-with-3d-printing/>
- Ortega, A. J. (s. f.). Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D.
- Rael, R. & Fratello, S. V. (2018, 1 mayo). Printing Architecture: Innovative Recipes for 3D Printing (Ilustrado.). Princeton Architectural Press.
- Toirac Corral, J. (2009, 1 diciembre). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. Ciencia y Sociedad, 34(4), 463-504. <https://doi.org/10.22206/cys.2009.v34i4.pp463-504>
- Wangler, T., Flatt, R. & Lloret, E. (2016, 31 octubre). View of Digital Concrete: Opportunities and Challenges. Rilem Technical Letters. Recuperado 22 de septiembre de 2022, de <https://letters.rilem.net/index.php/rilem/article/view/16/18>

## **Estudio para la incorporación de sistemas estructurales reutilizables en la vivienda de emergencia chilena.**

**Estudiante:** Camila Garcés Orellana

**Profesor guía:** Cristian Muñoz Díaz

### **Resumen**

La vivienda de emergencia es una medida transitoria para aquellas familias damnificadas tras una catástrofe, hoy en día en Chile no existe un plan oficial que se preocupe de la reutilización o reciclaje de los materiales utilizados en este tipo de edificaciones. A raíz de esto, se propone incorporar sistemas estructurales reutilizables, permitiendo que estas construcciones sean el primer paso hacia una vivienda definitiva. Para realizar la investigación se acudió a información bibliográfica, con el objetivo de definir las características materiales de la vivienda de emergencia chilena, y aquellos aspectos que permite que una vivienda pueda ser reutilizada. A partir de esta información se llevo a cabo una pauta de evaluación donde se compararon distintos ejemplos de viviendas reutilizables. Finalmente se concluyó que aquellos sistemas que cuentan con uniones apernadas y que tienen la capacidad de ser trasportado fácilmente, son los óptimos para ser reutilizados.

**Palabras Clave:** Vivienda de emergencia, Sistemas estructurales, Reutilización, Vivienda Definitiva.

## 1. Introducción

La vivienda de emergencia chilena se origina en 1958 desde el departamento de Obras y Viviendas Populares de la fundación Hogar de Cristo, como una solución industrializada a las condiciones deplorables en las que vivían las personas sin techo (Concha, 2018). Desde entonces, este tipo de solución prefabricada e industrializada ha sido utilizada mayoritariamente como respuesta tras una catástrofe natural o antrópica que hay dejado a las familias damnificadas con una pérdida parcial o total de sus viviendas, y necesiten de un refugio mientras puedan tener acceso a una vivienda definitiva (Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior y Seguridad Pública [ONEMI], 2017). Debido al carácter transitorio de estas viviendas, la cantidad de recursos proporcionados por el estado es limitada, lo que implica que en muchos casos las familias opten por realizar cambios y mejoras a la edificación para adecuarla a sus necesidades (Wagemann, 2016).

Una vez que las familias tienen acceso a una vivienda definitiva, las viviendas de emergencia son desmanteladas (ONEMI, 2017), y hoy en día no existe un plan oficial que se preocupe del reciclaje o la reutilización de aquellos materiales que fueron utilizados en esta. Si bien ONEMI ha presentado la propuesta de explorar alternativas de viviendas que tengan la posibilidad de evolucionar y progresar en el tiempo, esto aun no ha sido implementado de forma sistemática. (ONEMI, 2017).

En la actualidad, está cada vez más presente la sustentabilidad dentro del área de la construcción, tratando de hacer edificios menos contaminantes y reducir al máximo la cantidad de desechos que estos producen, por lo que, es fundamental gestionar los recursos materiales de manera que estos puedan ser duraderos en el tiempo. El autor Ian Davis (1980), plantea la importancia de ver la vivienda de emergencia no solo como un objeto o un fin, sino como un proceso, donde es fundamental que su estructura sea muy sólida, ya que inevitablemente esta será la base para que la vivienda evolucione en el tiempo para cumplir las necesidades de quienes las habiten.

A partir de esto se plantea la posibilidad de implementar sistemas estructurales reutilizables en las viviendas de emergencia, sumándose a las investigaciones anteriormente realizadas por autores como Matías Rojas, en la cual se evalúa la pertinencia de la reutilización de los componentes de las viviendas de emergencia en Chile en una vivienda adecuada (Rojas, 2021). Se espera que esto posibilite un mejor aprovechamiento de los recursos invertidos por las familias y el estado, pudiendo ser la vivienda transitoria un primer paso para la vivienda definitiva, y a su vez disminuir la cantidad de desechos producidos por estas una vez que ya no son ocupadas para su función inicial.

En esta investigación se determinará la factibilidad de implementar este tipo de tecnologías en Chile, teniendo como propósito responder la pregunta: ¿Qué características constructivas debe tener un sistema estructural para que luego de su uso en la vivienda de emergencia sea reutilizable en la vivienda definitiva?

## 2. Antecedentes

### 2.1. Vivienda de emergencia

El concepto de vivienda de emergencia o vivienda transitoria se utiliza a nivel internacional para describir a aquellas edificaciones que buscan brindar cobijo a un grupo familiar tras una catástrofe. Las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO) definen el concepto de un refugio transitorio como:

*“Un sistema de alojamiento con carácter transitorio que suple de una manera rápida y eficiente, mediante la adecuada aplicación de materiales y tecnologías, las necesidades primarias de hábitat a grupos numerosos de personas desplazadas por desastres naturales o conflictos sociales y políticos” (UNDRO, 1984).*

A su vez, en el contexto chileno la ONEMI la define como una *“solución en el corto plazo y de forma temporal al problema de habitabilidad de una o más personas a raíz de un evento catastrófico que inhabilita su hogar.”* (ONEMI, 2017), Esta organización también ha determinado los requerimientos técnicos que debe cumplir una vivienda de emergencia, en el texto: *“Requerimientos técnicos mínimos vivienda de emergencia”* (2017). En este se especifican los estándares mínimos de una vivienda de emergencia de 24m<sup>2</sup> en base a paneles prefabricados, contemplando el tipo de fundaciones, calidad mínima de la materialidad estructural, resistencia mínima al fuego, aislación térmica, entre otros. A su vez, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) la define como *“El refugio provisorio del núcleo familiar, posterior a una catástrofe o evento que obligue a abandonar su centro de residencia habitual”* (MOP, 2014).

Otros autores como Gordillo (2004) ha concebido la vivienda de emergencia como un proceso social-económico-técnico definiéndola como:

*“Un hábitat estructurante de nuevos tejidos sociales que permite sobrellevar la supervivencia substituye transitoriamente ciertas necesidades y protege de los rigores externos mediante el desempeño de ciertas funciones básicas relacionadas con la protección contra agentes climáticos, el almacenamiento y protección de bienes, la seguridad emocional y la satisfacción de intimidad” (Gordillo, 2004).*

A partir de estas definiciones podemos comprender la vivienda de emergencia como aquella solución transitoria entregada por el Estado, o alguna organización no gubernamental y sin fines de lucro, a raíz de la imposibilidad de habitar una vivienda definitiva debido a una catástrofe. A su vez, esta debe contar con estándares mínimos de protección contra la intemperie, proporcionar seguridad a las familias, estar ubicada a una distancia pertinente de bienes y servicios, debe tener una capacidad suficiente para los distintos grupos familiares, el sistema de montaje debe ser fácil y rápido, esta debe tener un carácter económico, y debe estar hecha de materiales que cuenten con suficiente oferta para dar abasto a la demanda, la cual es variable todos los años.

## 2.2. Origen y contexto nacional

Uno de los primeros indicios de viviendas de emergencia en Chile ocurrió en 1835 tras el terremoto que azotó la ciudad de Concepción. Fue la misma comunidad la que se organizó para dotar a las familias más afectadas de una vivienda temporal sin mayor organización desde un organismo estatal o alguna organización (Wagemann, 2012).

En 1958 el sacerdote Josse van der Rest desde el Departamento de Obras y Viviendas Populares del Hogar de Cristo, diseña la primera vivienda de emergencia en Chile pensada para ser industrializada, las llamadas “mediaguas”, esta nace como una respuesta a las numerosas tomas de terreno donde la población vivía en condiciones deplorables. El objetivo era crear viviendas con una construcción liviana y que pudieran ser trasladadas fácilmente para poder ser entregadas a las familias sin techo que llegaban a vivir a las tomas de terreno. Durante el mismo año se crea la Fundación Vivienda, la cual corresponde a un ente independiente del Hogar de Cristo, con la finalidad de otorgar una solución habitacional transitoria a las familias más necesitadas. Esta fundación se encarga de la gestión del proyecto, su diseño, la obtención de subsidios para poder desarrollarlo, asesoría técnica y la construcción de la vivienda, además de hacer una capacitación a las familias en cuanto al mantenimiento de las viviendas. En 1997 nace la organización TECHO-Chile, que fue expandiéndose por Latinoamérica y el Caribe con el propósito de ayudar a las personas a superar la pobreza entregándoles una vivienda más digna, respondiendo a la demanda tras desastres naturales o antrópicos (Concha, 2018).

Tras el terremoto del 2010 quedó en evidencia las falencias de las viviendas de emergencia por lo que la ONEMI debió implementar un estándar de calidad base para que las distintas empresas que brindan este producto contaran con estándares que aseguren una buena habitabilidad. En 2018 la ONEMI conformó una mesa de trabajo técnica junto a distintas organizaciones (MINVU, Ministerio del Desarrollo Social, CIGIDEN, CITRID, Fundación Vivienda, TECHO-Chile, Tectopanel S.A. y Térmica S.A.) con el fin de abordar el tema de la habitabilidad transitoria, revisando la situación actual, identificando las debilidades y mejoras a lo ya construido y planteando nuevas ideas para mejorar la situación de emergencia. A partir de esta mesa de trabajo se publicó un documento con el título *“Habitabilidad Transitoria en Desastres en Chile: Experiencia en el periodo 2014 – 2017”* (ONEMI, 2018). En el cual se reconoce que el valor económico de las viviendas de emergencia ha aumentado con los años, debido a las mejoras que se le han incorporado y al aumento de durabilidad del inmueble, debido al tiempo que la familia debe esperar a tener una solución definitiva. A pesar de estas mejoras la vivienda mantiene su transitoriedad, ya que estas no cumplen con las normas de habitabilidad establecidas por el MINVU para el caso de una vivienda definitiva. Por otro lado, se propone explorar alternativas de construcciones evolutivas o progresivas, para ser aplicadas en aquellos casos donde la vivienda de emergencia se instale en el terreno del damnificado.

### **2.3. Aldea de emergencia**

Actualmente, en el caso de que no sea posible construir en el terreno de las familias damnificadas, ya sea porque este se encuentra en zona de riesgo o con tenencia irregular, las viviendas de emergencia son situadas en aldeas de emergencia. Estas corresponden a agrupaciones de viviendas transitorias ubicadas en un terreno de propiedad del Estado, y tienen el objetivo de cumplir con los estándares de accesibilidad a servicios básicos de urbanización, como redes eléctricas, suministros de agua potable, transporte básico, entre otros (ONEMI, 2018).

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) dispuso de un manual de recomendaciones para el desarrollo de este tipo de asentamiento llamado *“Lineamientos Básicos para Asentamientos de Emergencia”* (2010), en el cual se denominan a las agrupaciones de emergencia como aquellas que cuentan con 10 a 14 viviendas y deben cumplir con acceso a servicios básicos y estar situadas en suelos de buenas condiciones (Carrié De la Puente, 2017).

En el caso de que se quisieran reutilizar las viviendas de emergencia, se debe tener en consideración que estas deberían eventualmente ser trasladadas al lugar donde será construida la vivienda definitiva de la familia damnificada. Por esto, la variable del traslado es considerada al momento de desarrollar la investigación.

### **2.4. Fin de ciclo de vida de la vivienda de emergencia**

Según ONEMI *“Una vez que el damnificado recibe su vivienda definitiva termina con ello el ciclo de habitabilidad transitoria. Previo a esto, puede ocurrir el desarme y desmantelamiento del conjunto de viviendas de emergencias.”* (ONEMI, 2018). Una vez llegado este punto, no existe más información sobre que sucede con los desechos de aquellas viviendas que ya no son utilizadas.

A raíz de la investigación de Rojas, la cual consiste en una evaluación del ciclo de vida de los materiales que componen la vivienda de emergencia y la posibilidad de reutilizarlos en una vivienda definitiva (Rojas, 2021), se llega a la conclusión de que el reutilizar estos materiales es sumamente importante, desde una perspectiva material, ecológica, económica y simbólica para las familias. El poder darles otra vida útil puede significar un gran avance en las políticas de construcción de emergencia en Chile.

Sin embargo, el desarme de este tipo de viviendas conlleva un malogro en las condiciones de los materiales, al no tener contemplado actualmente la posibilidad de su reutilización, haciendo necesaria su mantención, significando un mayor gasto de recursos y dificultando el proceso. En la investigación previamente mencionada, se determina que el 60% de los materiales requerirían de algún tipo de mantenimiento en caso de que estos quisieran ser reutilizados (Rojas, 2021).

## **2.5. Sistema estructural**

Se acudió a la Normativa sísmica chilena (Nch 433) para la definición de un sistema estructural, el cual corresponde a la organización de los elementos estructurales para lograr la transmisión de las fuerzas desde el punto en el que estas se aplican a los elementos resistentes hasta el suelo de fundaciones, este traspaso de fuerzas debe hacerse de la forma más directa posible, a través de elementos que cuenten con la resistencia y la rigidez adecuada. A su vez la normativa divide estos sistemas estructurales en otras categorías, sistemas de muros y otros sistemas arriostrados, sistemas de pórticos y sistemas mixtos, este último corresponde la combinación de los primeros dos (Nch 433, 1999).

## **2.6. Sistemas estructurales reutilizables**

Los sistemas estructurales también pueden tener la característica de ser reutilizables, los cuales son aquellos que permiten la reutilización total o parcial de este, permitiendo que el edificio pueda ser trasladado o desarmado para formar parte de otra edificación, estos tipos de sistemas se comprenden como un flujo de reutilización cíclica a través de los procesos de diseño, fabricación, construcción, mantenimiento, desmontaje y almacenamiento (Fujita, 2012). En este tipo de sistemas la simplicidad es clave para una mayor eficiencia, al crear un sistema estructural de baja complejidad se vuelve más fácil el entendimiento de este y a su vez su adaptabilidad, algunos ejemplos de esto es la utilización de elementos modulares, la repetición de grillas estandarizadas o generar espacios de concepto abierto, que permitan una organización programática a gusto del usuario. Por otro lado, se prioriza la utilización de uniones mecánicas entre los distintos elementos del sistema, las cuales facilitan el desmontaje de las partes, a diferencia de los adhesivos (Ross, 2016).

Por otro lado, es fundamental que al definir el sistema estructural que se empleará en la edificación reutilizable se tenga en consideración la escala del edificio y el uso programático de este, con el fin de poder adaptarse de forma adecuada a los distintos requerimientos que pueden existir durante su vida útil, permitiendo la flexibilidad del espacio (Boyle, 2011).

## **2.7. Diseño para el desmontaje**

El concepto diseño para el desmontaje, o mejor conocido en inglés como Design for Disassembly (DfD), nace a partir de la consideración en la relación entre el ciclo de vida de un producto y el impacto ambiental que este puede causar, y tiene la intención de maximizar la conservación de los materiales de una edificación y diseñar edificios que puedan ser adaptables, evitando la demolición de estos, y desmontables, para que en el caso de que sea necesario su demolición, los materiales puedan ser reutilizados en otro edificio (Guy, Ciarimboli, 2005). Por lo general en este tipo de edificaciones se evitan las grandes perforaciones de materiales o la utilización de adhesivos entre ellos, que pudiera dificultar la reutilización de los elementos en un futuro proyecto (Ross, 2016).



### **3. Métodos**

La presente investigación tiene como finalidad determinar las características constructivas que debe cumplir un sistema estructural para que luego de su uso en la vivienda de emergencia sean reutilizables en una vivienda definitiva. Para realizar esta investigación se acudió a material bibliográfico del cual se recopiló información cuantitativa y cualitativa, a partir de esta se definieron métodos de evaluación y comparación para desarrollar una discriminación entre distintos sistemas estructurales.

En primer lugar, se revisaron fuentes secundarias y documentos oficiales los cuales definen los parámetros y estándares que debe cumplir la vivienda de emergencia en Chile, profundizando en las características estructurales de este tipo de edificación. Esto con el fin de identificar qué condiciones mínimas deben cumplir los sistemas estructurales que se quieran implementar. La información se extrajo de documentos realizados por el estado, por organismos gubernamentales como ONEMI y MINVU. A su vez se identificaron aquellas normativas que debe cumplir un sistema estructural para una vivienda definitiva, comprendiendo que este es un factor fundamental para permitir que una vivienda de emergencia pueda ser la base de una vivienda definitiva.

En segunda instancia, se realizó un estado del arte a partir de estructuras reutilizables, donde se identificó cuáles son las principales características que permiten que estos sistemas puedan reutilizarse y se realizó una primera aproximación a los que podrían ser potencialmente incorporados en la vivienda de emergencia chilena. Los ejemplos seleccionados para realizar el estado del arte fueron aquellos que tenían similitudes con las viviendas de emergencia utilizadas actualmente en Chile, ya sea por su tipo de materialidad o su estructura, y se utilizaron solo aquellos que cumplen con la normativa expuesta en la primera etapa.

En tercer lugar, se desarrolló una pauta que evalúa los distintos elementos que componen un sistema estructural, y se definió un puntaje a partir de la bibliografía obtenida en el estado del arte, donde se mide cual es la posibilidad de reutilización de cada uno de los elementos.

Finalmente, se realizó un análisis comparativo entre los distintos ejemplos presentados en el estado del arte, utilizando las pautas de evaluación elaborada, con el fin de identificar las fortalezas y debilidades de cada uno. Considerando las limitaciones de una investigación de seminario, el análisis se realizó fue con un número acotado de ejemplos.

### **4. Resultados**

#### **4.1. Estado actual de la vivienda de emergencia**

En primera instancia y con el objetivo de entender a cabalidad la situación material de las viviendas de emergencia en Chile, se realiza un análisis sobre el tipo de materialidad y sistema constructivo con el que se llevan a cabo estas edificaciones. Para ello, se estudiarán

los casos certificados e implementados por el estado, los cuales fueron presentados en el texto “Habitabilidad Transitoria en Desastres en Chile: Experiencia en el período 2014 – 2017” desarrollado por la ONEMI, los cuales son casos representativos para entender el estándar de calidad con el que cuentan las viviendas en el periodo analizado en el texto.

### **Vivienda de emergencia OSB tipo 1.**

- Año de diseño: 2014
- Superficie total: 18 a 19,5 m<sup>2</sup>
- Capacidad: 4 personas
- La vivienda cuenta con un solo espacio unitario, sus cimientos se componen a partir de poyos de madera impregnada de 4” a 5” de diámetro, el piso está hecho de paneles de terciado estructural de 15 mm de espesor, y los muros son de paneles prefabricados de OSB. Cuenta con ventanas de aluminio de 1x1 metro y una puesta placa de 0,9x2 metros. Para su montaje son requeridas 4 a 6 personas y un tiempo de 2 días. Su durabilidad está pensada para un mínimo de 3 años. Los paneles son transportados hasta el sitio donde son requeridos y ahí se realiza el montaje.



**Izq. Figura 1** Vivienda de emergencia OSB tipo 1. Fuente: ONEMI 2017

**Der. Figura 2** Vivienda de emergencia Smart panel tipo 1. Fuente: ONEMI 2017

### **Vivienda de emergencia Smart panel tipo 1.**

- Año de diseño: 2015
- Superficie total: 18 m<sup>2</sup>
- Capacidad: 4 personas
- La vivienda cuenta con un solo espacio unitario, sus cimientos son de rollizos de madera impregnada de 7” a 8” de diámetro, el piso está hecho de una estructura de madera con placas de OSB o paneles de terciado estructural, y los muros pueden estar hechos a partir de paneles SIP o paneles ISOPOL, entre otros. Cuenta con 2 ventanas de aluminio o PVC de 1x1 metro. Para su montaje se requiere de 4 personas y un tiempo de 3 días. Su durabilidad está pensada para un mínimo de 5 años.



Figura 3 Vivienda de emergencia Smart panel tipo 2. Fuente ONEMI 2017

### **Vivienda de emergencia Smart panel tipo 2.**

- Año de diseño: 2015
- Superficie total: 24 m<sup>2</sup>
- Capacidad: 4 a 6 personas
- La vivienda cuenta con un solo espacio unitario, sus cimientos son de rollizos impregnados de 7" a 8" de diámetro, el piso está hecho de una estructura de madera con placas de OSB o paneles de terciado estructural y los muros pueden estar hechos a partir de paneles SIP o paneles ISOPOL, entre otros. Cuenta con 2 ventanas de aluminio o PVC y 1x1 metro. Para su montaje se requiere de 4 personas y un tiempo de 3 días. Su durabilidad está pensada para un mínimo de 5 años.

Las tres viviendas presentadas anteriormente cuentan con un sistema estructural a base de muros de paneles SIP, los cuales son unidos entre ellos utilizando tornillos y/o clavos, este sistema tiene el beneficio de ser de fácil armado y una mano de obra reducida, además de poder adaptarse al terreno en el que se coloca al estar apoyado sobre pilotes. Sin embargo, este tipo de unión implica una desmejora tanto del material que compone el muro como del tornillo o clavo en sí, en el caso de que la vivienda quiera ser desmantelada para su reutilización, dificultando la posibilidad de mantener su calidad inicial (Rojas, 2021) (Ross, 2016).

Con respecto al tipo de transporte que se utiliza para llevar los materiales al sitio en el que la vivienda será habitada, en la guía práctica para la vivienda de emergencia desarrollada por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) en 2014, se recomienda que aquellas viviendas que estén conformadas por sistemas de muros SIP o Sándwich de Poliuretano, se desarrollen kits de viviendas que estén adaptadas al tipo de transporte que se vaya a utilizar, y se sugiere utilizar como base de dimensiones el de un contenedor marítimo. Estos cuentan con unas dimensiones aproximadas mínimas de 6m x 2,5m x 2,5m hasta un máximo de 12m x 2,5m x 3 m.

## 4.2. Normativa vivienda definitiva

Como fue mencionado en los antecedentes, estas viviendas expuestas anteriormente, si bien han aumentado su calidad material, aún mantienen su cualidad de viviendas transitorias, al no cumplir con los estándares mínimos exigidos por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC).

Con el fin de comprender cuales son las características estructurales que debe cumplir una vivienda de emergencia para poder ser reutilizada en la vivienda definitiva, se acude a la normativa chilena. Si bien existen varias características que debe cumplir una vivienda definitiva, como lo son resistencia contra el fuego, confort acústico, acondicionamiento térmico, entre otros, en esta investigación solo se considerarán características sísmicas, alturas mínimas y ventanas, al ser aspectos que se relacionan directamente con características estructurales.

**Tabla 1:** Condiciones espacios habitables y no habitables.

<b>Normativas</b>	<b>Espacio habitable</b>	<b>Espacio no habitable</b>
Altura mínima (art. 4.1.11)	2,30 mts. de piso a cielo obra terminada. Salvo bajo pasadas de vigas o instalaciones, donde la altura mínima debe ser de 2 mts.	2,30 mts de piso a cielo obra terminada. Salvo bajo pasadas de vigas o instalaciones, donde la altura mínima debe ser de 2 mts.
Ventanas (art. 4.1.3)	Debe tener una ventana que permita la entrada y luz del exterior, con una distancia mínima libre horizontal de 1,5 mts.	Puede prescindir de la presencia de ventanas, siempre y cuando cuente con ventilación artificial.

Según la Normativa, se considera espacio habitable dentro de una vivienda a las habitaciones, comedores, salas de estar y oficinas. Mientras los espacios no habitables corresponden a los baños, cocinas, sala de vestir, lavaderos y pasillos (OGUC, 2020)

A su vez, debido a la naturaleza sísmica de Chile, toda estructura construida en el territorio debe cumplir con resistencia sísmica, la cual corresponde a la capacidad de resistir un empuje horizontal. esta varía dependiendo de la zona sísmica, el peso, la importancia el tipo de suelo, el sistema estructural y el material que lo compone (Nch. 433, 2012)

Estas condiciones implican que aquel sistema estructural reutilizable que se quiera evaluar para su implementación en la vivienda de emergencia debe estar capacitado para cumplir con estas alturas mínimas, debe permitir la abertura de vanos y debe ser resistente al sismo. Estos factores fueron considerados al momento de elegir los casos de estudio que se presentan en el estado del arte.

### 4.3. Principios y estrategias para una estructura reutilizable

A continuación, se presentarán aquellos conceptos que son fundamentales para definir una estructura como reutilizable, para posteriormente llevar a cabo una revisión de distintos casos, tanto extranjeros como nacionales, donde los sistemas estructurales y sus materialidades sean un aporte a la investigación, ya sea por su fabricación, la posibilidad de reutilización o su adaptabilidad en el tiempo.

En el guía de diseño para el desmontaje de Guy y Ciarimboli (2005), se definen principios claves y estrategias que permiten que una edificación pueda ser desmontada y reutilizada, los principales, y aquellos que son más atingentes a esta investigación, son los siguientes:

- **Selección de materiales:** Los materiales que sean elegidos para desarrollar el edificio deben tener en consideración los impactos que puedan sufrir a lo largo de su vida útil, sobre todo en las zonas donde se realiza el encuentro entre elementos y sus conexiones, deben contar con una alta calidad que les permita mantener su valor inicial, y que sea factible su reutilización o reciclaje.
- **Diseñar conexiones que sean accesibles:** Las conexiones deben poder ser accesibles ergonómica y visualmente, esto incrementará la eficiencia de su montaje y desmontaje y evitará la necesidad de utilizar equipamiento especializado o medidas de seguridad excesivas para la mano de obra.
- **Minimizar o eliminar conexiones químicas:** Las conexiones que utilizan adhesivos entre materiales y elementos constructivos dificultan la separación entre estos, y dependiendo del tipo de adhesivo, también pueden impedir el reciclaje.
- **Priorizar uniones atornilladas, apernadas o clavadas:** Además de ser uniones que permiten la eventual separación entre los materiales, estas también vienen en su mayoría con tamaños y formas estandarizadas, lo cual permite la construcción de la vivienda sin necesidad de contar con un número elevado de herramientas. A su vez, se debe mantener una selección limitada del tipo de uniones que se utilizarán, para hacer más eficiente su construcción y desmontaje. También, se debe tener en cuenta que estas uniones estén preparadas para soportar múltiples ensamblajes, sin perder su calidad.
- **Diseñar teniendo en consideración a la mano de obra:** Al utilizar componentes que tenga una escala humana y tipos de conexiones que sean fáciles de realizar, la intensidad del trabajo se verá reducida, lo cual permitirá una construcción más expedita y habilitará la incorporación de trabajadores con distintos niveles de habilidad.
- **Simplicidad en la estructura y su forma:** Sistemas estructurales simples, que logren cubrir luces amplias y que cuenten con dimensiones y grillas estandarizadas, facilitarán la construcción y el desmontaje del edificio.
- **Intercambiabilidad:** Al priorizar el uso de materiales y sistemas que cuenten con principios de modularidad, independencia y estandarización será más fácil intercambiar distintas piezas y elementos, lo que facilitará la reutilización.

- **Minimizar la cantidad de materiales:** Esto reduce la complejidad en los procesos de construcción y separación de los elementos.
- **Separar la estructura del revestimiento y las separaciones interiores:** Esto permite aumentar la adaptabilidad del edificio, al poder variar la disposición programática del edificio sin comprometerlo estructuralmente.

A su vez, existen otros aspectos a tener en consideración para poder garantizar la reutilización de un edificio, uno de estos corresponde a la **factibilidad de su montaje**, lo cual se relaciona con uno de los principios mencionados anteriormente, el cual se refería al diseño de las partes considerando el tipo de mano de obra. Para que un edificio pueda ser reutilizable, este debe garantizar su montaje y desmontaje en un periodo de tiempo reducido, permitiendo que este pueda ser trasladado de un lado a otro de forma expedita (Boeri, Giglio, 2020).

En el caso de la **transportabilidad**, los elementos que conformen la edificación deben poder ser transportados en kits que no superen las medidas de un contenedor marítimo, como es sugerido por el MOP, la variable del transporte es crucial para la reutilización de los elementos, es por esto que al momento de elegir los materiales que compondrán la vivienda también se debe tener en consideración el tamaño, el peso y la resistencia de estos (Boeri, Giglio, 2020).

Con el fin de generar un filtro en las cosas a revisar, se presentarán solo aquellos que hayan sido construidos y que cuenten con un estándar similar o superior a las viviendas de emergencia que se utilizan hoy en día en Chile. A su vez, con el propósito de ordenar los distintos sistemas que se presentarán, estos serán divididos según la clasificación definida por la Normativa sísmica chilena, la cual comprende tres grupos: 1. Sistemas estructurales de muros y otros sistemas arriostrados, 2. Sistemas estructurales de pórticos, y 3. Sistemas mixtos.

En el caso de las materialidades que componen los sistemas que serán analizados, estas se limitarán al acero y la madera, ya que, si bien existen edificaciones reutilizables que cuentan con una estructura de hormigón o albañilería, el peso de este tipo de materiales dificulta su transporte en grandes cantidades.

#### **4.4. Estado del arte**

A partir de una revisión bibliográfica, se eligieron los siguientes casos de estudio para poder ser aplicados a la pauta de evaluación, estos casos se eligieron teniendo en consideración el tipo de estructuras que son utilizadas actualmente en Chile para desarrollar la vivienda de emergencia, esperando que al tener similitudes con estas pueda ser más sencilla su aplicación.

Los ejemplos que se presentarán a continuación corresponden a sistemas de muros o de pórticos arriostrados, los cuales resisten las cargas sísmicas a través de elementos que trabajan principalmente de forma axial (Nch 433, 2012). Hoy en día este es el tipo de sistema

utilizado para realizar la vivienda de emergencia en Chile, sin embargo, el diseño empleado en este tipo de edificaciones no contempla una futura reutilización de los recursos, por lo que, al querer desmontarlas, los materiales pueden sufrir daños y perder su calidad inicial (Rojas, 2021).

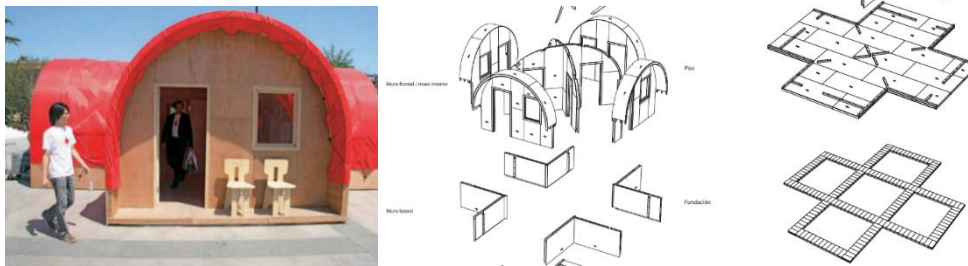
Con el fin de organizar los distintos ejemplos que se presentarán a continuación, cada uno de estos será separado en los distintos elementos que conforman su estructura: vínculo con el suelo, elementos horizontales, elementos verticales, elementos de rigidización, cubierta y tipo de unión entre los elementos. Además, se señalarán aspectos como: separación entre cerramientos y estructura, el tiempo en obra, el tipo de transporte necesario y su capacidad de desarme. Serán estos mismos aspectos los que después se evaluarán en la pauta.

### **Casa + Roja, vivienda de emergencia, Beijing, China / Arquitectos Pablo Castro y Jennifer Lee.**

- **Vínculo con el suelo:** Si bien en este caso no hay suficiente información para entender el tipo de fundación utilizado, la figura 5 corresponde a un esquema realizado por los autores, en el que se muestra la forma que tiene este elemento. A partir de este se puede inferir que las fundaciones están compuestas de elementos de baja altura dispuestos uno al lado del otro cubriendo el perímetro en el que se disponen elementos horizontales y verticales, prescindiendo de excavaciones en el suelo.
- **Elementos horizontales:** El piso de la vivienda está compuesto por placas prefabricada digitalmente de bambú, al igual que el resto de los materiales empleados en la estructura, estas placas, según los autores, pueden ser cambiadas por algún otro material que sea más accesible en el caso que sea muy costoso poder utilizar este en el país en el que se quiera implementar el diseño.
- **Elementos verticales:** Al igual que en el caso de los elementos horizontales, los muros que componen la vivienda están prefabricados digitalmente, estos elementos están compuestos también por placas de bambú, las cuales se soportan por una trama de madera cual deja un espacio entre cada placa para poder poner aislante térmico. El diseño cuenta con tres tipologías de muro: muro frontal, muro lateral y muro interior (Figura 5). Por otro lado, los autores aseguran que el diseño corresponde a una obra abierta, permite una fácil recombinación con otras posibles estructuras locales (Castro y Lee, 2011).
- **Elementos de rigidización:** En este caso el elemento que realiza la rigidización en el edificio corresponde a las placas de bambú que componen el muro prefabricado.
- **Cubierta:** La cubierta está compuesta de esbeltas secciones de bambú que, al ponerse en tensión, forman una bóveda, sobre esta se coloca una lona de nylon impermeable, esta lógica de cubierta está inspirada en la yurta, la cual funde los planos de cubierta y muro, generando una sola superficie curva y continua.
- **Tipo de unión entre elementos:** Los elementos que componen esta vivienda están unidos a partir de un sistema de machihembrado que funciona a fricción, reforzado con un uso mínimo de herrajes, esto permite el montaje y desmontaje de las partes

sin comprometer la integridad y calidad de los materiales. A su vez la lona de la cubierta se une al resto del sistema utilizando arandelas de PVC reforzado que también pueden ser reutilizadas.

- **Separación entre cerramiento y estructura:** En este caso la parte estructural compuesta por muros es a su vez el cerramiento de la vivienda, mientras que en la cubierta estos dos elementos se encuentran separados y pueden ser independientes entre ellos, sin embargo, la estructura de la cubierta depende de los muros para mantener su forma de arco, por lo que no es posible realizar modificaciones significativas en el sistema sin comprometerlo estructuralmente.
- **Tiempo en obra:** Al estar compuesto en su totalidad de piezas prefabricadas, es posible realizar la construcción en un tiempo reducido, y sin necesidad de mano de obra especializada, ya que todas sus uniones son de fácil ensamble.
- **Transportabilidad:** En este caso, todas las piezas pueden ser colapsadas y transportadas sin mayor inconveniente, y al no tener piezas de gran tamaño o peso, no es necesario el uso de maquinaria especializada para esta tarea.
- **Capacidad de desarme:** Al estar compuesto de piezas que funcionan por encaje y reforzadas por piezas metálicas como pernos, es posible desarmar la edificación sin dañar los elementos que la componen, y poder reutilizar todas las piezas, incluyendo los herrajes.



Izq. Figura 4 Casa + Roja. Fuente: Castro y Lee, (2011) Casa+ Roja.

Der. Figura 5 Axonométrica explotada Casa + Roja. Fuente: Castro y Lee, (2011) Casa+ Roja.

### Vivienda de emergencia definitiva (VED) / John Saffery Gubbins 2013

- **Vínculo con el suelo:** La edificación se vincula al suelo por medio de pilotes de madera de pino impregnada.
- **Elementos Horizontales:** El piso tanto del primer como del segundo nivel están compuestos por un entramado de madera y placas de OSB.
- **Elementos verticales:** La estructura de la vivienda está compuesta por un entramado de madera modulado, el cual permite su adaptabilidad y modificación en el tiempo tanto interior como exteriormente.
- **Elementos de rigidización:** En este caso la estructura esta rigidizada por paneles de OSB, el autor tomó este factor en consideración y moduló la estructura a partir de las



medidas de este material (2,44 m de alto), reduciendo la pérdida de material por recorte.

- **Cubierta:** Esta también está compuesta de un entramado de madera y placas de OSB.
- **Tipo de unión entre elementos:** En este caso los elementos están unidos con clavos los que, si bien no causan tanto impacto en los materiales como lo haría una unión utilizando adhesivos, no es un tipo de unión reutilizable, debido al impacto que sufre el clavo al momento de ser removido, y que en algunos casos también puede dañar la madera.
- **Separación entre cerramiento y estructura:** Este ejemplo cuenta con cerramientos de paneles SIP, los cuales pueden ser desmontados de la trama estructural y ser reutilizados sin necesidad de desarmar gran parte de la estructura, esto facilita su adaptabilidad en el tiempo.
- **Tiempo en obra:** El montaje se realizó en un día y medio, al estar compuesto de elementos prefabricados.
- **Transportabilidad:** Al estar compuesto por elementos livianos y de un tamaño similar a las viviendas de emergencia utilizadas actualmente, este diseño no presenta mayores dificultades para realizar su traslado al sitio de obra.
- **Capacidad de desarme:** Si bien el cerramiento está diseñado para poder ser desmontado y reutilizado, el resto de la estructura no cuenta con esta misma capacidad, al contar con uniones que no aseguran que los materiales mantendrán su calidad inicial al momento de ser separados.



Izq. **Figura 6** Vivienda de emergencia definitiva. Fuente: Omar Faúndes (2013)

Der. **Figura 7** Interior Vivienda de emergencia definitiva. Fuente: Omar Faúndes (2013)

#### **Marie Short House / Glenn Murcutt 1974**

- **Vínculo con el suelo:** La edificación se vincula al suelo por medio de pilotes de madera los cuales están unidos a fundaciones de hormigón por medio de una pieza metálica, esto implica que, si bien los pilotes pueden ser reutilizados, las fundaciones no, por lo que sería necesario hacer nuevas fundaciones en el caso de que se quiera trasladar la vivienda.
- **Elementos verticales:** la estructura está compuesta por pilares de madera de Oregón dispuestos según una retícula de 3,20 m. entre ejes (Millán et al., 2010).

- **Elementos de rigidización:** Para la rigidización de la estructura se utilizan tensores de acero, minimizando la cantidad de material.
- **Cubierta:** La estructura de cubierta está compuesta de cerchas, lo que permite mayor amplitud en los espacios interiores tanto horizontal como verticalmente.
- **Tipo de unión entre elementos:** Los elementos están unidos por pernos, lo que permita el desarme y la reutilización de los distintos componentes, en 1980 se realizó una ampliación a la vivienda, donde se extendió el largo de los pabellones que componen la vivienda, y fue posible reutilizar la totalidad de las piezas que fueron desmontadas en un principio.
- **Separación entre cerramiento y estructura:** Para la envolvente se utilizaron materiales livianos, que pueden ser separados de la estructura y reutilizados, al estar sobrepuestos en la estructura, prescindiendo de uniones adhesivas y utilizando un mínimo de fijaciones metálicas.
- **Tiempo de obra:** se desconoce el tiempo exacto que demoró la construcción, pero debido al nivel de detalle y a la cantidad de materiales empleados en la obra se infiere que esta tardó varios meses
- **Transportabilidad:** Gracias al uso de materiales ligeros y que no cuentan un gran tamaño, es posible transportar estos elementos sin necesidad de maquinaria especializada. Sin embargo, algunos elementos que componen la vivienda (como grandes ventanales) requieren de mayor cuidado en su transporte para evitar que sufran algún daño.
- **Capacidad de desarme:** El edificio es totalmente desarmable, esta función estaba pensada en su diseño original, por lo que es posible desarmar por completo el edificio, trasladarlo y volver a construirlo en otro lugar (Guy y Ciarimboli, 2005).



**Figura 8** Marie Short House. Fuente: Guy y Ciarimboli (2005)

### **Viviendas de emergencia de Shigeru Ban 1995**

- **Vínculo con el suelo:** La base de la casa está hecha en base a cajas de cerveza rellenas con sacos de arena, lo que le da estabilidad y peso utilizando materiales de bajo costo y reutilizados.
- **Elementos horizontales:** El piso de la vivienda está compuesto por un entramado de madera y sobre este se colocan placas de madera similares al OSB.

- **Elementos verticales:** los muros están compuestos por una secuencia de elementos verticales, los cuales corresponde a tubos de cartón que fueron procesados para resistir la humedad y el fuego.
- **Elementos de rigidización:** en este caso los muros no requieren de elementos de rigidización, pudiendo prescindir de este elemento.
- **Cubierta:** La cubierta está compuesta por cerchas de los mismos rollos de cartón utilizados para los muros, cada uno de los tubos que componen la cubierta se une al resto por medio de una pieza de madera, la cual permite el fácil montaje y desmontaje de esta. Sobre estas cerchas se coloca una lona impermeable.
- **Tipo de unión entre elementos:** La mayoría de los elementos están unidos entre ellos utilizando clavos, lo que significaría un deterioro en el material y las uniones si se quisiera desmontar la edificación.
- **Separación entre cerramiento y estructura:** En este caso la estructura y el cerramiento corresponden a un único elemento, por lo que, en caso de querer expandir la vivienda, sería necesario desarmar la estructura.
- **Tiempo de obra:** El tiempo de obra de esta casa es reducido, y es posible realizarlo por mano de obra que no esté especializada.
- **Transportabilidad:** gracias a la ligereza de los materiales empleados en estas viviendas, es posible transportarlos sin necesidad de requerir maquinaria especializada.
- **Capacidad de desarme:** Si bien el sistema de cubierta es desarmable gracias a la utilización de piezas de madera en sus uniones, el resto de la estructura podría sufrir daños al querer ser desarmada, debido a la utilización de clavos. A pesar de esto la vivienda puede de igual forma ser desarmada y todos sus materiales pueden ser reciclados (Travesías, 2017).



Izq. **Figura 9** Vivienda de emergencia de Shigeru Ban Fuente: Takanubo Sakuma s.f.

Der. **Figura 10** Interior de vivienda de emergencia de Shigeru Ban. Fuente: Brett Boardman s.f.

#### **4.5. Rubrica:**

En la siguiente pauta se evaluará la capacidad de desmontaje y reutilización de cada uno de los elementos analizados anteriormente, además de la capacidad de cada uno de los ejemplos presentados de ser construidos en un tiempo reducido, poder ser adaptados en el tiempo y su transportabilidad.

Cada variable tiene una puntuación del número 1 al número 3, al momento de evaluar los distintos elementos y su capacidad de desarme y su capacidad de reutilización se utilizarán los siguientes significados para cada puntaje:

##### **Capacidad de desarme**

- 1 = El elemento no puede ser desarmado
- 2 = El elemento puede ser desarmado o parcialmente desarmado, y es posible que sufra daños en el proceso
- 3 = El elemento puede ser desarmado en su totalidad

##### **Capacidad de reutilización**

- 1 = El daño recibido por el elemento vuelve inviable su reutilización
- 2 = El elemento puede ser reutilizado, pero debe pasar por un control de calidad anteriormente.
- 3 = el elemento puede ser reutilizado de manera certera.

Por otro lado, las variables de separación de cerramiento y estructura, adaptabilidad en el tiempo y transporte tiene un significado diferente para cada puntaje.

##### **Separación de cerramiento y estructura**

- 1 = La estructura y el cerramiento son un único elemento indivisible.
- 3 = La estructura y el cerramiento son dos elementos separables.

##### **Adaptabilidad en el tiempo**

- 1 = Es difícil poder modificar la vivienda en el tiempo, necesitando maquinaria o elementos específicos para poder llevar esta acción a cabo.
- 2 = Es posible la adaptabilidad en el tiempo, pero con ayuda de un grupo de personas especializado.
- 3 = es posible adaptar el edificio de forma sencilla, sin necesidad de recurrir a mano de obra especializada.

##### **Tiempo de obra:**

- 1 = Más de una semana
- 2 = Una semana
- 3 = 4 días o menos

**Transporte:**

- 1 = Se necesita de más de un vehículo para su transporte
- 2 = Se necesita de un vehículo para su transporte
- 3 = Varias viviendas pueden ser transportadas en un solo vehículo

Finalmente, Se utilizará un guion (-) cuando la información sea insuficiente para definir el puntaje.

Por otro lado, las ponderaciones asignadas a cada ítem se definen a partir de la importancia que se le daba a esta cualidad en los textos revisados y que tan influyentes eran estos para posibilitar la reutilización de la estructura. A su vez, se le dio mayor ponderación a la capacidad de adaptación del edificio en el tiempo, al ser esta la característica principal que se busca abarcar en esta investigación.

Los parámetros y diferencias en puntuaciones fueron conversados en una entrevista con el especialista André Sierra, arquitecto de la Pontificia Universidad Católica de Chile y profesor del área de tecnología.

**Tabla 2:** Pauta de evaluación.

Puntuación	Casa + Roja	VED	Marie Short House	Viviendas de emergencia de Shigeru Ban
Vínculo con el suelo x1				
Capacidad de desarme	-	3	2	3
Capacidad de reutilización	-	2	2	3
Elementos horizontales x1,5				
Capacidad de desarme	4,5	4,5	-	3
Capacidad de reutilización	4,5	3	-	3
Elementos verticales x1,5				
Capacidad de desarme	4,5	4,5	4,5	3
Capacidad de reutilización	4,5	3	4,5	3
Cubierta x1,5				
Capacidad de desarme	3	4,5	4,5	4,5
Capacidad de reutilización	4,5	3	4,5	4,5
Tipo de unión x2				
Capacidad de desarme	6	4	6	4
Capacidad de reutilización	6	1	6	4
Separación cerramiento y estructura x1	1	3	3	1
Tiempo de obra 1,5	4,5	4,5	1	4,5
Adaptabilidad en el tiempo x2,5	5	7,5	5	5
Transporte x1,5	4,5	4,5	3	4,5
Total	52,5	46	46	42

A partir de los resultados de la pauta se obtuvo que el ejemplo más adecuado para poder ser implementado como una vivienda de emergencia reutilizable corresponde a la Casa + Roja, este caso tiene aspectos valiosos como la utilización de uniones ensambladas y reforzadas, que permiten que personas sin mayor experiencia puedan hacer cambios en su vivienda ya sea utilizando el sistema original propuesto por los autores o integrando nuevos sistemas. El tipo de uniones empleadas también asegura que la calidad de los materiales se mantendrá durante los procesos de desarme y modificación de la vivienda, sin correr el riesgo de perder estos recursos.

Por otro lado, se tiene un empate entre dos de los ejemplos, siendo estos la Vivienda de Emergencia Definitiva y Marie Short House. Ambos ejemplos tienen en común el uso de entramados de madera en su estructura, los cuales son arriostrados por elementos que permiten una flexibilidad y una fácil adaptabilidad en el tiempo. A su vez, los sistemas se diferencian en el tipo de uniones que fueron empleadas, ya que en el caso de la VED sus partes son unidas por clavos, lo que dificulta la reutilización de estas partes, y podría eventualmente también dañar los elementos que están siendo unidos por este. Mientras que en el caso de Marie Short House la utilización de pernos en las uniones permite que el edificio pueda ser desarmado y reutilizado sin perder ninguna de las partes, y sin correr el riesgo de dañar alguna de las piezas en el proceso.

Si bien el ejemplo de las Viviendas de emergencia de Shigeru Ban obtuvo el puntaje más bajo, esto no implica que el sistema no pueda ser reutilizable, si se le hicieran variaciones que permitiesen que sus uniones no comprometan la integridad de los materiales, este también podría ser una solución factible, además de tener la ventaja de utilizar materiales de bajo costo y de fácil acceso.

## **5. Conclusiones**

A partir de la investigación planteada se puede concluir que existen distintos aspectos que permiten que una vivienda de emergencia pueda ser reutilizable, pero no todos estos tienen el mismo grado de importancia al momento de definir si la vivienda podrá ser reutilizada a partir de la información recopilada, se pudo concluir que los factores principales son: el tipo de unión que se emplea entre cada uno de los componentes, y la posibilidad de poder transportar sus partes. Para el caso de esta investigación se le asignó mayor valor a la posibilidad de que el sistema pueda ser adaptable en el tiempo, al ser este el punto focal de la investigación. Pero la pauta podría ser modificada dándole mayor valor a distintos aspectos según cual sea el propósito que se busque lograr.

Por otro lado, dentro de los distintos aspectos que fueron evaluados en la pauta se define gracias a la literatura expuesta que las uniones cumplen un rol fundamental al momento de permitir que un edificio pueda ser reutilizado, esto demuestra que independientemente del tipo de material que se utilice en el sistema estructural, si las uniones entre los elementos no permiten que las partes que componen el edificio mantenga su integridad cambia por completo la posibilidad de reutilización.

Debido al alcance que tiene esta investigación, se tuvo que analizar un número reducido de casos, y no pudo ser posible incluir otros aspectos que también son fundamentales al momento de definir si una vivienda puede ser definitiva o no, como lo son el confort acústico y térmico o la resistencia contra el fuego u otros aspectos que son relevantes al momento de hablar de vivienda de emergencia como lo es el factor económico. Sin embargo, se espera que esta tabla pueda ser modificada, extendida y validada para poder abarcar estos aspectos en futuras investigaciones.

## Agradecimientos

Se agradece por su contribución en esta investigación a Francis Pfenniger, docente y arquitecto de la Universidad de Chile y a Andrés Sierra, arquitecto de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

## Referencias

- Boeri, A., & Giglio, F. (2020). Emergency driven innovation : low tech buildings and circular design (1st ed. 2020.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-55969-4>
- Boyle, Daniel. (2011). Reusable Building Systems. Architecture Theses. 71. <https://docs.rwu.edu/archthese/71>
- Cámara Chilena de la Construcción [CChC], 24 de diciembre, 2019, El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global.
- Carrié De la Puente, C. (2017). Análisis de la situación de las viviendas de emergencia en Chile en el período 2010-2016.
- Castro, P. Lee, J (2011) Casa + Roja Vivienda de emergencia Beijing, China.
- CHILE. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1979. Decreto Ley N° 2552: Deroga el Decreto Ley N° 1088 de 1975, y transfiere al Ministerio de Vivienda y Urbanismo los programas de “Viviendas Sociales”; modifica el Decreto Ley N° 1519, de 1976; Define las “Viviendas de Emergencia” y señala competencias de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior. [En línea] <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=6945>
- Concha, M. (mayo, 2018) Mediaguas en Chile: ¿Quién las inventó, dónde están, cómo conseguirlas? Hogar de Cristo. <https://dev.hogardecristo.cl/noticias/mediaguas-en-chile-quien-las-invento-donde-estan-como-conseguirlas/>
- Davis. (1980). Arquitectura de emergencia. Barcelona: Gustavo Gili.
- Fujita, Masanori (2012). Reuse System of Building Steel Structures - Structural Performance of Reusable Members and Practical Examples. Key Engineering Materials, 517(), 513–521. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.517.513

- Gordillo, F. (2004). Hábitat transitorio y vivienda para emergencias. Tabula Rasa. Enero del 2004. <http://www.redalyc.org/pdf/396/39600209.pdf>
- Guy, B. Ciarimboli, N. (2005) Design for Disassembly in the built environment: DfD a guide to closed-loop design and building. King Country
- Instituto Nacional de Normalización. (2009) Diseño sísmico de edificios. (NCh 433).
- Jara, M. (2021). Evaluación de componentes de una Vivienda de Emergencia para su reutilización en una Vivienda Adecuada. [Seminario de investigación]. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Millán et al. (2010) E2 // Casa Marie Short, Glenn Murcutt.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.
- MOP, 2014. Guía práctica para la vivienda de emergencia. 10 de octubre 2018, de Ministerio de Obras Públicas. Sitio web: [http://www.arquitecturamop.cl/emergencias/Documents/Guia\\_Pr%C3%A1ctica\\_Vivienda\\_%20Emergencia.pdf](http://www.arquitecturamop.cl/emergencias/Documents/Guia_Pr%C3%A1ctica_Vivienda_%20Emergencia.pdf)
- ONEMI, (2017). Información Viviendas de Emergencias. 6 de marzo 2018, de Ministerio del Interior y Seguridad Pública Sitio web: <http://www.onemi.cl/viviendas-de-emergencia/>
- ONEMI, (2018). Habitabilidad Transitoria en Desastres en Chile: Experiencia en el período 2014 – 2017. Ministerio de Desarrollo Social.
- Ross, B. E., Chen, D. A., Conejos, S., & Khademi, A. (2016). Enabling adaptable buildings: Results of a preliminary expert survey. *Procedia Engineering*, 145, 420-427.
- Shigeru Ban y la casa de cartón que salvó al mundo. (2017). *Revista Travesías*. <https://www.travesiasdigital.com/destinos/shigeru-ban-y-la-casa-de-carton-que-salvo-al-mundo/>
- UNDRO (1984). El Alojamiento Después de los Desastres. Directrices para la Prestación de Asistencia. Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre. Nueva York.
- Vivienda de Emergencia Definitiva (VED) / John Saffery Gubbins. (2013). Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-263754/vivienda-de-emergencia-definitiva-ved-john-saffer-y-gubbins>> ISSN 0719-8914
- Wagemann, E. (2017). From Shelter to Home: Flexibility in Post-Disaster Accommodation (Doctoral thesis). <https://doi.org/10.17863/CAM.43234>



## **Estrategias de respuesta al clima de las viviendas vernáculas de la región de Aysén.**

**Estudiante:** María-José Antonieta Gatica Arriagada

**Profesor guía:** Natalia Jorquera Silva

### **Resumen**

A menudo, en Chile, las viviendas contemporáneas no responden a la diversidad de climas existentes debido a una estandarización de ellas, es por esto que el presente trabajo tiene como finalidad catalogar las distintas estrategias constructivas y de materialidad de la arquitectura vernácula en cuanto al confort climático, de forma que éstas se puedan aplicar al momento de construir viviendas en el futuro para mejorarlo y así poder disminuir la demanda de calefacción (SERVIU, 2021). De acuerdo a esto, se utiliza como caso de estudio la región de Aysén debido a la diversidad de climas que existen dentro de ella, de manera que se evidencie las diferentes formas de operar en la arquitectura según las condiciones del lugar. Se realizó una visita a terreno en donde se catalogaron 50 casos vernáculos, además de realizar entrevistas a los usuarios de ellos y de viviendas construidas en el último tiempo. Se lograron identificar diversas estrategias constructivas en las casas vernáculas, las cuales posteriormente se evalúan para ver su eficiencia en la actualidad.

**Palabras clave:** Arquitectura vernácula, confort térmico, región de Aysén, estrategias de construcción.

## 1. Introducción

El gran problema que se ha visibilizado este último tiempo causado por la accesibilidad de productos que existe hoy en día, es la construcción homogeneizada debido a los materiales industrializados, los cuales omiten la adaptación de la arquitectura a los distintos climas (Durán, 2014). Esto trae consigo el aumento de la contaminación ambiental debido al proceso con el cual se logran llevar el material a la zona de construcción (Jorquera 2012), además de ser un agente externo al ecosistema del lugar (Tillería, 2010). Sumado a esto, debido a que las viviendas actuales aún no logran dar aún un confort térmico adecuado se siguen utilizando artefactos externos contaminantes como las chimeneas a leña para mantener el calor al interior del inmueble (Sánchez-Montañés, 2007), siendo este el caso de la región de Aysén. Según lo anterior, en este artículo se busca dar respuesta a las deficiencias de confort térmico de la arquitectura actual utilizando como referente las estrategias constructivas de la arquitectura vernácula ya que ésta se presenta de distintas formas de acuerdo al lugar en que esté ubicada (Jorquera, 2013), debido a que se realiza con materiales locales extraídos del mismo territorio en donde se construye, y se utilizan técnicas, normas y estrategias de construcción del pasado que responden a la naturaleza de la zona en donde se ubica (Tillería, 2010).

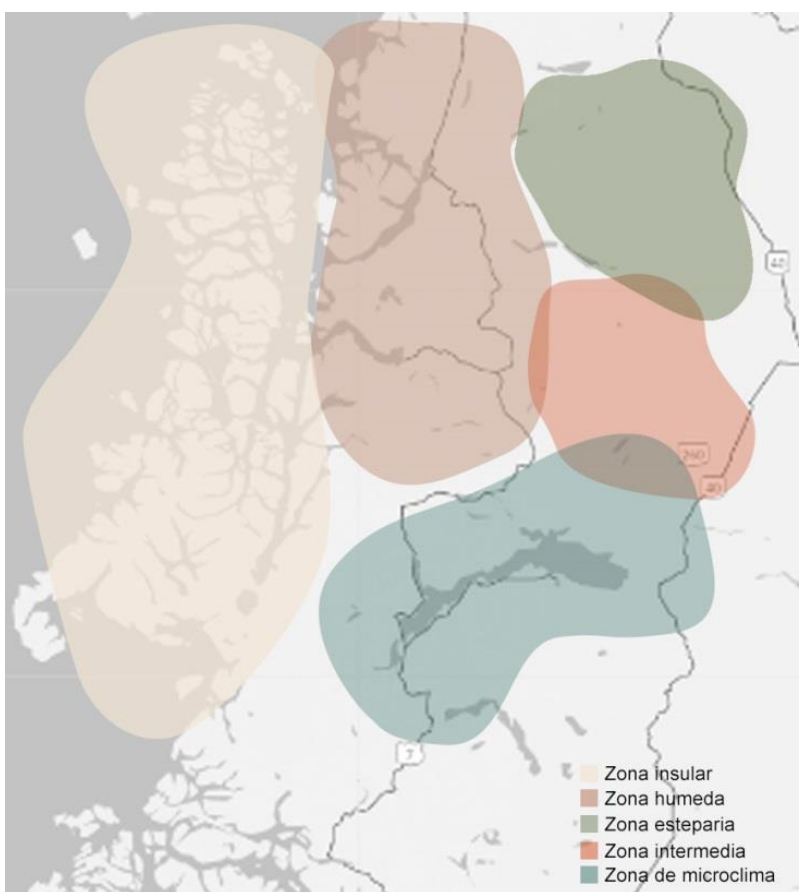
De acuerdo a esto, se escoge la región de Aysén como caso de estudio debido a la diversidad de arquitectura vernácula presente, encontrando obras hechas en madera (Castillo, Sanhueza y Corcuera, 2012), construcciones hechas en adobe (Catillo y Pérez, 2020), entre otros, además de existir distintos climas en la región (MOP, 2021) los cuales evidencian las diferentes maneras de como la arquitectura vernácula responde a estos, y por último, se debe su elección también para buscar a través de los casos vernáculos una solución al gran problema que agobia a esta región, el cual es los altos índices de contaminación debido a que las viviendas contemporáneas aún siguen utilizando como calefacción la cocina a leña o estufa a leña (INFOR, 2022). Si bien este problema se puede atribuir a ambos tipos de arquitectura, la arquitectura vernácula se preocupa de dar respuestas a las condiciones climáticas de acuerdo a soluciones tecnológicas pasivas (Jorquera, 2012), en su mayoría sin utilizar aislantes térmicos, por ende, con el fácil acceso a materiales con los que se construye la arquitectura actual, se debería poder responder desde la arquitectura a las condiciones climáticas, evitando el uso de elementos externos que aumenten los porcentajes de contaminación.

Por consiguiente podemos preguntarnos ¿Qué estrategias de construcción de la arquitectura vernácula servirían como referente al confort térmico de las viviendas contemporáneas en la región de Aysén? Para dar respuesta a la pregunta, el propósito de la investigación es reconocer las estrategias de la arquitectura vernácula de la región de Aysén evaluando cuales de ellas responden de mejor manera al confort climático, para así utilizarlas de referente en la arquitectura actual. De acuerdo a esto se tienen como objetivos registrar casos de arquitectura vernácula en Aysén, identificar las estrategias más eficientes de la arquitectura vernácula registrada que dan respuesta a las condiciones climáticas de las distintas zonas, identificar las falencias de viviendas actuales de la región ante los climas de

las distintas zonas, y definir las mejores soluciones arquitectónicas desde la arquitectura vernácula para responder a las condiciones climáticas y prestaciones de Aysén.

## 2. Antecedentes

Para dar pie a la investigación se deben considerar en primera instancia datos duros de la zona en la que se sitúa; la región de Aysén (XI). Esta región se distingue por ser una de las más extensas del territorio chileno teniendo 108.494,4 km<sup>2</sup>, sin embargo su población es de 103.158 habitantes (INE, 2017). La región se divide en cuatro provincias (provincia de Aysén, Coyhaique, General Carrera y Capitán Prat) las cuales se caracterizan por tener diferentes climas debido a sus condiciones geográficas, dentro de las que se encuentran archipiélagos, una depresión central, la cordillera andina, cordones subandinos orientales y relieves planiformes orientales (GORE) con climas que van desde el frío oceánico con bajas temperaturas, abundantes precipitaciones, fuertes vientos y mucha humedad, hasta microclimas con temperaturas más estables condicionados por los cuerpos de agua como los lagos General Carrera y Cochrane (MOP, 2021) (Figura 1). En consecuencia, dentro de la región se encuentran distintas formas de habitar.



**Figura 1:** Cartografía de climas. Elaboración propia en base a texto “Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia occidental (Aysén)”.

## 2.1. Arquitectura vernácula

Dado a que se analizarán casos de arquitectura vernácula, es necesario entender en profundidad de que se trata este concepto. En la actualidad ya se reconocen varios autores expertos en el tema de la arquitectura vernácula, dándole diferentes definiciones según el autor; uno de los principales exponentes fue Bernard Rudofsky (1976) cuando menciona obras de arquitectura vernácula en su libro “Arquitectura sin arquitectos” haciendo una crítica al poco reconocimiento que éstas tenían en ese entonces respecto a la arquitectura moderna y urbana. Por otra parte tenemos la definición de arquitectura vernácula según Pietro Belluschi quien la reconoce como arquitectura comunal “un arte comunal producido no por unos pocos intelectuales o especialistas, sino por la actividad espontánea y continua de todo un pueblo con una herencia común, actuando en una comunidad de experiencia” (Belluschi, 1983).

Para el caso de este artículo tomaremos la definición de arquitectura vernácula de la autora chilena Jocelyn Tillería (2010) quien presenta distintas definiciones de ésta: arquitectura autóctona definida como “que ha nacido o se ha originado en el mismo lugar donde se encuentra”, arquitectura popular explicada como “perteneciente o relativo a un pueblo”, arquitectura tradicional, expresada como “que sigue las ideas, normas o costumbres del pasado” y por último la arquitectura vernácula, que en opinión de la autora es la definición que engloba todas las anteriores; “doméstico, nativo, de nuestra casa o país”. Sumado a esta definición se entenderá por arquitectura vernácula también *“La arquitectura propia de un lugar, creada por una comunidad específica, a partir de sus conocimientos sobre el ambiente físico y cultural. La cual entre sus características más importantes se encuentra la utilización de los recursos locales como materiales de construcción, desarrollando tecnologías de bajo consumo energético que son capaces de regenerarse en el tiempo sin provocar un gran impacto ambiental.”* (Jorquera, 2012)

## 2.2. Arquitectura vernácula de Aysén.

Como bien se mencionó anteriormente, la arquitectura vernácula se distingue por el uso de materiales locales, debido a que nuestros antepasados no tenían los medios de transporte que existen hoy en día para poder exportar e importar materiales que no se encuentran en el territorio. Debido a las diferencias geográficas de Chile, en cada zona del país se utilizaban materiales distintos, así, de acuerdo al texto “Culturas constructivas que conforman el patrimonio chileno construido en tierra” (Jorquera, 2014) se puede afirmar que a grandes rasgos las distintas materias primas que se utilizaban según el territorio: en el extremo norte se hace uso de la tierra y la piedra, en el valle central técnicas mixtas de madera y tierra, y finalmente en la zona sur se hace uso masivo de la madera. Ya para ubicarnos dentro de la región de Aysén, encontramos autores que han investigado los distintos tipos de vivienda que se han construido en la región, tales como construcciones hechas en madera con revestimiento de tejuela, tablas traslapadas, construcciones en adobe, entre otros, definiendo cada técnica utilizada en las envolventes (Pérez, Errázuriz y Castillo, 2018).

Según el texto “Casas en el valle del río Simpson El patrimonio desconocido de Aysén” de los autores mencionados, la **tejuela** es una forma de revestir icónica de la región de Aysén, siendo una técnica que se puede realizar en distintas maderas, de coihue, ciprés de Las Guaitecas, de lenga, de mañío, la tepa y el canelo, con dimensiones estándar que varían entre 60 centímetros de largo y entre 10 a 15 centímetros de ancho. La morfología de esta se debe a que los *tejueleros* dividían la madera extraída de los árboles en hasta 500 piezas, de forma que se lograra un secado correcto de ella, además, les facilitaba transportarlas ya que se debía ir en busca de ellas hacia los bosques de las distintas zonas. Su posición en las construcciones deja a la vista 2/3 de ella, esto se realiza de tal forma que se genere una superficie tupida que evite el traspaso del viento al interior. (De la Sotta, 2009).

Por otro lado en el mismo texto de Pérez, Errázuriz y Castillo (2018) se habla sobre la técnica de **tablas traslapadas**. Esta forma de trabajar la madera utiliza una operación de solapar las tablas de forma que se logre el escurrimiento de aguas. Se genera una solapa de al menos 1/4 de su ancho, siendo la parte que está oculta la que va clavada a la estructura. Sus dimensiones varían entre los 20 cm de ancho y 2 cm de espesor y el largo es variable, pero es mayor a los 2 metros. Esta técnica se utiliza en zonas más densas que rurales, trabajada en edificaciones de 2 niveles y en geometrías más complejas. La madera que se trabaja comúnmente son la lenga, el coigüe común, el coigüe de Magallanes, la tepa y el mañío (Pérez, Errázuriz y Castillo, 2018).

Por último, dentro de las técnicas de revestimiento y de construcción utilizadas en Aysén, tenemos el **adobe**. Esta técnica si bien se ve comúnmente en la zona norte y centro de nuestro país, la presencia de esta forma constructiva en zonas puntuales de la región de Aysén se debe a los microclimas generados en las cercanías de los lagos General Carrera y Cochrane (Jorquera, 2022). Este tipo de albañilería vernáculo, tal como mencionan los autores Pérez, Errázuriz y Castillo (2018) se componía de “tierra arcillosa mezclada con agua, adicionando paja y bosta de caballo para la cohesión en el caso de los adobes.” El uso del adobe se reconoce exclusivamente para elementos verticales (muros) y en ellos no se utilizaba ningún tipo de refuerzo estructural, siendo las fundaciones de mampostería de piedra. Su revestimiento es de revoque de tierra aunque actualmente la mayoría se encuentra cubiertos de estucos de cemento. Se cree que estas técnicas fueron traídas desde la zona central del país y desde territorio argentino por parte de los colonos.

### **2.3. Respuesta arquitectónica a las condiciones de la zona.**

A raíz de que los climas son variados en el territorio nacional se utilizan estrategias y técnicas constructivas de acuerdo a la zona, de forma que se lograra una calidad de vida apta para que el lugar pudiera ser habitado, al respecto, el seminario “Arquitectura tradicional de San José de Maipo: Estrategias tradicionales de la adaptación en la Cordillera Metropolitana.” (Durán, 2014) demuestra cómo la arquitectura de San José de Maipo en la región Metropolitana, se adapta a las condiciones climáticas a través de diferentes estrategias constructivas. De acuerdo a la información existente dentro de él se logra identificar

estrategias relevantes respecto al confort térmico como lo son el grosor de muros, la orientación de la edificación, entre otros.

Para complementar este contenido se estudiaron autores como Alejandro Uriarte (2011) quien extrae estrategias para dar respuesta al clima de la ciudad de Coyhaique al analizar la Iglesia Nuestra Señora de los Dolores de la comuna mencionada. Especifica que la inclinación de 60° de su pendiente tiene fin de dar respuesta a las épocas de nevazón además de que la orientación de la cubierta hacia el norte logra captar la radiación solar que pudiera llegar. El mismo autor menciona *“Un elemento particularmente indispensable [...] son los dobles accesos a las edificaciones, da un espacio intermedio entre el exterior e interior, permitiendo que estas no sufran importantes pérdidas de temperatura cada vez que se abre la puerta de acceso”*. Por último, en el mismo texto se menciona que las construcciones en madera se aplica una separación de la vivienda con respecto al suelo de forma que se genere un colchón de aire.

Como último referente de la respuesta arquitectónica ante las condiciones de la zona se revisó el texto *“Guía climática, construir con el clima”* (Jimena Ugarte, 2008) donde se estipula que la orientación del edificio debe escogerse para maximizar la exposición al sol y que se deben limitar los vanos del lado en que llega la luz solar o protegiendo estos con aleros. Se indica que la orientación de un edificio responde a la necesidad del ingreso de luz natural, que además se pueda utilizar su radiación solar para acondicionar el edificio o por el contrario, que se pueda enfriar a través de la presencia de viento.

### **3. Métodos**

La presente investigación empleó métodos de enfoque cualitativo. En primer lugar, se realizó trabajo de gabinete para recopilar literatura acerca de la arquitectura vernácula de Aysén; los textos utilizados para generar este conocimiento previo fueron: *“Distribución geográfica de la arquitectura vernácula con tejuela artesanal, región de Aysén.”* (Castillo, 2015), *“Arquitectura en adobe y quincha: construcción de una identidad en torno a los recursos naturales de la ribera del Lago General Carrera en la región de Aysén, Chile.”* (Castillo y Pérez, 2020), *“Guía de casas patrimoniales de Coyhaique.”* (Castillo, Pérez, 2016), *“Casas en el valle del río Simpson: El patrimonio desconocido de Aysén.”* (Pérez, Errázuriz y Castillo, 2017), de los cuales se rescataron los casos de arquitectura vernácula que se podían visitar, y principalmente se utilizó *“Inventario Nacional de Patrimonio Inmueble de Chile. Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Tomo I, II y III”* (Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas, 2021) el cual ayudó a entender los distintos tipos de clima que existen en la región de Aysén, la geografía existente en el lugar y la arquitectura que se encuentra en la región. En el total de inventarios se mencionan 306 casos de arquitectura tradicional, inmigrante y de obras públicas, de los cuales se tomaron en consideración para la investigación 23 casos de arquitectura vernácula de Aysén; además de esto se tuvo la oportunidad de conversar con un arquitecto especialista participante del Inventario de la región de Aysén, lo que ayudó a proporcionar información sobre los casos más accesibles (tres zonas; norte, centro y borde

del lago General Carrera). Posterior a la recopilación de datos de la zona se realizó una visita a terreno para realizar trabajo de campo, siendo este el principal método de recolección de información. Así, se encontraron más casos de los catastrados en la bibliografía, además de tener la ventaja de observarlos de manera presencial; dentro de la ida a terreno se visitaron las ciudades de Coyhaique, Puyuhuapi, Puerto Cisnes, Mañihuales, Puerto Aysén, Valle Simpson, Villa Cerro Castillo, Puerto Río Tranquilo, Puerto Guadal, Mallín Grande, Chile Chico, Puerto Bertrand, Cochrane, Puerto Ingeniero Ibáñez y Balmaceda (Figura 2), en las que se encontró un total de 50 casos de arquitectura vernácula, los que fueron analizados in situ bajo una matriz de estrategias (Tabla 1).

**Tabla 1:** Matriz de estrategias.

	Ubicación	Respuesta al terreno	Orientación	Cantidad de vanos/ tamaño	Techumbre	Inclinación	Presencia de sist. evacuación aguas lluvias
Caso 1							
Caso 2							
Caso 3							
	Corredores	Ubicación chimenea	Sistema constructivo de la estructura	Materiales para revestimiento de la envolvente	Grosor de muros de la envolvente	Fresencia de aislante térmico	Falencias
Caso 1							
Caso 2							
Caso 3							



**Figura 2:** Mapa de recorrido. Elaboración propia.

Sumado a la matriz que recopilaba los datos de los casos de estudio, se realizaron entrevistas (ver Anexo 1 con la pauta de las entrevistas) a los residentes o dueños de las viviendas vernáculas y a los usuarios de las viviendas construidas actualmente en las ciudades, en ellas se preguntaba sobre la antigüedad de la vivienda, el tipo de material utilizado, de donde se encontraba ese material, como era el confort térmico al interior, entre otras cosas. El universo total de entrevistados fueron 15 personas de las cuales 2 residen en viviendas nuevas construidas con materiales industrializados.

Como parte de la investigación en terreno se fotografiaron las viviendas en todas sus fachadas, en su interior y fotografías detalles siempre que fueran posibles. Como último método de recolección de información, se extrajeron pequeñas muestras de materiales que son parte actualmente de las viviendas vernáculas que aún siguen en pie.

El análisis directo de los casos, junto con las entrevistas a sus moradores, ayudó a recopilar datos minuciosos y concretos, además de consultar a los que tienen conocimiento desde el habitar de estas viviendas, obteniendo respuestas positivas y/o negativas en cuanto a la eficiencia de la arquitectura vernácula, el estado en que se encuentra y su opinión al respecto.

#### **4. Resultados**

Debido a la diversidad de microclimas que existen dentro de la Región de Aysén se encontraron distintos tipos de materias primas en ellos, los cuales eran utilizados como materiales de construcción para las viviendas. Dentro de estos materiales encontramos la madera de lenga, madera de coihue, madera de ciprés de Las Guaitecas, y por último *tierra arcillosa*, la cual es extraída de los cerros (Figura 3, 4, 5 y 6), confirmando los datos encontrados previamente en la literatura.

De acuerdo a lo observado en terreno y a los testimonios orales se pudo obtener la siguiente información; la madera de lenga se ubica a lo largo de la región por el borde cordillerano, predominando en la zona norte y centro de ésta (Provincia de Aysén y Coyhaique). Si bien, hoy en día este material no se está utilizando como parte de la estructura de envolvente de las viviendas, se les ha dado un uso decorativo al interior de algunas de ellas. Por otra parte la madera de coihue se ubica en sectores específicos de la zona sur de la región (Provincia General Carrera y Capitán Prat) y por la parte norte de la provincia de Aysén, siendo menor su densificación. Como última especie de madera utilizada en las construcciones vernáculas tenemos la madera de ciprés, caracterizada por tener buena resistencia al agua, se ubica a lo largo del borde de archipiélagos de la región de Aysén y en una zona puntual cercana a la localidad de Cochrane. Por último está la *tierra arcillosa* la cual se identifica con mayor fuerza en las zonas aledañas del lago General Carrera por el lado este, abarcando las localidades de Chile Chico y Puerto Ingeniero Ibáñez, si bien no se tuvo conocimiento de si esta arcilla se sigue utilizando en la actualidad para la construcción de viviendas, se deduce que sí se puede estar ocupando para otro tipo de construcción (se desconoce cuál) debido a



que se encontraba en pequeñas montañas al costado de las rutas recorridas, de estas se extrajo una muestra. Estos se encuentran ubicados en el siguiente mapa (Figura 7):



Figura 3: Tejuela de lenga



Figura 4: Tejuela de coihue



Figura 5: Tejuela de ciprés



Figura 6: Muro de adobe

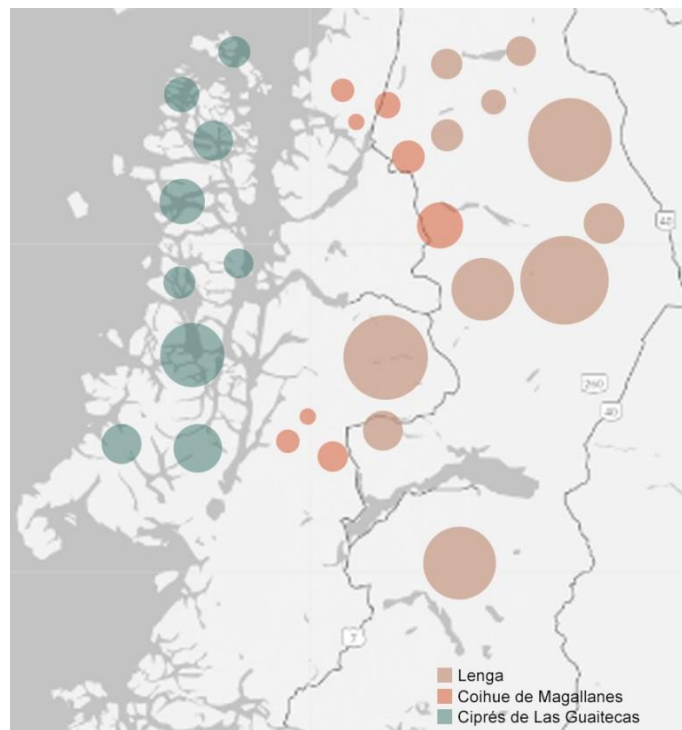
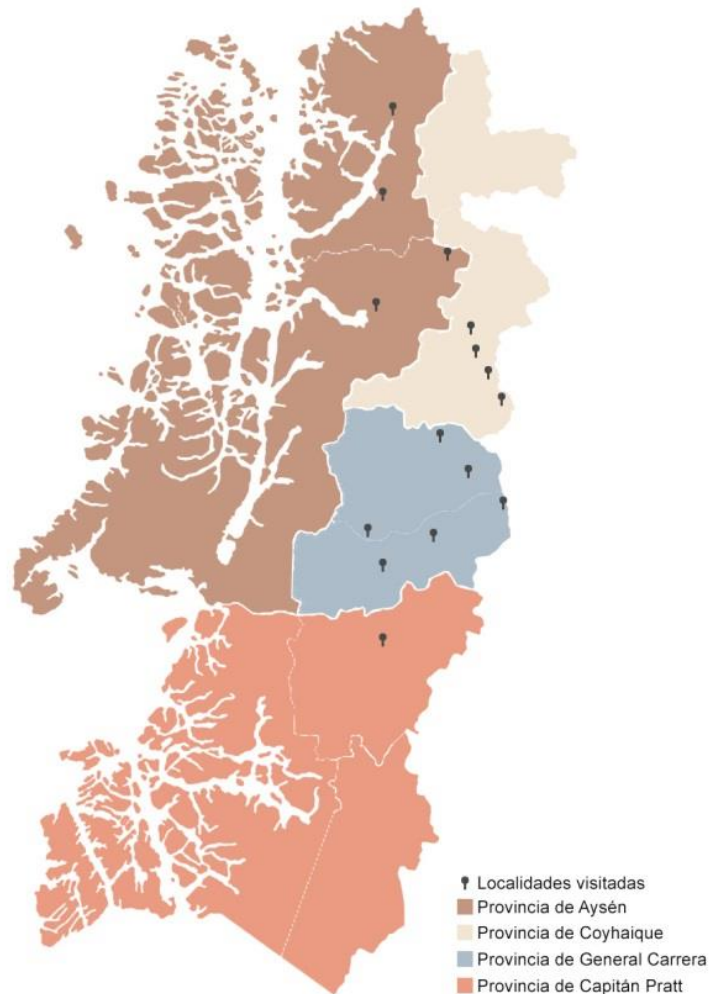


Figura 7: Mapa ubicación materias primas. Elaboración propia en base a Atlas Región de Aysén.

Para poder comprender de forma específica los resultados obtenidos en el estudio de campo, se divide la región en 3 zonas de acuerdo a las provincias visitadas (Figura 8); la primera provincia en la cual se profundizará será la de Aysén, ésta se despliega en todo el borde costero colindando en el norte con la provincia de Chiloé, al sur con la provincia de Capitán Prat y al este con la provincia General Carrera y la provincia de Coyhaique. Luego seguiremos con la provincia de Coyhaique, esta limita al norte con la provincia de Palena, al sur con la provincia de General Carrera, al este con Argentina y al oeste con la provincia de Aysén. Como última zona de estudio tenemos la provincia de General Carrera la cual limita al norte con la provincia de Coyhaique, al sur con Capitán Prat, al este con Argentina y al oeste con la provincia de Aysén. Dentro de esta última zona incluiremos la localidad de Cochrane debido a que fue la única ciudad visitada de la provincia Capitán Prat, además de que comparte ciertas características climáticas y en cuanto a resultados.

A continuación, se presenta el análisis de la arquitectura vernácula de cada una de las tres zonas.



**Figura 8:** Mapa de provincias. Elaboración propia

#### 4.1. Provincia de Aysén

Dentro de esta provincia se encuentran las localidades de Puyuhuapi, Puerto Cisnes, Villa Mañihuales y Puerto Aysén. Se caracteriza por ser zona húmeda con un clima predominante templado húmedo costero, manteniendo elevadas precipitaciones durante todo el año aumentando en invierno. La temperatura media anual es de 9°C, mientras que la máxima media anual llega a 12,8°C, y la mínima media anual a los 6°C (Hepp, 2014). En esta zona se catastraron 12 casos de un total de 50 (Figura 9) distribuidos como se presentan en el mapa (Figura 10).



**Figura 9:** Collage de casos recolectados provincia de Aysén. Elaboración propia.

Además, se analizaron sus distintos aspectos arquitectónicos de construcción que dan cuenta de su respuesta al clima presente en esta zona (Tabla 2).



**Figura 10:** Distribución de casos en mapa según revestimiento. Elaboración propia.

**Tabla 2:** Estrategias casos catastrados provincia de Aysén. Elaboración propia.

Localidad	Caso	Ubicación	Respuesta al terreno	Orientación	Cantidad de vanos/tamaño	Techumbre	Inclinación	Presencia de sist. de evacuación aguas lluvias
Puyuhuapi	Caso 1	Hamburgo 124	40 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	8 ventanas: 4 norte, 4 este	3 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 2	Ernesto Luving 285	40 cm levantado del suelo	Fachada principal este	8 ventanas: 6 norte, 2 este	2 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 3	Av. Otto Uebel	25 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	4 ventanas: 4 norte	2 aguas	55°	Alero sin evacuación
Puerto Cisnes	Caso 4	21 de mayo 105	40 cm levantado del suelo	Fachada principal oeste	10 ventanas: 4 sur, 4 oeste, 2 este	4 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 5	Soto Mayor	40 cm levantado del suelo	Fachada principal oeste	7 ventanas: 3 norte, 4 oeste	4 aguas	45°	Canaleta de lata y alero
	Caso 6	Gabriela Mistral	30 cm levantado del suelo	Fachada principal oeste	8 ventanas: 3 norte, 2 sur, 2 oeste	2 aguas	45°	Canaleta de lata y alero
Villa Mañihuales	Caso 7	Camino a Coyhaique 155	---	Fachada principal oeste	6 ventanas: 2 norte, 1 sur, 1 este, 2 oeste	3 aguas	45°	Alero sin evacuación
Puerto Aysén	Caso 8	Av. Teniente Merino 1118B	30 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	7 ventanas: 3 norte, 2 este, 2 oeste	2 aguas	40°	Alero sin evacuación
	Caso 9	Camino Puerto Aysén km 38	70 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	10 ventanas: 5 norte, 2 este, 3 oeste	2 aguas	45°	Canaleta de lata y alero
	Caso 10	Camino Puerto Aysén km 41	60 cm levantado del suelo	Fachada principal sur	9 ventanas: 7 sur, 2 este	3 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 11	Camino Puerto Aysén km 40	60 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	10 ventanas: 4 norte, 3 este, 3 oeste	4 aguas	40°	Canaleta de lata y alero
	Caso 12	Camino Puerto Aysén km 50	60 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	8 ventanas: 4 norte, 2 este, 2 oeste	2 aguas	60°	Alero sin evacuación

Localidad	Caso	Corredores	Tipo de calefacción y ubicación	Sistema constructivo de la estructura	Materiales para revestimiento de la envolvente	Grosor de muros	Presencia de aislante térmico	Falencias
Puyuhuapi	Caso 1	Corredor lado noroeste 1,5x3 m	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	---	---	---
	Caso 2	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	---	---	---
	Caso 3	Corredor lado noroeste 1,5x1,5 m	Cocina a leña lado sur	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	---	---	---
Puerto Cisnes	Caso 4	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	20 cm	---	---
	Caso 5	No	Cocina a leña lado noreste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	20 cm	---	---
	Caso 6	No	Cocina a leña lado noreste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	20 cm	---	---
Villa Mañihuales	Caso 7	No	Cocina a leña lado noreste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	15 cm	---	---
Puerto Aysén	Caso 8	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	15 cm	---	---
	Caso 9	No	Cocina a leña lado noreste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	20 cm	---	---
	Caso 10	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	10 cm	---	---
	Caso 11	Corredor lado norte 1,5x3,5 m	Cocina a leña lado noreste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	---	---	---
	Caso 12	Corredor lado noroeste 4x1,5 m	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	15 cm	---	---

#### 4.2. Análisis respuesta de la arquitectura vernácula local ante climas de la provincia de Aysén.

Posterior al análisis de los casos se pueden identificar las siguientes estrategias:

- De la totalidad de casos, 4 de ellos están levantados entre 60 y 70 centímetros, y 6 de ellos entre 25 y 40 centímetros. Esta intención se genera para aislar la casa del terreno

y provocar un colchón de aire, de forma que la helada no ingrese a la vivienda. (Figura 11)

- Para poder permitir el ingreso del sol y que este genere calor al interior de la casa, 6 de los casos tienen su fachada principal al norte, de donde se sabe viene el sol más potente, además de que 9 de ellos presentan la mayor cantidad de vanos hacia esta orientación.
- La inclinación de los techos se observa mayormente en  $45^\circ$ , siendo 4 casos los que difieren teniendo inclinaciones de  $40^\circ$ ,  $55^\circ$  y  $60^\circ$ , esta se debe a las nevazones que ocurren en la zona. Además de esto se identifica un prominente alero de al menos 60 centímetros en todas las viviendas catastradas, de las cuales se concluye su uso para evitar el contacto directo de las aguas con el material de madera, de forma que se evite la pudrición de ella. (Figura 12)
- Siguiendo con la lógica anterior, si bien no es la mayoría, en 4 casos se observa un corredor ubicado en la fachada principal, este funciona como espacio intermedio entre el exterior y la vivienda, de manera que las casas genere pérdida de su temperatura interior, además cumple ayuda a evitar que las lluvias caigan de forma directa en el revestimiento. (Figura 13)
- De las 12 casas 8 de ellas no tienen sistema de evacuación de aguas lluvias, por lo las precipitaciones llegan de forma directa a las viviendas, acelerando la pudrición de la madera.
- Por otro lado, en 6 de los 7 casos que se pudo observar la presencia de cocina a leña ésta se ubicaba al lado noroeste de la vivienda, se deduce que la ubicación es elegida de forma que se mantenga el calor en la zona con más ingreso de radiación solar.
- En cuanto al grosor de muros, este varía entre 10 a 20 centímetros, de lo cual se infiere que el grosor es debido a la sección de madera utilizada.
- Por último en las 4 ciudades recorridas se utiliza la madera para construir y revestir las viviendas, esto se debe a que existe gran cantidad de bosques en esta zona, se deduce el uso de madera de lenga debido a la gran cantidad que existe en la zona. De los 12 casos, 8 de ellos eran revestidos con tablas traslapadas y los otros 3 con tejuelas.

Dentro de esta provincia se realizó una entrevista a un usuario de casa contemporánea en una villa de la comuna de Puerto Aysén, éste indicó que la casa tenía estructura de Metalcon, revestido en siding y levantado en cemento. Comentaba que “En verano es fresquita pero en invierno igual tenemos que prender la estufa, sino se pasa frío” (Figura 14)



Figura 11



Figura 12



Figura 13



Figura 14

### 4.3. Provincia de Coyhaique

Dentro de esta provincia se encuentran las localidades de Coyhaique, Valle Simpson, El Blanco y Balmaceda. Esta zona presenta distintos climas, los cuales dependen principalmente de la altitud en que se encuentra cada zona. En las localidades a mayor altitud predomina el clima andino boreal, mientras que en zonas más bajas se encuentra el clima templado húmedo intermedio; las localidades estudiadas a excepción de Balmaceda se encuentran en este último tipo de clima. La temperatura media anual es de 8,1°C, la máxima media anual es de 13°C, mientras que la temperatura mínima media anual es de 4,4°C (Hepp, 2014). En esta zona se catastraron 10 casos de un total de 50 (Figura 15) distribuidos de la siguiente forma en el mapa presentado (Figura 16).



**Figura 15:** Collage de casos recolectados provincia de Coyhaique. Elaboración propia.

Además, se analizaron sus distintos aspectos arquitectónicos de construcción que dan cuenta de su respuesta al clima presente en esta zona (Tabla 3)

**Tabla 3:** Estrategias casos catastrados provincia de Coyhaique. Elaboración propia.

Localidad	Caso	Ubicación	Respuesta al terreno	Orientación	Cantidad de vanos/tamaño	Techumbre	Inclinación	Presencia de sist. de evacuación aguas lluvias
Coyhaique	Caso 13	A 30m esq. Riquelme y Manuel Rodríguez	20 cm levantado del suelo	Fachada principal este	3 ventanas: 1 norte, 2 este	1 aguas	---	Alero sin evacuación
	Caso 14	Manuel Rodríguez 395/357	20 cm levantado del suelo	Fachada principal sur	4 ventanas: 2 sur, 2 este	4 aguas	40°	Alero sin evacuación
	Caso 15	Riquelme 105	15 cm levantado del suelo	Fachada principal este	9 ventanas: 2 norte, 1 sur, 3 este, 3 oeste	4 aguas	45°	Canaleta de lata y alero
	Caso 16	Moraleda 158	25 cm levantado del suelo	Fachada principal oeste	3 ventanas: 1 sur, 2 oeste	4 aguas	35°	Canaleta de lata y alero
	Caso 17	Moraleda 149	60 cm levantado del suelo por desnivel	Fachada principal sur	7 ventana: 3 sur, 4 este	4 aguas	45°	Alero sin evacuación
Valle Simpson	Caso 18	Virgen del Valle 76	15 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	3 ventanas: 2 norte, 1 este	4 aguas	35°	Alero sin evacuación
	Caso 19	Virgen del Valle sin número	---	Fachada principal norte	6 ventanas: 2 norte, 2 este, 2 oeste	2 aguas	35°	Alero sin evacuación
	Caso 20	Clodomiro Millar Manque	20 cm levantado del suelo	Fachada principal oeste	6 ventanas: 2 norte, 1 sur, 3 oeste	1 aguas	35°	Alero sin evacuación
El Blanco	Caso 21	Ruta X-674	20 cm levantado del suelo	Fachada principal oeste	9 ventanas: 2 sur, 3 este, 4 oeste	4 aguas	50°	Alero sin evacuación
Balmaceda	Caso 22	Enrique Mac Iver esq. General Mackenna	15 cm levantado del suelo	Fachada principal este	4 ventanas: 3 norte, 1 este	2 aguas	35°	Alero sin evacuación

Localidad	Caso	Corredores	Tipo de calefacción y ubicación	Sistema constructivo de la estructura	Materiales para revestimiento de la envolvente	Grosor de muros	Presencia de aislante térmico	Falencias
Coyhaique	Caso 13	No	Cocina a leña	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	25 cm	No	---
	Caso 14	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	25 cm	---	---
	Caso 15	No	Cocina a leña lado norte	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	15 cm	No	No tiene aislante térmico
	Caso 16	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	20 cm	---	---
	Caso 17	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	20 cm	---	---
Valle Simpson	Caso 18	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas Traslapadas hechas a lampazos)	20 cm	---	---
	Caso 19	No	Cocina a leña lado sureste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	15 cm	No	---
	Caso 20	No	Cocina a leña y chimenea lado oeste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	20 cm	---	---
El Blanco	Caso 21	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas traslapadas)	20 cm	---	---
Balmaceda	Caso 22	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tablas horizontales y tejuelas)	20 cm	---	---



**Figura 16:** Distribución de casos en mapa según revestimiento. Elaboración propia.

#### **4.4. Análisis respuesta de la arquitectura vernácula local ante climas de la provincia de Coyhaique.**

Dentro de los casos se reconocen las siguientes estrategias:

- De los 10 casos, 8 de ellos se encuentran elevados del suelo entre 15 y 25 centímetros, esta operación es realizada para evitar el contacto directo con el suelo de forma que se genere un colchón de aire al igual que en los casos anteriores, sin embargo no es necesaria tanta altura debido a que el clima se distingue más templado que en la zona anterior.
- En cuanto a la orientación de la fachada principal, la mayoría de casos se divide entre el este (3) y el oeste (3), además de tener mayor cantidad de vanos en estas orientaciones. Si bien se recibe radiación solar de estas orientaciones, no es tan eficiente como sería posicionar la mayor cantidad de vanos hacia el norte.
- Al igual que en los aspectos anteriores la inclinación va disminuyendo encontrándose entre los 35° y los 45° en 9 de sus 10 casos, esto se debe a que la zona presenta menor cantidad de nevazones que en la provincia de Aysén.
- Debido a que en 8 de 10 casos no se presentan sistemas de evacuación de aguas lluvias, se provoca un acelerado proceso de pudrición del material.
- La totalidad de los casos se encuentran contruidos y revestidos en madera predominando el revestimiento con tablas traslapadas (7 de 10). Si bien no se tienen conocimiento de si todos los casos catastrados están contruidos con madera de lenga, su probabilidad es alta debido a que es el tipo de árbol al cual se tiene mayor accesibilidad en esta zona. (Figura 17)
- Por último, los grosores de muros varían entre los 15 y 25 cm de espesor, se deduce que en esta provincia se tuvo en consideración el grosor de muros de manera que se aisle en distancia el interior de la vivienda y que no ingrese de forma directa el frío, sin embargo no hay presencia aislante térmico dentro de ellas.

En esta zona se tuvo la oportunidad de entrevistar a 3 personas que habitaban viviendas vernáculas y 1 persona que vivía en una casa contemporánea. La segunda persona entrevistada, habitante de Coyhaique, mencionaba la falta de aislante térmico en su vivienda *“Ahora estoy quien me pueda poner aislante en la casa, ya estoy aburrida de pasar frío”*, dando a entender que la estructura por sí sola no era capaz de mantener el calor en su interior. Por otro lado, en Valle Simpson se entrevistó a una mujer moradora de una vivienda contemporánea (Figura 18), la cual utiliza madera para la estructura y *norway* y chapa como revestimiento, además de esto tenía cocina a leña para calefaccionar, de acuerdo a esto se le consulto como era la sensación térmica al interior y mencionó que su casa, sobre todo en verano es calurosa.





Figura 17



Figura 18

#### 4.5. Provincia de General Carrera y Cochrane

Dentro de esta última provincia estudiada se encuentran las localidades de Villa Cerro Castillo, Puerto Río Tranquilo, Puerto Guadal, Mallín Grande, Chile Chico, Puerto Ingeniero Ibáñez, y como se especificó antes, dentro del análisis de todas ellas se incluirá la localidad de Cochrane debido a que comparte características climáticas y geográficas además de similitudes en su arquitectura. A esta zona se le denomina como “microclimas de Aysén”, son pequeños valles insertos en zonas semiáridas de estepa o matorral xerofítico que los circundan. El clima que poseen es templado seco estival y la pluviometría es baja (Hepp, 2014). En esta zona se catastraron 28 casos de un total de 50 (Figura 19) distribuidos de la siguiente forma presentados en el mapa (Figura 20).



**Figura 19:** Collage de casos recolectados provincia de General Carrera y localidad de Cochrane. Elaboración propia.

Al igual que en las otras zonas de estudio se analizaron sus distintos aspectos arquitectónicos de construcción que dan cuenta de su respuesta al clima presente en esta provincia (Tabla 4).

**Tabla 4:** Estrategias casos catastrados provincia de General Carrera. Elaboración propia.

Localidad	Caso	Ubicación	Respuesta al terreno	Orientación	Cantidad de vanos/ tamaño	Techumbre	Inclinación	Presencia de sist. de evacuación aguas lluvias
Villa Cerro Castillo	Caso 23	Frente R. Freire 274	---	Fachada principal este	3 ventanas: 2 norte, 1 este	2 aguas	40°	Alero sin evacuación
	Caso 24	Frente L. Pioneros 492	20 cm levantado del suelo	Fachada principal sur	9 ventanas: 3 norte, 3 sur, 1 este, 2 oeste	4 aguas	40°	Alero sin evacuación
Puerto Río Tranquilo	Caso 25	El Salto 304	20 cm levantado del suelo	Fachada principal sur	3 ventanas: 2 sur, 1 este	2 aguas	30°	Alero sin evacuación
	Caso 26	El salto 207	15 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	11 ventanas: 6 norte, 2 sur, 2 este, 1 oeste	2 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 27	Exploradores frente 88	20 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	5 ventanas: 2 norte, 2 este, 1 oeste	2 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 28	Los Arrayanes 195	15 cm levantado del suelo	Fachada principal este	7 ventanas: 3 norte, 2 sur, 2 este	2 aguas	40°	Alero sin evacuación
	Caso 29	Los Arrayanes 359	20 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	3 ventanas: 2 norte, 1 este	2 aguas	30°	Alero sin evacuación
	Caso 30	Camino a Puerto guadal km 5,4	---	Fachada principal norte	1 ventana: 1 norte	2 aguas	45°	Alero sin evacuación
Puerto Guadal	Caso 31	Los guindos 147	30 cm levantado del suelo en cemento	Fachada principal oeste	6 ventanas: 2 norte, 1 sur, 3 oeste	4 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 32	Las chacras 225	---	Fachada principal norte	3 ventanas: 3 norte	4 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 33	Calle las violetas 144	---	Fachada principal sur	5 ventanas: 1 sur, 2 este, 1 oeste	2 aguas	35°	Alero sin evacuación
	Caso 34	Los lirios 40	15 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	2 ventanas: 2 norte	2 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 35	Los lirios esq. los alerces	30 cm levantado del suelo en mampostería de piedra	Fachada principal este	3 ventanas: 2 sur, 1 este, 1 oeste	2 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 36	Calle lago General Carrera	30 cm levantado del suelo	Fachada principal sur	3 ventanas: 2 sur, 1 oeste	2 aguas	45°	Alero sin evacuación
Mallin Grande	Caso 37	Manuel Rodríguez 252	Levantado en cemento	Fachada principal norte	8 ventanas: 2 norte, 3 este, 3 oeste	4 aguas	45°	Canaleta de lata y alero
	Caso 38	Manuel Rodríguez 535	---	Fachada principal sur	4 ventanas: 2 sur, 2 este	4 aguas	40°	Alero sin evacuación
	Caso 39	Galvarino 3	35 cm levantado del suelo en mampostería de piedra	Fachada principal norte	4 ventanas: 1 norte, 3 este	4 aguas	35°	Alero sin evacuación
	Caso 40	Galvarino 163	15 cm levantado del suelo en mampostería de piedra	Fachada principal oeste	4 ventanas: 2 norte, 2 oeste	4 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 41	Galvarino altura 146	Levantado en mampostería de piedra	Fachada principal este	3 ventanas: 1 sur, 2 este	4 aguas	45°	Alero sin evacuación
Cochrane	Caso 42	Calle Arturo Prat 429	20 cm levantado del suelo	Fachada principal sur	4 ventanas: 2 sur, 2 oeste	2 aguas	30°	Alero sin evacuación
	Caso 43	Dr. Steffen 599	---	Fachada principal este	5 ventanas: 2 norte, 3 este	4 aguas	50°	Canaleta de lata y alero
	Caso 44	Calle Luis Baez	Envigado de madera sobre el terreno	Fachada principal sur	7 ventanas: 3 norte, 2 sur, 1 este, 1 oeste	4 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 45	Calle Lago Brown 599	Envigado de madera sobre el terreno	Fachada principal este	4 ventanas: 3 norte, 1 este	2 aguas	50°	Alero sin evacuación
	Caso 46	Calle Esmeralda esq. Río Baker	Levantado en mampostería de piedra	Fachada principal norte	8 ventanas: 4 norte, 2 sur, 2 este	2 aguas	45°	Alero sin evacuación
	Caso 47	Diego Portales 247	20 cm levantado del suelo	Fachada principal norte	4 ventanas: 2 norte, 1 este, 1 oeste	4 aguas	35°	Pequeño alero sin evacuación
Puerto Ingeniero Ibáñez	Caso 48	Dr. Luis Pasteur 346	Levantado en cemento	Fachada principal este	3 ventanas: 1 norte, 2 este	1 agua	30°	Alero sin evacuación
	Caso 49	Lautaro 203	20 cm levantado del suelo	Fachada principal oeste	3 ventanas: 1 norte, 2 oeste	4 aguas	35°	Alero sin evacuación
	Caso 50	Ámbar Contreras sin número	20 cm levantado del suelo	Fachada principal sur	3 ventanas: 2 sur, 1 oeste	4 aguas	35°	Pequeño alero sin evacuación

Localidad	Caso	Corredores	Tipo de calefacción y ubicación	Sistema constructivo de la estructura	Materiales para revestimiento de la envolvente	Grosor de muros	Presencia de aislante térmico	Falencias
Villa Cerro Castillo	Caso 23	No	Cocina a leña lado noreste	---	Madera a lampazo	25 cm	---	---
	Caso 24	Corredor lado sur 6x1,5 m	Cocina a leña lado noreste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	15 cm	---	---
Puerto Río Tranquilo	Caso 25	No	Cocina a leña lado sur	Tabiquería de madera	Madera de coihue (Tejuelas)	20 cm	No	---
	Caso 26	Corredor central lado norte 9x1,5 m	Cocina a leña lado sur	Tabiquería de madera	Madera (Tejuelas)	15 cm	---	---
	Caso 27	No	Cocina a leña lado sur	Tabiquería de madera	Madera (Tejuela)	15 cm	---	---
	Caso 28	No	Cocina a leña y chimenea lado norte	Tabiquería de madera	Madera de coihue (Tejuelas)	15 cm	No	El piso se está hundiendo
	Caso 29	No	Cocina a leña lado noreste	Tabiquería de madera	Madera (Tablas horizontales)	15 cm	---	---
Puerto Guadal	Caso 30	No	---	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	---	---	---
	Caso 31	No	---	Adobe	Bloques de adobe	18 cm	No	---
	Caso 32	No	---	Adobe	Bloques de adobe	---	No	---
	Caso 33	No	Cocina a leña lado suroeste	Adobe	Bloques de adobe	20 cm	No	---
	Caso 34	No	Cocina a leña lado sureste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	15 cm	No	---
	Caso 35	No	Cocina a leña lado noreste	Adobe	Bloques de adobe	20 cm	No	---
Mallín Grande	Caso 36	No	Cocina a leña lado noreste	Tabiquería de madera	Madera (Tejuelas)	---	---	---
Chile Chico	Caso 37	No	Cocina a leña lado norte	Adobe	Bloques de adobe	30 cm	No	Los muros se están derrumbando
	Caso 38	No	Cocina a leña lado noreste	Adobe	Bloques de adobe	30 cm	No	---
	Caso 39	No	Cocina a leña lado noreste	Adobe	Bloques de adobe	25 cm	No	---
	Caso 40	No	Cocina a leña lado sureste	Adobe	Bloques de adobe	25 cm	No	---
	Caso 41	No	Cocina a leña lado oeste	Adobe	Bloques de adobe	25 cm	No	---
Cochrane	Caso 42	Corredor central lado sur 3,5x0,9 m	Cocina a leña lado sureste	Tabiquería de madera	Madera de ciprés (Tejuelas)	15 cm	No	La madera se pudre
	Caso 43	---	Cocina a leña lado sureste	Adobe	Bloques de adobe	30 cm	No	---
	Caso 44	---	Cocina a leña lado sureste	Tabiquería de madera	Madera de lenga (Tejuelas)	25 cm	No	Calurosa
	Caso 45	---	Chimenea casera noreste	Tabiquería de madera	Madera de lenga y ciprés (Tablas traslapadas)	---	No	Calurosa sin forro
	Caso 46	---	---	Adobe	Bloques de adobe	25 cm	No	---
Puerto Ingeniero Ibáñez	Caso 47	No	---	Adobe	Bloques de adobe	30 cm	No	---
	Caso 48	No	Cocina a leña lado noreste	Adobe	Bloques de adobe	20 cm	No	---
	Caso 49	No	---	Adobe	Bloques de adobe	30 cm	No	---
	Caso 50	No	---	Adobe	Bloques de adobe	30 cm	No	---

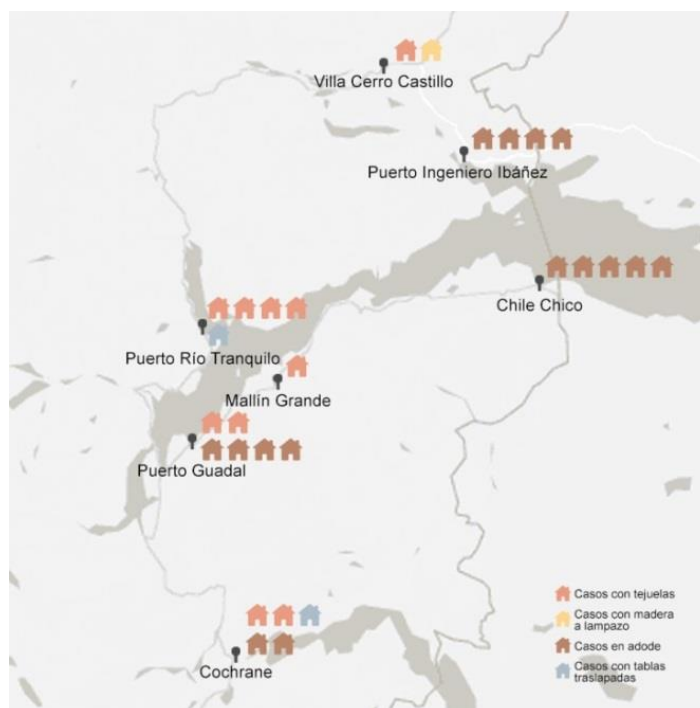


Figura 20: Distribución de casos en mapa según revestimiento. Elaboración propia.

#### **4.6. Análisis respuesta de la arquitectura vernácula local ante climas de la Provincia General Carrera**

Dentro de las estrategias que se identifican tenemos las siguientes:

- Del catastro de viviendas hechas en adobe 4 de ellas se desconoce si estaban levantadas del terreno, 2 de ellas estaban levantadas en cemento (posterior a su construcción se revistió en cemento) y 5 de ellas estaban levantadas en mampostería de piedra. Los 9 casos que se reconocían elevados del suelo variaban entre los 15 y 35 centímetros. Diferenciándose de las construcciones en adobe, 1 de las casas construidas en madera se levantaban 30 centímetros del suelo, 8 de ellas entre 15 a 20 centímetros y 2 de ellas presentaban el envigado sobre el terreno. De esto se puede concluir que al tener un clima más cálido, no es necesario generar un gran vacío como aislante, esto se identifica más que nada para evitar el contacto del suelo natural con el material de construcción de forma que este no se pudra tan velozmente, y en el caso de las viviendas de adobe, se eleva del suelo para generar una fundación de mampostería.
- Del total de casos, 10 de ellos utiliza su fachada principal orientada hacia el norte, la mayoría de las casas ubica en mayor medida los vanos hacia el este (8) y el norte (8), rescatando la mayor cantidad de luz y radiación solar posible.
- Si bien en 15 casas la inclinación se evidencia entre los 45° y 50°, los 13 casos restantes tienen inclinaciones entre los 30° y 40°, por lo que se intuye que las nevazones en esta zona deben ser menores debido a la inclinación de estas últimas.
- A diferencia de la zona norte los aleros de 18 casas se estiman en medidas entre los 20 y 30 centímetros, 14 de ellas eran viviendas de adobe, por lo que se infiere que al estar revestidas por revoque de barro o estucos de cemento, es menos imprescindible protegerlos de las lluvias; también solo 2 casas catastradas poseían corredores, sin embargo estas estaban construidas en madera por lo que se deduce que cumplen la función evitar que salga en gran medida el calor interior de las viviendas, tal como se menciona anteriormente.
- Solo en 2 casas se identificaban canaletas, por lo que se deduce que, las precipitaciones son menores y estas, en los casos de construcciones en adobe, no afectan en gran medida el deterioro del material.
- En el caso de las viviendas visitadas en esta zona, se pudo observar el interior de estas en 2 casos (Figura 21 y 22), en ellos se evidencia la nula existencia de aislante térmico dentro de las casas, por lo que la única forma de evitar el frío al interior es a través de la cocina a leña. Esta se presenta a simple vista en 21 casos.
- En 13 de los 28 casos se utilizó madera para su construcción, a diferencia de la otra zona podemos encontrar viviendas hechas en base a madera de ciprés y de coihue. Además, los otros 15 casos se encuentran hechos en adobe, esto debido a la condición de arcilla que se encuentra en los cerros cercanos a las ciudades. (Figura 23 y 24)
- El grosor de sus muros en las viviendas de madera son de 15 a 25 centímetros, intentando aislar la casa de la parte exterior. En el caso de los muros de adobe, estos tienen grosores entre los 25 a 30 centímetros, se hace de esta forma para dotar al

edificio de mucha masa térmica y asegurar que en el interior se mantenga una temperatura agradable.

En esta visita a terreno se tuvo la oportunidad de conversar con 11 usuarios de las viviendas mediante una entrevista semiestructurada, 2 de ellos, moradores de viviendas hechas en adobe, hicieron saber su preferencia hacia sus casas antes que las actuales. *“No, la casa es calentita y no hay que hacerle ningún arreglo, solo hay que barnizar los marcos de las puertas que son de madera hecha a hachazos pero la casa está impecable”.* (Usuario de vivienda vernácula, Puerto Ingeniero Ibáñez, Octubre) (Figura 25). Por otro parte, los entrevistados de viviendas construidas en madera mencionaban que sus casas, al utilizar la cocina a leña, en verano eran muy calurosas *“para cuando llega el verano hay que intentar cocinar rápido porque se calienta mucho la casa”* (Usuaría de vivienda vernácula, Puerto Río Tranquilo, Octubre). Ya como último entrevistado que se mencionará, se tuvo al hijo de un constructor vernáculo de la localidad de Cochrane, el comentó que la madera de ciprés de Las Guaitecas se utilizaba bastante debido a su resistencia al agua, lamentablemente, a causa de un incendio forestal esta especie ya no se puede talar más, sin embargo, el hijo del constructor nos enseñó que en su casa tenía troncos de ciprés que rescataba de las zonas incendiadas, estos se encuentran caídos y quemados (Figura 26).



Figura 21



Figura 22



Figura 23



Figura 24



Figura 25



Figura 26

Finalmente de acuerdo a los resultados obtenidos y su análisis, estos se pueden dividir en dos áreas, los resultados de estrategias de construcción y de respuesta del material. Estos se presentan en la siguiente tabla evaluando su eficiencia, deficiencia y si se puede mejorar según la provincia (Tabla 5).

**Tabla 5:** Evaluación eficiencia de estrategias.

Provincia	Respuesta al terreno	Orientación	Cantidad de vanos/tamaño	Inclinación	Presencia de sist. de evacuación aguas lluvias	Corredores	Tipo de calefacción y ubicación	Materiales para revestimiento de la envolvente	Grosor de muros	Presencia de aislante térmico
Provincia de Aysén	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Deficiente	Deficiente	Eficiente	Mejorable	Mejorable	Deficiente
Provincia de Coyhaique	Eficiente	Mejorable	Mejorable	Eficiente	Deficiente	Deficiente	Eficiente	Mejorable	Eficiente	Deficiente
Provincia de General Carrera	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Deficiente	Eficiente	Eficiente	Adobe: Eficiente Madera: Mejorable	Eficiente	Deficiente

De éstas se puede destacar la estrategia de elevar la vivienda del suelo, si bien esto puede tener como principal función que la madera no tenga contacto directo con el terreno, tal como se menciona en el análisis, ésta genera un aislante de aire el cual logra evitar el ingreso del frío. Por otro lado hay estrategias que pueden mejorar, tal como los grosores de muros en los casos de construcciones en madera y la falta de aislante térmico en conjunto con lo anterior. En la actualidad, se podría proporcionar una cámara de aire en los tabiques o simplemente utilizar un aislante térmico dentro de ellos.

**Tabla 6:** Evaluación eficiencia de materiales.

Material	Eficiencia
Lenga	Deficiente
Coihue	Eficiente
Ciprés de Las Guaitecas	Eficiente
Tierra arcillosa	Mejorable

Pasando al otro ámbito se evaluó la respuesta de los materiales ante las condiciones climáticas, se puede partir hablando de la madera de lenga, si bien esta madera ha dejado su sello rústico dentro de la región, es poco duradera debido a su alta probabilidad de putrefacción, la utilización de esta en el revestimiento aumentaría los costos de mantención de los residentes, sin embargo, este material es factible utilizarlo para vigas y pilares por lo que sería un buen sustituyente del Metalcon en las viviendas contemporáneas. En cuanto a la madera de coihue, no se obtuvo tantas opiniones sobre este material, sin embargo, al conversar con un constructor vernáculo, comentó que su vivienda estaba hecha de este tipo de madera y que actualmente se encuentra en buen estado a pesar de tener 25 años construida. Por otro parte y rescatando el material utilizado a lo largo de la ribera del lago General Carrera, al adobe se le puede reconocer su eficiencia ante las condiciones climáticas de las distintas zonas en que se encontraba, si bien las casas construidas con este material hoy en día no están en buen estado, esto fue causado por el poco conocimiento que se tenía

al respecto, en la actualidad se podrían generar estructuras resistentes y auto soportantes. Además del adobe tenemos también la madera de ciprés la cual funciona de manera eficaz con el agua, siendo duradera en el tiempo y a pesar de no poder talarse, se podría rescatar la madera muerta que existe en la región.

## **5. Conclusiones**

La investigación permite tener una visión más amplia de la arquitectura vernácula en la zona sur del país, sobretodo en la Patagonia, donde son escasos los conocimientos que se tienen de ella. Con los resultados obtenidos se pueden identificar comportamientos reiterativos de los casos estudiados los cuales permiten generar parámetros de construcción desde la arquitectura vernácula para las viviendas actuales, además de entregar un catastro de casos vernáculos en la región de Aysén. Gracias a la visita a terreno se logra obtener mayores datos, profundizando la información bibliográfica que se tiene respecto al tema planteado.

De las estrategias identificadas, se puede concluir que la mayoría de ellas pueden implementarse en viviendas contemporáneas, y que algunas otras se deben mejorar en cuanto a una respuesta óptima para el confort térmico, esto en conjunto con el conocimiento que se tiene en la actualidad puede lograr establecer una construcción eficiente tanto para los usuarios como para el medioambiente.

Por otra parte, dentro del mismo enfoque que tiene este artículo se puede seguir investigando estrategias no reconocidas hasta el momento de manera que se complemente cada vez más la información. Además, queda pendiente profundizar en cuanto a datos duros calculando la transmitancia térmica de los materiales que se utilizan, de forma que se verifique si funcionan de mejor manera para el resguardo de las condiciones externas a comparación de los materiales industrializados.

Finalmente, se puede concluir que a pesar de la falta de conocimientos técnicos que se tenía antiguamente al construir viviendas vernáculas, se tenía una elevada capacidad analítica de las condiciones ambientales y geográficas a las cuales se daba solución mediante morfologías específicas y conocimiento de los materiales de la zona, con el fin de resguardarse del mundo exterior proporcionando una buena habitabilidad en la vivienda.

## **Agradecimientos**

Al profesor David Cortéz por orientarme en esta aventura en terreno y a las personas que me abrieron las puertas de sus hogares para conversar sobre sus viviendas.

## Referencias

- Bellucci, A. G. (1983). La arquitectura vernácula entre la inocencia y el pintoresquismo. *Summarios*, (65), 3-15.
- Biblioteca del Congreso Nacional. SIIT. (2005a, enero 11). Región de aysén. Bcn.Cl. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region11>
- Biblioteca del Congreso Nacional. SIIT. (2005b, enero 12). Clima y vegetación Región de Aysén. Bcn.Cl. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region11/clima.htm>
- Castillo Levicoy, C. (2015). Distribución geográfica de la arquitectura vernácula con tejuela artesanal, región de Aysén. *Ge-conservación* Nº20, (pp 7-21).
- Castillo Levicoy, C., & Pérez Lira, C. (2019). Caracterización de la arquitectura vernácula en madera de complejos constructivos rurales, región de Aysén, Chile. *Intervención (México DF)*, 10(19), 99-110. <https://doi.org/10.30763/intervencion.2019.19.212>
- Castillo Levicoy C., & Pérez Lira, C. (2020). Arquitectura en adobe y quincha: construcción de una identidad en torno a los recursos naturales de la ribera del Lago General Carrera en la región de Aysén, Chile. *Ge-conservación*, (18), 56-68. <https://doi.org/10.37558/gec.v18i1.769>
- Castillo Levicoy, C., Corcuera Vliegenthart, E., & Sanhueza Ulloa, M. (2012). Identidad y memoria histórica del tejuelo artesanal: un oficio maderero en riesgo de extinción en la región de Aysén.
- Chile. Gobierno Regional de la Décimoprimer Región, Chile. Ministerio de Planificación y Cooperación, Cooperación Técnica Alemana (2005). Atlas Región de Aysén. Santiago, Chile: LOM Ediciones.
- Correia, M., Dipasquale, L., & Mecca, S. (Eds.). (2015). *VERSUS: Heritage for tomorrow: Vernacular Knowledge for Sustainable Architecture*. Firenze University Press.
- De la Sotta Lazzerini, P. (2009). La tejuela de madera en Chiloé, Chile: Estudio del borde de terminación en los poblados de Achao, Curaco de Vélez y Villa Quinchao. *Revista de urbanismo*, (21). <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2009.11>
- Durán M. (2014). Arquitectura tradicional de San José de Maipo: Estrategias tradicionales de la adaptación en la Cordillera Metropolitana.
- Goñi Godoy, A., (1998). El Poblado de Ukika.
- Hepp, C., (2014). CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA REGIÓN DE AYSÉN.
- Hepp, C., (2014). Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia Occidental (Aysén). (pp. 15-29).



- Infor, S. U. (2022, abril 5). Coyhaique redujo significativamente su consumo de leña en la última década. Infor.cl. <https://www.infor.cl/index.php/noticias/770-coyhaique-redujo-significativamente-su-consumo-de-lena-en-la-ultima-decada>
- Información Regional. (s/f). Goreaysen.cl. Recuperado el 30 de noviembre de 2022, de [https://www.goreaysen.cl/controls/neochannels/neo\\_ch28/neoch28.aspx?appintanceid=146&pubid=98](https://www.goreaysen.cl/controls/neochannels/neo_ch28/neoch28.aspx?appintanceid=146&pubid=98)
- Jorquera Silva, N., (2012). Primer Congreso Internacional. Taller [Sur] 2012. Patrimonio Cultural Sostenible. Visiones, prácticas e innovación desde la arquitectura. (pp. 178-188)
- Jorquera Silva, N. (2014). Culturas constructivas que conforman el patrimonio chileno construido en tierra. AUS, 16, 30–35. <https://doi.org/10.4206/aus.2014.n16-06>
- Jorquera Silva, N. (2015). Aprendiendo del Patrimonio Vernáculo: tradición e innovación en el uso de la quincha en la Arquitectura Chilena. Revista de arquitectura, 20(29), 4.
- Kapstein G. (2015). Espacios intermedios: Respuesta arquitectónica al medio ambiente. Segunda edición. Ediciones ARQ.
- Lolich, L. (2007). Patagonia. Nuevas perspectivas para la preservación de la arquitectura vernácula. In Actas del Congreso Internacional de Arquitectura Vernácula ‘Andalucía y América, entre la tradición y la modernidad.
- Loren-Méndez, M., y Romero, Y. (2014). Bernard Rudofsky, desobediencia crítica a la Modernidad. (pp. 12-17). Granada: Centro José Guerrero, Diputación de Granada. <https://idus.us.es/handle/11441/52017>
- Ministro de Obras Públicas. (2021). INVENTARIO NACIONAL DE PATRIMONIO INMUEBLE DE CHILE Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo Tomos 1, 2 y 3. <https://arquitectura.mop.gob.cl/patrimonioinmueble/Paginas/indice.aspx>
- Pérez Lira, C., Castillo Levicoy, C. (2016). Guía casas patrimoniales Coyhaique. Coyhaique: ProCultura.
- Pérez Leighton, L., Errázuriz Infante, T., Castillo Levicoy, C. (2018). Casas en el valle del río Simpson el patrimonio desconocido de Aysén. Coyhaique: ProCultura.
- Rudofsky, B. (1976). Arquitectura sin arquitectos: breve introducción a la arquitectura sin genealogía. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- SEREMI Vivienda y Urbanismo, región de Aysén (2021). Programa protección al patrimonio familiar (PPPF) D.S. N°255/2006
- Tillería González, J. (2006). LA ARQUITECTURA SIN ARQUITECTOS, ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE ARQUITECTURA VERNÁCULA. AUS, 8, 12–15. <https://doi.org/10.4206/aus.2010.n8-04>
- Uriarte Gilabert, A. (2011). Estrategias sostenibles de la arquitectura religiosa en Chile desde la colonización.

## **Nuevos paneles prefabricados de construcción para viviendas modulares en el sur de Chile**

**Estudiante:** Javier Alejandro Ibarra Espinoza

**Profesor guía:** José torres B

### **Resumen**

La situación de vivienda actual en el país representa una gran problemática, nos enfrentamos a un gran déficit habitacional, el cual podría encontrar solución en las viviendas industrializadas. Es por esto por lo que el objetivo de la investigación es crear una propuesta de diseño para un nuevo panel prefabricado de autoconstrucción, que sea amigable con el medio ambiente y acerque la posibilidad de vivienda en particular a familias de menores recursos. Para lo cual se realizó un estudio de cuatro sistemas de construcción prefabricada existentes y actualmente comercializados en Chile, los cuales se analizaron y compararon sus características técnicas, para así poder identificar los mejores atributos de cada uno, seleccionando los atinentes a las soluciones que se buscan resolver. Como resultado se plantea una propuesta de diseño de panel de construcción que cumple con los objetivos iniciales y tiene un comportamiento estructural teóricamente funcional.

### **Palabras clave:**

## 1. Introducción

El problema de la vivienda en Chile actualmente representa una gran preocupación para la mayoría de las familias, quienes buscan siempre la mejor alternativa para lograr el sueño de la casa propia, es en este contexto que el comercio de las casas prefabricadas se ha abierto camino. Sin embargo, aún existe un gran desconocimiento y estigmas sociales sobre este tipo de viviendas, las cuales en realidad representan una muy buena solución para familias en el sur de Chile, como por ejemplo en la región de la Araucanía, donde hay muchos factores que representan barreras para la obtención de una casa propia.

Barreras tales como la economía, ya que según un estudio realizado por la Universidad de la frontera en 2019, en base a los datos de la encuesta Casen 2017, arrojó que 7 de las 10 comunas más pobres del país medido según ingresos, se ubican en la Región de la Araucanía. Es más, “La Araucanía tiene ingresos casi 30% inferiores al promedio del país, y se posiciona como la región más pobre (con una tasa de 17,4% versus el 10,8% a nivel nacional) de Chile, y la región con menor nivel de empleo a nivel nacional.” (Encuesta Casen, 2020).

El clima también es un factor protagonista, ya que las lluvias afectan enormemente el tema de la vivienda, ya que son solo unos pocos meses al año en los cuales se puede trabajar sin lluvia, lo que obliga a buscar soluciones rápidas y eficientes de construcción.

Dentro de las opciones que existen actualmente como métodos de construcción prefabricada en Chile, encontramos diferentes problemáticas, que resultan dañinas o perjudiciales ya sea para las familias, o para el medio ambiente, lo que puede significar un impedimento para su obtención, como por ejemplo el Panel SIP, el cual es uno de los métodos prefabricados de construcción más utilizado en Estados Unidos, y muy masificado en Chile de igual manera, el cual dentro de su estructura principal, contempla una gran placa de poliestireno expandido (cerca de un 80% de cada panel), el cual se fabrica en base a petróleo generando grandes contaminaciones, además de los desperdicios y emisiones en obra. También nos encontramos con una problemática económica que afecta a este tipo de construcción, el cual es que muchas veces las familias contemplan la compra de un kit básico de vivienda, sin embargo, deben incurrir en nuevos gastos no necesariamente contemplados, como la contratación de personal capacitado para el ensamble de la vivienda, como podría ser en el mismo caso de los paneles SIP, o en las casas de fabricación con Metalcom, a lo cual se le suma el gasto de transporte de los paneles y las complicaciones que estas conllevan, ya que generalmente se utilizan camiones de grandes tonelajes para el traslado del material, lo cual complica el acceso a lugares rurales, como campos y alrededores de pueblos pequeños, siendo estas familias quienes más podrían beneficiarse con este tipo de viviendas.

Debido a estas problemáticas, y en respuesta a las necesidades existentes en la zona sur del país, como la necesidad de una vivienda de rápida construcción, con una respuesta térmica eficiente, que de igual manera sea amigable con el medio ambiente, para contrarrestar la enorme situación de contaminación en el aire que se vive en esta parte del país, además de la facilidad de traslado del material, se buscará estudiar y evaluar la factibilidad y eficiencia de una nueva estructura modular prefabricada de construcción que no requiera de

conocimiento técnico profesional para su ensamble y que presente menores factores de riesgo o dañinos.

Se plantea así que el modelo propuesto de un nuevo sistema modular de autoconstrucción reúne las mejores características de los referentes analizados y se posiciona como una posible opción viable y optimizada en rendimiento, con una manipulación más sencilla que permite la instalación de los paneles con autogestión familiar, sin la estricta necesidad de contratación de equipos externos capacitados.

El principal objetivo de esta investigación es evaluar la factibilidad del diseño propuesto del nuevo módulo prefabricado para la autoconstrucción de vivienda, comparando aspectos con referentes de los sistemas más utilizados en la zona sur de Chile. Así lograr identificar los sistemas prefabricados de construcción que se analizaran como referencia para la retroalimentación teórica base en el diseño de la nueva propuesta estudiando estas características y seleccionando las atinentes a las problemáticas que quieren resolver. Luego comparar los aspectos técnicos de los referentes, para estudiar comportamientos y posibles mejoras de rendimiento estableciendo una guía de diseño con los datos obtenidos anteriormente, que permitan ajustar y orientar el módulo propuesto hacia un camino viable de fabricación y por último estudiar la posible utilidad de este diseño, en otras regiones del país, donde las condiciones climáticas y sociales cambian.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Construcción en Chile**

El enfoque principal de la investigación y propuesta de diseño, va orientado en crear una solución para aquellas familias de más escasos recursos para los cuales “la casa propia” hoy se ve como un mero sueño, idealmente de las zonas rurales al sur del país, más específicamente en la región de la Araucanía, la cual, según un estudio realizado por la cámara chilena de la construcción, presenta una proyección de generación de vivienda tal, que para dentro de 13 años se deberán construir 133.560 viviendas, es decir, 10.273 viviendas por año (Cámara Chilena de la Construcción ‘CChC’, 2022).

Para lograr satisfacer esta meta, debemos ser conscientes del gran impacto medioambiental que genera la construcción en el mundo y en Chile, donde este rubro afecta de muchas maneras, desde la contaminación del aire y agua, provoca erosión de la tierra y alteraciones en ecosistemas, además de ser responsable de la generación de más de un tercio (33%) de las emisiones totales de gases efecto invernadero y residuos sólidos, a lo que se suma el gasto energético el cual corresponde al 26% de la energía consumida por el país, del cual un 21% corresponde al sector residencial. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2018).

Todo esto solo durante el proceso de construcción, durante la etapa de uso las edificaciones consumen más del 15% de la energía del país y se produce cerca del 90% del material particulado fino, asociado principalmente a la utilización de calefacción a leña, uso que

principalmente se da en el sur de Chile. Por lo tanto, es completamente necesario asumir este desafío de incorporar caracteres de diseño sustentable para la construcción y de optimizar los rendimientos energéticos de las viviendas.

Con el objetivo de fomentar la construcción sustentable, en 2012 se firmó un convenio para desarrollar la “Estrategia Nacional de Construcción Sustentable”, entre el Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía y Ministerio del Medio Ambiente, el cual define la construcción sustentable como “un modo de concebir el diseño arquitectónico y urbanístico, que se refiere a la incorporación del concepto de sustentabilidad en el proceso de planificación, diseño, construcción y operación de las edificaciones y su entorno, y que busca optimizar los recursos naturales y

los sistemas de edificación de tal modo, que minimicen el impacto sobre el medio ambiente y la salud de las personas” (Estrategia Nacional de Construcción Sustentable,2013).

A partir del trabajo de este convenio, se desarrollaron múltiples iniciativas que buscaban fomentar las prácticas sustentables en la construcción, una de ellas es un documento emitido por el Ministerio de vivienda y Urbanismo llamado “Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile. Tomo V Impacto Ambiental” el cual establece medidas de mitigación en todas las escalas y etapas de los procesos constructivos, como la erosión de suelos, la emisión de gases contaminantes y establecer medidas de recuperación del ecosistema.

## **2.2. Análisis de referentes**

Para comenzar el proceso de diseño del nuevo panel prefabricado, que busca ser una mejor alternativa a las soluciones constructivas ya existentes, es necesario conocer la oferta actual de este tipo de viviendas comercializadas en la región, para analizar sus características, catalogar y ordenar la información referente a ellas, es por esto que se seleccionaron los 4 tipos de viviendas prefabricadas que se mencionan a continuación:

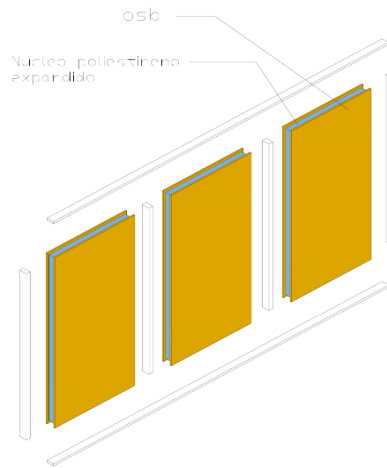
### **Panel SIP:**

En primer lugar, nos encontramos con los paneles SIP o “Structural Insulated Panel”. Este sistema constructivo fue creado en los años 70 en Estados Unidos y consiste en un núcleo rígido de poliestireno el cual se ubica entre dos placas estructurales de OSB (Oriented strand Board), actualmente representa el sistema más utilizado para la construcción de viviendas en ese país. Dentro de sus características principales nos encontramos con que tiene una alta capacidad estructural, una excelente aislación térmica y una rápida construcción.

### **Tabiques prefabricados:**

Otro de los tipos de estructura prefabricada más comercializadas, son los tabiques tradicionales con estructura de madera, ensamblados en fábrica y llevados listo para ensamblar en obra. Estos paneles constan de soleras y pies derechos, rellenos con aislantes, los cuales pueden variar entre Aislapol, lana de vidrio o lana de oveja, y que finalmente se forman con paneles de OSB estructural. Este tipo de vivienda tiene un margen de precio y

calidades muy amplio, sin embargo, lo más común y económico es que se venden en packs estructurales, los cuales no contemplan terminaciones o forrado interior, es decir, los paneles vienen con la cara exterior lista para verse sometida a la intemperie, pero por dentro, son tabiques con la estructura a la vista por cual deben considerarse gastos extra para la terminación de la vivienda.



**Izq. Figura 1:** Esquema estructura panel SIP

**Der. Figura 2:** Proceso de instalación tabiques prefabricados. *Es.vecteezy.com*

#### **TWH:**

Una de las viviendas prefabricadas más innovadoras en Chile, son las fabricadas por la empresa TWH, las cuales, según la misma página de la empresa, se podrían definir como un lego tamaño real. Todas las piezas vienen armadas desde fábrica, con detalles estructurales, aislamiento y conexiones ya instaladas. Las partes de la vivienda se llevan al lugar de la obra completamente preparadas para su instalación, en 4 días la obra gruesa está completamente levantada, sin generar residuos sólidos producto de corte de material o cualquier otro proceso convencional de una faena de construcción.

#### **Steel Frame:**

Este sistema constructivo se basa en utilizar un esqueleto de perfiles de acero galvanizado, los cuales van construyendo la trama estructural de la vivienda. Es un sistema semi industrializado y prefabricado, ya que las piezas se construyen en taller fuera de obra, sin embargo se pueden trabajar y modificar en la misma obra para ir modificando medidas según sea necesario. Este tipo de estructura se debe forrar completamente en obra, no posee ningún cerramiento previamente en fábrica. Es un sistema ligero que presenta muchas ventajas, como la rapidez de construcción, las luces que pueden salvar en comparación a estructuras de madera y los menores esfuerzos de carga comparados con estructuras de hormigón.



**Figura 3:** Esquema estructura de vivienda con sistema de construcción TWH.

**Figura 4:** Esquema estructura de vivienda construida con SteelFrame.

El uso de todos estos sistemas constructivos, a excepción de la vivienda de TWH, se encuentra totalmente masificado en Chile, existen numerosas empresas dedicadas a la venta y servicio de instalaciones de estas viviendas, sin embargo, su presencia y disponibilidad puede variar según las distintas zonas del país, esto se debe a cómo cambian las condiciones climáticas a medida que uno avanza por Chile, por lo cual la oferta de productos se adecua según las necesidades de cada localidad.

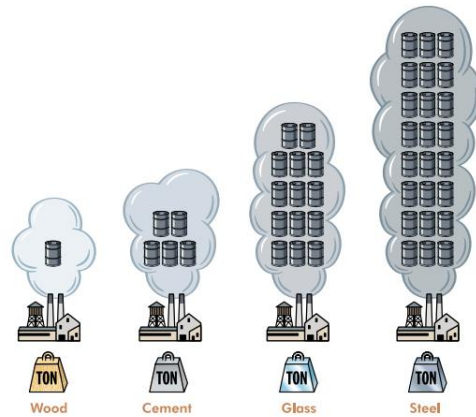
### 2.3. Marco teórico

Para cumplir los objetivos de la investigación, se detallan a continuación los distintos criterios que se analizaran y compararan para establecer los criterios de diseño de la propuesta del nuevo panel prefabricado.

#### **Análisis características técnicas de referentes**

- **Modo de comunicación a suelo**

Para estos cuatro sistemas de construcción nos encontramos con la posibilidad de establecer los cimientos de la vivienda, o la forma en que se comunican a suelo, de dos maneras principales, mediante una losa ( también conocido como radier) o fundaciones corridas de hormigón, como también puede ser mediante la utilización de fundaciones aisladas ( o los conocidos pollos de cemento o madera) mediante los cuales se instalan unas vigas madres de madera, que sirve como base para crear un deck de madera el cual hará de suelo de la vivienda, donde se levantará el resto de la estructura. A partir de estas dos formas de cimentación, como materiales en primer lugar tenemos la madera, la cual es el único material que ayuda a reducir el CO<sub>2</sub> en la atmósfera, debido a que durante el proceso de crecimiento de los árboles absorben grandes cantidades de dióxido de carbono mediante la fotosíntesis, lo cual convierte a la madera en el material de construcción con la mas baja huella de carbono.



**Figura 5:** Este esquema representa la cantidad de energía necesaria para producir una tonelada de madera, cemento, vidrio y acero

Por otro lado, tenemos la losa de hormigón en completo contraste con la madera en materia contaminante. La fabricación de cemento como material por sí solo, representa el 90% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los procesos industriales. Ahora bien, a pesar de que según un estudio realizado por la revista Nature Geoscience, liderado por científicos británicos y chinos, en colaboración con la Universidad de California (Estados Unidos) y el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), el cemento mundial tiene la capacidad de absorber 1000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> atmosférico al año. Se estima que entre el año 1930 a 2013 el cemento como material generó una compensación en la absorción de carbono del 43% en ese periodo de tiempo, sin embargo, dentro de estos cálculos tanto de emisión como de reabsorción, no están considerados todas las emisiones de carbono petrolífero a raíz de traslados y otros procesos industriales ligados a la fabricación del mismo, es decir, es un elemento altamente contaminante.

- **Sistemas aislantes y características materiales**

De estos cuatro sistemas constructivos, se desprenden dos formas de aislar las viviendas del medio ante las temperaturas y acústicamente; En primer lugar, tenemos los Paneles SIP y las viviendas de TWH, los cuales trabajan con paneles sólidos que funcionan como tabiques, ya sean estructurales o no, los cuales cuentan con una gran placa de Poliestireno o poliuretano respectivamente, las cuales se recubren a modo de sándwich con planchas de madera u OSB. Por otro lado, tenemos los tabiques tradicionales y las viviendas de Steel Frame, las cuales generan cavidades huecas dentro de los tabiques, las cuales se pueden rellenar con el aislante de preferencia según los requerimientos y/o capacidades del demandante.



Material	Densidad aparente (KG/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica W/(m x k)
<b>Hormigón armado normal</b>	2.400	1.63
<b>fundición y acero</b>	7850	58
<b>Lana mineral</b>	40	0.042
	50	0.041
	70	0.038
	90	0.037
	100	0.04
	110	0.042
<b>Maderas: Álamo, Alerce, coigüe, lingue, pino insigne, rauli, roble.</b>	380	0.091
	560	0.134
	670	0.145
	640	0.136
	610	0.104
	580	0.121
	800	0.157
<b>Tableros aglomerados</b>	400	0.095
	420	0.094
	460	0.098
	560	0.102
	600	0.103
	620	0.105
	650	0.106
<b>Poliestireno expandido</b>	10	0.0430
	15	0.0413
	20	0.0384
	30	0.0361
<b>poliuretano</b>	20	0.0272
	30	0.0262
	40	0.0250
	45	0.0245
	60	0.0254
	70	0.0274
<b>Yeso Carton</b>	650	0.24
	700	0.26
	750	0.31

Figura 6: Nch 853 of2007.

La conductividad térmica se define como la capacidad de un material para conducir el calor, es por esto que mientras menor sea este valor, mejor aislante será un material. Bajo este concepto y cómo podemos analizar en la tabla, los materiales que representan una peor alternativa como aislantes para vivienda son el Hormigón armado y el Acero, mientras que por otro lado tenemos unos excelentes aislantes térmicos, como lo son las lanas minerales, poliestireno expandido y el poliuretano, por lo cual es lógico comprender que sean de los materiales para utilizados para construcción de viviendas. Sin embargo, los niveles de contaminación de estos productos al medio ambiente son altísimos. El poliestireno expandido, por ejemplo, es un plástico derivado del petróleo (recurso natural no renovable), puede tardar 500 años o más en degradarse y actualmente representa una de las principales preocupaciones en materia de desechos y basura, en Chile se desechan cerca de 360 millones de toneladas al año, de los cuales se estima que 60 millones corresponden a laboral industriales, y el resto a labores domésticas. (Agenda país,2019).

- **Uniones estructurales**

Las formas en que estos sistemas estructurales se ensamblan son todas similares, ya sea por unión con tornillos o clavos, para conectar paneles o perfiles de madera o acero, el único que se diferencia de los 4, son los modelos de TWH, al trabajar con un marco rígido de acero que se una a paneles SIP a modo de lego, juntando piezas hasta armar toda la estructura perimetral e interior de la vivienda.

- **Instalaciones eléctricas y sanitarias**

En el caso de los paneles SIP, las instalaciones tanto eléctricas como sanitarias se realizan directamente en obra, para lo cual, al panel se le hace un pequeño surco en la plancha de OSB, para posteriormente derretir el Aislapol para crear la canaleta donde irán los tubos de electricidad y agua. Esto genera demasiada contaminación, por los residuos sólidos que resultan de este proceso, además de contaminar directamente, por los gases que se generan al derretir el Aislapol.

Existe una alternativa en Chile llamada PANEL SHEEP, que tomó el concepto del panel SI y lo transformó considerando estas emisiones contaminantes, en primer lugar, en vez de utilizar Aislapol, utilizar como elemento aislante la lana de oveja, y como ésta no presenta características rígidas estructurales como el Aislapol, lo que hace es crear un semi tabique de madera, el cual rellena con la lana de oveja y recubre con planchas de OSB, es en este proceso donde se aprovecha de incorporar la tubería y ductos para instalaciones eléctricas y sanitarias, evitando la generación de desechos en obra.

Por otro lado, los tabiques prefabricados de madera, al comercializarse como solo un “esqueleto de madera”, al cual en obra se le deben dar los acabados y cerramientos, es en la misma obra donde se realizan las instalaciones eléctricas y sanitarias. Lo mismo sucede con las viviendas construidas a partir del Steel Frame, estos perfiles de acero con los cuales se ensamblan los muros y tabiques suelen traer unos surcos interiores donde se pasa todo el cableado y tuberías.

- **Tiempos de construcción**

Las viviendas prefabricadas, o industrializadas, tienen como una de sus características principales el reducir los tiempos de construcción, si con un método tradicional construir una vivienda significa alrededor de 10-14 meses, con algún sistema prefabricado esos tiempos se reducen considerablemente. Según la empresa Chilena “Tucasafacil”, dedicada a la venta y construcción de viviendas con paneles SIP, el utilizar este sistema constructivo es %55 más rápido que los sistemas tradicionales, ya que para levantar la obra gruesa de una vivienda de 85 m<sup>2</sup> solo tardan 10 días, con un equipo de 3 personas. Las viviendas construidas con Steel Frame (Metalcom) sin igual de rápidas, en 2 o 3 días se puede tener la estructura principal de una vivienda levantada, dependiendo del tamaño de la vivienda y la disposición del equipo necesario, a lo cual es necesario considerar los días que demore todo el resto del proceso constructivo, como los aislantes, fachadas, forrar el interior, instalaciones, etc. En el caso de las viviendas diseñadas por TWH, al ser un esqueleto de acero al cual se le adosan paneles,

los tiempos de construcción de obra gruesa también son muy rápidos, en 4 días una vivienda estaría levantada lista para dar las terminaciones finales. En este aspecto todos los sistemas comparados tienen un buen desempeño en cuanto a tiempos de obra y construcción, reafirmando esto como una importante ventaja de los sistemas prefabricados de construcción.

- **Transporte de materiales a obra**

La forma, tamaño y peso de las piezas que conforman cada uno de los sistemas que se están comparando varían, por lo cual también varía la forma en que estos materiales se transportan a la obra. Los paneles SIP, Tabiques tradicionales prefabricados, y las viviendas de viviendas TWH, trabajan con sistemas los cuales requieren del transporte de piezas en formatos que parten de los 2x1.5 metros, como lo son los paneles SIP, por lo cual se requiere de la utilización de camiones de grandes dimensiones, los cuales por peso y tamaño no pueden acceder fácilmente a todos los lugares, y a otros simplemente no pueden llegar, como ocurre en algunas zonas rurales de la región de la Araucanía, donde aún no existen caminos asfaltados, o donde muchas veces solo pueden acceder con transporte de tracción animal, ya sea por recursos o condiciones del terreno.

- **Nuevas soluciones para la vivienda**

El mundo de la construcción avanza día a día, y cada vez surgen nuevas alternativas sustentables que combaten los efectos del cambio climático. Y Chile no se queda atrás, es en este contexto que aparece “ROOTMAN”, una empresa chilena que ofrece un aislante térmico natural que se vende en módulos de 60x60cm, fabricado a partir de materiales 100% naturales y sustentables, apto para múltiples usos y que no requiere de personal especializado para su instalación.

A esta iniciativa se suma la propuesta de la empresa “3CO-FIBER” la cual crea paneles que tiene el mismo fundamento de los paneles SIP, sin embargo, reemplazan el núcleo rígido de poliestireno, por un núcleo creado a partir del reciclaje de prestas textiles, las cuales trabajan dándole forma y resistencia, son los únicos en Latinoamérica en crear este tipo de aislante que cuentan con certificación de propiedades térmicas, acústicas e ignífugas.

### **Análisis variables contextuales de la región**

umado a las características técnicas y materiales analizadas de los sistemas tomados como referentes, se deben conocer los distintos factores y variables que determinan ciertos parámetros de comportamiento y como deben responder las viviendas a estos distintos escenarios:

- **Clima**

Un claro ejemplo de cómo impacta la contaminación ambiental en el mundo es el cambio climático, y la región de la Araucanía no se queda exenta a esos cambios.

“La disminución de las precipitaciones en esta región, territorio que en el imaginario colectivo se asocia con altas precipitaciones y abundancia de recursos hídricos, ha comenzado un proceso de transformación a una zona semiárida en el secano interior que abarca gran parte de la provincia de Malleco y algunas comunas de la provincia de Cautín, como Lautaro, Cholchol y Nueva Imperial. Un punto de inflexión en esta transformación ocurrió el año 2019, cuando las precipitaciones registraron reducciones de 30% a 50% comparado con los promedios históricos, patrón que ha persistido en los años recientes.” (Jerez J. 2021).

El profesor de ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad Católica de Temuco Jorge Jerez define la zona como una región en Transición climática, con una disminución en las precipitaciones de tal magnitud que se generan zonas de sequía dentro de la región, por lo cual establece como prioridad el dar un enfoque sustentable a las actividades productivas de la región con el objetivo de asegurar el desarrollo socioeconómico y evitar los daños y deterioros medioambientales de las comunas más afectadas de la región.

Las temperaturas en la región de la Araucanía también se han visto alteradas debido a las repercusiones del cambio climático, hace algunos años las temperaturas solían variar dentro de un margen bastante acotado, llegando a Temperaturas máximas de 27°C, hoy en día esta situación ha cambiado radicalmente, y la región pasó de ser una zona con temperaturas más bajas, a oscilar entre dos extremos bastante alejados, durante el año 2021, las temperaturas variaron entre mínimas de -4.3°C y máximas de 37.2°C. (Dirección meteorológica de Chile, 2022).

- **Contaminación del aire en invierno**

Durante el invierno, la zona sur del país experimenta bajas de temperatura importantes para lo cual la gran mayoría de las familias optan por el sistema de calefacción a leña, el cual es el principal emisor de material particulado fino (MP2,5).

“Se estima que en el año 2018 alrededor de 10 millones de personas estuvieron expuestas a concentraciones promedios diarias de MP2,5 superiores a lo establecido por la norma chilena actual (50 µg/m<sup>3</sup>) y aún más lejos del límite sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, de 25 µg/m<sup>3</sup>). Estos niveles de contaminación por MP2,5 tienen múltiples e importantes impactos, destacándose el efecto nocivo sobre la salud, ocasionando más de 3.600 muertes prematuras en 2018 (MMA, 2019).” (CR2. Center climate and resilience research, 2020).

Según datos recopilados por el informe “El aire que respiramos, pasado, presente y futuro”, el 90% de las emisiones de MP2.5 corresponden al sector residencial. Esto queda en evidencia cuando revisamos el ranking de la IQAIR, (empresa suiza de tecnología de la calidad del aire, que se especializa en la protección contra los agentes contaminantes del aire y desarrolla productos para el control de la calidad del aire, que trabaja de la mano con “United Nations Environmental Program”, Greenpeace y UN-Habit) sobre “World’s most

polluted cities” ( Ciudades más contaminadas del mundo), donde observamos que de las 10 ciudades más contaminadas de Sudamérica, 8 se encuentran en Chile, de las cuales 5 se ubican en la región de la Araucanía.

### **3. Metodología**

Debido a que el objetivo de la investigación es evaluar la posible factibilidad del nuevo módulo propuesto para autoconstrucción, el posible producto se encuentra aún en una primera etapa de diseño, por lo cual el trabajo será principalmente teórico.

Para diseñar esta propuesta de un nuevo panel prefabricado, se analizan los datos y características comparados anteriormente de cada uno de los sistemas estructurales seleccionados como referencia, es decir, existe una jerarquización y valorización de los desempeños técnicos según cada uno de los apartados que se analizaron como posibles factores determinantes para la línea de diseño. En paralelo, se realizó un estudio a la bibliografía técnica de los fabricantes de los referentes actualmente comercializados y anteriormente analizados, para comprender de qué manera se trabajan estos sistemas estructurales, sus formas de manipulación, uniones, maquinaria requerida, necesidad de personal técnico capacitado, etc. y así poder identificar y seleccionar las técnicas de trabajo que mejor sigan la línea de los objetivos de la investigación.

A su vez, y en base a los datos relacionados a las adversas condiciones climáticas, contextuales y socioeconómicas de la región, se establecen los puntos críticos de comportamiento a los cuales el panel debe dar respuesta. Con estos dos grupos de información, se entrelazan las variables y se establecen relaciones entre material-comportamiento-forma de trabajo-respuesta, es decir, se seleccionan materiales que tengan compatibilidad estructural entre sí, los cuales puedan trabajar en conjunto, respetando los valores fundamentales de sustentabilidad y cuidado del medio ambiente, creando una solución viable a las problemáticas expuestas.

Con los materiales seleccionados, y con la claridad de como trabajarlos, se comienzan a realizar distintas pruebas en modelado 3D, las cuales siguen patrones de comportamiento similares al sistema estructural referente escogido como principal inspiración para la propuesta del nuevo diseño, modificando apartados tales como dimensiones, estructura y morfología principal del panel, formas de unión, cerramientos y posibilidades de ampliación de la vivienda, buscando optimizar estos apartados, para obtener un resultado final que represente una mejor alternativa a las ya existentes y comercializadas.

### **4. Resultados**

La propuesta de diseño del nuevo panel prefabricado de construcción para viviendas toma como punto de partida para su diseño, todos los elementos anteriormente expuestos, junto con los objetivos de la investigación, es decir, que sea un panel amigable con el medio

ambiente, sustentable, fácil de transportar y de construir, es decir, apto para la autoconstrucción, acercando la posibilidad de obtener una vivienda digna a familias de más escasos recursos, por lo cual:

	Muros	Techumbre	Pisos ventilados
R100	183	282	183
Espesor mm	66	102	62

**Figura 7:** Especificaciones técnicas ROOTMAN

Comparando los niveles de contaminación y repercusión en el medio ambiente de los distintos materiales de construcción, se escoge como material principal para la estructura del panel y de la vivienda, la utilización de la madera, debido a sus beneficios y ayuda al combate en la absorción de CO<sub>2</sub>. De este modo, se descarta el uso de hormigón y acero para estructuras o fundaciones, materiales que, además de ser costosos, generan importantes niveles de contaminación a lo largo de su cadena de producción y vida útil. Para el diseño de propia forma del panel se toma como principal referente el diseño y funcionamiento de los paneles SIP, por su formato de instalación y fácil manipulación. En cuanto al sistema aislante para la vivienda, se escoge como material la propuesta Chilena de aislante “ROOTMAN”, el cual presenta gran cantidad de beneficios; en primer lugar tiene un muy buen desempeño como aislante térmico, ya que tiene una conductividad **térmica** de  $\lambda=0.035\text{mk}$ , lo que significa que tiene igual o mejor desempeño que dos de los materiales más utilizados como la lana mineral ( $\lambda=0.037-\lambda=0.042$ ), o el poliestireno expandido ( $\lambda=0.0361-\lambda=0.0430$ ). A lo cual se suma su aislación acústica con un índice de reducción de ruido de  $R_w=48\text{ dB/ cPIA}$  (NRC 0.75), una resistencia al fuego >60 minutos según los ensayos realizados en el departamento de estudios técnicos de Bomberos de Los Ángeles, resistencia a incendios F-19/IDIEM y un factor de resistencia al vapor de agua de  $u=3,341$ . Según las especificaciones técnicas del fabricante, el cual nos entrega una tabla para los espesores de acuerdo a la zonificación térmica de país, desde las ciudades de Temuco hasta Osorno se deben utilizar.

Además de ser un material fácil de manipular, se puede cortar con tijeras o sierra, y se amolda a irregularidades.

En respuesta a las condiciones climáticas y las variables que se presentaron anteriormente, el nuevo panel debe tener un buen comportamiento ante situaciones de grandes precipitaciones, y que presente buen desempeño ante las variaciones de bajas y altas temperaturas que se viven en la región durante el transcurso del año, este punto es muy relevante, ya que teniendo una vivienda energéticamente eficiente, se reducirán los gastos en calefacción, lo que va directamente ligado a la reducción de emisión de material particulado en la zona sur del país.

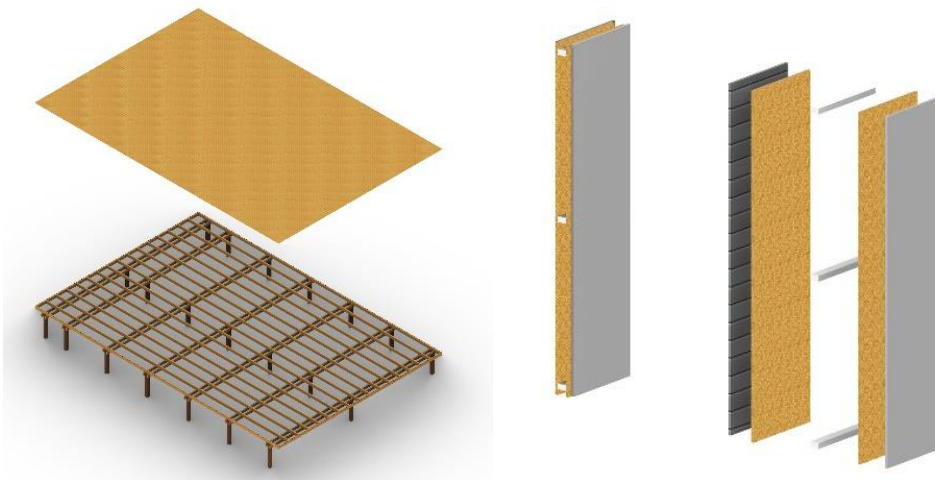
Y como último fundamento de diseño, la propuesta de diseño de panel debe tener unas medidas y una forma de transporte y manipulación que no requieran de grandes camiones, grúas o maquinaria especializada, que sea idealmente transportable en el Pickup de una camioneta.

#### 4.1. Comunicación a Suelo.

Se establece que la forma de cimentación para las viviendas construidas con este nuevo panel será sobre una plataforma de madera soportada por pilotes aislados de madera o pilotes de hormigón (único elemento de este material según sea estrictamente necesario). (Figura 8)

#### 4.2. Forma y diseño propuesta panel prefabricado de autoconstrucción.

El panel como tal es de tipo sándwich, el cual se ensambla a partir de 3 cadenas de madera, que se recubren por ambos costados con medias planchas de OSB (61x244cm) y que posteriormente se recubren con otra capa de material, por la cara interior se utilizarán planchas de Yeso cartón, mientras que para los muros perimetrales la cara exterior se recubre con una placa de Fibrocemento, teniendo así la terminación lista al momento de instalar el panel. Dentro de las cavidades que se generan entre las cadenas de madera se inserta el bloque de aislante ROOTMAN. (Figura 9).



Izq. Figura 8. Der. Figura 9.

Estas piezas se ordenan verticalmente sobre una solera correspondiente a un perfil de madera previamente instalado en lo que será el piso de la vivienda, el cual se utiliza como riel, permitiendo la unión longitudinal de un panel con otro, para ir formando la estructura de la vivienda, para lo cual cuentan con pestañas desfasadas que se generan entre la capa de OSB y la capa de material exterior, lo que permite generar un comportamiento a modo de "lego" tal como los paneles SIP. Para reforzar las uniones de los paneles, se atornillan unos

con otros en las uniones que se generan en estas pestañas de encaste, a lo cual se suma la instalación de una solera superior de madera que recorre todo el largo de cada muro y que se fija con tornillos. (Figura 10).

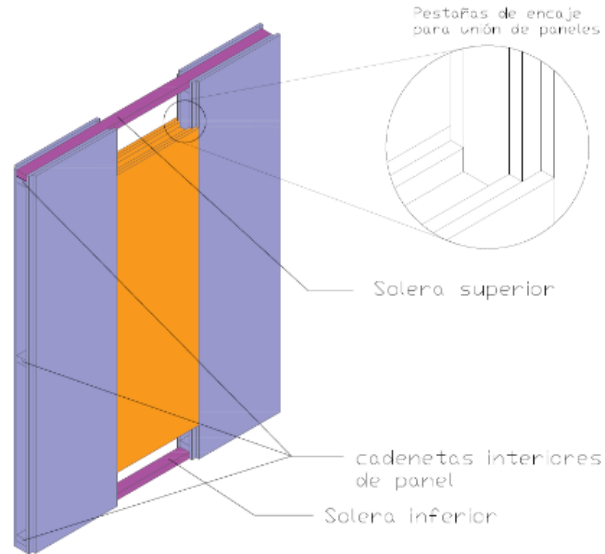


Figura 10.

#### 4.3. Uniones estructurales de la vivienda

En los encuentros de esquina de los muros perimetrales se instalan perfiles de madera que pueden generar formas en “L” o en “cruz”, de modo que los paneles que se encuentren en dicha intersección tengan un apoyo firme para mantener la rigidez a lo largo del sistema:

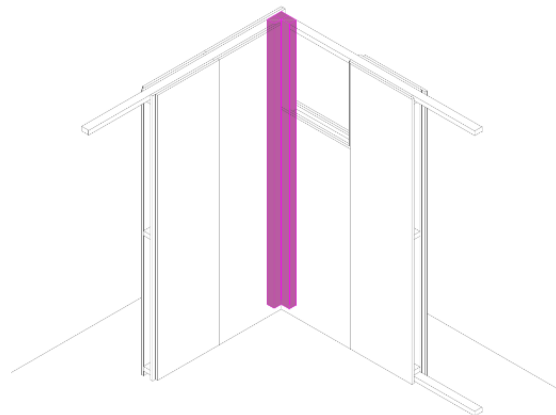
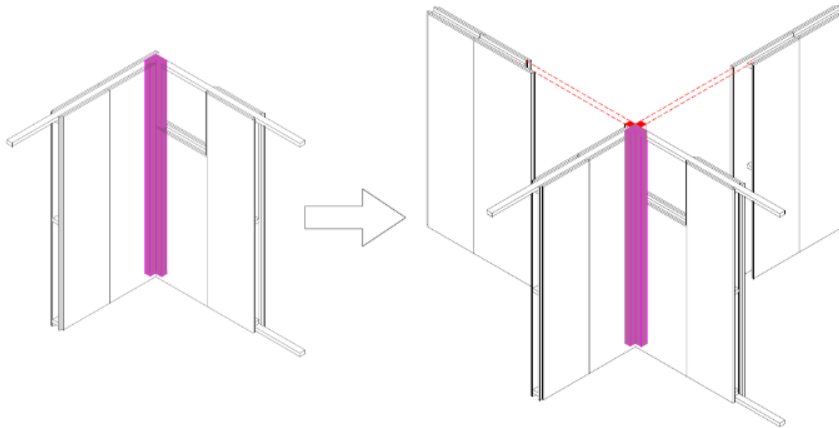


Figura 11.

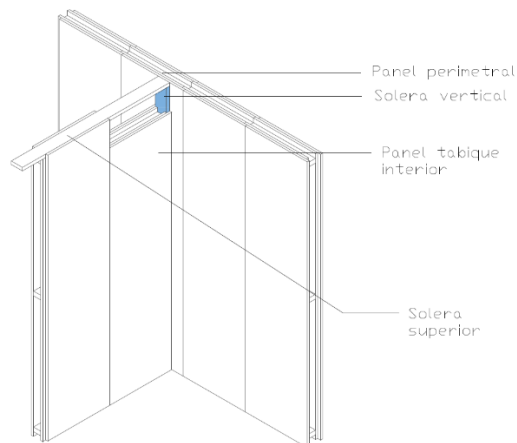


El objetivo de trabajar estos perfiles de madera tipo “L” como esquineros, es generar la posibilidad de una fácil ampliación futura de la vivienda, adosando una nueva columna de madera, dando paso a un perfil en “cruz”, permitiendo la instalación de nuevos tabiques perimetrales o interiores y así continuar con el crecimiento de la estructura, dando mayor flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades de cada familia.



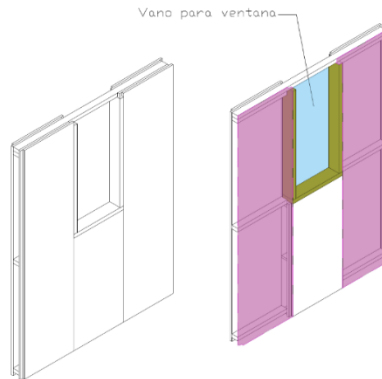
**Figura 12.**

Para la instalación de muros interiores se dispone sobre la cara interior de los muros perimetrales una solera de madera vertical, donde puede apoyar la pestaña de encastre del primer panel que dará inicio a un tabique de división interior. Así sucede con todos los muros interiores, los cuales terminaran unidos unos con otros, longitudinalmente, con las soleras de madera superior, lo cual ira configurando un amarre perimetral tanto superior como inferior en toda la vivienda, lo que teóricamente dará a la estructura un “comportamiento de caja”, desarrollando así una buena resistencia estructural y buen comportamiento al verse sometida a esfuerzos externos. (Figura 13).



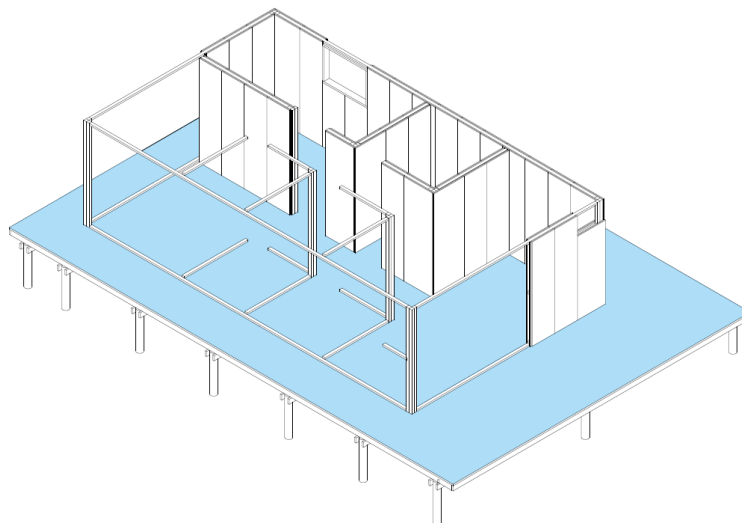
**Figura 13**

Para la creación de vanos de ventanas o puertas se instalan paneles de medidas especiales, los cuales tiene la altura necesaria para instalar un marco de madera solida a la medida necesaria para soportar la estructura de la ventana o de una puerta. (Figura 14).



**Figura 14**

De esta manera se configura toda la construcción de la vivienda, agregando adhesivos y aislantes entre las piezas buscando asegurar las uniones y evitar los puentes térmicos que se puedan generar en los encastres de unión de los paneles. El fundamento tras el método constructivo del panel funciona de manera muy similar al utilizado por los paneles SIP y TWH, con la diferencia de que se ahorra el tener que instalar soleras en la unión de cada panel con otro.



**Figura 15**

#### **4.4. Instalaciones eléctricas y sanitarias.**

Las instalaciones eléctricas y sanitarias de la vivienda se pueden trabajar de dos maneras; la primera es incorporar directamente los elementos necesarios para cableados y tuberías dentro del mismo panel al momento de fabricarlo, sin embargo, este proceso podría representar un aumento en los costos de la producción del mismo, debido a que estas instalaciones específicas podrían estar ligadas a un diseño en particular de vivienda, o bien a una tipología diseñada lista para comercializar utilizando este nuevo panel prefabricado. La segunda alternativa, la cual responde directamente a uno de los objetivos de la investigación, consiste en trabajar con las instalaciones visibles, lo que reduce los gastos y a su vez facilita los trabajos de mantención al igual que la extensión de cableado o instalaciones en caso de ampliación de la vivienda.

#### **4.5. Transporte de los paneles.**



**Figura 16**

Gracias al nuevo formato y a las medidas de la propuesta de diseño del nuevo panel prefabricado para autoconstrucción, hacen posible que sea transportable en el pickup de una camioneta tradicional (*Figura 16*), vehículo que tiene un mejor desempeño en lugares de complejo desplazamiento o acceso para grandes vehículos, reemplazando los grandes camiones y grúas con los cuales se transportan actualmente los otros paneles prefabricados del mercado, generando limitaciones para su compra y segregando a cierto grupo de la población, principalmente de zonas rurales.

## 5. Conclusión

Gracias a la utilización de madera en prácticamente la totalidad del nuevo panel propuesto, se cumple uno de los principales objetivos de la investigación el cual era crear una alternativa de construcción sustentable y amigable con el medioambiente, a lo que se suma la utilización de un aislante completamente natural que tiene un desempeño de aislación térmica de muy buen rendimiento, lo que va de la mano con la reducción de gastos energéticos y contaminación asociados a calefacción y usos domésticos. A su vez, la reducción en el tamaño de estos, comparados con las alternativas actualmente comercializadas, los hacen una alternativa más fácil de manipular por personas que no sean técnicamente certificados o capacitados en áreas referentes a la construcción, además de su fácil transporte en vehículos de uso doméstico como una camioneta pickup, lo cual posiciona esta propuesta de diseño como una alternativa que fomenta la auto construcción, acercando la posibilidad de adquirir una vivienda a familias que buscan obtener su casa propia.

El comportamiento estructural de la vivienda debería responder de manera similar al panel SIP, debido a sus similitudes en la morfología del mismo, lo que aporta como valor agregado el trabajar un panel con medidas establecidas en base a la materia prima comercializada para dicha fabricación, lo que permite proyectar una línea de producción a gran escala, la cual ayudaría a resolver el problema del déficit habitacional, con el único limitante del material aislante, el cual, al ser una raíz, se ve sometida a distintas variables que podrían afectar su crecimiento y disponibilidad. Con todas estas características, el nuevo panel prefabricado de construcción se posiciona como una propuesta de gran factibilidad, con un uso aplicable a distintas zonas geográficas del país, respondiendo de buena manera ante diferentes climas y escenarios. Gracias al proceso de investigación, diseño y creación, queda claro que no todas las soluciones existentes para la vivienda representan una buena elección, y que es posible **crear** nuevas alternativas que permitan cuidar el planeta, y es de suma importancia el crear esta conciencia en futuros arquitectos y en la población en general, para preservar el medio ambiente y a nuestras generaciones futuras.

## Referencias

- Agenda país, (2019), Plumavit: ¿Porque es de los plásticos que más problemas ambientales genera?, [www.elmostrador.cl](https://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2019/07/22/plumavit-por-que-es-de-los-plasticos-que-mas-problemas-ambientales-genera/). recuperado de <https://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2019/07/22/plumavit-por-que-es-de-los-plasticos-que-mas-problemas-ambientales-genera/>
- Araucanía Noticias. (2022). 'Estudio de la CChC reveló que Región de La Araucanía necesitará 133.560 viviendas nuevas al 2035 para cubrir déficit habitacional'.
- Construcción Sustentable Gobierno de Chile. (2013). 'Estrategia Nacional de Construcción Sustentable'.

CR2. Center for climate and resilience research.(2020). “El aire que respiramos: Pasado, Presente y Futuro”.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile. (2018). ‘Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile’.

Obras por Expansión. (2016). ‘Si, el cemento contamina pero también reabsorbe la contaminación’. Expansion, S.A. de C.V.

Terminus Construcciones. (2020). ‘Panel Sip Que Son y Qué Beneficios Tienen’.

[www.terminusconstrucciones.com](http://www.terminusconstrucciones.com). Recuperado de

<https://terminusconstrucciones.com/paneles-sip-que-son-y-que-beneficios-tienen/>

Valencia, P. (2021). ‘Plan Nacional de Construcción Sustentable: Como Transformamos Ideas En Acciones’. CES Certificación Edificio Sustentable.

## **Simuladores: los videojuegos como complemento a la formación profesional del arquitecto**

**Estudiante:** Rodrigo Christian Jiménez Cornejo

**Profesor guía:** Camilo Guerrero del Río

### **Resumen**

Los simuladores en formato de videojuegos tienen la capacidad de ser un complemento útil para el desarrollo profesional del arquitecto. En este artículo se busca establecer la relación que existe entre los juegos de video, los programas de diseño, y conceptos atinentes a la arquitectura. Por medio de una encuesta realizada a estudiantes de arquitectura se obtienen resultados que demuestran una relación beneficiosa entre el uso de videojuegos y el manejo de softwares de diseño, además de evidenciar la conexión entre juegos de video y nociones arquitectónicas.

**Palabras clave:** Simuladores, Videojuegos, Programas de diseño, Educación

## 1. Introducción

Las tecnologías de la información permiten simular fenómenos reales en un entorno virtual, gracias a variables controlables sin impactos en el ambiente real, esto con el fin de aumentar nuestro entendimiento frente a ciertos fenómenos y mejorar la toma de decisiones a la hora de intervenir el hábitat humano.

En el estudio del espacio habitable, las simulaciones se presentan en dos situaciones, por un lado, el entorno académico-profesional, y por otro, el entorno recreativo-educativo. Ambos casos presentan similitudes y diferencias

El uso de simuladores en un ambiente académico-profesional está dirigido a arquitectos, ingenieros, diseñadores, y personas especializadas en el estudio y proyección del hábitat humano. Esto se traduce en programas de diseño y representación que se utilizan en los ámbitos académicos y profesionales de las distintas carreras, en donde se trabaja con programas de modelado con el fin de simular formas, comportamientos, y espacios reales. Incluso se hacen simulaciones con el fin de gestionar variables incidentes en un proyecto como luminancia, eficiencia térmica, y comportamiento estructural.

Por otro lado, el uso de simuladores en un entorno recreativo llega a un público masivo en formato de videojuegos, los cuales manejan variables atingentes al hábitat humano, esto yendo desde el modo en que se representa el espacio habitable, las escalas en que se puede comprender, desde edificios hasta ciudades; y las mecánicas que ocurren en este.

Si bien en ambos casos el público y el objetivo del uso de simuladores son distintos, la lógica tras de estos es similar, ya que, en cualquier caso, ya sea un programa profesional o un videojuego, existen códigos y algoritmos, es decir una secuencia de pasos lógicos, interfaces y herramientas, que permiten funcionar a un software, gestionar variables y ofrecer como output un resultado aproximado de la realidad.

Sin embargo, el potencial que tienen los videojuegos es su capacidad de democratizar el acceso y entendimiento de conocimientos, es importantísimo, ya que logran transmitir conceptos específicos a cualquier persona dispuesta a jugar y, al mismo tiempo, están hechos para llegar al mayor número de personas en distintos dispositivos. Más aún es que, a diferencia de la literatura o el cine, medios donde se transmite cultura e información, los juegos de video permiten al usuario interactuar, involucrarse y crear nociones sobre cómo es y cómo funciona el hábitat humano.

Ejemplo de esto último es el proyecto “Block by block” (“Bloque por bloque”) desarrollado por ONU Hábitat, institución que vela por el desarrollo urbano sostenible a nivel mundial, y la empresa de videojuegos Mojang, creadora del juego Minecraft, un juego de mundo abierto donde el jugador tiene libertad de interactuar y modificar el entorno hecho únicamente de bloques de distintos materiales. El proyecto Block by Block consiste en utilizar dicho videojuego para incentivar la participación de los habitantes de barrios en vías de desarrollo en procesos de regeneración urbana, esto debido a su interfaz simple, donde los

usuarios pueden modificar su propio barrio replicado en este espacio virtual, y proponer soluciones o expresar necesidades que afecten su entorno construido. (McDaniel, 2018).

También es el caso expuesto en el documental “Gaming, the real world” (Ekluns, 2016), en donde las autoridades suecas replicaron zonas de Estocolmo utilizando Cities: Skylines, un videojuego de construcción y gestión de ciudades donde el jugador toma el rol de alcalde, gestionando servicios, barrios y calles, con el fin de cubrir las necesidades de los habitantes; para llevar a cabo talleres de participación ciudadana con el fin de intervenir y revitalizar barrios.

## 2. Antecedentes

Si bien los videojuegos están enfocados principalmente a ser utilizados como medio de entretenimiento, también guardan relación con el rol del arquitecto, ya sea familiarizándolo en el manejo de herramientas digitales como el computador y softwares de diseño; utilizando las distintas formas y vistas en que se puede representar el espacio; hasta imitando y educando sobre las características y las actividades que se desarrollan en el hábitat humano. Complementando esto último:

*“Los mundos de los videojuegos son construcciones digitales que simulan entornos vivos, de forma que una de las experiencias del jugador es la de explorar el mundo del juego que responde a sus acciones como si en él estuviese”. (Díaz Vázquez, 2018, p.2)*

Así, los videojuegos pueden clasificarse según su relación con la arquitectura, desde un punto de vista representativo y de contenido:

1. Juegos de perspectiva en primera y tercera persona
2. Juegos de perspectiva superior o axonométrica
3. Juegos de mundo abierto / exploración
4. Juegos de simulación de vida real
5. Juegos de estrategia y gestión de recursos
6. Juegos de simulación de ciudades
7. Juegos de física
8. Juegos de construcción
9. Juegos de plataformas
10. Juegos de puzzles



## 2.1. Perspectiva en primera y tercera persona

El juego se desarrolla desde la perspectiva del protagonista, desplazándose en un entorno tridimensional, generalmente enfocados a juegos de disparos. Para Díez (2020, p. 36), la característica arquitectónica más relevante en estos juegos es la inmersión, ya que se deben diseñar espacios para ser habitados y observados. Así, ofrecen la experiencia de desenvolverse en un entorno virtual reconociendo edificios, calles, infraestructura y ciudades, e incluso dinámicas y aspectos culturales de ciertas regiones y tiempos; además de manipular objetos como armas, herramientas, maquinarias y medios de transporte.

La capital del Antiguo Egipto, un castillo asediado de la Edad Media, el Londres de la Primera Revolución Industrial, el Berlín bombardeado de la Segunda Guerra Mundial, el Medio Oriente contemporáneo, e incluso vistazos a imaginarios de nuestro futuro próximo, son solo algunos escenarios que nos permiten contemplar el entorno y las actividades que en estos se desarrollan.

Ejemplos:

- Assassin's Creeds
- Battlefield
- Call of Duty
- Call of The Sea
- CyberPunk 2077.
- DayZ
- Doom
- FireWatch
- GTA San Andreas
- GTA V
- Hunt: Showdown
- Myst
- Portal
- Red Dead Redemption
- Return of the Obra Dinn
- The Last of Us
- Titanfall
- Tomb Raider
- Uncharted
- World War Z



**Figura 1:** Assassin's Creeds Odyssey permite conocer, a vista del personaje, el espacio habitable de la Antigua Atenas, junto con distintas actividades que desarrollaban en esta. Fuente: Crecente, B (2018) [Alexios y Sócrates]

## 2.2. Perspectiva superior o axonométrica

Las perspectivas superiores son aquellas vistas en planta y las vistas aéreas. La vista axonométrica corresponde a la representación mediante tres ejes ortogonales manteniendo las proporciones de objetos y espacios. Juegos de distintos géneros se presentan en este formato, permitiendo una vista que va más allá de los ojos de un personaje y observar un espectro más amplio de un mapa. Sin embargo, ciertos videojuegos explotan las características que implica representar un espacio tridimensional en un formato bidimensional con el fin de enriquecer la experiencia del jugador, ocultando trampas, enemigos, tesoros y caminos a simple vista que serían identificables en primera persona. Ñudi (2021, p. 46) señala que para un jugador que no tenga manejo de esta perspectiva es más difícil entender el espacio, esto debido a que distintos elementos pueden verse a igual profundidad.

Ejemplos:

- Children of Morta
- Death's Door
- Diablo
- Disco Elysium
- Echocrome
- Grim Dawn
- Hades
- Monument Valley
- Tactics Ogre: Reborn
- The Ascent
- Tunic
- Weird West



**Figura 2:** Tunic es un juego en axonométrica que aprovecha dicha perspectiva para ocultar recompensas, pasajes y enemigos.: Shouldice, A. (2019) *Un enemigo típico al que te enfrentarás en Tunic* [Imagen] Redbull.com. <https://www.redbull.com/cl-es/tunic-videojuego-desarrollador-andrew-shouldice>

### 2.3. Mundo abierto / Exploración

*“(…) la clave para identificar a un juego como perteneciente al género “mundo abierto” está en el entretenimiento que ofrece la exploración del gran entorno en el que se ambienta, en las múltiples y diversas tareas, y en la existencia de una narrativa no lineal, aunque con objetivos argumentales (...)” (Vallejo, 2020, p.69).*

Generalmente son en primera persona en un mapa libre de recorrer, a diferencia de juegos que condicionan las acciones a un recorrido lineal para el desarrollo de la historia, estos ofrecen más libertad al momento de jugar, pudiendo decidir si seguir el argumento principal del juego (si es que lo posee) o no, realizar misiones secundarias que poco o nada tienen que ver con la narrativa fundamental, o simplemente recorrer el mapa libremente, permitiendo adentrarse más en detalles del mundo que se visita, sus paisajes y las distintas dinámicas que este ofrece.

Ejemplos:

- CyberPunk 2077
- Death Stranding
- Fallout 4
- Far Cry 5
- GTA San Andreas
- GTA V
- Metro Exodus
- Minecraft
- Red Dead Redemption
- Sea of Thieves
- Terraria
- The Witcher 3: Wild Hunt



**Figura 3:** Minecraft es un juego con mapa infinito donde se puede interactuar con el entorno descubriendo aldeas, minando rocas, adiestrando animales, combatiendo monstruos y construyendo con bloques. Fuente: Play Store. (s.f.) [Steve contemplando el paisaje desde un acantilado] [Imagen]

## 2.4. Simulación de vida real

Ya sea un trabajo, oficio, deporte, o la vida hogareña, estos juegos funcionan a escala humana y explotan las dinámicas que se presentan en nuestro día a día, cómo el cuerpo se desenvuelve en el espacio en un contexto rutinario. En estos se deben diseñar y organizar espacios a una escala doméstica considerando aspectos funcionales y estéticos, con el fin de realizar actividades como dormir, asearse, cocinar, hacer deporte, trabajar, celebrar fiestas, practicar un pasatiempo, entre otras.

Ejemplos:

- Car Mechanic Simulator VR
- Cooking Simulator VR
- FIFA
- Habbo
- House Builder VR
- Microsoft Flight Simulator
- Overcooked
- Prison Simulator VR
- Sims
- TramSim
- Vermillion – VR Painting



**Figura 4:** Sims FreePlay, es un juego de simulación de vida donde debes construir la casa de tu personaje y hacerte cargo de sus necesidades básicas como comer, ir al baño, trabajar y socializar.

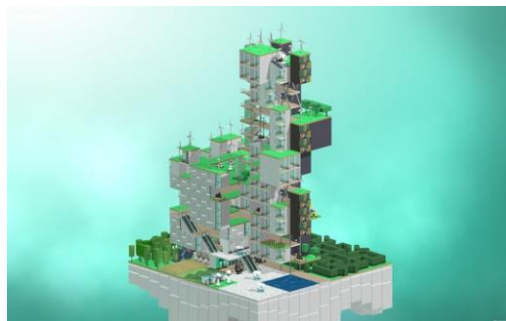
Fuente: Pareja, A. (2020) [Vista superior de una casa amoblada con muros explotados]

## 2.5. Estrategia / Gestión de recursos

Obligan a administrar dinero, personal y espacios en distintas situaciones, funcionando más bien a una escala institucional o empresarial. Ya sea un restaurante, que implica gestionar área de cocina, consumo, bodega, etcétera; hospitales con salas de espera, quirófanos, pasillos, laboratorios, entre otros; o fábricas con áreas de recepción, manufacturación y despacho; los juegos de gestión ofrecen nociones sobre las dinámicas y la organización que implica el desarrollo de distintas actividades humanas. También se consideran aquí los juegos de estrategias, que se distancian de los juegos de simulación de ciudades ya que trabajan a escala de países, imperios o reinos, en general incorporando mecánicas bélicas. Estos regularmente se focalizan en la gestión de bases y asentamientos, donde predominan las actividades de exploración de un mapa, construcción y colonización, extracción y procesamiento de recursos, manufacturación de herramientas, expansión, defensa y ataque, con el fin de hacer prosperar a una civilización o imperio. De cierta forma, imitan simplificadaamente la manera en que se organiza nuestras sociedades, nuestro espacio habitable y las actividades económicas que se desarrollan: extracción, manufacturación y servicios, con el objetivo de satisfacer las necesidades humanas.

Ejemplos:

- Academia: School Simulator
- Age of Empires
- Airport CEO
- Block'hood
- City Bus Manager
- Factorio
- Farming Simulator
- Farthest Frontier
- Festival Tycoon
- Humankind, Empire Earth
- Megaquarium
- Northgard, Civilization VI
- Planet Coaster
- Plate Up
- Prison Architect
- Project Hospital
- Starcraft
- The Tenants.
- Total War: Rome Remastered
- Urbek City Builder



**Figura 5:** Block'hood es un juego de gestión de recursos donde se debe crear un barrio sostenible en el tiempo considerando de forma sinérgica variables como dinero, contaminación, energía, trabajo, entre otras Fuente: Steam (s.f) [Vista paralela de un barrio formado por bloques de 1x1x1, donde se observan departamentos, generadores eólicos y jardines]

## 2.6. Simulación de Ciudades

Conforman un subgrupo propio dentro de los simuladores de vida real. Estos funcionan a escala urbana y reconocen los distintos sistemas que coexisten en la ciudad. Se deben manejar variables y situaciones como la recaudación de impuestos, disponibilidad de vivienda, distribución de agua y energía, accesibilidad a servicios, gestión de residuos, contaminación, tráfico, entre otros, con el fin de lograr ciudades eficientes y garantizar el bienestar de los habitantes. Estos juegos se presentan casi siempre en axonométrica y en modelos tridimensionales, logrando crear ciudades de la nada e incluso recrear urbes reales. Existen versiones para crear ciudades contemporáneas, así como de épocas pasadas y futuras, ya sea basadas en la Antigua Roma, o imaginarias de un futuro lejano.

Ejemplos:

- Cities: Skylines
- Caesar
- SimCity
- BlockHood
- Frostpunk
- Urbek City Builder
- Tropico 6
- Transport Fever 2
- Surviving Mars
- Workers & Resources: Soviet Republic
- Foundation



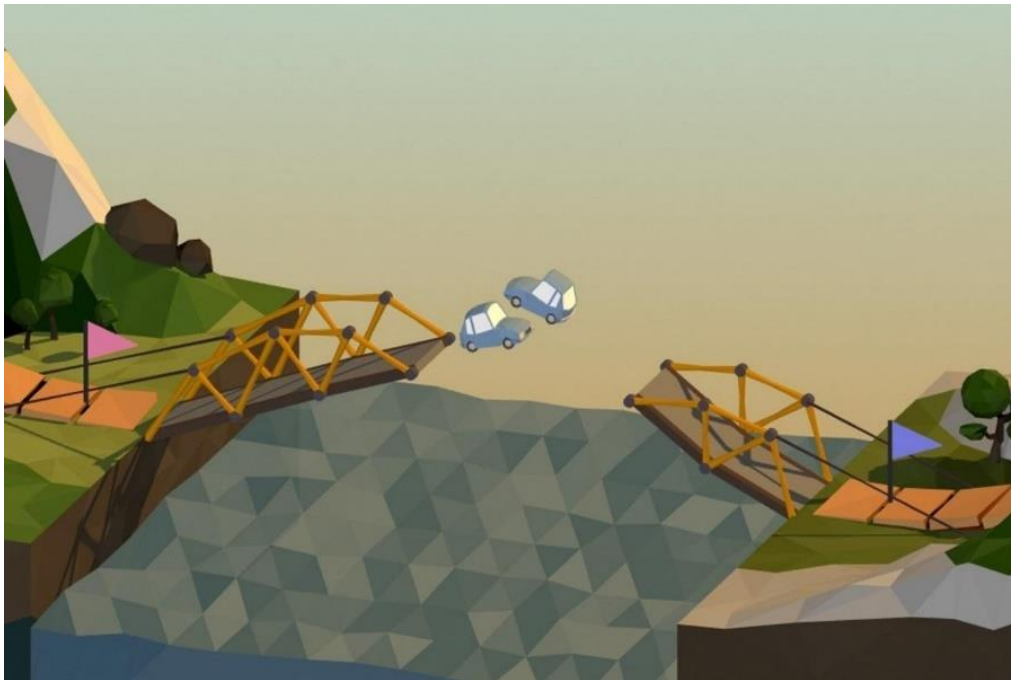
**Figura 6:** Cities: Skylines es un juego de simulación de ciudades donde se toma el rol de alcalde, manteniendo la felicidad de los ciudadanos manejando variables como uso de suelo, tipo de calles, congestión vehicular, accesibilidad a servicios, contaminación acústica, entre otras variables atinentes a escala urbana. Fuente: Godoy, L (2020) [Vista aérea de una ciudad donde se visualizan autopistas, barrios de baja y alta densidad] <https://www.ozeros.com/2020/12/cities-skylines-es-el-primero-de-15-juegos-gratis-en-la-epic-store/>

## 2.7. Física

Estos manipulan variables como la gravedad, la velocidad, la dirección y las propiedades de los materiales, y las distintas fuerzas que actúan sobre los cuerpos en el espacio. En diversos casos es con el fin de que un objeto llegue de un punto a otro a través de movimientos simples como desplazamiento lineal o caída libre.

Ejemplos:

- Beamng.Drive
- Cut the Rope
- Flight Simulator
- Human: Fall Flat
- Portal
- Poly Bridge
- Thomas Was Alone
- Totally Accurate Battle Simulator
- Universe Sandbox



**Figura 7:** Poly Bridge obliga a construir puentes, partes de estos, para que vehículos ligeros y pesados logran cruzar de un lado a otro. Fuente: Dry Cactus (2016) *Poly Bridge* [Imagen] <https://www.redbull.com/int-en/poly-bridge-interview-constructing-a-viral-hit>

## 2.8. Construcción

Son un subgénero de los juegos de simulación y de física, ya que poseen las mismas propiedades de estos, sin embargo, se enfocan en levantar estructuras que puedan ser usadas posteriormente. Ya sea diseñar un puente capaz de resistir su propio peso y vehículos que pasen sobre él, en base a segmentos y nodos, en una vista de elevación; o construir una casa desde los cimientos, pasando por el levantamiento de muros y llegar a la techumbre asumiendo la vista de un constructor o albañil, este tipo de videojuegos obliga a poner atención al proceso constructivo y la correcta transmisión de fuerzas.

Ejemplos:

- Bridge Construction Simulator
- Construction Simulator
- Fallout Shelter
- House Builder
- House Flipper
- Poly Bridge
- Sims



**Figura 8:** House builder te pone en el lugar de un constructor que debe levantar una vivienda en un mapa aleatorio tomando en cuenta el clima, los recursos y las técnicas constructivas disponibles.

Fuente: Steam (s.f.) [Muro de ladrillos en construcción] [Imagen]

[https://store.steampowered.com/app/1244630/House\\_Builder/?l=latam&curator\\_clanid=40593579](https://store.steampowered.com/app/1244630/House_Builder/?l=latam&curator_clanid=40593579)

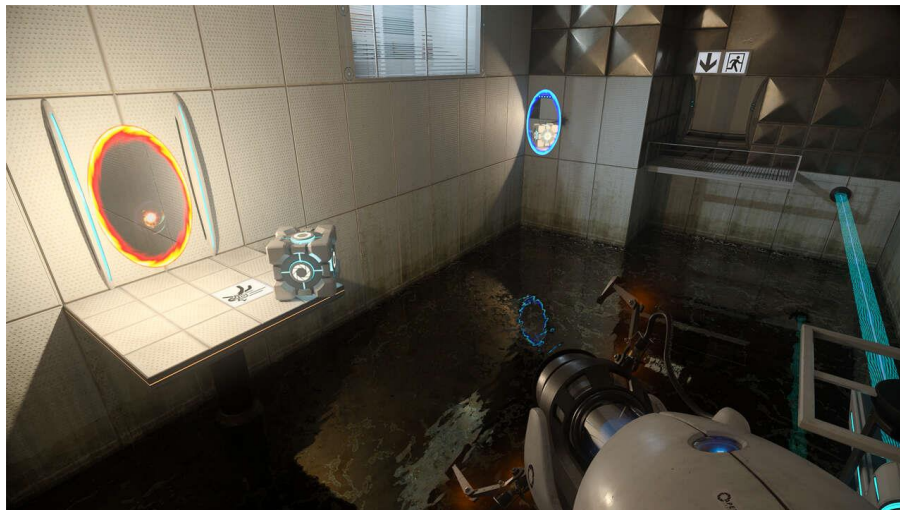


## 2.9. Plataformas

Generalmente se presentan en dos dimensiones en vista de elevación y/o corte, y utilizan su modo de representación para crear un argumento lineal donde se debe avanzar hasta una meta sorteando distintos obstáculos.

Ejemplos:

- Axiom Verge
- Dead Cells
- Fall Guys
- FEZ
- Gris
- Hollow Knight
- Little Nightmares II
- OIija
- Ori an The Blind Forest
- Ori and The Will of The Wisp
- Portal
- Sonic Boom
- Tunic
- Unravel Two



**Figura 9:** Portal es un juego de plataformas donde se deben resolver rompecabezas teletransportándose a través de portales, así, engañando la orientación espacial del jugador. Fuente: Álvarez, F (2022) [Vista de cañón y dos portales en superficies planas dentro de un espacio confinado y suelo cubierto de agua] [Imagen] <https://www.somosxbox.com/valve-actualiza-de-forma-gratuita-portal-con-rtx/957911>

## 2.10. Puzzles

Tipo de juego arcade, estos obligan a resolver problemas espaciales donde uno o varios objetos encajar unos con otros, ordenarse, desplazarse y/o caber en un espacio limitado. Según Marraco (2017, p. 11), estos juegos tienen un componente arquitectónico relevante, y es que el espacio no es solo el escenario del juego, sino que es el juego mismo, ya que es elemento que define las reglas y los objetivos.

Ejemplos:

- A Little to the Left
- Geometry Dash
- It Takes Two
- Monument Valley
- Quern
- Scorn
- Superliminal
- Tetris
- The Witness
- Unpacking



**Figura 10:** En Monument Valley debes guiar a la princesa a través de puzzles tridimensionales que ocultan caminos y engaña a la vista. Fuente: Steam (s.f) [Escalera que conduce a un camino que da a unA torre que sobresale de otras torres, todo en vista isométrica] [Imagen]  
[https://store.steampowered.com/app/1927740/Monument\\_Valley\\_2\\_Panoramic\\_Edition/](https://store.steampowered.com/app/1927740/Monument_Valley_2_Panoramic_Edition/)

### 3. Métodos

Para el presente artículo se optó el método de encuesta, orientada a estudiantes y egresados de la carrera de arquitectura de la Universidad de Chile. En general, se busca conocer la relación entre los estudiantes, el manejo de programas de diseño y el uso de videojuegos. Si bien la encuesta no permite observar de primera fuente la relación de los participantes con dichos elementos, si permite trabajar con la percepción que tienen los encuestados sobre si mismos a la hora de desenvolverse con los softwares de diseño y los juegos de video.

Esta se estructura en tres secciones:

#### **Identificación:**

Orientada a categorizar de forma general a los encuestados, y distinguir aquellos que utilizan programas de diseño y representación de aquellos que no.

#### **Relación con programas de diseño**

Dirigida a analizar las primeras interacciones y la interacción actual de los encuestados con los programas de diseño y representación que se utilizan en la carrera. Además de distinguir a aquellos que juegan videojuegos de los que no lo hacen.

Asimismo, establecer una relación entre las primeras aproximaciones y el manejo actual de los programas de diseño, con el nivel de video jugador con el que se identifican los participantes.

#### **Relación con videojuegos**

Encaminada a comprender la relación entre los encuestados y los videojuegos antes y durante la carrera; la percepción que tienen estos sobre los juegos de video. Además, categorizar los videojuegos jugados por los participantes, en función de su relación con la arquitectura.

### **3.1. Encuesta: “Uso de herramientas digitales en estudiantes de arquitectura”**

#### **Identificación**

1. Nombre
2. Edad
3. Género
4. Semestre que cursa actualmente
5. ¿Utilizas programas de diseño por computador para realizar tus trabajos de taller?
  - Sí
  - No

Si la respuesta era afirmativa, continuaba a la sección 2, caso contrario, la encuesta finalizaba aquí.

### **Relación con programas de diseño**

6. ¿Qué programa de modelado utilizas?

- Autocad
- Sketch-Up
- Rhinoceros
- Grasshopper
- Archicad
- Revit
- 3D Studio Max
- Maya
- Blender
- Otro (Especifique)

7. ¿Qué programas de representación utilizas?

- Adobe Photoshop
- Adobe Illustrator
- Adobe Indesign
- V-Ray
- Enscape
- Lumion
- Twinmotion
- Otro (Especifique)

8. ¿Cuál fue el primer programa que utilizaste para desarrollar un proyecto en la carrera?

- Autocad
- Sketch-Up
- Rhinoceros
- Grasshopper
- Archicad
- Revit
- 3D Studio Max
- Maya
- Blender
- Adobe Photoshop
- Adobe Illustrator
- Adobe Indesign
- V-Ray

- Enscape
  - Lumion
  - Twinmotion
  - Otro (Especifique)
9. ¿Por qué fue el primer programa que utilizaste?
- Porque fue obligatorio
  - Porque varias personas lo utilizaban
  - Porque escuché de él antes
  - Porque lo manejaba desde antes
10. ¿Cuándo utilizaste por primera vez el programa?
- 1er semestre
  - 2do semestre
  - 3er semestre
  - 4to semestre
  - 5to semestre
  - 6to semestre
  - 7mo semestre
  - 8vo semestre
  - 9no semestre
  - 10mo semestre
  - En otra carrera, antes de entrar a arquitectura.
  - Antes de entrar a educación superior.
11. ¿Qué tan bien manejas los programas de diseño y representación?
- Muy bien, logro manejar más herramientas de diseño de las necesarias para desarrollar los proyectos.
  - Bien, logro manejar las herramientas necesarias para desarrollar un proyecto sin mayores dificultades.
  - Regular, si bien manejo las herramientas justas para desarrollar un proyecto, se me presentan dificultades que logro resolver al momento de utilizarlas.
  - Mal, no manejo herramientas de diseño y no las utilizo para desarrollar un proyecto.
12. ¿Cómo describirías tus primeros acercamientos al manejo de programas de diseño en la carrera?
- Muy fácil. No fue necesario destinar tiempo a aprender a utilizar los programas, pude enfocarme totalmente en el desarrollo de un proyecto.
  - Fácil. Le dediqué un poco de tiempo a aprender a manejar los programas y resolver dudas específicas en cuanto a su uso, sin afectar el desarrollo del proyecto.

- Regular. Fue necesario destinar tiempo para poder aprender a manejarlos, sin embargo, no afectó en el desarrollo del proyecto.
- Difícil. Tuve que dedicar bastante tiempo para poder aprender a manejarlos y retrasó el desarrollo del proyecto.
- Muy difícil. Le dediqué mucho tiempo a solo aprender a manejar los programas, dificultó y retrasó el desarrollo del proyecto.

13. En general, ¿Para qué utilizas el computador?

- Lo utilizo constantemente para llevar cabo actividades académicas y recreativas.
- Lo utilizo principalmente para llevar a cabo actividades académicas
- Lo utilizo principalmente con fines recreativos
- No suelo/evito utilizarlo

14. ¿Qué nivel de video-jugador te consideras?

- Novato. Recién estoy conociendo los videojuegos.
- Casual. Juego ocasionalmente algo simple para pasar el rato.
- Moderado. Juego regularmente juegos que tengan cierta complejidad.
- Duro. Le dedico bastante tiempo a los videojuegos y disfruto aquellos que presentan alta complejidad
- Profesional. Dedico parte importante de mi tiempo en jugar y logro competir con otros.
- No jugador.

Si la respuesta era “no jugador” la encuesta finalizaba aquí, caso contrario continuaba a la sección 3.

### **Relación con videojuegos**

15. ¿Desde cuándo juegas videojuegos?

- Desde la educación superior
- Desde la educación media
- Desde la educación básica
- Desde que tengo memoria
- Nunca he jugado

16. Antes de entrar a la carrera ¿Con qué frecuencia jugabas videojuegos?

- Una vez al mes
- Una vez a la semana
- Día por medio
- Todos los días
- Nunca/casi nunca

17. Actualmente ¿Con qué frecuencia juegas videojuegos?

- Una vez al mes
  - Una vez a la semana
  - Día por medio
  - Todos los días
  - Nunca/casi nunca
18. Antes de entrar a la carrera ¿En qué tipo de dispositivo jugabas?
- Consola
  - Consola de bolsillo
  - Computador de escritorio
  - Notebook/Netbook
  - Celular/Tablet
  - Otro (Especifique)
19. Actualmente ¿En qué tipo de dispositivo juegas?
- Consola
  - Consola de bolsillo
  - Computador de escritorio
  - Notebook/Netbook
  - Celular/Tablet
  - Otro (Especifique)
20. ¿Qué videojuegos has jugado? ¿Qué videojuegos has jugado? (Nombra todos o la mayoría de los que recuerdes y/o que más te hayan influenciado)
21. ¿Crees que el uso de videojuegos te facilitó manejar herramientas digitales en la carrera?
- Sí, creo que me familiarizó con el uso del computador y agilizó mi manejo de programas de diseño.
  - Sí, creo que solo me familiarizó con el uso del computador.
  - No, creo que no influyó en nada.
  - No, creo que entorpeció mi manejo de programas de diseño debido a las distintas interfaces.
22. ¿En qué crees que los videojuegos pueden aportar en el desarrollo profesional de un arquitecto?
- Pueden generar confianza al momento de manejar el computador y programas de diseño.
  - Pueden facilitar el aprendizaje de conceptos y conocimientos teóricos y/o técnicos relacionados a la arquitectura.

- Pueden representar fenómenos, mecánicas y situaciones que ocurren en el espacio habitable.
- Pueden permitir la experimentación y la exploración de formas, espacios y proyectos.
- Pueden inspirar y/o motivar el desarrollo de proyectos.
- No creo que puedan aportar.

## 4. Resultados

### 4.1. Identificación

**Tabla 1:** Edad

Edad	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
19	1	1,5%
20	1	1,5%
21	16	24,2%
22	15	22,7%
23	16	24,2%
24	5	7,6%
25	3	4,5%
26	2	3%
27	2	3%
28	2	3%
29	1	1,5%
39	1	1,5%
42	1	1,5%
Total	66	100%

En total fueron 66 encuestados con edades desde los 19 a los 42 años, siendo el tramo de 21 a 23 años el más amplio con el 71,1% del total de participantes.

**Tabla 2:** Género

Género	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Hombre	30	45,5%
Mujer	34	51,5%
No binario	2	3%
Total	66	100%



**Tabla 3:** Semestre que cursa actualmente

Semestre que cursa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
2do	2	3%
3er	1	1,5%
4to	2	3%
5to	4	6,1%
6to	7	10,6%
7mo	4	6,1%
8vo	27	40,9%
9no	6	9,1%
10mo	4	6,1%
11mo	3	4,5%
Egresado	6	9,1%
Total	66	100%

**Tabla 4:** ¿Utilizas programas de diseño por computador para realizar tus trabajos de taller?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Sí	64	97%
No	2	3%
Total	66	100%

#### 4.2. Relación con programas de diseño

**Tabla 5:** ¿Qué programa de modelado utilizas?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Autocad	59	92,2%
Sketch-Up	49	76,6%
Rhinoceros	32	50%
Grasshopper	12	18,8%
Archicad	19	29,7%
Revit	18	28,1%
3D Studio Max	2	3,1%
Maya	1	1,6%
Blender	2	3,1%
Total	64	100%

Los programas de diseño más utilizados son Autocad, Sketch-Up y Rhinoceros, probablemente se debe a que estos se aprenden en los primeros años de la carrera, permiten crear planimetrías y modelos tridimensionales de proyectos. Le siguen Archicad y Revit, programas BIM orientados al trabajo del arquitecto que, además de crear planimetrías y modelos, permiten gestionar información de un proyecto, como cantidad de material,

comportamiento estructural e instalaciones que una edificación requiere. Estos últimos usualmente se aprenden a utilizar en años intermedios de la carrera.

**Tabla 6:** ¿Qué programas de representación utilizas?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Adobe Photoshop	63	98,4%
Adobe Illustrator	40	62,5%
Adobe Indesign	41	64,1%
V-Ray	19	29,7%
Enscape	12	18,8%
Lumion	7	10,9%
Twinmotion	22	34,4%
Total	64	100%

Los programas Adobe son los más utilizados, estos permiten editar, ordenar y crear contenido: planimetrías, imágenes, esquemas y láminas que finalmente son utilizados para presentar proyectos. Mientras que los demás programas corresponden a softwares de renderizado, que también se utilizan para crear imágenes de proyectos.

**Tabla 7:** ¿Cuál fue el primer programa que utilizaste para desarrollar un proyecto en la carrera?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Autocad	41	64,1%
Sketchup	10	15,6%
Rhinoceros	1	1,6%
Archicad	1	1,6%
Adobe Photoshop	9	14,1%
Adobe Illustrator	2	3,1%
Total	64	100%

**Tabla 8:** ¿Por qué fue el primer programa que utilizaste?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Porque fue obligatorio	38	59,4%
Porque varias personas lo utilizaban	9	14,1%
Porque escuché de él antes	10	15,6%
Porque lo manejaba desde antes	7	10,9%
Total	64	100%

La mayoría de los encuestados se vio obligado a utilizar un programa de diseño por primera vez, esto implica que se vieron exigidos a instalar el software, familiarizarse con la interfaz, descubrir las herramientas disponibles y las necesarias para desarrollar un proyecto, crear

un producto, y finalmente exportarlo en un formato legible en pantalla o imprimible; todo esto sin tener experiencia previa.

**Tabla 9:** ¿Cuándo utilizaste por primera vez el programa?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
1er semestre	11	17,2%
2do semestre	14	21,9%
3er semestre	32	50%
4to semestre	5	7,8%
Antes de entrar a educación superior	2	3,1%
Total	64	100%

**Tabla 10:** ¿Qué tan bien manejas los programas de diseño y representación?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Muy bien, logro manejar más herramientas de diseño de las necesarias para desarrollar los proyectos.	10	15,6%
Bien, logro manejar las herramientas necesarias para desarrollar un proyecto sin mayores dificultades	37	57,8%
Regular, si bien manejo las herramientas justas para desarrollar un proyecto, se me presentan dificultades que logro resolver al momento de utilizarlas	17	26,6%
Mal, no manejo herramientas de diseño y no las utilizo para desarrollar un proyecto.	0	0
Total	64	100%

El manejo regular de los softwares resultó ser el nivel de desempeño más bajo, ya que la totalidad de los encuestados en este punto señala que maneja los programas de diseño y representación de forma regular o mejor para llevar a cabo sus proyectos. Esto implica que todos son capaces de desarrollar un proyecto apoyados con el computador con mayor o menor dificultad.

**Tabla 11:** ¿Cómo describirías tus primeros acercamientos al manejo de programas de diseño en la carrera?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Muy fácil. No fue necesario destinar tiempo a aprender a utilizar los programas, pude enfocarme totalmente en el desarrollo de un proyecto.	2	3,1%
Fácil. Le dediqué un poco de tiempo a aprender a manejar los programas y resolver dudas específicas en cuanto a su uso, sin afectar el desarrollo del proyecto.	11	17,2%

Regular. Fue necesario destinar tiempo para poder aprender a manejarlos, sin embargo, no afectó en el desarrollo del proyecto.	33	51,6%
Difícil. Tuve que dedicar bastante tiempo para poder aprender a manejarlos y retrasó el desarrollo del proyecto.	13	20,3%
Muy difícil. Le dediqué mucho tiempo a solo aprender a manejar los programas, dificultó y retrasó el desarrollo del proyecto.	5	7,8%
Total	64	100%

Más de la mitad de los encuestados en este punto indica que el desarrollo de su proyecto no se vio afectado en sus primeros acercamientos al manejo de programas de diseño, pero si tuvieron que invertir un tiempo considerable para aprender dichas aplicaciones. Además, el 28,1% dijo tener dificultad o mucha dificultad en el manejo inicial de los programas que retrasaron su avance de proyecto, frente a un 20,3% que se le hizo fácil o muy fácil.

**Tabla 12:** En general, ¿Para qué utilizas el computador?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Lo utilizo constantemente para llevar cabo actividades académicas y recreativas.	35	54,7%
Lo utilizo principalmente para llevar a cabo actividades académicas	27	42,2%
Lo utilizo principalmente con fines recreativos	2	3,1%
No suelo/evito utilizarlo	0	0
Total	64	100%

El computador tiene la versatilidad de ser utilizado como herramienta de trabajo y de recreación.

**Tabla 13:** ¿Qué nivel de video-jugador te consideras?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Novato. Recién estoy conociendo los videojuegos.	0	0
Casual. Juego ocasionalmente algo simple para pasar el rato.	16	25%
Moderado. Juego regularmente juegos que tengan cierta complejidad.	15	23,4%
Duro. Le dedico bastante tiempo a los videojuegos y disfruto aquellos que presentan alta complejidad.	6	9,4%
Profesional. Dedico parte importante de mi tiempo en jugar y logro competir con otros.	0	0
No jugador.	27	42,2%
Total	64	100%

Más de la mitad de los encuestados declara jugar videojuegos, ya sea de forma casual, moderada o dura.

**Tabla 14:** Motivación para el primer uso de programa de diseño de jugadores duros y no jugadores

Motivo	Jugadores duros		No jugadores	
	Frec. absoluta	Frec. relativa	Frec. absoluta	Frec. relativa
Porque fue obligatorio	1	16,7%	18	66,7%
Porque varias personas lo utilizaban	1	16,7%	3	11,1%
Porque escuché de él antes	3	50%	3	11,1%
Porque lo manejaba desde antes	1	16,7%	3	11,1%
Total	6	100%	27	100%

Solo el 16,7% de los jugadores duros se vieron obligados a usar un programa de diseño por primera vez, frente a un 66,7% de no jugadores que afirman lo mismo. A la vez, un 83,4% de los jugadores duros se enfrentaron al manejo de dichos programas de forma no obligada, frente a un 33,3% de no jugadores que dijo lo mismo. Esta diferencia probablemente se deba a que los jugadores duros, a diferencia de los no jugadores, pasan más tiempo interactuando con un dispositivo, de forma lúdica, y aventurándose con distintos videojuegos que implican adaptarse a diversas mecánicas que estos ofrecen; lo que se reflejaría en que están más dispuestos a enfrentarse a distintas interfaces y explorar nuevos programas, lo que los beneficia a la hora de desarrollar nuevos proyectos.

**Tabla 15:** Nivel de manejo de programas de diseño según tipo de jugador

Tipo de jugador	Regular		Muy bien	
	Frec. absoluta	Frec. relativa	Frec. absoluta	Frec. relativa
Casual	4	23,5%	3	30%
Moderado	2	11,8%	3	30%
Duro	1	5,9%	1	10%
No jugador	10	58,9%	3	30%
Total	17	100%	10	100%

El 41,2% de quienes manejan los programas de diseño de forma regular tienen un grado de interacción con los videojuegos, ya sea casual, moderado o duro; mientras que el 70% de quienes manejan muy bien los programas corresponden a dichos grupos de jugadores. Complementando, el 58,9% de los usuarios regulares se identificaron como no jugadores, porcentaje que disminuye a 30% en el caso de los que afirmaron no ser jugadores y manejar muy bien los programas.

Puede afirmarse que aquellos que se consideran jugadores, ya sean casuales, moderados o duros; tienden a manejar muy bien los programas de diseño. Esto frente a los no jugadores que tienden a tener un manejo regular de las aplicaciones; siendo el manejo regular el desempeño más bajo obtenido en la totalidad de la encuesta.

Esto reafirma la idea de que quienes tienden a jugar más videojuegos tienen una mayor facilidad a la hora de desenvolverse en el manejo de programas de diseño, con ello optimizando su flujo de trabajo en la creación de material presentable (planimetrías, esquemas, imágenes), y pudiendo dedicar más tiempo a mejorar la toma de decisiones de proyecto.

**Tabla 16:** Primeros acercamientos a programas de diseño de jugadores moderados y no jugadores

Tipo de acercamiento	Jugadores moderados		No jugadores	
	Frec. absoluta	Frec. relativa	Frec. absoluta	Frec. relativa
Muy fácil	0	0	2	7,4%
Fácil	4	26,7%	1	3,7%
Regular	9	60%	17	63%
Difícil	1	6,7%	6	22,2%
Muy difícil	1	6,7%	1	3,7%
Total	15	100%	27	100%

El 86,7% de los jugadores moderados presentó un acercamiento de regular a muy fácil a los programas de diseño, mientras que en no jugadores esa cifra desciende a un 74,1%. Además, un 13,7% de jugadores tuvo una aproximación difícil o muy difícil; cifra que aumenta a un 25,9% en el caso de los no jugadores. Así, los jugadores moderados tendieron a tener un mejor acercamiento a los programas de diseño que los no jugadores.

**Tabla 17:** Tipo de jugadores y sus primeros acercamientos a manejo de programas de diseño

Tipo de jugador	Fácil		Difícil	
	Frec. absoluta	Frec. relativa	Frec. absoluta	Frec. relativa
Casual	5	45,5%	5	38,5%
Moderado	4	36,4%	1	7,7%
Duro	1	9,1%	1	7,7%
No jugador	1	9,1%	6	46,2%
Total	11	100%	13	100%

El 91% de los encuestados en este punto que consideraron tener un fácil acercamiento a los programas de diseño se identificaron como jugadores, ya sea casual, moderado o duro; este número disminuye a 53,9% para aquellos que se identificaron como jugadores y tuvieron un acercamiento difícil. Mientras que un 9,1% de los que tuvieron una aproximación fácil resultaron ser no jugadores; cifra que aumenta a 46,9% para aquellos que se identifican como no jugadores y tuvieron una aproximación difícil.

### 4.3. Relación con videojuegos

**Tabla 18:** ¿Desde cuándo juegas videojuegos?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Desde la educación superior	1	2,7%
Desde la educación media	9	24,3%
Desde la educación básica	17	45,9%
Desde que tengo memoria	10	27%
Total	37	100%

El 97,3% de los encuestados en este punto dice jugar videojuegos desde antes de entrar a la educación superior. Es decir, casi la totalidad tiene relación con el manejo de dispositivo e interfaces digitales, cualidad que puede ser explotada y ser beneficiosa a la hora de enfrentarse a programas de diseño y representación en la carrera de arquitectura.

**Tabla 19:** Antes de entrar a la carrera ¿Con qué frecuencia jugabas videojuegos?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Una vez al mes	2	5,4%
Una vez a la semana	13	35,1%
Día por medio	10	27%
Todos los días	11	29,7%
Nunca/casi nunca	1	2,7%
Total	37	100%

**Tabla 20:** Actualmente ¿Con qué frecuencia juegas videojuegos?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Una vez al mes	12	32,4%
Una vez a la semana	8	21,6%
Día por medio	9	24,3%
Todos los días	1	2,7%
Nunca/casi nunca	7	18,9%
Total	37	100%

Las tablas 19 y 20 muestran una disminución global del tiempo que los encuestados dedican a jugar videojuegos entre antes y después de entrar a la carrera. Esto muy probablemente debido a que se privilegia el cumplimiento de deberes académicos por sobre el entretenimiento.

**Tabla 21:** Antes de entrar a la carrera ¿En qué tipo de dispositivo jugabas?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Consola	23	62,2%
Consola de bolsillo	4	10,8%
Computador de escritorio	11	29,7%
Notebook/Netbook	23	62,2%
Celular/Tablet	21	56,8%
Total	37	100%

**Tabla 22:** Actualmente ¿En qué tipo de dispositivo juegas?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Consola	13	35,1%
Consola de bolsillo	0	0
Computador de escritorio	3	8,1%
Notebook/Netbook	30	81,1%
Celular/Tablet	11	29,7%
Total	37	100%

En las tablas 21 y 22 puede observarse que el uso de todos los dispositivos para jugar disminuye después de entrar a la carrera, solo el uso notebook/netbook aumenta; lo que tiene sentido si se considera que estos dispositivos están masificados en la carrera y son prácticamente indispensables para llevar a cabo los trabajos académicos, tanto por la capacidad que tienen para instalar programas de diseño, como por la posibilidad de ser transportados fácilmente ofreciendo flexibilidad a la hora de trabajar.

**Tabla 23:** ¿Qué videojuegos has jugado? (Nombra todos o la mayoría de los que recuerdes y/o que más te hayan influenciado)

Respuesta	Frec. Abs.	Categoría: Relación con arquitectura
0 A.D.	1	Superior o Axonométrica. Estrategia/Gestión de Recursos
Age of Empires	5	Superior o Axonométrica. Estrategia/Gestión de Recursos. Construcción
Age of Empires II	4	Superior o Axonométrica. Estrategia/Gestión de Recursos. Construcción
Amnesia	1	Superior o Axonométrica. Puzzles
Among Us	2	Superior o Axonométrica. Puzzles
Animal Crossing	2	Simulación de Vida Real
Ark	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
Assassin's Creed	3	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
Astroneer	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
Backbone	1	Simulación de Vida Real. Mundo Abierto/Exploración
Battlefield	2	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
Bayonetta	1	Primera/Tercera Persona. Plataformas



Seminarios de investigación en tecnología – Semestre Primavera 2022

	Beyond: Two Souls	2	Primera/Tercera Persona
	Bioshock Infinite	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Black Ops	2	Primera/Tercera Persona.
	Blade and Souls	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Bloodborne	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Boomerang FU	1	Superior o Axonométrica
	Borderlands	2	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Caesar	1	Estrategia/Gestión de recursos. Simulación de Ciudades. Construcción.
	Call of Duty	5	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Castlevania	1	Plataformas
	Celeste	1	Plataformas
	Cities XL	1	Superior o Axonométrica. Simulación de Ciudades. Construcción.
	Cities: Skylines	5	Superior o Axonométrica. Simulación de Ciudades Construcción.
	Civilization II	1	Estrategia/Gestión de Recursos
	Civilization V	1	Estrategia/Gestión de Recursos
	Civilization VI	1	Estrategia/Gestión de Recursos
	Clash of Clans	1	Superior o Axonométrica. Estrategia/Gestión de Recursos
	Clash Royale	2	Superior o Axonométrica
	Conan Exiles	1	Mundo Abierto/Exploración
	Counter Strike	3	Primera/Tercera Persona
	Crash Bandicoot	3	Primera/Tercera Persona. Plataformas
	Cult of the Lamb	1	Superior o Axonométrica. Mundo Abierto/Exploración
	Dark Souls	3	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Dead by Daylight	2	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Death Stranding	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Democracy	1	Simulación de Vida Real. Estrategia/Gestión de Recursos
	Devil May Cry	1	Primera/Tercera Persona. Plataformas. Puzzles
	Disco Elysium	1	Superior o Axonométrica. Mundo Abierto/Exploración
	Dofus	1	Superior o Axonométrica. Mundo Abierto/Exploración
	Dota 2	1	Superior o Axonométrica
	El Padrino	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Empire Earth	1	Superior o Axonométrica. Estrategia/Gestión de Recursos
	Fall Guys	3	Primera/Tercera Persona. Plataformas. Física
	Fallout	2	Superior o Axonométrica. Mundo Abierto/Exploración
	Far Cry	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Far Cry 4	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	FIFA	2	Superior o Axonométrica. Simulación de Vida Real
	Final Fantasy	2	Primera/Tercera Persona
	Fortnite	1	Primera/Tercera Persona. Plataformas
	Gears of War	2	Primera/Tercera Persona
	Genshin Impact	4	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	God of War	4	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Grand Theft Auto IV	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Grand Theft Auto San Andreas	8	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Grand Theft Auto V	5	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Grand Theft Auto Vice City	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Guitar Hero	2	Simulación de Vida Real
	Habbo	1	Superior o Axonométrica. Simulación de Vida Real
	Half Life	1	Primera/Tercera Persona

Seminarios de investigación en tecnología – Semestre Primavera 2022

	Halo	2	Primera/Tercera Persona
	Hitman	1	Primera/Tercera Persona
	Hollow Knight	1	Plataformas. Mundo Abierto/Exploración
	Human Fall Flat	1	Física. Puzzles
	Just Cause 4	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Just Dance	1	Física
	Killing Floor 2	1	Primera/Tercera Persona
	Killzone	2	Primera/Tercera Persona
	Killzone: Shadow Fall	1	Primera/Tercera Persona
	League of Legens	11	Superior o Axonométrica
	Left 4 Dead	2	Primera/Tercera Persona
	Legend of Zelda	6	Superior o Axonométrica. Mundo Abierto/Exploración
	Legend of Zelda: Breath of the Wild	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Little Nightmares	1	Plataformas. Puzzle
	Lost Ark	1	Superior o Axonométrica
	Luigi's Mansion	2	Primera/Tercera Persona. Plataformas. Mundo Abierto/Exploración
	Mario Galaxy	2	Primera/Tercera Persona. Plataformas
	Mario Kart	4	Primera/Tercera Persona. Plataformas
	Mario Party	2	Superior o Axonométrica
	Medal of Honor	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Metroid Fusion	1	Plataformas
	Minecraft	13	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración. Construcción
	Monkey Island	1	Mundo Abierto/Exploración
	Mortal Kombat	1	Plataformas
	Move or Die	1	Puzzles
	Need for Speed	1	Primera/Tercera Persona. Física
	Operation 7	1	Primera/Tercera Persona
	Orange Juice	1	Superior o Axonométrica
	Osu!	2	Puzzles
	Overcooked	1	Simulación de Vida Real. Estrategia/Gestión de Recursos
	Overcooked 2	1	Simulación de Vida Real. Estrategia/Gestión de Recursos
	Overwatch	1	Primera/Tercera Persona. Plataformas
	PES	1	Superior o Axonométrica. Simulación de Vida Real
	Pet Society	1	Simulación de Vida Real. Construcción
	Pine	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Plague Inc	1	Estrategia/Gestión de Recursos. Puzzles
	Pocky & Rocky 2	1	Superior o Axonométrica
	Pokemon	5	Superior o Axonométrica. Mundo Abierto/Exploración
	Portal	1	Primera/Tercera Persona. Plataformas. Puzzles
	Portal 2	2	Primera/Tercera Persona. Plataformas. Puzzles
	Prey	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Prince of Persia	1	Plataformas
	PUBG	3	Primera/Tercera Persona
	Rayman	1	Plataformas
	Red Dead Redemption	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Resident Evil	4	Primera/Tercera Persona
	Runescape	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Shadow of Mordor	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Shadow of the Colossus	2	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración

	Shadow of War	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Silent Hill	1	Primera/Tercera Persona
	SimCity	5	Superior o Axonométrica. Simulación de Ciudades. Estrategia/Gestión de Recursos
	Sims	10	Superior o Axonométrica. Simulación de Vida Real. Construcción
	Sims 2	1	Simulación de Vida Real. Construcción
	Sims 4	5	Simulación de Vida Real. Construcción
	Skyrim	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Smite	2	Primera/Tercera Persona
	SOCOM	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Sonic	1	Plataformas
	Spider-Man	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración. Física
	Spider-Man: Miles Morales	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración. Física
	Starcraft	1	Superior o Axonométrica. Estrategia/Gestión de Recursos
	Stardew Valley	1	Simulación de Vida Real. Estrategia/Gestión de Recursos
	Stray	2	Primera/Tercera Persona. Plataformas. Mundo Abierto/Exploración
	Super Mario 3D World	1	Plataformas
	Super Mario 64	2	Primera/Tercera Persona. Plataformas
	Super Mario Bros	4	Plataformas
	Super Mario Odyssey	1	Primera/Tercera Persona. Plataformas
	Super Mario Sunshine	1	Primera/Tercera Persona. Plataformas
	Team Fortress 2	1	Primera/Tercera Persona
	Tekken	1	Plataformas
	Terraria	1	Mundo Abierto/Exploración. Construcción
	The Binding of Isaac	2	Superior o Axonométrica
	The Forest	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración. Construcción
	The Last of Us	4	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Tomb Raider	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Transformice	1	Plataformas. Física
	Uncharted	4	Primera/Tercera Persona
	Unturned	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Valorant	3	Primera/Tercera Persona
	World of Warcraft	3	Primera/Tercera Persona
	World War Z	1	Primera/Tercera Persona
	Worms	1	Plataformas. Física
	Yakuza 0	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración
	Yakuza: Like a Dragon	1	Primera/Tercera Persona. Mundo Abierto/Exploración

La totalidad de los videojuegos mencionados caben en al menos una de las categorías señaladas, es decir, todos tienen relación con la arquitectura al menos en un aspecto.

Hay videojuegos que coinciden en más de una categoría, esto implica que poseen contenido más atingente al espacio habitable, por lo que son más idóneos para ser utilizados como medio para entender dicho espacio.

**Tabla 24:** ¿Crees que el uso de videojuegos te facilitó manejar herramientas digitales en la carrera?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Sí, creo que me familiarizó con el uso del computador y agilizó mi manejo de programas de diseño	13	35,1%
Sí, creo que solo me familiarizó con el uso del computador	13	35,1%
No, creo que no influyó en nada	11	29,7
No, creo que entorpeció mi manejo de programas de diseño debido a las distintas interfaces	0	0
Total	37	100%

El 70,2% de los encuestados estima que jugar videojuegos le permitió un mejor acercamiento al uso computador, y un 35,1% además cree que le permitió ser más ágil a la hora de manejar programas de diseño. En otras palabras, la mayoría reconoce que los juegos de video presentan beneficios al momento de manejar herramientas digitales, lo que implica que pueden optimizar la cantidad de tiempo y la calidad de productos creados a la hora de concebir un proyecto.

**Tabla 25:** ¿En qué crees que los videojuegos pueden aportar en el desarrollo profesional de un arquitecto?

Respuesta	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Pueden generar confianza al momento de manejar el computador y programas de diseño.	26	70,3%
Pueden facilitar el aprendizaje de conceptos y conocimientos teóricos y/o técnicos relacionados a la arquitectura.	17	45,9%
Pueden representar fenómenos, mecánicas y situaciones que ocurren en el espacio habitable.	16	43,2%
Pueden permitir la experimentación y la exploración de formas, espacios y proyectos.	27	73%
Pueden inspirar y/o motivar el desarrollo de proyectos.	13	62,2%
No creo que puedan aportar.	2	5,4%
Total	37	100%

El 94,6%, de los encuestados en este punto consideran que los videojuegos sí tienen algo que aportar en el desarrollo de la carrera de arquitectura.

El 70,3%, estima que los juegos de video son capaces de mejorar la interacción entre el arquitecto, el computador y los programas de diseño. Esto implica un uso óptimo de las herramientas profesionales, derivando en proyectos de mayor calidad y mejores intervenciones al espacio habitable, debido al mayor tiempo disponible a la toma de decisiones.

El 45,9% cree que pueden facilitar el aprendizaje de conocimientos teóricos, donde, por ejemplo, podrían distinguirse movimientos arquitectónicos por medio de videojuegos en primera persona ambientados en distintas épocas, o videojuegos de estrategia que implican avanzar de un periodo de la historia a otro; mientras que conocimientos técnicos como la transmisión correcta de cargas de una estructura podrían explicarse en un juego de construcción o de puzzle.

El 43,2% considera que son idóneos para representar fenómenos, como la densificación en juegos de simulación de ciudades; mecánicas como la recepción, transformación y venta de productos en juegos de gestión; y situaciones como una fiesta en un juego de simulación de vida.

El 73%, cree que los videojuegos permiten la experimentación y exploración de formas, espacios y proyectos. Esto cobra sentido considerando que los juegos imitan la realidad, permiten gestionar variables relativas al hábitat humano, y ofrecen la posibilidad de cometer errores sin tener un impacto nocivo y real en el espacio habitable.

El 62,2% opina que los videojuegos pueden inspirar y/o motivar el desarrollo de proyectos en arquitectura. Esto debido a la cantidad de juegos de video que existen, y la variedad de mapas, paisajes, ciudades, edificios y espacios que estos ofrecen como referentes.

## **5. Conclusiones**

Los videojuegos permiten tener una interacción más eficiente con el computador, esto va desde el manejo de especificaciones técnicas para instalar un juego nuevo; pasando por la capacidad de visualizar y entender el espacio desde distintas vistas; hasta manejar las distintas interfaces que cada juego posee. Esto permite una mayor adaptabilidad a la hora de aprender a utilizar nuevos programas de diseño y representación, ya que prácticamente demandan las mismas habilidades que los videojuegos para ser utilizados: posibilidad de instalación, capacidad de visualización y manejo de interfaz.

Asimismo, los juegos de video prácticamente en su totalidad están vinculados ya sea por visualización o contenido a la arquitectura. Esto ofrece la posibilidad de ser utilizados por los arquitectos como herramientas para estudiar, comprender y proyectar el hábitat humano.

Un camino que podría seguir esta investigación es el estudiar, por medio de grupos presenciales la forma que tiene un grupo de personas que se definan como jugadores de videojuegos frecuentes, frente a no jugadores. Observar si estos grupos tienen un flujo de trabajo diferente o prioridades distintas a la hora de desarrollar un proyecto.

Otro aspecto interesante por estudiar sería comprobar si los jugadores frecuentes, antes de entrar a la carrera, manejan conceptos o poseen nociones de arquitectura distintas a quienes no se consideran jugadores.

## Referencias

- Alvarez, F. (2022). MUSSA: Software de predicción urbana anticipa la cara de Santiago en el 2030. <https://www.plataformaurbana.cl/archive/2010/05/21/santiago-2030-segun-mussa/>
- Barraza, A. A. (2019) Los Videojuegos como herramienta de creación de espacios virtuales y su aplicación en la Arquitectura real. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60925138/Los\\_Videojuegos\\_como\\_herramienta\\_de\\_creacion\\_de\\_espacios\\_arquitectonicos20191016-46105-hsih6h-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1669961244&Signature=PgjoEzMxBRyZg~32q6TauJTveLiZbjJvg2BNDNwCnGPnG0wsx4bdaYZ9FviaNrmUbSd3dYS9jrj81klaewqgVmju-AH5BpkFEOXcq~mzqnlfpUiRMpK3a1ApHj-SaJkmggf0hWMkXwq1Lz8piHNq3HwWXLlqLACFIduACTU57b~JmzG6pEQVkgLR2gBD8uVqLwh06abgshXTs-YK8hbzfVxZXhVP0sLBjd11P3gENhrBib9XSsdIus821NHLf-wyAz-DxnWueEHHDvV~j6F-zTDjo-Xo1DSorSHTucAsCuNP2UI0E1I5~bZxlwVN-trst92j0cMSGJYWjevtySZ-Vw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60925138/Los_Videojuegos_como_herramienta_de_creacion_de_espacios_arquitectonicos20191016-46105-hsih6h-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1669961244&Signature=PgjoEzMxBRyZg~32q6TauJTveLiZbjJvg2BNDNwCnGPnG0wsx4bdaYZ9FviaNrmUbSd3dYS9jrj81klaewqgVmju-AH5BpkFEOXcq~mzqnlfpUiRMpK3a1ApHj-SaJkmggf0hWMkXwq1Lz8piHNq3HwWXLlqLACFIduACTU57b~JmzG6pEQVkgLR2gBD8uVqLwh06abgshXTs-YK8hbzfVxZXhVP0sLBjd11P3gENhrBib9XSsdIus821NHLf-wyAz-DxnWueEHHDvV~j6F-zTDjo-Xo1DSorSHTucAsCuNP2UI0E1I5~bZxlwVN-trst92j0cMSGJYWjevtySZ-Vw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- Block by Block. (2022). <https://www.blockbyblock.org/>
- Díez Fornes, C. (2020). Arquitectura y videojuegos. Creación o disolución de barreras. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/168078>
- Ekluns, A. (Director). (2016) Gaming the Real World [Película, video; online]. Luckyday. <https://www.redbull.com/es-es/films/gaming-the-real-world>
- Enríquez, R. (2013). Evaluación energética experimental de edificios en condiciones reales de uso mediante el ajuste de modelos de simulación con aplicaciones al control predictivo. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/21523/1/T34480.pdf>
- Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. (2022) <https://uchile.cl/t4928>
- Lluís Ortega. (2009). La digitalización toma el mando. Barcelona: Gustavo Gili.
- Loyola, M. (2018). Big data in building design: a review [Ebook]. Princeton: Amor R. [https://www.itcon.org/papers/2018\\_13-ITcon-Loyola.pdf](https://www.itcon.org/papers/2018_13-ITcon-Loyola.pdf)
- Marraco Bertet, T. (2017). Como espacio y arquitectura: videojuegos de rompecabezas. [https://oa.upm.es/47065/1/TFG\\_Marraco\\_Bertet\\_Teresa.pdf](https://oa.upm.es/47065/1/TFG_Marraco_Bertet_Teresa.pdf)
- McDaniel, T. (2018). Block by Block: The Use of the Video Game "Minecraft" as a Tool to Increase Public Participation. <https://digital.library.txstate.edu/handle/10877/7214>
- Mohedo Gatón, A. (2022). El metaverso en el proceso de enseñanza-aprendizaje: la interpretación de la torre del Homenaje del castillo de Montilla. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. <https://helvia.uco.es/handle/10396/23158>

- Moneta, A. N. D. R. E. A (2020) Architecture, heritage and metaverse: New approaches and methods for the digital built environment.  
[http://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/41626/1/1387908\\_a1232\\_Moneta.pdf](http://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/41626/1/1387908_a1232_Moneta.pdf)
- Ñudi Ramos, C. (2021). Entornos virtuales: El tablero de juego como escenario arquitectónico.  
[https://oa.upm.es/67660/1/TFG\\_Jun21\\_Nudi\\_Ramos\\_Carolina.pdf](https://oa.upm.es/67660/1/TFG_Jun21_Nudi_Ramos_Carolina.pdf)
- Obiols, A., & Recio, G. (2022). ¿Podemos predecir la ocupación que tendrán los autobuses?  
<https://elpais.com/tecnologia/cronicas-del-intangible/2022-04-22/podemos-predecir-la-ocupacion-que-tendran-los-autobuses.html>
- P, C. (2022). 'Cities: Skylines' ha evitado que Polonia construya una carretera con fallos: cómo los videojuegos nos están ayudando a mejorar nuestras ciudades.  
<https://www.xataka.com/videojuegos/cities-skylines-ha-evitado-que-polonia-construya-carretera-fallos-como-videojuegos-nos-estan-ayudando-a-mejorar-nuestras-ciudades>
- Programas para la simulación energética de edificios. (2022).  
<https://ovacen.com/programas-para-la-simulacion-energetica-de-edificios/>
- Ruiz-Tagle, J., & Gurovich, A. (2006). Modelos de simulación urbana: Experiencia a partir de un juego de estrategia [Ebook].  
<https://dearquitectura.uchile.cl/index.php/RA/article/download/28230/29928/>
- Télez, S., & Geussepe, C. (2022). La Arquitectura más allá del plano físico; relación existente entre el ámbito de la Arquitectura y el Videojuego.  
<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/6160>
- Vaamonde, A. G. N., Toribio, M. J., Molero, B. T., & Suárez, A. (2018). Beneficios cognitivos, psicológicos y personales del uso de los videojuegos y esports: una revisión. Revista de Psicología Aplicada al Deporte y al Ejercicio Físico, 3(2), 1-14.  
<https://www.redalyc.org/journal/6138/613865230006/613865230006.pdf>
- Vallejo, D. M. (2020). La simulación de ciudades históricas en videojuegos de mundo abierto: La saga Assassin's Creed (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).  
<https://digibug.ugr.es/handle/10481/63918>
- Vázquez, P. D. (2019). Arquitectura y videojuegos: relaciones (Tesis doctoral, Universidad de Coruña).  
[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/21648/DiazVazquez\\_Pilar\\_TD\\_2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/21648/DiazVazquez_Pilar_TD_2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

## **Diseño generativo como herramienta en el proceso de diseño aplicado en conjuntos habitacionales.**

**Estudiante:** Janis López Alvarado

**Profesor guía:** Pedro Soza Ruiz

### **Resumen**

Esta investigación, a partir de la revisión de tres casos de estudio, explora el uso de diseño generativo (DG) basado en inteligencia artificial (IA) con miras a generar soluciones espaciales que optimicen y mejoren la organización espacial de las unidades habitacionales de vivienda social. Para ello se implementó un algoritmo de diseño generativo usando el plugin Galápagos en la interfaz de programación visual Grasshopper, el que permitió iterar y generar 150 soluciones de diseño. Tras establecer criterios de selección, usando principios de sintaxis espacial se evaluaron, también computacionalmente, las soluciones de diseño generadas por el algoritmo generativo. Finalmente se ofrece una discusión sobre las implicancias que el uso de estas tecnologías tiene para el desarrollo de la toma de decisión proyectual.

**Palabras clave:** Déficit habitacional, Diseño generativo, Sintaxis especial



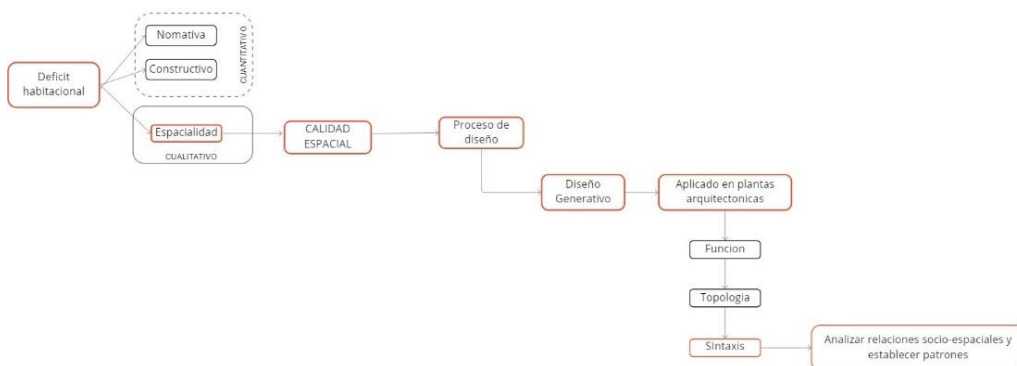
## 1. Introducción

El diseño generativo (DG) integra al proceso de diseño la inteligencia artificial (IA) mediante el uso de algoritmos evolutivos (Bentley, 1999). La IA es una tecnología que se puede definir desde la capacidad de imitar comportamiento inteligente, articulado por un humano (Winograd, Flores, 2002), siendo este un proceso de naturaleza cognitiva (Purcel & Gero, 2006).

Este concepto aplicado en arquitectura corresponde a un proceso de diseño iterativo (Vishal, Ning Gu, 2012), el que definiendo requisitos y restricciones puede alcanzar resultados novedosos abordando problemas donde la mente humana no logra generar una respuesta alternativa (Nagy, Villaggi, 2020). Las distintas variables que se ingresan al sistema se procesan y luego generan un set de soluciones posibles, que requieren de la evaluación por parte de un arquitecto/diseñador. La dimensión humana asociada a estos resultados -por ejemplo, la experiencia y la percepción- no son variables cuantificables, y se mantienen como trascendentes frente al acto de habitar.

Por lo tanto, el diseño generativo se presenta como una herramienta experimental que puede permitir dar respuesta a la evaluación del proceso de diseño de anteproyectos de viviendas colectivas, enfocado en la etapa inicial del proceso de diseño. En esta etapa, de formulación arquitectónica, se incorporan variables cualitativas, tales como las relaciones espaciales y su nivel de conectividad, ya que la configuración de espacios afecta directamente al habitante. Por ello es de importancia proponer diseños con estancias adecuadas y dimensiones proporcionadas, pensando en el uso habitual y las necesidades de cada usuario.

Esta investigación hipotetiza que el uso de diseño generativo permite explorar configuraciones espaciales, y posteriormente, evaluar con sintaxis espacial las redes de conectividad de una planta arquitectónica. El uso de estas tecnologías como herramienta de iteración y evaluación aplicada al caso de estudio de la vivienda colectiva en Chile es un aspecto disciplinar aún no investigado, lo que puede generar una contribución al campo de la arquitectura.



**Figura 5:** Diagrama de problema de investigación. Fuente: Elaboración propia.

En el ámbito de la arquitectura chilena, el problema habitacional es de naturaleza multiescalar, que afecta a situaciones de normativa, económicas y socioespaciales. Por otra parte, el crecimiento acelerado de las nuevas tecnologías, específicamente en el área de inteligencia artificial y diseño generativo permite abordar nuevos enfoques para resolver problemas complejos. En este escenario surge la pregunta ¿Cómo el diseño generativo puede ser una herramienta de diseño arquitectónico en el proceso de creación de viviendas colectivas?

Por consiguiente, el objetivo general de esta investigación es analizar el uso del diseño generativo en el proceso de diseño arquitectónico. Para poder realizar y responder a la pregunta de investigación, se establecen cuatro objetivos específicos a cumplir.

- Identificar casos de estudios de viviendas colectivas y recopilar sus antecedentes.
- Desarrollar un algoritmo de diseño generativo para generar iteraciones geométricas de diseño.
- Identificar parámetros para ingresar como input al diseño generativo.
- Evaluar resultados del proceso de diseño generativo de acuerdo con los principios de la teoría de la sintaxis espacial, mediante mapas convexos, grafos justificados y niveles de profundidad.

La estructura de este trabajo se compone de la siguiente manera: se plantea y discuten datos e información sobre el déficit habitacional, la relevancia de este tema y como se vincula con el proceso de diseño arquitectónico. También se revisa la manera en que propuestas de diseño arquitectónico se pueden evaluar mediante el uso de sintaxis espacial o *Space Syntax*. Luego, se introduce literatura pertinente al proceso de diseño generativo, con especial foco en la manera en la que operan los algoritmos evolutivos. A continuación, se expone el diseño metodológico de esta investigación, con sus ventajas y desventajas, y se describen los pasos que se siguieron para llegar los resultados, los que se presentan en la última sección de este escrito, la que revela los resultados obtenidos de las iteraciones y evaluación de los casos de estudios. El escrito concluye discutiendo dichos resultados en el contexto de reflexiones finales surgidas tras el desarrollo de la investigación.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Déficit Habitacional**

Según el primer catastro realizado a principios del 2022 por Déficit Cero, Chile está viviendo la tercera ola de déficit habitacional: de acuerdo con esto, dicho déficit alcanza a 640.000 hogares. Además, el catastro da cuenta de la existencia de 696 campamentos, que se traduce en que el 10% de la población “vive en hogares allegados, núcleos allegados hacinados, en campamentos o en situación de calle” (Déficit cero, 2022). La distribución geográfica alcanza a todo el territorio del país, pero el mayor déficit se concentra en las regiones: de Valparaíso y del Biobío y Metropolitana, siendo el 66% a nivel nacional.

De igual manera, en octubre, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) actualizó el catastro nacional de campamentos 2022. Reveló que el déficit alcanza 650.000 familias, con 1.091 campamentos y 71.961 hogares, indicando que “las familias afectadas no cuentan con las condiciones necesarias para desarrollar su vida con seguridad, estabilidad y privacidad” (MINVU, 2022, p. 5). Asimismo, se indica que 3 regiones del país concentran el 50% de todos los campamentos a nivel nacional. Ellas son la región de Valparaíso con 255 campamentos, la de Biobío con 156 campamentos y la Metropolitana con 142 campamentos, lo que confirma el aumento exponencial del déficit habitacional cuantitativo.

Por otro lado, el concepto de vivienda con sus tipologías ha tenido cambios y adaptaciones a lo largo de la política habitacional. En sus inicios se construía a baja altura, casas de uno o dos pisos. Sin embargo, durante el periodo de 1936 a 1952, se institucionaliza las organizaciones de la vivienda, siendo implementada la Ley venta por piso en 1937. Esto se debe al diseño de tipologías C (departamentos en block de 3 a 5 pisos) en altura con perspectiva integral (áreas verdes, equipamiento y servicios). Este desarrollo se ha fortalecido en un contexto donde el suelo urbano es escaso, lo que permitió el desarrollo de proyectos de vivienda social que favorecían el diseño y construcción de esta tipología como solución al déficit habitacional.

Desde entonces el diseño y producción de vivienda social ha estado ligado a la idea de producir en serie un gran número de viviendas. En consecuencia, durante los últimos 50 años, este diseño ha sido estándar para una familia tipo, con espacios estandarizados con dimensiones mínimas, ya que se puede encontrar conjuntos habitacionales con unidades de vivienda de 37 m<sup>2</sup> implementada en Villa Arauco, o en la Población Francisco Coloane con departamentos de 42 m<sup>2</sup>, que posteriormente culminó con la demolición de 20 blocks por parte del programa Segunda Oportunidad.

Se puede inferir, que estas decisiones han sido influenciadas por el factor socioeconómico y en contrarrestar cuantitativamente el déficit habitacional, lo que dificulta el diseño de una vivienda a partir de las necesidades y características humanas (Iturra; Morales, 2017).

En contraste, (Haramoto et al., 1987: 5) propuso:

*En términos amplios la vivienda no sólo es el “techo”, sino un sistema que además incluye el terreno, la infraestructura y el equipamiento social comunitario según una localización y dentro de un contexto social, cultural, económico, político, tecnológico y físico”,*

Dicha visión permitió problematizar la vivienda como un espacio con un impacto macro político, económico y sociocultura, es decir, multiescalar. Ello se alinea con lo revelado por los informes expuestos anteriormente (Déficit cero, 2022; MINVU, 2022), los que advierten que el déficit habitacional es un problema que posee múltiples parámetros, y que demanda una solución que responda a diversas dimensiones que conforman esta compleja realidad.

Para el propósito de este estudio, se estudiaron tres casos, tres conjuntos habitacionales, que representan una muestra de los conjuntos que fueron construidos cada 10 años.

Posteriormente se analizará en cada unidad representativa de vivienda una planta arquitectónica, de manera geométrica. Con ello se busca poder ingresar parámetros a modo de input al proceso de diseño generativo, obteniendo iteraciones geométrica y posteriormente interpretaciones de forma espacial haciendo los correspondientes análisis de sintaxis espacial.

**Tabla 1:** Casos de estudio.

Conjunto	Año	Región	Comuna	m <sup>2</sup>	Nº Pisos	Nº Espacios
Lo Valdivieso	1957	Metropolitana	Ñuñoa	65.3	5	7
Plaza Chacabuco	1976	Metropolitana	Independencia	47.8	4	7
Villa Arauco	1987	Valparaíso	Viña del Mar	37.6	4	7

A modo de resumen, y antes la situación de déficit antes expuesta, resulta atingente buscar alternativas de diseño que no solo sean capaces de resolver aspectos espaciales, arquitectónicos y constructivos, sino que también contemple el proceso de diseño de las viviendas como un proceso optimizado eficiente y eficaz; esto es, buscar la mejor solución de acuerdo con lineamientos espaciales y aspectos socioculturales. Para esto, el presente trabajo estableció una discusión en torno al proceso de diseño de arquitectos, permitiendo entender los modelos mentales y las representaciones que guían el proceso de toma de decisión proyectual.

## 2.2. Proceso de Diseño

Los arquitectos y/o diseñadores realizan modelos mentales durante el proceso de creación de una propuesta; esto se componen de diagramas y esquemas geométricos para analizar las relaciones espaciales del usuario o comprender las necesidades del habitante, sin embargo, como se ha mencionado antes, durante 50 años se ha diseñado la vivienda social rigiéndose con las medidas mínimas establecidas por la norma habitacional, dejando en un segundo plano el contexto micro y macro social, lo que tiende a empobrecer la calidad de vida de las personas. Idealmente, el proceso de diseño que se organiza a partir de su naturaleza episódica (Soza, 2018), y dicha naturaleza permite que los problemas mal estructurados pueden estructurarse (Simon, 1973), mediante el proceso de formalización de resolución de problemas con inteligencia artificial.

Purcel y Gero (2006) indican que dentro de la etapa conceptual temprana del proceso de diseño existen formas de representación pictórica, las que se consideran parte esencial del proceso de diseño y de la construcción de representaciones no estructuradas, relacionadas con la creatividad y la innovación propias del diseño arquitectónico de manera contextualizada y relevante.

Por otro lado, van der Meiden y Bronsvort (2010) advierten que existe una relación entre parámetros y objetivos, la que se apoya en una correlación con la geometría para validar un modelo realizado. En consideración de lo anterior, se ha hipotetizado sobre la aplicación de inteligencia artificial, específicamente el diseño generativo que:

*“El DG puede funcionar en etapas conceptuales del diseño donde este todavía está en fase de formulación, la capacidad de exploración de variaciones de diseño en las primeras fases puede producir resultados muchos más beneficios que la optimización con medios limitados en las fases finales del diseño. (Krish, 2011)*

Es por esto, que el diseñador al momento de plantear soluciones a un modelo puede ser apoyado por las tecnologías mencionadas. Sin embargo, el proceso que realiza el DG es computacional y para proponer representaciones arquitectónicas se evalúan esos resultados, rol importante por parte del diseñador sobre todo en la etapa de diseño antes explicada.

Espacio del problema de un diseño arquitectónico, lo que se explica como los pasos o secuencia que se dan dentro de un problema de diseño y como cada etapa va desarrollando sub pasos con características o especificaciones que no se tienen en consideración al inicio del problema. A modo de ejemplo, si pensamos en una tarea de diseño como el diseño de un acceso a un cementerio, primero se establece el terreno a intervenir, para esto se imprime o dibuja una vista en planta del lugar a intervenir, luego se establecen las dimensiones del terreno para establecer límites y poder configurar el programa, ligado a esto se identifica y analiza que programas se necesitan: espacios de descanso, columbarios, zona de oración, una iglesia, cada uno de esos requiere que diseñe de forma individual y pueda cumplir con la normativa, así mismo, se debe tener en cuenta el aspecto espacial, conexiones viales, vistas, y en conjunto, analizar relaciones sociales, como se comporta la gente en un cementerio y que espacios necesita. Además, el acceso se debe insertar en un contexto de trama urbana, aquí se integra el aspecto urbano, porque al tener esos aspectos (espacial-programático-social-urbano) se debe diseñar en detalle, que tipo de estructura se va utilizar, esto ya es un aspecto interdisciplinar, donde se deben compartir ideas con otras áreas de diseño, además se debe diseñar que tipo de material se va ocupar, cuales se han usado alrededor, el costo del material, la lógica de llevar el material, cuanto personal se va necesitar, permisos de edificación, etc. Cada etapa del diseño arquitectónico contiene subetapas los diseñadores/arquitectos establecen criterios al momento de diseñar problema.

Este ejemplo permite visualizar que el inicio de formulación de diseños de problemas es siempre vago y no claro (Simon, 1969), el proceso de diseño tiene una condición circular donde la formulación de problemas y su solución son codependientes (Soza,2018); siguiendo esta lógica, en conjunto con el objetivo de este estudio, el analizar el diseño generativo como herramienta presenta potencialidades en respecto a la fase donde se implemente, sin embargo, como se ha mencionado anteriormente se necesita una interpretación arquitectónica, siendo en este caso, el concepto de sintaxis espacial. Por lo tanto, a continuación, se revisan antecedentes sobre diseño generativo y sobre sintaxis espacial.

### 2.3. Diseño Generativo

Actualmente estamos en la era industrial 4.0 donde el desarrollo tecnológico, la automatización y recopilación de datos (*data*) son aspectos fundamentales para la fabricación moderna desde una visión holística. Estos aspectos son parte de la implementación y visualización de la inteligencia artificial (IA) y el machine learning (ML), que permiten tomar mejores decisiones (Shume, 2020). Estas herramientas pueden ser aplicadas en todas las disciplinas, siendo una de ellas la Arquitectura, campo en el que aún se encuentra en etapa exploratoria.

El campo de la inteligencia artificial (IA) se desarrolla a través de entidades inteligentes que sintetizan y automatizan tareas intelectuales (Stuart R, Norving, P. 2008). Puede abarcar desde el aprendizaje y percepción, o se puede diferenciar como sistemas que piensan como humanos (Haugeland, 1985. Bellman, 1978), sistemas que actúan como humanos (Kurzweil, 1990. Knight,1991); sistemas que piensan racionalmente (Charniak, 1985. Winston, 1992) o sistemas que actúan racionalmente (Poole, 1998. Nilsson, 1998). Por lo tanto, esta tecnología es capaz de imitar el comportamiento inteligente con un trasfondo cognitivo articulado por un humano (Winograd, Flores, 2002)

Dentro del campo IA aplicada al diseño arquitectónico existen distintas ramas. Entre las más comunes hoy en día están el Diseño generativo, Machine learning y Deep learning. Cada una tiene distintas aplicaciones en la arquitectura, desde el proceso de anteproyecto, hasta la automatización de la operación del edificio. Esta investigación se enfoca en el diseño generativo.

El diseño generativo puede usar o no IA. Si involucra el uso de algoritmos evolutivos se considera que se está usando IA en el diseño generativo. En caso de no usar este tipo de algoritmos, el diseño generativo opera sobre el modelamiento paramétrico, lo que muchas veces va sumado al uso de interfaces gráficas de programación visual por parte del usuario, pero no necesariamente se está usando IA para procesar información de manera más rápida y eficiente que un agente humano. Los algoritmos evolutivos evalúan el modelo geométrico y optimizan las opciones de resultados, permitiendo al diseñador, una exploración mucho más profunda de espacios de diseño complejos. Así, la solución arquitectónica se configura con métricas concretas, predefinidas, y controlan parámetros de entrada del modelo para encontrar soluciones de diseño explorando al mismo tiempo todas las posibilidades del espacio de diseño (Nagy, Villaggi, Benjamín, 2017), descubriendo resultados novedosos y revelando las mejores opciones de diseño.

Asimismo, los parámetros de entrada del modelo geométrico están regulados por el diseñador; Gero (1990) propuso que estos fueran guiados por un objetivo y estuvieran limitados, con “restricciones” como lo planteara Rietman (1966), ya que en el diseño creativo tanto contexto como la percepción del diseñador son una parte importante del proceso evaluativo, y ambas afectan los modelos resultantes.

Singh y Gu (2012) también están entre los investigadores que establecieron un marco de enfoque en Diseño Generativo, explicando que existen 5 tipos de técnicas computacionales que se pueden utilizar; Autómatas Celulares (CA): que consisten en la aplicación de un conjunto de reglas que funcionan según proximidad espacial (comparten cara/arista/vértice) a una cuadrícula cartesiana, y su definición se sujeta según el problema y las características de diseño; Algoritmos genéticos (GA): que son técnicas evolutivas inspiradas en la naturaleza; Sistemas L (LS): que son algoritmos que contienen y aplican reglas al mismo tiempo, generando variaciones gramaticales de diseño representadas en símbolos; Inteligencia de enjambre (SI): que son modelos basados en agentes que se implementan en comportamientos sociales o colectivos formando patrones globales funcionales y coherentes; y Gramáticas de la forma (GS) o shape grammar: que son un conjunto de reglas formales que generan conjuntos geométricos, y estas mismas reglas son las descripciones de dichos conjuntos, estableciendo elementos y relaciones que pueden generar su propio lenguaje de diseño o se pueden analizar geometrías existentes (Stiny, 1990).

Cada técnica se utiliza para apoyar y generar distintas aproximaciones, sistemas deterministas y no deterministas, a la etapa primaria de formulación arquitectónica, pero se diferencian en el - que y como- se aplican sus reglas, además de identificar cuál es el caso en el que se puede aplicar cada sistema computacional variando su resultado, nivel de profundidad y post evaluación en el diseño de en cada una. Esta investigación propone indagar y analizar el proceso computacional del DG con algoritmos evolutivos y generar un set de iteraciones geométricas optimizadas.

### **Algoritmo Evolutivo**

Como se explicó, una de las ramas de inteligencia artificial es la computación evolutiva, que se entiende como búsqueda de soluciones a través de un inmenso espacio de posibilidades, para encontrar resultados potenciales para un problema específico (Bentley, Corne 2001). Un algoritmo evolutivo (AE) es un subconjunto de la computación evolutiva inspirado en la biología evolutiva, que mediante estrategias de optimización trabaja con grupos o poblaciones de soluciones donde se eligen las mejores soluciones, según un set de criterios de evaluación, para que evolucionen y mientras que las soluciones restantes se eliminen. En la siguiente “generación” las mejores soluciones vuelven a evolucionar mientras el resto se descartan nuevamente, y así sucesivamente hasta que el proceso de evaluación encuentra el resultado más óptimo, según el *fitness* escogido (m<sup>2</sup>, área, perímetro, etc.)

Los AE hacen el proceso de selección, recombinación y mutación en cada generación, además requieren alguna forma de orientación para dirigir la evolución hacia las mejores zonas del espacio de búsqueda, mediante la evaluación de cada solución de la población para determinar su *aptitud o fitness* (García, García, Villada. 2012). En esto consiste evaluar la aptitud de una solución, a partir de una puntuación basada en lo bien que la solución cumple el objetivo del problema, calculada por una función de aptitud.

Los valores de aptitud suelen representarse en espacios de búsqueda, dando lugar a *paisajes de aptitud montañosos*, donde la parte más alta corresponde a soluciones en esa parte del

espacio de búsqueda que tienen aptitudes óptimas (Rutten, 2010). Si el problema tiene muchos óptimos separados (es decir, si la función de aptitud es multimodal), encontrar una solución globalmente óptima (la cima de la montaña más alta) en el paisaje puede ser extremadamente difícil.

Hay cuatro familias principales de algoritmos evolutivos que se utilizan hoy en día, tres de las cuales se desarrollaron de forma independiente hace más de treinta años. Estos algoritmos son: el Algoritmo Genético (AG) creado por John Holland (1973), Programación Evolutiva (PE) creado por Lawrence Fogel (1963), Estrategias de Evolución (ES) creadas por Ingo Rechenberg (1973) y Programación Genética (GP) desarrollada por John Koza (1992).

En este estudio se ocuparán algoritmos genéticos creados por Holland. Así mismo, para poder entender en detalle el proceso computacional del diseño generativo, en la próxima sección se presentará, en la visión de distintos autores, el programa a utilizar y su estructura.

### **Algoritmos Genéticos**

El proceso fundamental que computan los algoritmos es la optimización. Entendiendo este concepto como el proceso de hacer algo mejor, en donde el diseñador concibe una idea y la optimización la mejora probando variaciones sobre un concepto inicial (Haupt, Haupt, 2004). Además, ellos proponen que los AG tienen ventajas como: optimización con variables continuas o discretas, búsqueda simultánea de distintas opciones de soluciones, puede trabajar con muchas variables al mismo tiempo y optimizan variables complejas. Así mismo, se trabaja con datos generados numéricamente, datos experimentales o funciones analíticas.

Eiben y Smith (2015) propusieron que los algoritmos genéticos son lentos y para problemas de alta complejidad pueden ser costosos en términos de tiempo y recursos; dependiendo de los parámetros la evaluación, los algoritmos podría no llegar a una solución óptima o terminar en una solución prematura y la “mejor” solución solo es en comparación a otras soluciones, por lo que es necesario tener criterios definidos para la evaluación final. Al respecto, el proceso de optimización explicado por Rutten (2010) establece que primero se trabaja con un modelo (problema) y con variables (genes) que van cambiando el estado inicial de dicho modelo, entregando una población de soluciones candidatas (generación) las que se componen por individuos o fenotipos. Cada solución candidata tiene un conjunto de propiedades, que son valores específicos para cada uno de los genes, para ser mutados o alterados. En estas propiedades es donde se aplica la aptitud o “fitness” antes mencionada, para encontrar o acercarse a la solución más adecuada o de mayor calidad.

Los algoritmos genéticos se encuentran incorporados en el plugin Galapagos, que opera dentro del ambiente de programación visual Grasshopper, que a su vez funciona dentro del software Rhinoceros. En este estudio se ocupa Galapagos por dos razones: primero, el problema de investigación analiza el diseño generativo en la etapa inicial del proceso de diseño, siendo esta abstracta. En segundo lugar, el proceso de evaluación con sintaxis espacial teoriza en el estudio de vacíos, esquemas geométricos, dejando en segundo plano,



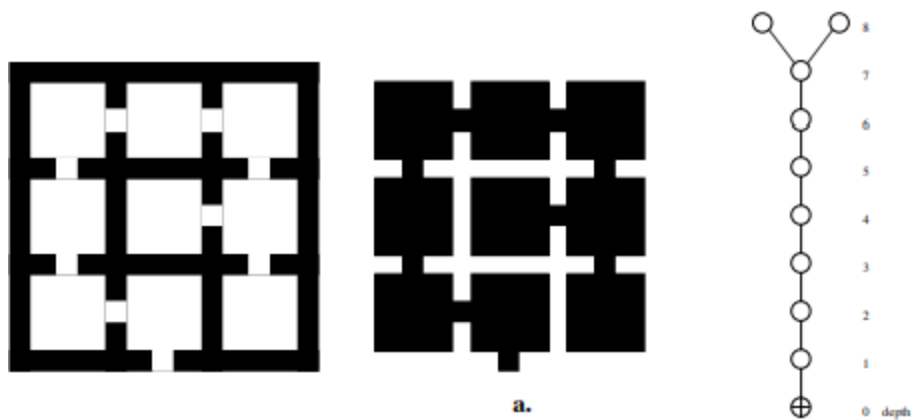
materialidades, grosores de elementos. Se explicará la teoría de ese método en la próxima sección.

## 2.4. Sintaxis Espacial

La sintaxis del espacio como teoría de evaluación arquitectónica es explicada en el libro “The Social Logic of Space” de Hillier y Hanson (1989). Estos autores presentan su teoría acerca de la organización del espacio y su significado social, proponiendo analizar cada escenario (edificios, parques, ciudades) de acuerdo a sus propiedades espaciales, y la manera es que dichas propiedades influyen en la forma de interacción entre las personas. Por lo tanto, sostienen Hillier y Hanson, la actividad humana y las relaciones sociales se expresan y reflejan en configuraciones espaciales.

Este análisis, aplicable a distintos escenarios y escalas. Mas allá de la consideración de que las configuraciones espaciales sean multiescalares. El análisis puede realizarse desde una macro escala (estrategias regionales, ciudades), a una meso escala (espacio colectivo, parques) o una microescala (edificio), permitiendo siempre establecer redes de conectividad (Maya, 2019).

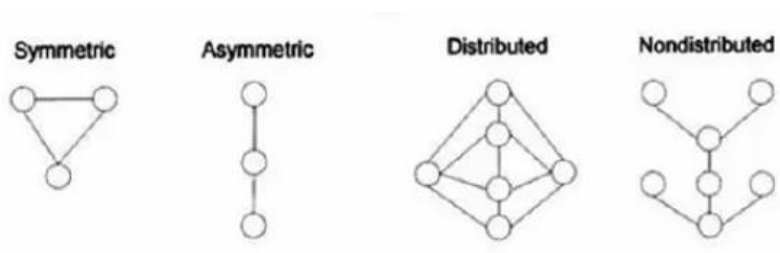
Para establecer redes de conectividad, se estudian lo vacíos (espacios), omitiendo materialidades, grosores, texturas o colores. Estas redes de conectividad se representan a través de grafos formando un entramado que permite establecer la accesibilidad de cada espacio representado en el grafo. Hillier (1996) explica que la teoría de grafos o teoría de redes se caracteriza por su estructura topológica y que los diferentes espacios se relacionan de modo tal que el cambio en alguna de las conexiones puede provocar cambios en el sistema a nivel global.



**Figura 2:** Esquema representativo de los fundamentos de la sintaxis espacial; plano a estudiar, vacíos y representación mediante grafos. Fuente: Hillier,1996; p.21

Es importante señalar que la sintaxis espacial predice patrones de movimiento y co-presencia en la trama arquitectónica/urbana. Para estudiar las configuraciones los espacios reales se transforman en representaciones esquemáticas, es decir, en mapas o grafos en

función de los vacíos y las configuraciones características que se quieran estudiar; que se clasifican según simetría o distribución de espacios.



**Figura 3:** Patrones de grafos justificados según distribución de espacios. Fuente: Hillier y Hanson 1984.

De esa misma manera, las configuraciones se estudian en base a categorías que asignan un valor a cada nodo en el grafo, lo que se calcula matemáticamente. En este estudio se realizará este proceso usando el plugin Space Syntax para Rhinoceros. Las categorías de análisis que se busca evaluar son:

**Integración o Integration:** Puede ser aplicado a cualquier espacio, indica que cuanto menos profundidad tenga el grafo, más integrador será el espacio y viceversa, esto significa que a cada espacio se le puede asignar un valor de integración. Esto permite descubrir que diferentes funciones se especializan de forma distinta.

**Control:** Indica la fuerza con la que un vértice de un grafo (un espacio en una configuración) está vinculado a otros puntos de manera superior.

**Elección o Choice:** Indica la frecuencia con la que un nodo (espacio) se encuentra en la ruta más corta entre todos los demás nodos, en otras palabras, mide "el grado de elección que representa cada espacio (la probabilidad de ser atravesado) en todas las rutas más".

**Entropía o Entropy:** Indica que mientras mayor sea el valor resultante, más difícil será llegar a otros espacios desde ese espacio y viceversa.

Estos criterios permiten analizar, jerarquizar e inferir redes de conexiones, los que pueden ser interpretarlos a modo de patrones como nuevos esquemas o diagramas arquitectónicos según el problema de diseño que se esté estudiando.

A modo de resumen, esta sección de antecedentes presento y discutí que el déficit habitacional es un tema multiescalar y que es de importancia el diseño de las viviendas. Así mismo, se vio que el proceso de diseño que tienen los arquitectos / diseñadores es complejo y circular. A raíz de ese contexto se propone que el diseño generativo puede ser una herramienta en la etapa temprana de formulación de diseño, mediante iteraciones geométricas realizadas con AE las que puedan evaluarse espacialmente usando la teoría de la sintaxis espacial. En la próxima sección se presenta el método de estudio y la secuencia de estrategias realizadas en esta investigación.

### **3. Diseño metodológico del estudio**

#### **3.1. Elección de método de investigación**

Considerando que el objetivo de esta investigación fue analizar el uso de diseño generativo como herramienta en el proceso de diseño aplicado en conjuntos habitacionales, se define que una aproximación metodológica basada en experimentación y simulación es la más adecuada para abordar la investigación.

Por otro lado, el carácter exploratorio de este estudio radica en el proceso de vincular el diseño generativo de conjuntos habitacionales. Para ello, se analizarán 3 casos de estudio, específicamente la planta arquitectónica de cada uno para conocer sus dimensiones y cantidad de espacios, así abstraer la geometría de cada uno.

Respecto del método de simulación, este se encuentra predefinido en la suite de herramientas digitales utilizadas, en este caso el plugin Galapagos, el entorno de programación visual Grasshopper, para realizar las iteraciones computacionalmente, el plugin Space Syntax con el fin de analizar el uso del diseño generativo como herramienta en el proceso de diseño, todo ello dentro del ambiente proporcionado por software Rhinoceros.

#### **3.2. Recopilación de datos**

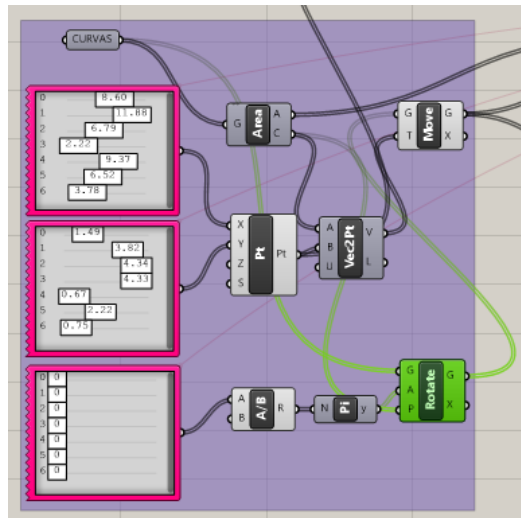
El primer objetivo consistió en elegir los casos de estudio. Para ello se revisó información de diversos conjuntos habitacionales provista por el curso “Electivo de Especialización: Política Habitacional y Crecimiento Urbano”. En primera instancia se identificaron viviendas unifamiliares y los conjuntos habitacionales, siendo este último grupo el caso de interés de este estudio, ya que el uso de suelo es escaso y la proyección de viviendas es en altura para poder contrarrestar el déficit habitacional.

Posteriormente se eligieron 3 casos, buscando que fueran representativos de los cambios en la política habitacional nacional. El caso 1 corresponde al Conjunto Lo Valdivieso de 1957 (figura 4). El segundo caso es la población Plaza Chacabuco de 1976 (figura 5), y el tercero el Conjunto Villa Arauco de 1982 (figura 6). Para desarrollar la investigación, se hizo un registro de las planimetrías de los conjuntos a través de imágenes de planos municipales, los que estaban debidamente acotados pudiendo capturar las medidas reales de los conjuntos. Posteriormente se dibujaron las plantas usando software CAD. Se establecieron los ejes como limitantes para abstraer la geometría de cada espacio. La información base de los tres casos se encuentran en el Anexo 1



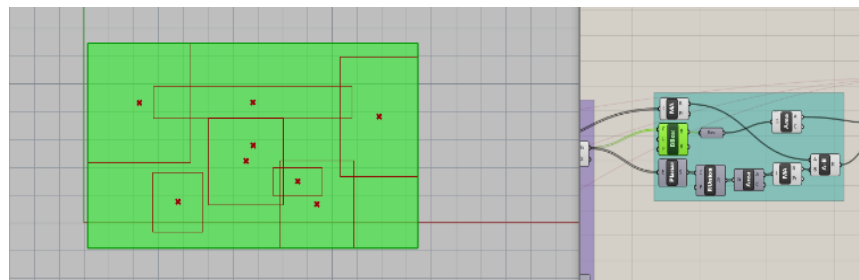
### Organización del algoritmo.

Al tener en Rhinoceros dibujada las plantas arquitectónicas, se delimita la geometría de cada espacio y se incorpora al contenedor de *curvas* que posteriormente se calcula el área individual. En la figura 8 se puede observar al lado izquierdo 3 pool gens (color rosado), los dos primeros, indican las dimensiones de los 7 espacios en coordenadas XY (*Pt XYZ*), el ultimo indica la posición de rotación. Esta primera parte sirve para ingresar los datos, establecer los parámetros, siendo fundamental para posteriormente conectar con la parte final del algoritmo y realizar las iteraciones geométricas, ya que se busca optimizar la posición de cada geometría.

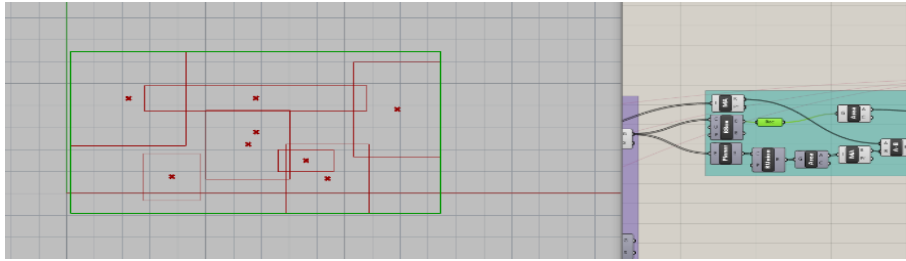


**Figura 8:** Organización de componentes para ingresar la data. Fuente: Elaboración propia.

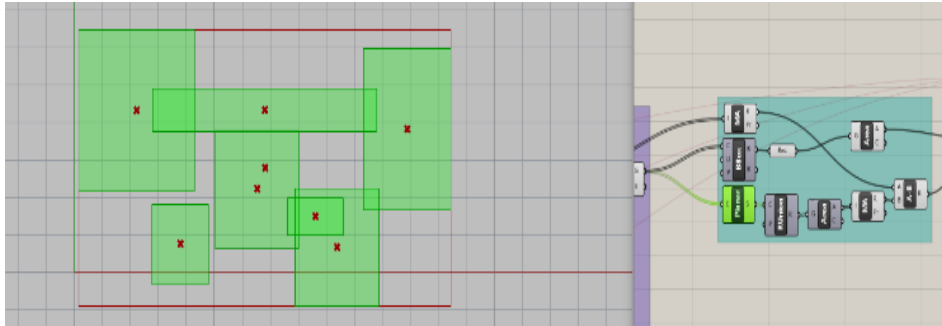
En el segundo grupo, de color turquesa, controla los límites donde se ejecutará la interacción de cada una de las geometrías. Para eso se define el componente *Mass addition*, permite realizar la adición del área de cada geometría, y en paralelo se coloca un *Bounding Box* (figura 9) que permite contener las geometrías dibujadas. Este *Bounding Box* se conecta a *Area* para calcular su totalidad.



**Figura 9.** Componente Bounding box. En verde se ve el área donde se moverá cada geometría.



**Figura 10:** Bounding Box se traduce a un rectángulo siendo el límite de iteración.



**Figura 11:** Componente Planar Surface, reconoce la superficie de cada geometría.

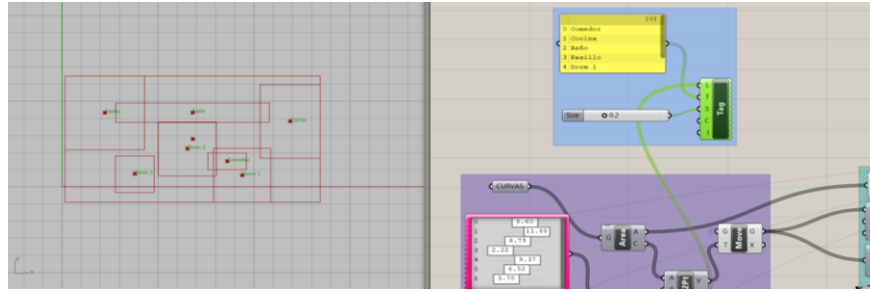
En la figura 10 se observa que el algoritmo reconoce la totalidad de los 7 espacios dibujados con sus dimensiones y áreas. Esto sirve para indicar al componente *Subtraction* se reste el área del Bounding Box y con ello se indica al algoritmo que es necesario que calcule y grafique el menor espacio posible entre esos dos elementos.

En la parte final de la definición del algoritmo, grupo de color rosado (figura 12) se coloca el componente  $F2(X,Y)$ , que permite evaluar dos variables, el área del rectángulo mayor y la sustracción de las geometrías contenidas. El objetivo de este componente es conseguir el número más bajo posible para poder optimizarlo, correspondiendo este al fitness que se conecta con el componente de Galapagos, como se observa en la figura.



**Figura 12:** Conexión de componente función con output numérico para conectar al fitness de Galapagos.

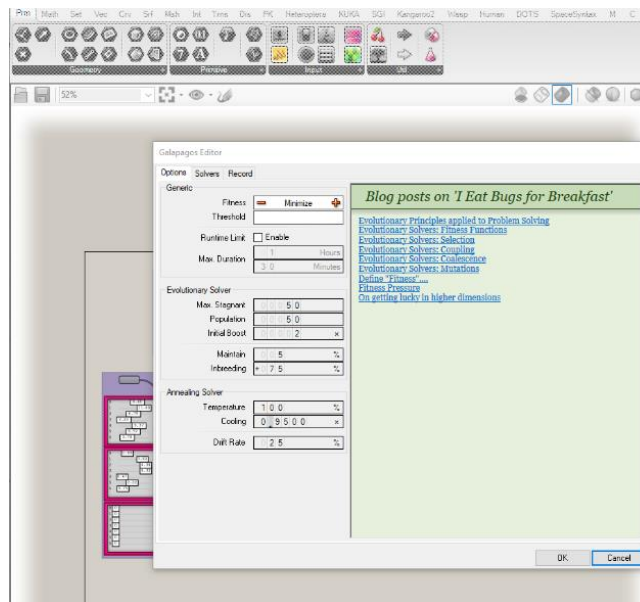
Adicionalmente, para identificar cada espacio se realiza una lista con la designación de cada uno, (sala de estar, cocina, baño, pasillo, dormitorios, logia) para etiquetar la geometría resultante dibujada.



**Figura 13:** Nombre de programa a cada espacio. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Iteraciones

Al ejecutar el plugin Galapagos se muestra una pestaña (figura 14) donde se define el tiempo de optimización y la cantidad de iteraciones que se necesitan. Además se pueden modificar otros parámetros en función del resultado que se desea obtener. En este experimento se indicó que se harán 50 iteraciones para cada caso. Si bien estas son pocas iteraciones en comparación a los resultados que se pueden obtener con el plugin Galapagos, se eligió un número reducido, ya que el proceso de post evaluación es un proceso manual. Además se consideró el limitado tiempo para realizar esta investigación, más el extenso proceso que llevo buscar y aprender la programación y uso del algoritmo que determino esta cantidad de resultados.



**Figura 14:** Editor de Galapagos.

Las iteraciones se realizaron con el conjunto Lo Valdivieso del año 1957, siendo el más antiguo de los casos estudiados. La figura 15 muestra la pestaña del plugin Galapagos en la que se visualizan 4 partes:

1. El gráfico de optimización, en la parte superior hay marcadores que indican que en ese lugar se encontró una opción solución mejorable.
2. Ploteo mostrando las opciones buenas y en descartadas.
3. Grafico lineal indicando las variaciones de cada solución, para ver el comportamiento del proceso de optimización.
4. Ventana con los valores de optimización, siendo el primer valor el mejor o “bueno”, también se pueden seleccionar otras opciones hacia abajo para ver distintos resultados y poder visualizarlos el viewport de Rhinoceros (a la izquierda de la imagen).

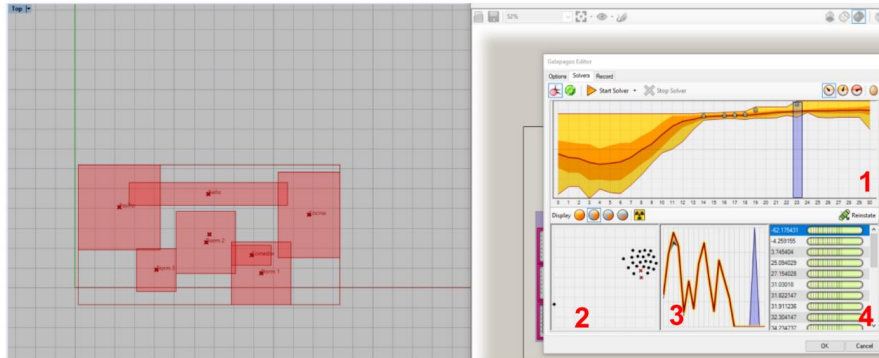


Figura 15: Proceso de iteración con Galapagos.

#### 4. Resultados

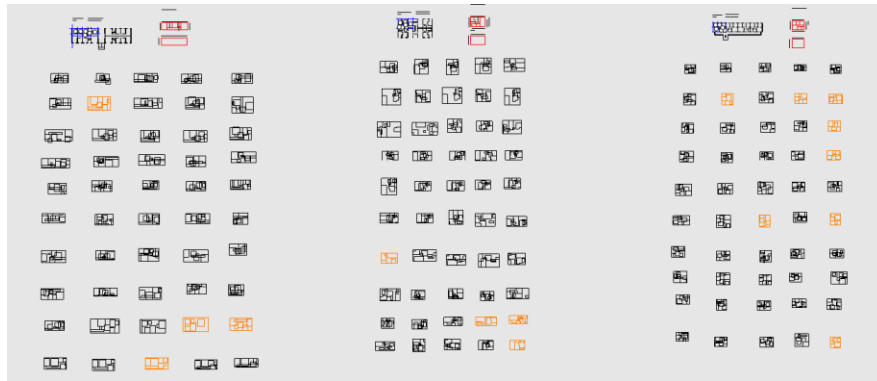
Se obtuvieron dos fases de resultados, la primera con resultados realizados por el proceso de diseño generativo y la segunda correspondiente a la evaluación con sintaxis espacial.

##### 4.1. Resultados proceso de diseño generativo:

Se obtuvieron 150 iteraciones en total, 50 por cada conjunto habitacional, siendo el output iteraciones geométricas. Esto indica, que el proceso realizado por el plugin Galapagos fue condicional a la configuración del algoritmo. En Grasshopper se programó un algoritmo que iterara la geometría o los “espacios” dentro de un límite específico. Si bien este límite es el área que tiene actualmente cada conjunto en la mayoría de los resultados se sobrepasó dicha área.

Sin embargo, al revisar los resultados cada iteración (figura 16), es posible observar que existe un traslape entre las unidades de geometría. Esto se contradice con el entendimiento de que los espacios deben ser adyacentes. Bajo ese criterio fueron seleccionados las soluciones que cumplieran con un traslape mínimo, indicando que el proceso de optimización e iteración encontró diferentes posiciones al colocar los espacios.





**Figura 16:** Resultados (output) de iteraciones geométricas de cada conjunto habitacional.

#### 4.2. Resultados análisis sintaxis espacial:

Al tener las iteraciones geométricas, estas se evaluaron en términos de especialidad con sintaxis espacial. Se puede observar en la figura 17, los resultados seleccionados de cada unidad iterada, luego el mapa convexo, donde se colocaron nodos marcando el centro de cada espacio, y las conexiones, usando líneas, entre los espacios adyacentes. Luego se obtuvo diagrama de burbujas traducido a un grafo justificado que se lee desde abajo hacia arriba. Finalmente se colocaron los cuadros con los valores de *Integration*, *Control*, *Choice* y *Entropy*, ordenando de menor a mayor los datos obtenidos.



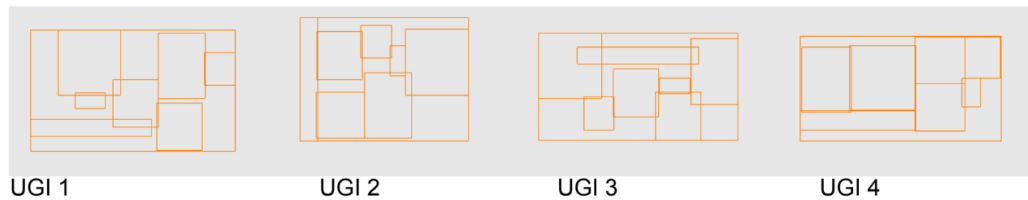
**Figura 17:** Análisis de iteraciones geométricas mediante Sintaxis espacial. Fuente: Elaboración propia

Los resultados del estudio se organizaron de la siguiente manera:

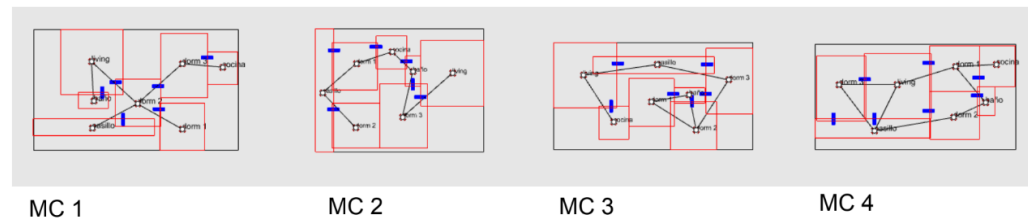
	<b>Lo Valdivieso</b>	<b>Plaza Chacabuco</b>	<b>Villa Arauco</b>
Unidad geométrica Iterada	UG1, 2, 3, 4	UG1, 2, 3, 4	UG1, 2, 3, 4
Mapa convexo	MC1, 2, 3, 4	MC1, 2, 3, 4	MC1, 2, 3, 4
Diagrama de burbujas y grafo justificado	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)
Tabla de datos (integración, Choice, Entropía, Control)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)

### 4.3. Resultados de unidades geométricas iteradas del conjunto Lo Valdivieso

Dentro del primer set de soluciones, se seleccionaron cuatro unidades geométricas iteradas (UGI), las que se pueden observar de color naranja (figura 18). Esos se traducen con el mapa convexo (MC) que indica los espacios de interacción (figura 19). Cada geometría pasa a ser un espacio (color rojo) y se definen las conexiones entre ellos (color azul), permitiendo saber la cercanía y conexión con otros espacios.



**Figura 18:** Resultados de iteraciones geométricas. Fuente: Elaboración propia



**Figura 19:** Mapas convexos. Fuente: Elaboración propia.

En la segunda parte (figura 20) en lado izquierdo (a) es una representación espacial mediante diagrama de burbujas donde se interconectan los espacios antes marcados en el mapa convexo. Las burbujas se componen por colores para diferenciar cada espacio, en este caso son: Sala de estar (rojo); Cocina (azul); Baño (morado); Pasillo (celeste); Dormitorio 1 (verde oscuro); Dormitorio 2 (verde claro) y Dormitorio 3 o Logia (Naranja). Esto permite visualizar patrones de conectividad y posición espacial de cada diagrama, y poder interpretarlos en planos según nuestras intenciones de diseño.

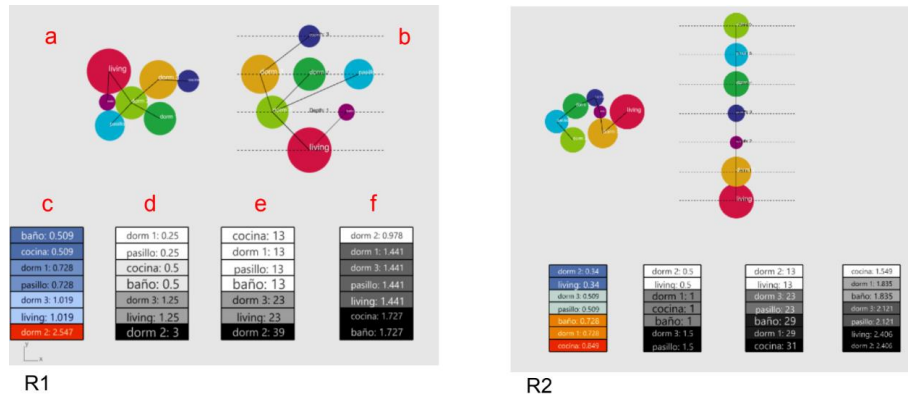
En este caso, en comparación de los 4 resultados, la sala de estar se encuentra conectada a uno o tres espacios, sin embargo, en R,1 y R3, el dormitorio 2 cuenta con cuatro conexiones, mientras que en R2 y R4 ese mismo espacio cuenta con dos conexiones.

En la figura 20, lado (b), se observan *grafos justificados* que permiten jerarquizar niveles de profundidad. Estos se pueden clasificar según su simetría y distribución de espacios, además que poder seleccionar el punto de vista (PV) de cada espacio. Por lo tanto, también se pueden obtener patrones de conectividad, pero enfocados en la integración de espacios.

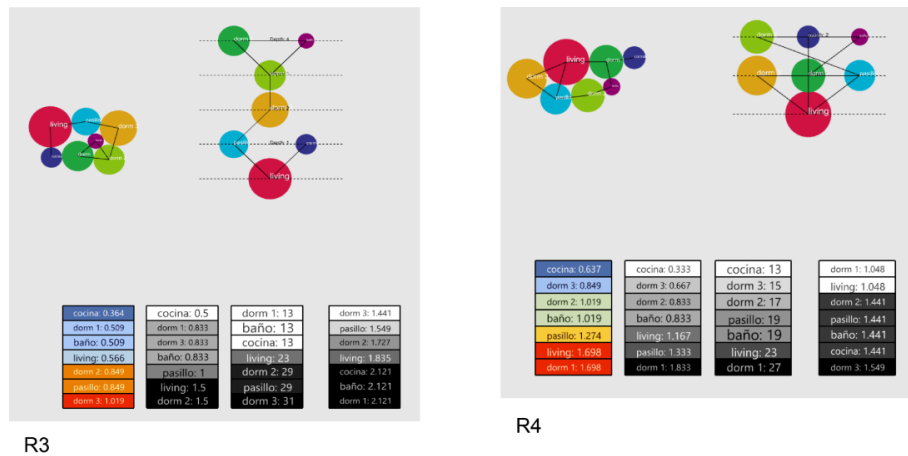
En este conjunto habitacional, R1 es un grafo *no distribuido* donde la sala de estar es PV, se conecta con dos espacios (dorm 2 y baño). Por ende, para acceder a los demás espacios de la solución generada por el algoritmo se tendría que pasar por dorm 3 para ir a la cocina, desde

el dorm 2 al dorm 1, o al pasillo. Este grafo interpretado desde el punto de vista del diseño arquitectónico no es eficiente ya que los dormitorios se consideran espacios privados.

Un caso similar ocurre en R3, donde hay que pasar por la cocina para ir a los demás espacios. Sin embargo, en R2 se identifica un grafo *asimétrico*, que contiene 7 niveles de profundidad por ende no es una unidad integradora, si no que más bien segrega cada espacio. Contrario a lo que ocurre en R3, se clasifica como un espacio *distribuido*, pues tiene 3 conexiones a dorm 3, dorm 2 y pasillo permitiendo circular a los demás espacios.



**Figura 20:** a) Diagrama de burbujas, b) grafo justificado, c) Tabla datos de Integración, d) Tabla datos control e) Tabla datos Choice f) Tabla datos entropía



**Figura 21:** Diagrama de burbujas, grafo justificado, Tabla datos de Integración, Tabla datos control, Tabla datos Choice, Tabla datos entropía

La Tabla (c) se indica que, según el análisis de integración descritos por Hillier (1987), el valor de integración más alto es probable que sea un espacio público mientras que el valor más bajo sea el espacio más privado. En los cuatro resultados los valores obtenidos correspondieron a recintos como el dormitorio o la cocina, lo que se condice con lo explicado anteriormente.

En la tabla (d) se indica la fuerza con la que un vértice está vinculado a otros puntos de manera superior. En este caso, se observa que los valores más altos son: R1 con dormitorio 2 tiene valor 3; R2 indica que el pasillo tiene valor 1.5; R3 tiene dormitorio 3 valor 1.5 y el R4 tiene dormitorio con 1.8. En la tabla (e) indica el camino más corto entre otros espacios desde un nodo, en este caso, en los 4 resultados, el valor es 13 y varía entre el espacio de cocina y dormitorios.

Por último, en la tabla (f) indica el análisis que el valor alto es más difícil llegar a otros espacios desde ese espacio y viceversa. En los resultados obtenidos, en R1 indica que el valor alto es en el baño con 1.7, en R2 es dormitorio 2 con 2.4, R3 es dormitorio 1 con 2.1 y en R4 es dormitorio 3 con 1.5.

En comparación, en las 4 configuraciones espaciales se puede observar que los diagramas de burbujas comparten la cantidad de conexiones entre espacios, pero la mayor diferencia se observa en el grafo justificado. Los resultados 1 - 3 se consideran espacios más integradores al tener menos profundidad, y al contrario del resultado 2 - 4 con 6 niveles de profundidad. Sin embargo, los datos revelados en las tablas c-d-e-f dan cuenta de la importancia de los espacios comunes como dormitorios o cocina, lo que desde el punto de vista del diseño arquitectónico es, a lo menos, contraproducente.

#### 4.4. Resultados de unidades geométricas iteradas del conjunto Plaza Chacabuco

En el segundo set de iteraciones, también se seleccionaron 4 UGI destacados con color naranja (figura 22), se observa que tres de los conjuntos se encuentran con espacios adyacentes y solo uno tiene con traslape.

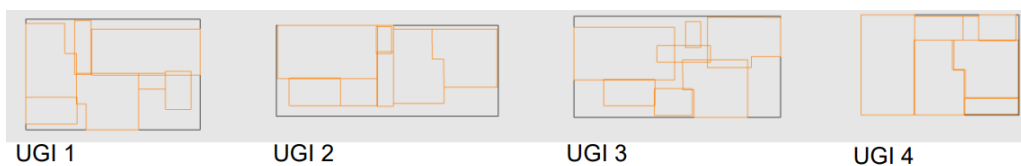
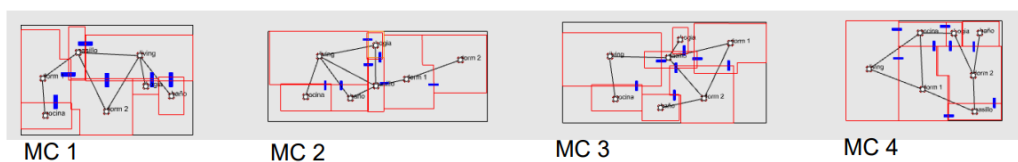


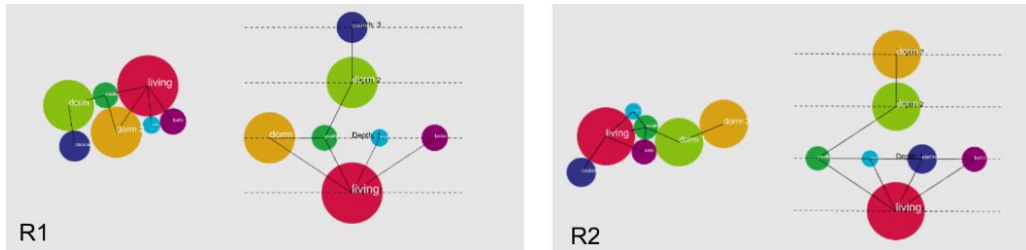
Figura 22: Unidad geométrica iterada

Al realizar el mapa convexo, se puede observar que la conexión de espacio se jerarquiza en los R1, R2 y R4, al colocar los nodos de cada espacio, al conectarlos se debe elegir el acceso según el conjunto original para establecer conexiones correctas entre espacios adyacentes, situación que se flexibiliza en el R3, la geometría traslapada establece potenciales conexiones.



**Figura 23:** Mapa de espacios convexos

En la segunda parte (figura 24) en el diagrama de burbujas se puede observar que la sala de estar se conecta con dos o más espacios, en R,1 y R3, se conecta con los dormitorios mientras que en R2 y R3 se conecta con dormitorio y cocina. Siguiendo en la figura 20, en el grafo justificado R1, R2 y R3 son grafos *no distribuidos*, condicionando a pasar por el dormitorio. Sin embargo, R4 el grafo *es distribuido*, es decir, tengo dos opciones de circulación (dormitorio y cocina).



**Figura 23:** Mapa de espacios convexos

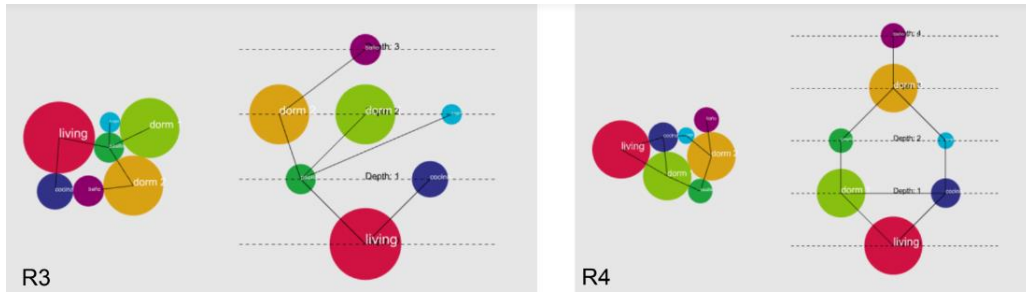


**Figura 25:** Tabla de Integración, Tabla de Control, Tabla de Choice, Tabla de Entropy

En la sección de tablas (figura 25) indican que en R1, R2 y R3 el espacio integrado es el pasillo con 1.6; 2.5 respectivamente, mientras que en R4 es Logia con 1.2. Los resultados pueden ser viables para proponer plantas de viviendas solo en el caso de los primeros tres resultados.

Luego, el nodo más fuerte en R1 es el living al igual que R2 con 2.8 y 2.2 respectivamente, mientras que en R3 es el pasillo con valor 3 y R4 es el dormitorio con valor 2.

También en la siguiente tabla, indica el camino más corto entre otros espacios desde un nodo, en este caso, en los R2 y R3 es pasillo con valor 31 y 39 respectivamente, así mismo, R1 se encuentra el nodo en el living con valor 31 y en R4 es en dormitorio con valor 29.



**Figura 26:** Diagrama de burbujas, grafo justificado.

En la última tabla, indica en R1 y R2 es cocina con 1.8 y 1.7 respectivamente, R3 y R4 es baño con 1.7 y 1.8 respectivamente, este análisis indica que dichos espacios son más difíciles de llegar a desde otro espacio quedando en la parte superior del grafo.

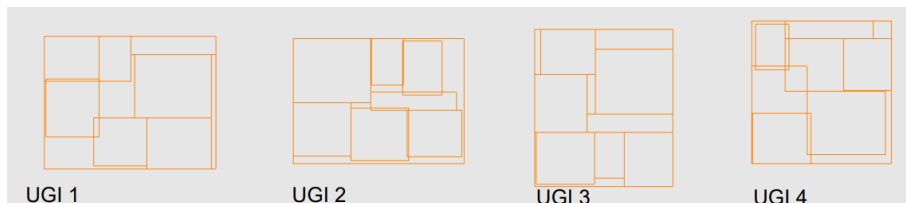
baño: 0.509	dorm 1: 0.25	cocina: 13	pasillo: 0.978	baño: 0.566	baño: 0.333	baño: 15	pasillo: 0.978
cocina: 0.509	Logia: 0.25	dorm 1: 13	dorm 2: 1.441	living: 0.728	Logia: 0.667	living: 17	Logia: 0.978
dorm 1: 0.728	cocina: 0.5	Logia: 13	dorm 1: 1.441	dorm 1: 1.274	pasillo: 0.667	dorm 1: 21	dorm 1: 1.441
Logia: 0.728	baño: 0.5	baño: 13	Logia: 1.441	dorm 2: 1.274	living: 0.667	dorm 2: 21	dorm 2: 1.441
dorm 2: 1.019	dorm 2: 1.25	dorm 2: 23	living: 1.441	pasillo: 1.274	dorm 1: 1.333	cocina: 21	cocina: 1.441
living: 1.019	living: 1.25	living: 23	cocina: 1.727	cocina: 1.274	cocina: 1.333	Logia: 21	living: 1.835
pasillo: 2.547	pasillo: 3	pasillo: 39	baño: 1.727	Logia: 1.274	dorm 2: 2	dorm 2: 29	baño: 1.835

**Figura 27:** Tabla de Integración, Tabla de Control, Tabla de Choice, Tabla de Entropy

En comparación, en la primera configuración espacial (R1 y R2) se puede observar en los diagramas de burbujas que la sala de estar es el espacio con más conexiones hacia los demás, siendo que en R3 y R4 dicho espacio es el dormitorio. Por otro lado, en el *grafo justificado*, R1, R2 y R3 consideran configuraciones segregadas, ya que me conducen a circular por solo un espacio “privado” a uno público. Mientras que R4, es una configuración espacial *distribuida*, porque se conecta a dos espacios en dos niveles de profundidad, siendo uno de ellos más “público”.

#### 4.5. Resultados de unidades geométricas iteradas del conjunto Villa Arauco

En este último set de iteraciones, los espacios de la planta original tienen dimensiones similares; en los 4 casos seleccionados (figura 28) se encuentra geometría traslapada y adyacente.



**Figura 28:** Unidad geométrica iterada.

Al realizar le mapa de espacios convexos, las conexiones entre espacios son simultánea, esto puede aproximar a una sobre conectividad de los espacios.

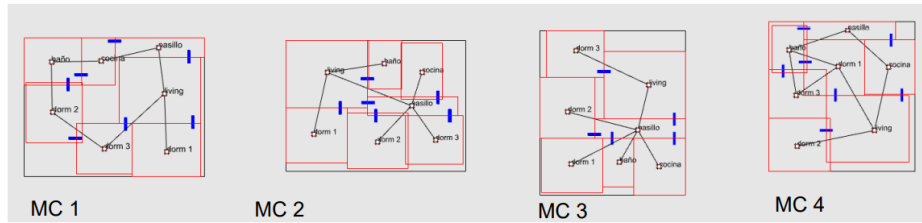


Figura 29: Mapa de espacios convexos.

Mediante el diagrama de burbujas (figura 30), se visualiza que las R1 y R4 tiene la sala de estar conectadas a 3 espacios, R2 y R3 tienen el pasillo con 4 y 5 conexiones a los demás espacios. Esto se traduce al *grafo justificado* y se traduce en: R1 y R2 es un *grafo distribuido* espacialmente porque tiene dos conexiones principales para poder circular al demás espacio, siendo R2 más integrador, ya que solo tiene 3 niveles de profundidad. R4 es un *grafo simétrico*, porque desde el nivel 2 de profundidad se conectan los espacios entre sí. Sin embargo, R3 es un *grafo no distribuido*, pero el espacio que tiene más conexiones es el pasillo, que deriva a los espacios más privados, esto en diseño arquitectónico es viable para proponer plantas de viviendas.



Figura 30: Diagrama de burbujas, grafo justificado.

dorm 1: 0.566	dorm 1: 0.333	dorm 1: 15	pasillo: 1.441	baño: 0.637	cocina: 0.25	dorm 2: 13	pasillo: 0.978
baño: 0.728	dorm 3: 0.833	dorm 2: 23	dorm 3: 1.441	dorm 1: 0.637	dorm 2: 0.25	dorm 1: 13	living: 1.048
dorm 2: 0.849	pasillo: 0.833	cocina: 23	living: 1.441	dorm 3: 0.728	dorm 3: 0.25	cocina: 13	dorm 2: 1.441
cocina: 0.849	dorm 2: 1	baño: 23	dorm 2: 1.549	dorm 2: 0.728	dorm 1: 0.333	dorm 3: 13	dorm 3: 1.441
pasillo: 1.019	cocina: 1	pasillo: 25	cocina: 1.549	cocina: 0.728	baño: 0.333	baño: 13	dorm 1: 1.441
dorm 3: 1.019	baño: 1	dorm 3: 25	dorm 1: 1.835	living: 1.698	living: 2.25	living: 31	cocina: 1.441
living: 1.274	living: 2	living: 33	baño: 1.835	pasillo: 2.547	pasillo: 3.333	pasillo: 37	baño: 1.441

Figura 31: Tabla de Integración, Tabla de Control, Tabla de Choice, Tabla de Entropy

En la figura 31, la primera tabla indica en color rojo que en R1 se indica el living con valor 1.27, R2 y R3 el valor alto se encuentra en pasillo con valor 2.54 y 5.09 respectivamente, mientras que en R4 el valor mayor se encuentra en dorm 1 con valor 1.69, esto significa, que los espacios mencionados son más propensos a ser espacios públicos. Los valores son similares al primer conjunto evaluado.

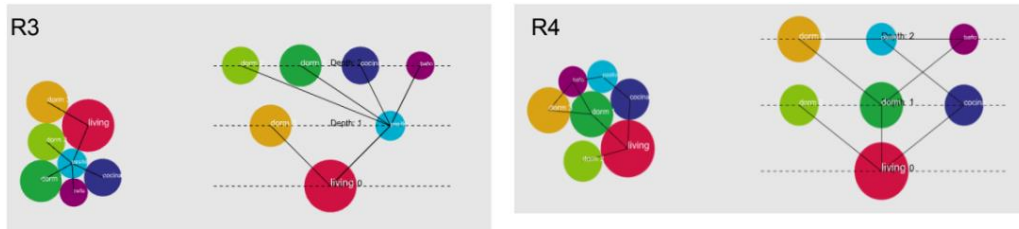


Figura 32: Diagrama de burbujas, grafo justificado.

dorm 3: 0.566	dorm 1: 0.2	dorm 2: 13	pasillo: 0.748	dorm 2: 0.637	dorm 2: 0.333	dorm 2: 13	dorm 1: 1.048
dorm 2: 0.849	dorm 2: 0.2	dorm 1: 13	living: 0.978	dorm 3: 0.849	dorm 3: 0.667	dorm 3: 15	living: 1.048
dorm 1: 0.849	cocina: 0.2	cocina: 13	dorm 2: 1.263	pasillo: 1.019	pasillo: 0.833	pasillo: 17	dorm 2: 1.441
baño: 0.849	baño: 0.2	dorm 3: 13	dorm 3: 1.263	cocina: 1.019	cocina: 0.833	baño: 19	pasillo: 1.441
cocina: 0.849	dorm 3: 0.5	baño: 13	dorm 1: 1.263	baño: 1.274	dorm 1: 1.167	cocina: 19	baño: 1.441
living: 1.274	living: 1.2	living: 23	cocina: 1.263	living: 1.698	baño: 1.333	dorm 1: 23	cocina: 1.441
pasillo: 5.095	pasillo: 4.5	pasillo: 41	baño: 1.263	dorm 1: 1.698	living: 1.833	living: 27	dorm 3: 1.549

Figura 33: Tabla de Integration, Tabla de Control, Tabla de Choice, Tabla de Entropy

En la segunda tabla, R1 y R4 el living cuenta con 2 y 1.8, en R2 y R3 tiene el pasillo con 3.33 y 4.5 respectivamente. Valores similares al primer conjunto evaluado.

En la tercera tabla, se indica el camino más corto entre otros espacios desde un nodo, en este caso, R1 y R4 es sala de estar con 33 y 27, R2 y R3 es pasillo con valor 33 y 41 respectivamente.

En la última tabla, se indica el análisis que el valor alto es más difícil llegar a otros espacios desde ese espacio y viceversa. En los resultados obtenidos, en R1, R2 y R3 es baño y en R4 es dormitorio 3 con 1.5.

En comparación, de las 4 configuraciones espaciales los grafos justificados indican que R3 y R4 serian opciones de diseño viable al categorizarse como configuración distribuida y que cuentan tres niveles de profundidad, por ende, la configuración es integral.

#### 4.6. Resumen de resultados

En conclusión, se obtuvieron 50 iteraciones por cada conjunto habitacional; en el caso de Población lo Valdivieso y Plaza Chacabuco, se seleccionaron 4 configuraciones espaciales y mediante la evaluación con *grafos justificados* se pudo evidenciar que 3 configuraciones son *no distribuidas*, mientras que R4 en ambos conjuntos arroja una configuración *distribuida*. Se puede inferir que este resultado tiene espacios integrados, y tanto su configuración espacial como las conexiones entre recintos hacen de esta una opción viable como propuesta de diseño arquitectónico.

Además, en el conjunto Villa Arauco, 50 iteraciones y de sus 4 configuraciones espaciales seleccionadas, 2 resultados obtuvieron *grafos distribuidos* y los otros 2 grafos *no distribuidos*, es decir, dos configuraciones evidenciaron ser integradas espacialmente. Sin embargo, al analizar las tablas de Integration, Choice, Control y Entropy los valores obtenidos



fueron similares al primer conjunto, es decir, se repitió el mismo espacio con múltiples conexiones.

## **5. Conclusiones**

En primera instancia, es posible reconocer el déficit habitacional como un problema multiescalar, que afecta a las relaciones socio espaciales y, por consiguiente, al usuario. A partir de lo anterior, se puede inferir que dichas relaciones dentro de las viviendas, en específico, relaciones de espacios, corresponden a una variable cualitativa que puede ser analizada y estudiada en el problema arquitectónico. Como se mencionó en este estudio, la etapa inicial de este proceso es donde se pueden articular aspectos geométricos y programáticos, aplicables como input a un proceso de diseño generativo.

Uno de los descubrimientos en el aprendizaje durante el proceso de investigación fue que, respecto del uso de esta herramienta de análisis espacial de tipologías arquitectónicas (particularmente de departamentos para esta instancia) y su configuración respecto a una propuesta, existe un potencial de mayor alcance para incorporar en otro tipo de proyectos; esto es, poder contar con un elemento que jerarquiza matrices de variables y datos tan complejos como aquellas del proceso proyectual. Tener dentro del conjunto de herramientas proyectuales una que ordene, organice y gestione los diferentes factores a considerar puede ser vital a la hora de mejorar tiempos, decisiones y plazos a cumplir, pero también a la hora de evaluar mejoras en los cuestionamientos propios de una vivienda, en tanto experiencia y percepción de los habitantes.

Esto responde la pregunta presentada al inicio de esta investigación, ¿Cómo el diseño generativo puede ser una herramienta de diseño en el anteproyecto de viviendas colectivas? El diseño generativo si puede ser una herramienta exploratoria, aplicable en todas las etapas del proceso de diseño siendo los resultados distintos en cada una. Sin embargo, se obtienen diferentes configuraciones espaciales, como se observa en los resultados obtenidos, y se podría empezar a diseñar desde ese punto, pero es necesaria la evaluación con sintaxis espacial para analizar las redes de conectividad generadas, y así para poder diseñar de manera eficiente.

La contribución de esta investigación sirve desde dos aspectos. El proceso de diseño generativo con sintaxis espacial se puede aplicar a cualquier caso de vivienda, siempre y cuando se puedan reconocer los parámetros y restricciones al analizar. Por otro lado, se podría aplicar al programa de rehabilitación habitacional, ya que esos conjuntos construidos han tenido deficiencias cualitativas y cuantitativas que afectan la habitabilidad y calidad de vida de los usuarios, pudiendo este proceso investigado volver a reevaluar y rediseñar esos conjuntos críticos de manera adecuada, pensando en las necesidades de los habitantes.

Es importante decir que, dentro de los resultados obtenidos y especialmente en el desarrollo del proceso iterativo, se reafirma que esta es una metodología de trabajo compleja; requiere un dominio técnico del software a utilizar, además de una claridad respecto al algoritmo a

diseñar, para dar paso al análisis de los demás datos y variables. Esto considerando que se utilizó el plugin Galápagos, pues es posible que en otra plataforma similar como Dynamo y Revit sea posible mejorar la optimización de tiempos. Sin embargo, en cualquiera de los estos casos resulta un flujo de trabajo mucho más eficiente que enfrentar estos procesos de forma análoga. Ello nos permite incrementar nuestro stock de conocimientos con potencial creativo, puesto que se consigue una vasta cantidad de posibilidades arquitectónicas, ampliando las posibilidades imaginativas mucho más allá de lo que el individuo, sin la inteligencia aumentada por la máquina, podría concebir.

## Referencias

- Bentley, P & Corne, D. (2001). An Introduction to Creative Evolutionary Systems. 10.1016/B978-155860673-9/50035-5.
- Caetano, I, L. S. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, Volume 9, Issue 2, 287-300. [chaillou/docs/stanislas\\_chaillou\\_thesis\\_](https://www.researchgate.net/publication/353111111)
- Chaillou, S. (8 de Jun de 2019). AI + Architecture. [Tesis] <https://issuu.com/Stanislas>
- Danil Nagy, L. V. (Mayo de 2017). Generative Design. Autodesk University. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Generative-Design-Architectural-Space-Planning>
- Déficit cero. (2022). Déficit Habitacional, ¿Cuántas familias necesitan una vivienda y en qué territorio? [deficitcero.cl](https://www.deficitcero.cl)
- Eastman, Charles. (1969). Cognitive Processes and I11-Defined Problems: A Case Study from Design.. 669-690.
- Eiben, A. E., & Smith, J. E. (2003). Introduction to evolutionary computing (Vol. 53, p. 18). Berlin: springer.
- García, Carlos, García, Edwin, & Villada, Fernando. (2012). Algoritmo Evolutivo Eficiente Aplicado a la Planeación de la Expansión de Sistemas de Distribución. *Información tecnológica*, 23(4), 3-10. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000400002>
- Gero, J. (1990). Design prototypes: A knowledge representation schema for design. *AI Magazine* Volume 1 number 4 , 27 - 36.
- Heitor, T. Duarte, J., Marques, R. (2004). Combining Grammars and Space Syntax: Formulating, Generating and Evaluating Designs. *International Journal of Architectural Computing* vol. 2 - no. 4, 492-515. 2.
- Hilderick A. van der Meiden, W. F. (2010). Tracking topological changes in parametric models. *Computer Aided Geometric Design* 27 , 287 - 293.

- Hillier, B. (2007). *Space is the machine: a configurational theory of architecture*. Space Syntax.
- Ito, J. (2017). *Resisting reduction: A manifesto*. Journal of Design and Science: MIT Media Lab. November 01, 2017. Retrieved May 1, 2018, from <https://jods.mitpress.mit.edu/pub/resisting-reduction>
- Knight, T. W. (1992). *Designing with grammars*. CAAD futures Digital Proceedings 1991. 33 - 48
- Krish, S. (2011). *A practical generative design method*. Computer-Aided Design, 43(1), 88-100.
- Nagy, V. B. (2017). *Project Discover: An Application of Generative Design for Autodesk Studio*.
- Nourian, P., Rezvani, S., & Sariyildiz, S. (2013). *Designing with space syntax*.
- Peries, L. *Estereotomia y topología*. Tesis doctoral. Universidad catolica de cordoba. [Estereotomía y topología en arquitectura by Lucas Peries - Issuu](#)
- Philip F. Yuan, M. X. (20219). *Architectural Intelligence, Selected Papers from the 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication*. Springer.
- Purcell, A., Gero, J.S. (1998). *Dibujos y procesos de diseño*. Departamento de ciencias de arquitectura y diseño, Universidad de Sydney.
- Reitman, W. (1965). *Cognition and thought. An information processing approach*. New York: Wiley & Sons, Inc.,
- Shoume, P. (17 de abril de 2020). *Improve product quality and yield with intelligent, secure, and adaptable manufacturing operations*. Obtenido de IMB: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-manufacturing-ready/>
- Simon, H. (1973). *La estructura de los problemas desestructurados*. Artificial Intelligence 4, 181-201.
- Soza, P. (2018). *Towards a new generation of geometrical constraints in parametric*.
- Stiny, G.: 1980, *Introduction to shape and shape grammars*, Environment and Planning B: Planning and Design, 7, 343-351.
- Tching, J., Paio, A., & Reis, J. (2012). *A Shape Grammar for Self-Built Housing*.
- Tugrul, Y. (22 de mayo del 2012). *Packing objects with Galapagos*. [designcodingPacking Objects with Galapagos - designcoding](#)
- Valenzuela, C. (2004). *Plantas transformables: La vivienda colectiva como objeto de intervención*. ARQ (Santiago), (58), 74-77.
- Vishal Singh, Ning Gu. (2012). *Towards an integrated generative design framework*. Design Studies, Volume 33, Issue 2, Pages 185-207.

# **Evaluación de estructuras neumáticas como respuesta eficaz ante situaciones de emergencia sanitaria en Chile**

**Estudiante:** Amanda Catalina Machuca Cornejo

**Profesor guía:** Carla Cortes Hernández

## **Resumen**

Las emergencias de salud pública causadas por enfermedades epidémicas nunca han estado exentas de ocurrir. Cada cierto rango de tiempo, y a lo largo de la historia, han existido pandemias que han provocado crisis a nivel regional, nacional y mundial. La pandemia del Covid-19, que hasta el día de hoy no ha sido erradicada, en conjunto con la aparición de nuevos brotes epidémicos, son tema de interés en el sistema de salud. A partir de estos fenómenos surge la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los potenciales de la implementación de estructuras neumáticas como un espacio temporal habitable que ayude a la recuperación de pacientes, controlando el avance de enfermedades presentes en una emergencia sanitaria? En el desarrollo de esta investigación, se busca responder la pregunta anterior mediante de la evaluación de los potenciales presentes en las estructuras neumáticas, y la comparación con recintos sanitarios de emergencias propuestos para contener y controlar el avance del Covid-19.

**Palabras clave:** Estructuras neumáticas, Emergencias sanitarias, Covid-19, Estructuras prefabricadas, Construcciones modulares

## 1. Introducción

Una emergencia de salud pública de importancia internacional (ESPII), según el Reglamento Sanitario Internacional (2005)

*Es un evento extraordinario que constituye un riesgo para salud pública de otros Estados a causa de su propagación internacional y que podría requerir una respuesta internacional coordinada. Es declarada por el director general de la Organización Mundial de la Salud (OMS), tras la evaluación y recomendación de un comité de emergencias. (COVID-19 Glosario Sobre Brotes Y Epidemias, 2020, p.1).*

Ante una ESPII la OMS establece criterios de acción en función del nivel de alcance y las etapas de propagación de un virus o enfermedad. Es así como el día 11 de marzo del año 2020, cuando comienza una de las crisis más importantes de los últimos 100 años causada por el virus SARS-CoV2. La OMS declara pandemia de nivel mundial.

*Ante esta situación a nivel nacional comienza a generarse un déficit en la capacidad hospitalaria, debido a el colapso de recintos asistenciales, que dieran soporte al alza de contagios y el control de salud de otro tipo de enfermedades, teniendo que reconvertir casi el 100% de la capacidad hospitalaria nacional para la atención de pacientes con SARS-CoV-2". (El impacto de covid19 en el sistema de salud y propuestas para la reactivación, 2020, p.20).*

En vista de lo anterior, se busca una manera de aumentar los recintos de atención a pacientes que estuvieran principalmente contagiados de Covid-19. Es así como, con la propuesta de solución temporal de separar y aislar a los pacientes, se controla el aumento en el número de casos y se busca controlar la emergencia. Dicha solución propuesta dio una respuesta que no fue inmediata. En una primera instancia, se adaptaron espacios para la atención y evaluación de pacientes, además de otros espacios para que estos realizaran cuarentena (residencias sanitarias). Luego se realizaron construcciones para crear nuevos espacios para la atención y detección de pacientes contagiados por Covid-19, que en su mayoría fueron pensados para ser ubicados en las cercanías de los centros de salud. Estas construcciones fueron con realizadas diseños convencionales o modulares, en las que se utilizaron materiales como el acero, madera, o paneles prefabricados. Por otro lado, existen casos internacionales que plantearon la creación de estructuras neumáticas para dar respuesta rápida y eficiente a la pandemia.

La existencia de una investigación enfocada en la evaluación de potenciales presentes en las estructuras neumáticas para dar solución y soporte a viviendas de emergencia requeridas en un contexto provocado por un desastre natural donde se vea afectada la población (Nannig Abello, 2020). En esta investigación explora de manera anexa las soluciones generadas con la llegada del Covid-19, dejando puntos en la investigación que no se exploraron en su totalidad.

Tomando en cuenta la línea investigativa inconclusa, establecida por la investigación anteriormente mencionada, se establecerá un estudio investigativo que busca continuar con el estudio existente. A través de un enfoque limitado únicamente en soluciones propuestas en la pandemia producida por el Covid-19. A través de la arquitectura y la tecnología se buscará evaluar los potenciales de las estructuras neumáticas para su implementación en la construcción de espacios que respondan y controlen el avance de enfermedades presentes en emergencias sanitarias, en comparación a otras estructuras propuestas en pandemia.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Emergencias sanitarias, pandemias y epidemias**

Una enfermedad puede incidir en la población, a mayor o menor escala, de un área o región determinada, y dependiendo del nivel de impacto que genere se puede considerar como brote epidémico, epidemia o pandemia.

En una primera aparición y con un grado de incidencia menor en la población se encuentran los brotes epidémicos, que se entiende como dos o más casos asociados epidemiológicamente entre sí.

Cuando el brote epidémico presenta un avance en el tiempo y este no puede ser controlado generando así un mayor número de contagios, además de una incidencia en un área geográfica mayor, se considera como una epidemia.

Si una epidemia no se puede controlar a tiempo y además se extiende en un área geográfica de gran magnitud, y a través de más de un continente, se declara pandemia mundial, afectando a un gran número de personas.

A partir de estas circunstancias la Organización Mundial de la Salud establece parámetros para evaluar el nivel de incidencia y clasificar el tipo de contagio, además de establecer 4 etapas de contagio, desde su aparición, transmisión localizada, aumento de contagios alcanzando una epidemia o pandemia y remisión en su totalidad o parcialmente (Centro De Tratamiento De Infecciones Respiratorias Agudas Graves, 2020, p.7).

Dentro de las etapas de una epidemia, las medidas de prevención deben anticiparse ante la aparición de una nueva enfermedad para poder controlar la propagación hacia otras áreas geográficas. La epidemia es controlada cuando se ha alcanzado la inmunidad y se han obtenido resultados eficaces ante las medidas aplicadas. Ante esta situación se debe mantener el control hasta erradicar la enfermedad y su incidencia en el área afectada.

### **2.2. Pandemias a nivel mundial en la historia**

Las enfermedades contagiosas han estado presentes a lo largo de la historia, en diferentes periodos y magnitudes, desde que el ser humano comenzó a establecerse como sociedad y a

compartir territorios. Por lo que la llegada de pandemias y epidemias que afecten la salud pública siempre ha estado presente.

En los últimos años han existido diversas enfermedades que han generado una emergencia sanitaria, algunas clasificadas en un grado de brotes, epidemias y otras de pandemia, provocando un número de muertes considerables.

En la siguiente tabla se presentan 6 de las enfermedades con un mayor número de muertes en la población en los últimos 100 años.

**Tabla 1:** Epidemias y Pandemias con mayor mortalidad en los últimos 100 años, elaboración propia a partir de recopilación de datos a partir de fuentes de información. (HistoryOfVaccines.Org, s. f.)

Enfermedad	Duración	Origen	Expansión	Clasificación	Nº de muertes	Tasa de letalidad
Encefalitis letárgica	1915-1926	No se sabe con exactitud	Mundial	Pandemia	1.5 millones	2.3%
Gripe Española	1918-1920	China - Usa	Mundial	Pandemia	100 millones	20%
Tifus Ruso	1918-1922	Rusia	Nacional	Epidemia	3 millones	Sin inform.
Gripe Asiática	1957-1958	China	Mundial	Pandemia	1.5 millones	4%
SIDA	1981-presente	Camerún	Mundial	Pandemia	40 millones	100%
Covid-19	2019-presente	China	Mundial	Pandemia	6.5 millones	1.25%

Dentro de las enfermedades presentadas en la tabla 1, algunas de ellas se transmiten por vías respiratorias y fluidos como saliva que son transmitidos al toser.

Hasta el día de hoy siguen apareciendo nuevas enfermedades que inician como brote epidémico pero que si no se toman las medidas pertinentes pueden avanzar a un nivel de epidemia o pandemia.

Actualmente la OMS tiene 3 alertas de emergencias de salud. La pandemia del covid-19 que aún no ha alcanzado un grado de remisión; el brote epidémico de viruela símica (Monkeypox); el resurgimiento del brote de cólera en el área de Puerto Príncipe, Haití.

### 2.3. Arquitectura frente a emergencias sanitarias

Cuando se presenta una emergencia de salud pública, se busca mitigar y contener la expansión de la enfermedad que generó la emergencia, por lo que las infraestructuras

utilizadas para aislar a la población deben tener la capacidad de otorgar la seguridad al personal sanitario y a los pacientes atendidos.

La arquitectura de emergencia sanitaria se debe adaptar a las necesidades y protocolos que se establezcan para dar respuesta a la emergencia, lo que tendrá incidencias en el diseño y equipamientos de las infraestructuras.

Dentro una instalación hospitalaria de emergencia sanitaria se consideran diferentes tipos de infraestructuras que definirán los equipamientos requeridos y funciones que cumplen, dentro de los cuales la OMS ha establecido un “Manual práctico para instalar y gestionar un centro de tratamiento de infecciones respiratorias agudas” (Centro De Tratamiento De Infecciones Respiratorias Agudas Graves, 2020), a raíz de la pandemia del Covid-19. Así, podemos ver las siguientes infraestructuras:

- Infraestructura de control y detención: corresponden a los puntos de control, salas de esperas y triage (El *triage* es un sistema de selección y clasificación de pacientes en los servicios de urgencias (trriage, s.f)) que se organizan para separar a los contagiados e intentar contener los focos activos evitando futuros contagios.
- Infraestructura de aislamiento y tratamiento: habilitar áreas para el aislamiento y tratamiento de enfermos.
- Infraestructura de apoyo técnico: laboratorios, vacunatorios, logística y almacenamiento, sistema de agua y gestión de residuos.

Para garantizar el correcto funcionamiento de las instalaciones la OMS ha establecido recomendaciones para el tratamiento de pacientes con enfermedades infecciosas, dentro de las cuales se deben considerar las siguientes:

- Los espacios con sistema de aire donde exista una recirculación hacia otros recintos deberán contar con filtros de alta eficiencia (HEPA), que filtren el aire contaminado antes de la recirculación.
- Se deben evaluar los recursos hídricos de la zona en la cual se establezca la estructura dispuesta, viendo la capacidad, calidad y disponibilidad.
- Se debe proporcionar un buen acceso garantizando la vigilancia y protección de pacientes, visitantes y personal.

Considerando las recomendaciones para la implementación de estructuras sanitarias, se establecerán características de estructuras neumáticas para evaluar su utilización de manera segura en emergencias sanitarias.

#### **2.4. Antecedentes históricos de las estructuras neumáticas**

Las primeras exploraciones de las estructuras neumáticas en la arquitectura inician principalmente en el siglo XX, utilizadas en sus comienzos para fines militares en la segunda guerra mundial como elementos protectores de radares.



Las ideas iniciales fueron formuladas por el ingeniero inglés Frederick William Lanchester, quien proponía un hospital de campaña con una estructura sustentada por una serie de cojines hinchados con aire a presión. Esta idea no se llevó a cabo, por lo que años más tarde el arquitecto Wallace Neff en 1941 realizó una construcción, que utilizaba como base un globo para poder generar una forma esférica con hormigón. Esta idea se replicó en varios países debido a su bajo costo en la construcción, y alta eficiencia energética. Se denominó a este tipo de proyectos como “Bubble House”.

En 1948, el ingeniero norte americano Walter Bird, construyó el primer edificio hinchado llamado “Radome”, estaba construido a base de membranas plásticas, años más tarde siguió creando proyectos para diferentes usos a partir de estructuras neumáticas con plásticos translúcidos.

A partir de 1950, Frei Otto y Buckminster Fuller, realizaron proyectos y pruebas, teniendo como base las cúpulas geodésicas (estudio de la forma y dimensiones de la tierra), para formular la teoría de las estructuras neumáticas.

La historia y la cronología de las evoluciones de las estructuras neumáticas nos permite entender cómo transcurrió el avance tecnológico. En base a esto podemos determinar las características y variables que son más relevantes para el correcto funcionamiento dentro del sistema.

## **2.5. Estructuras neumáticas**

Según la definición de Roger N. Dent las estructuras neumáticas son:

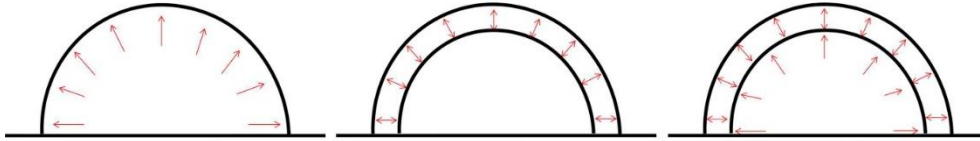
*cualquier estructura soportada o motivada por la acción de una diferencia de presión creada con aire (Roger N.Dent, 1975).*

Entre sus características está el ser flexibles y ligeras, debido a que son fabricadas con un material textil o un film plástico, muy delgado y de bajo peso. Esto permite que las estructuras puedan ser móviles y fáciles de transportar. Estas desafían la gravedad, producto a la presión interna de la estructura que se contrapone a la fuerza de gravedad, lo que permite que sean estructuras autosoportantes. Lo anterior supone una gran ventaja y marca una diferencia con respecto a las estructuras convencionales, que resultan ser en gran medida estructuras rígidas, y de un mayor peso que las estructuras neumáticas.

Los principales componentes para la funcionalidad de las estructuras neumáticas son: una membrana, de un material textil o film plástico; y aire, que le otorga la forma volumétrica, generando una estructura autosoportante que pueden prescindir de cualquier otro anexo estructural. El aire produce una tensión en la membrana y define la forma requerida. Además, tiene la capacidad de transmitir las tensiones como compresión, aplicando una fuerza constante a la membrana.

Las estructuras neumáticas, están definidas por normas físicas que dan forma y determinan el diseño, a través de una fórmula que se compone de la presión interior de la construcción, la tensión de la membrana y los radios de curvaturas que definen la forma.

Existen diferentes tipos de estructuras neumáticas que dependen de la presión ya sea positiva o negativa, como se muestra en los siguientes esquemas (figura 2).

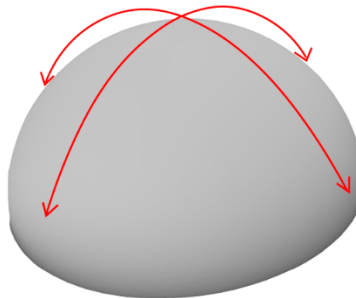


**Figura 1:** Tres tipos de estructuras neumáticas (de izquierda a derecha) Baja presión positiva, alta presión positiva, híbrida (baja y alta presión positiva). Elaboración propia

Las consideraciones que se deben contemplar al momento de construir una estructura neumática para su utilización en emergencias sanitarias son: climatización, recirculación de aire, presión de aire constante en el interior, control térmico y accesos (se debe mantener el confinamiento del espacio).

## 2.6. Curvatura sinclástica

*Son aquellas que en todos los puntos de la superficie existe una misma curvatura. Es decir, la intersección de un plano perpendicular a dicha superficie produce una línea de intersección que siempre tiene la concavidad hacia el mismo lado (ESTRUCTURAS SINCLÁSTICAS - Issuu, s. f.).*



**Figura 2:** Esquema de estructura sinclástica, elaboración propia

Su forma principal es, de cúpula compuesta en base a curvaturas positivas intersecadas entre sí generando una forma sinclástica.

## **2.7. Materialidad**

Para la construcción de las estructuras neumáticas se utilizan diferentes materiales dependiendo de la escala y la función requerida. Dentro de los materiales utilizados en estructuras neumáticas se encuentran: Film de PVC, PES-PVC, ETFE, nylon, poliéster, fibra de vidrio, entre otros.

Las películas plásticas pueden ser transparente debido a que su uso es recomendado en infraestructuras sanitarias para facilitar la vigilancia de los pacientes.

*Para el refuerzo y mayor eficiencia de los materiales, las membranas pueden ser revestidas así aumentan su resistencia, durabilidad, filtración del calor y luz. Por ejemplo, es posible revestirlas con películas de PVC, poliéster o poliuretano. (Krauel, 2013, p.46)*

## **3. Métodos**

### **3.1. Visión general**

Esta investigación se llevó a cabo mediante una metodología no experimental la cual se entiende como:

*Yna metodología con base a eventos que ya sucedieron o se dieron en la realidad sin manipulación o intervención del investigador, por lo general con una visión retrospectiva conocida también como expos-facto; en este tipo de estudios las variables independientes acontecen sin que se tenga control sobre ellas (Universidad Naval, s.f.).*

Se considera un diseño de investigación mixta, descriptiva y explicativa, utilizando un método analítico.

En una primera parte se realizó una revisión de antecedentes con una técnica de recolección de información a través de fuentes bibliográficas primarias y secundarias. Posteriormente, se efectuó una selección de casos de estudio a nivel descriptivo y se establecieron criterios para entender el comportamiento y características de los casos seleccionados. Lo anterior, se hizo con el objetivo de evaluar los potenciales de las estructuras neumáticas para su implementación en la construcción de espacios que den soporte a el avance de virus y enfermedades presentes en emergencias sanitarias en, comparación a otras estructuras propuestas durante la pandemia. De esta manera, se consideraron el tiempo y los mecanismos de respuesta, y se comprendió la tipología, características, efectividad y funcionalidad de dichas estructuras.

Utilizar esta metodología permitirá comprender los antecedentes históricos enfocados en un contexto de emergencias sanitarias específicamente en el más actual, la pandemia del Covid-19, donde se establecieron recomendaciones y consideraciones al momento de construir

espacios sanitarios para dar soporte a los recintos de salud ampliando la capacidad de atención.

Por otro lado, se presentaron los antecedentes históricos de las estructuras neumáticas lo que evidencia el avance tecnológico existente desde las primeras apariciones de las estructuras hasta las estructuras propuestas hoy en día. Esto nos permite entender su funcionamiento para posteriormente ser ejemplificado con casos de estudios en un contexto de emergencias sanitarias.

### **3.2. Selección de casos de estudio**

Dado que el estudio busca evaluar y comparar a las estructuras neumáticas con otras estructuras propuestas a raíz de emergencias sanitarias, se realizó una selección de casos de estudio construidos o presentados con el propósito principal de dar una respuesta o solución ante la llegada del Covid-19 y la poca disponibilidad en los centros de salud. La mayoría de estos considera un tiempo corto en la instalación no mayor a 1 mes.

Para la selección de los casos de estudios se buscó que las estructuras seleccionadas fueran de características similares para ser evaluadas bajo los mismos parámetros. Las características para comparar los casos de estudio son:

1. **Tamaño:** se consideran los proyectos en que el módulo principal no supera los 200m<sup>2</sup> (sin considerar la suma de m<sup>2</sup> de los módulos al ser ampliados y unidos con otros módulos), principalmente debido a que la mayoría de las propuestas sugieren ubicar las estructuras en cercanías de los recintos asistenciales por lo que se deben adaptar a los espacios existentes.
2. **Volumen de aire:** este parámetro nos permite identificar la cantidad de aire en el interior de las estructuras propuestas
3. **Materialidad:** nos permite determinar características materiales de los casos de estudio y verificar si los materiales propuestos pueden ser limpiados y desinfectados con facilidad, si son resistentes ante diferentes eventos climáticos, entre otro tipo de características.
4. **Tiempo de construcción:** para identificar la rapidez de respuesta de cada caso de estudio y evaluar cuál responde más rápido ante las situaciones de emergencias sanitarias.
5. **Peso:** nos permite establecer si las estructuras requieren de otro tipo de maquinarias para ser movidas e instaladas en la ubicación determinada.
6. **Tipo de ventilación:** nos permite establecer si el tipo de ventilación que se utiliza garantiza la calidad del aire en los establecimientos de salud de acuerdo con las recomendaciones de la OMS (se debe asegurar una tasa de ventilación ideal de 160 litros por segundo por paciente, con un mínimo de 80 litros por segundo por paciente)
7. **Capacidad de atención (nº de pacientes por módulo):** posibilita la comparación entre las diferentes propuestas entre m<sup>2</sup> y número de pacientes para ver cuáles son las diferencias entre módulos de similares capacidades.

Finalmente, dentro de las características mencionadas se llegó a seleccionar 11 casos de estudio internacionales y 1 caso de estudio nacional. Estos son los siguientes:

1. CNC-MEM (Módulo de Emergencia Médica), KOTKO
2. CURA (Unidades Conectadas para Enfermedades Respiratorias), Carlo Ratti e Italo Rota
3. Hospital Modular de Emergencia, MMW Architects
4. Hospital ships, Weston Williamson + Partners
5. JUPE HEALT, JUPE
6. KAKSH, AGX Architects
7. MOBILE PPS (Personal Protective Space) for Doctors, Plastique- Fantastique
8. Mobile hospital, VHL Architecture
9. Rescue Center, HAHA Architects Group
10. Refugio de emergencia plegable, Gonzalo Guzmán
11. Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil, Universidad de la Salle
12. Zona Cero, FAU Uchile

### 3.3. Clasificación de casos de estudio

Ya seleccionados los casos de estudio se realizó una clasificación según las tipologías estructurales en las construcciones presentes en los proyectos o propuestas, con el fin de entender el funcionamiento y resistencia de las estructuras, de las cuales se presentan las siguientes:

1. **Construcciones prefabricadas:** es un sistema de construcción basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que se llevan a su posición definitiva para montar la edificación tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa. Tal es así que, cuando un edificio es prefabricado, las operaciones en el terreno son esencialmente de montaje, y no de elaboración. (Serrador, 2017b).
2. **Construcciones modulares:** el Modular Building Institute las define como "la construcción modular es un proceso en el que un edificio se construye fuera del sitio, bajo condiciones controladas, utilizando los mismos materiales y diseñando con los mismos códigos y estándares que las instalaciones construidas convencionalmente, pero en aproximadamente la mitad del tiempo"
3. **Estructuras neumáticas,** como se mencionó en los antecedentes de la investigación, las estructuras neumáticas se entienden como estructuras que se soportan a partir de una diferencia de presión de aire. En este caso las estructuras son unidas y ensambladas en un taller o fábrica, siendo montadas e infladas en la ubicación final del proyecto.

La principal diferencia que existe entre las construcciones prefabricadas y la arquitectura modular según el Modular Building Institute, es que la primera prepara las piezas unitarias en taller que posteriormente necesitan de una puesta en obra in-situ al igual que la construcción tradicional. Por otro lado, la arquitectura modular elimina los problemas

presentes en el montaje en obra por lo que las piezas llegan completamente ejecutadas desde fábrica, disminuyendo el impacto en el entorno.

Esta clasificación nos permite establecer las ventajas y desventajas entre los diferentes casos de estudio propuestos. Además de esto, se establecieron algunos parámetros para medir la constructividad de cada caso de estudio propuesto. La constructividad la se define como:

*El grado en el cual un determinado diseño permite una mayor facilidad y eficiencia de construcción, sujeto a todos los requerimientos del cliente y del proyecto (Loyola y Goldsack, 2010).*

Dentro de los parámetros de constructividad se consideran los siguientes: montaje, mano de obra, tiempo, flexibilidad, simplicidad y reutilización o reciclaje de material. A través de esta evaluación se espera poder obtener las potencialidades de las estructuras neumáticas en comparación a las otras propuestas modulares y prefabricadas aplicadas a la arquitectura hospitalaria de emergencia sanitaria.

## **4. Resultados**

### **4.1. Casos de estudio seleccionados**

A continuación, se presentan los casos de estudios con las características principales que se utilizaron para poder visualizar las diferencias entre las propuestas.

A través de las características de los casos de estudio seleccionados podemos ver que las propuestas realizadas buscan responder rápidamente y brindar una solución efectiva ante la emergencia sanitaria presente. Pese a que algunas de ellas no especifican con exactitud el tiempo de desarrollo, consideran un tiempo acotado para el montaje e instalación, teniendo en consideración que el tiempo estimado es de 1 módulo o sistema propuesto. Por lo tanto, la instalación de un mayor número de módulos sistema aumentarían la cantidad de tiempo, lo que depende exclusivamente de la cantidad necesaria a instalar. Se debe considerar que, en los casos de estudios propuestos con una unidad creada con contenedores de envío, se requerirá maquinaria para mover y montar los módulos, por lo que se debe tener en cuenta la capacidad de la maquinaria y el número de personas requeridos para su instalación.

### **4.2. Propuesta de diseño y estructura propuesta**

A continuación, se presentan las propuestas de diseño que realizan los diferentes casos de estudio, la estructura que planteada y los diferentes componentes de cada una.

**Tabla 1:** Epidemias y Pandemias con mayor mortalidad en los últimos 100 años

Nombre del proyecto	Tamaño del módulo	Volumen de aire	Materialidad	Facilidad de limpieza y desinfección	Tiempo de construcción/ instalación	Peso	Tipo de ventilación	Capacidad de atención
CNC – MEM KOTKO	6,25 m2	15,25 m3	6 láminas de madera contrachapada de pino de dimensiones 1,22 cm x 2,44cm, perfiles de acero.	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	10 minutos	Definen como de peso ligero	Ventilación natural	1 paciente por módulo
CURA Carlo Ratti e Italo Rota	14,88 m2 (Espacio modular del contenedor) 25 m2 (Espacio modular + infraestructura hinchable)	300 m3/ hora	Contenedor de envío de 20 pies, infraestructura hinchable de tejido de poliéster recubierto en PVC	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	10 días	2.300 kg	Sistema de climatización y ventilación HVAC, con un filtro HEPA, Suministra aire filtrado a 300m3/hora	2 pacientes por módulo
Hospital Modular de Emergencia MMW Architects	14,88 m2 (Espacio modular del contenedor) 2.697,43 m2 superficie útil total	33,53 m3/	Contenedor de envío de 20 pies y lona en el área de circulación inflable (estructura neumática)	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	Sin información	2.300kg		48 pacientes/ 48 salas
Hospital Ships Weston Williamson + Partners	14,88 m2	33,53 m3	Contenedor de envío modificado en sus puertas utilizando un panel de perspex	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	Sin información	2.300 kg	Ventilación mixta, ventilación natural y aire acondicionado	1 paciente por módulo
JUPE HEALT JUPE	10-20 m2	25-50 m3 aprox.	Lona impermeable y mástiles de aluminio	El proyecto presenta materiales que son de fácil limpieza y desinfección	No se especifica con exactitud, pero menciona que es un tiempo menor a día	No se especifica con exactitud, pero lo definen como de peso ligero	Ventilación mecánica	1 a 2 personas

KAKSH AGX Architects	29,73 m2	55,36 m3	Materialidad: Paneles Puff, acero	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	2 horas	No se especifica con exactitud, pero lo definen como de peso ligero	Ventilación natural y sistema HVCA (no se especifica con detalle)	1 paciente por módulo
MOBILE PPS Plastique- Fantastique	92,8 m3	92,8 m3	TPU blanco y transparente	El proyecto presenta materiales que son de fácil limpieza y desinfección	Sin información	No se especifica con exactitud, pero lo definen como de peso ligero	Ventilación mecánica	1 paciente por módulo
Mobile Hospital VHL Architecture	4,8 m2	12 m3 aprox.	Tubos de hierro, tableros de cemento y lona impermeable	El proyecto presenta materiales que son de fácil limpieza y desinfección	2 horas	No se especifica con exactitud, pero lo definen como de peso ligero	Ventilación mixta, ventilación natural y aire acondicionado	1 paciente por módulo
Rescue Center HAHA Architects Group	14,88 m2	33,53 m3	Contenedores TEU	El proyecto adapta las superficies para que estas puedan ser desinfectadas con facilidad	Tiempo estimado de montaje es solo un par de horas (No se especifica con exactitud)	2.300 kg	Ventilación mixta, ventilación natural y aire acondicionado	1 paciente por módulo
Refugio de emergencia plegable Gonzalo Guzmán	No establece dimensiones en la propuesta, realiza una propuesta en sistema constructivo	No especifica	Estructura rígida de paneles (establecen que pueden ser de cualquier material), cobertura de tela	En este caso dependerá del material que se escoja para construir esta propuesta	Propone una instalación rápida, no especifica el tiempo con exactitud	Ligero, dependiendo del material que se realice	Ventilación natural	1 paciente por módulo
Unidad de Aislamiento Epidemiológico Universidad de La Salle	125 m3 por domo y 1,149 sistema de 9 domos	6,840 m3/hora (sistema de 9 domos)	Film de PVC transparente en conjunto con una membrana PES-PVC	El proyecto presenta materiales que son de fácil limpieza y desinfección	2 horas	390 g/m2 (valor del material utilizado)	Ventilación mecánica, a través de ventiladores centrífugos motorizados con filtro HEPA	2 pacientes por módulo
Zona Cero FAU, Uchile	110 m2	443,53 m3 aprox.	Panel aislante autosoportante un esqueleto de acero galvanizado	El proyecto presenta terminaciones sanitizables lo que permite una correcta desinfección y limpieza del espacio	17 días		Ventilación natural a través de una cubierta ventilada	Sin información



### Caso 1: CNC – MEM (Módulo de Emergencia Médica), KOTKO

Se inspiran en un diseño “open source”, buscando su reconceptualización. Su objetivo es realizar un módulo que puede crecer, aumentar su capacidad y si es necesario crear un pabellón, que comparta las instalaciones mecánicas y eléctrica entre módulos, adaptándose al emplazamiento y a las necesidades de la población. El diseño propone usar la cantidad mínima de material y poder transportarse en un vehículo.



Figura 3: Sistema de módulos CNC – MEM (Ane Efe Santana, C., & Chaves, L. 2020)

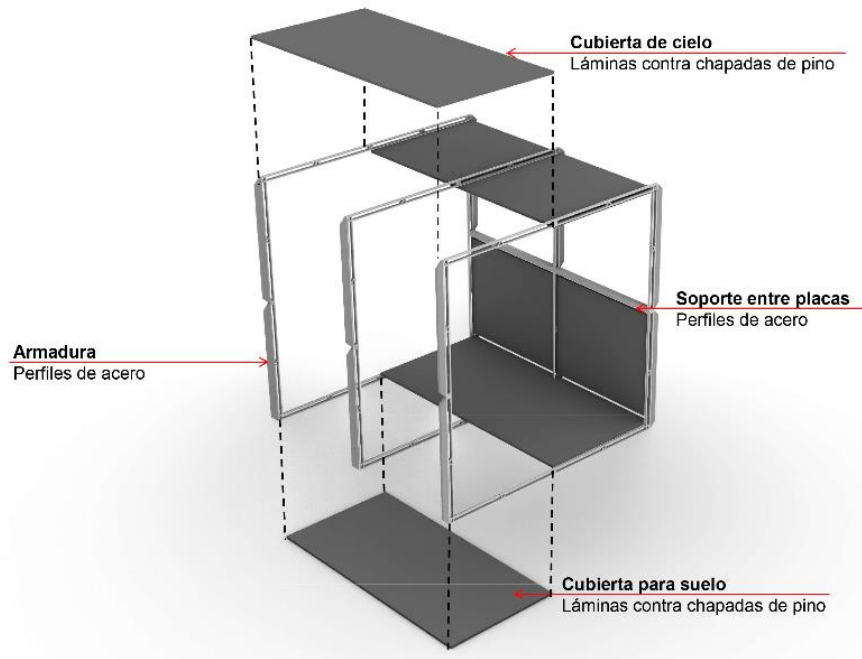
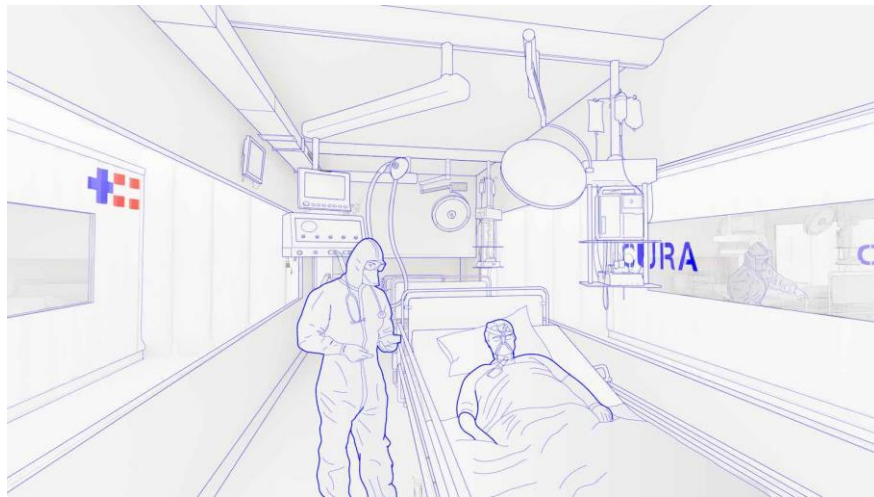


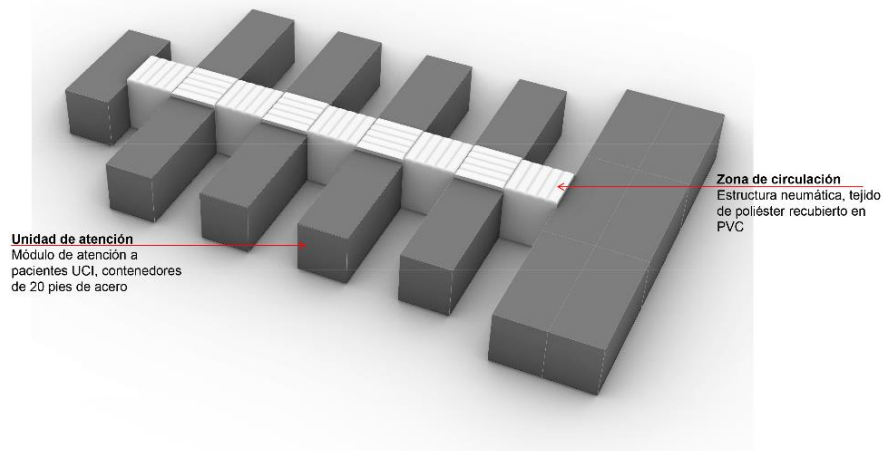
Figura 4: Estructura de 1 CNC - MEM, elaboración propia a partir de la fuente (Ane Efe Santana, C., & Chaves, L. 2020).

**Caso 2: CURA (Unidades Conectadas para Enfermedades Respiratorias), Carlo Ratti e Italo Rota**

Buscan mejorar la eficiencia de los hospitales de campaña, con una propuesta de código abierto para ser replicada en otras partes del mundo. Presenta una instalación rápida de manera segura y eficaz, adaptable a las necesidades y la capacidad de la infraestructura del lugar. Proponen además un espacio adaptado para ser utilizados por pacientes en UCI (Unidad de Cuidados Intensivos), donde pueden permanecer de manera segura, ya que el módulo considera un equipo de biocontención y todos los equipos médicos necesarios en el interior de la infraestructura. La unidad proyectada está pensada para ubicarse cerca de un hospital o un hospital de campaña independiente, y conectarse a través de una estructura hinchable las instalaciones médicas en el lugar.



**Figura 5:** Estructura de módulo cura, (Carlo Ratti Associati. s. f.)

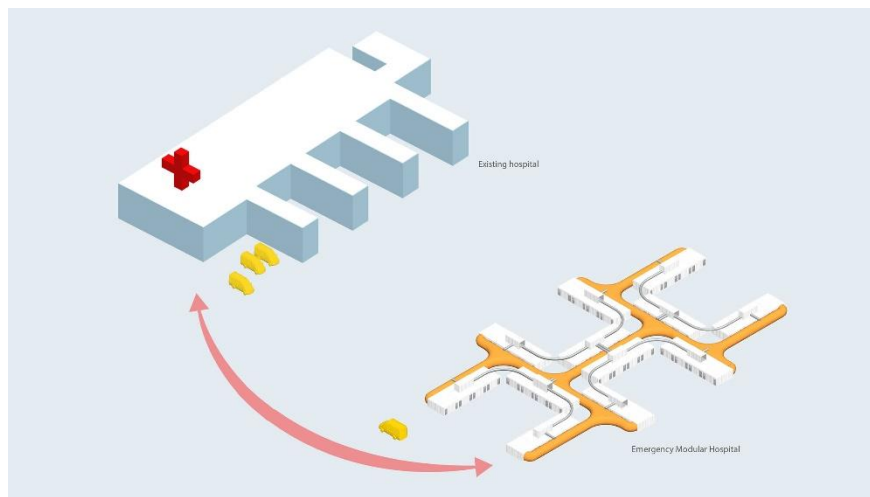


**Figura 6:** Sistema de módulos y circulaciones, como posible configuración, elaboración propia a partir de la fuente (Carlo Ratti Associati. s. f.).

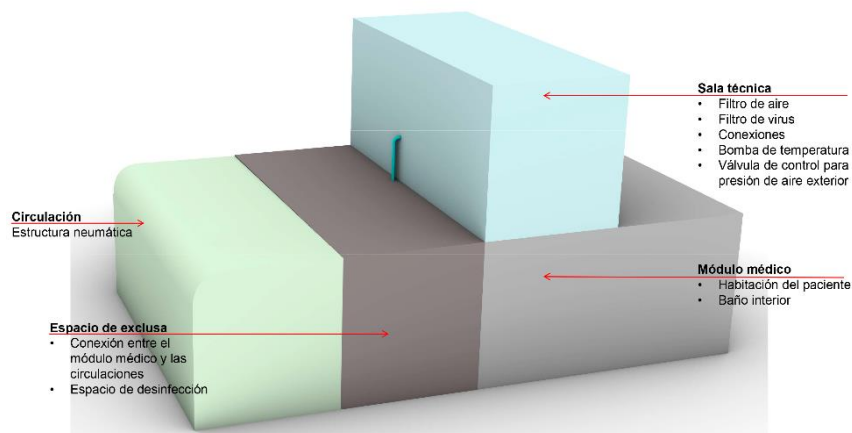
### Caso 3: Hospital Modular de Emergencia, MMW Architects

Plantean un hospital modular, con un diseño eficiente, flexible y asequible con un sistema de construcción a través del uso de contenedores de envíos reciclados y telas inflables. La disposición de los módulos permite que las ambulancias se ubiquen directamente en los módulos de los pacientes, permitiendo que estos no deban transitar en el interior del hospital. Además, se ubica en las cercanías de un hospital y funciona trabajando como un hospital satélite.

Al igual que el proyecto CURA, el uso está destinado a pacientes UCI. En el interior del módulo se dispone de equipamientos sanitarios y de una esclusa que permite mantener la presión de aire en el área de circulación además de un espacio de desinfección segura.



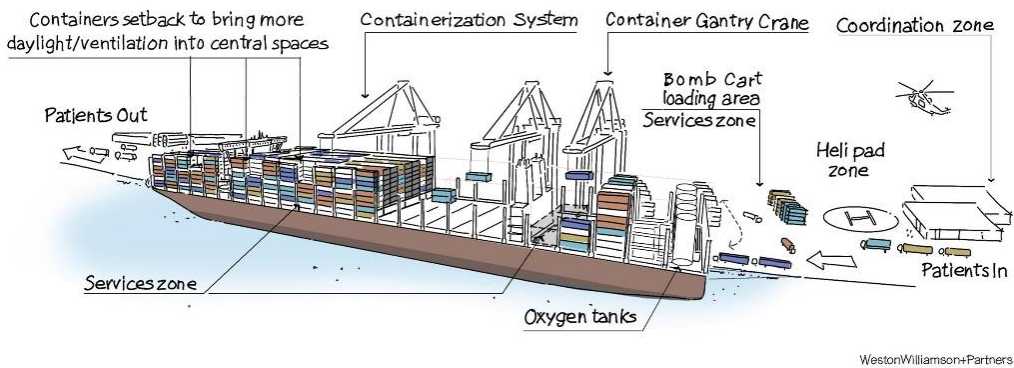
**Figura 7:** Sistema de módulos y circulación del Hospital Modular de emergencia (Emergency Modular Hospital | MMW Architects, s. f.)



**Figura 8:** Módulo médico e instalaciones, elaboración propia a partir de la fuente (Emergency Modular Hospital | MMW Architects, s. f.).

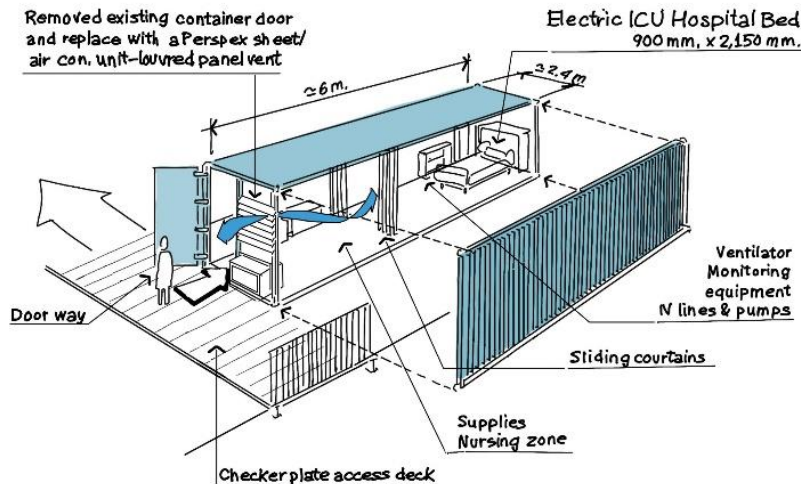
**Caso 4: Hospital ships, Weston Williamson + Partners**

Presentan una propuesta que se enfoca en una duración a largo plazo. Formulan un diseño que definen como sencillo y elegante, que busca asegurar el uso inteligente de recursos. Proponen el uso de contenedores de envío que se adaptan cambiando las puertas de acero por un panel perspex. Al igual que en el caso de CURA y del Hospital Modular de emergencia, los módulos están destinados para el uso de pacientes UCI, con la diferencia de que proponen ubicar los módulos en barcos, teniendo una capacidad de ubicar 2000 contenedores destinados para Cuidados Intensivos dentro de la embarcación.



**Figura 9:** Propuesta de Hospital ships, Weston Williamson + Partners (Ravenscroft, 2022)

**Modular & robust shipping containers**



**Figura 10:** Módulo de Hospital ships, Weston Williamson + Partners (Ravenscroft, 2022)

### **Caso 5: JUPE HEALT, JUPE**

Exponen un diseño pensado en la comodidad, el cuidado y el bienestar de los pacientes. Son unidades a bajo costo que tienen un valor de 1/30 del costo de una habitación de hospital, de fácil transporte y pueden ser enviadas a cualquier lugar, a través de una camioneta de servicio pesado con un carro de arrastre acoplado. Utilizan tecnología inspirada en la industria automotriz, altamente escalables, rentables, proponen una unidad que se despliega y se guarda en la base del módulo. Esta propuesta no considera la ampliación y conexión entre módulos.



**Figura 11:** Unidad JUPE HEALT, despliegue, transporte y guardado, (Baldwin, 2020)

### **Caso 6: KAKSH, AGX Architects**

Una unidad prefabricada de estructura en A. proponen cuatro funcionalidades: unidad hospitalaria de cuarentena, refugio de cuarentena para un paciente o laboratorio de pruebas. A través del uso de las unidades se busca aumentar la capacidad hospitalaria para pacientes que no se encuentran en la UCI (Unidades de Cuidado Intensivo), pero al estar en cuarentena, requieren atención 24 horas al día y 7 días a la semana.

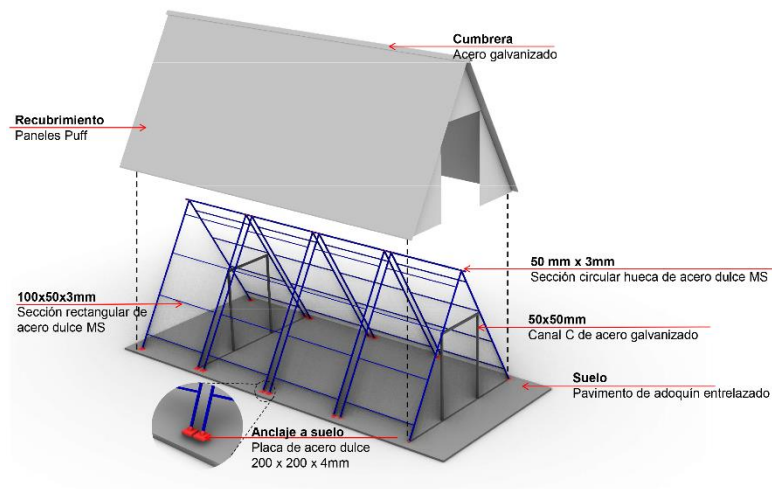
Presentan una solución eficaz, flexible y rápido. Tiene el potencial de ampliarse y unirse entre módulos, simplificando las operaciones mínimas en el sitio, cuyos materiales son de fácil adquisición y bajo costo.

### **Caso 7: MOBILE PPS (Personal Protective Space) for Doctors, Plastique- Fantastique**

Un espacio de protección móvil para profesionales de la salud, mediante una estructura neumática con una sobrepresión constante, permitiendo que el aire fluya solo hacia el exterior, sin dejar que virus ingrese. Por esto, se utiliza un espacio de exclusiva para la desinfección antes de ingresar al espacio, además de utilizar este para mantener la presión interior de manera constante.



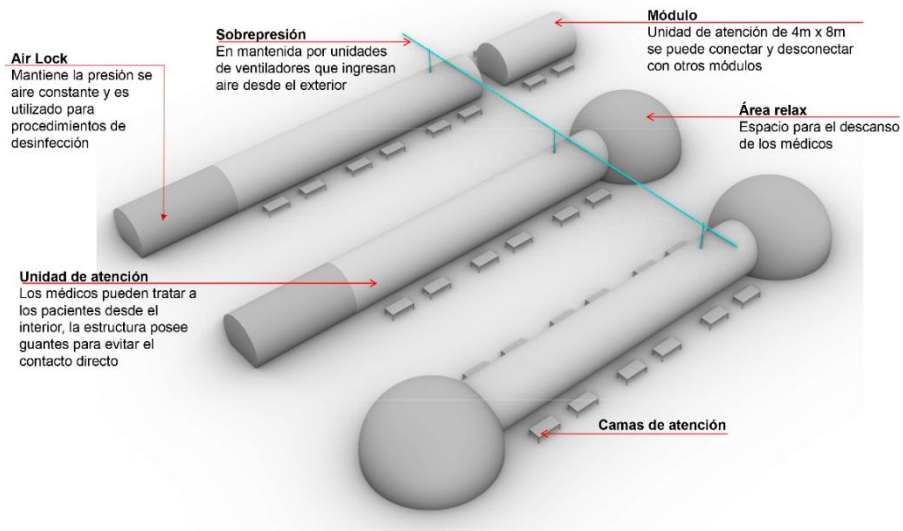
**Figura 13:** Sistema y configuraciones de proyecto Kaksh, (Harrouk, 2020)



**Figura 14:** Estructura de 1 unidad de proyecto Kaksh, elaboración propia a partir de la fuente (Harrouk, 2020)



**Figura 15:** Interior módulo Mobile PPS (Mobile PPS for Doctors - Plastique Fantastique. s. f.)

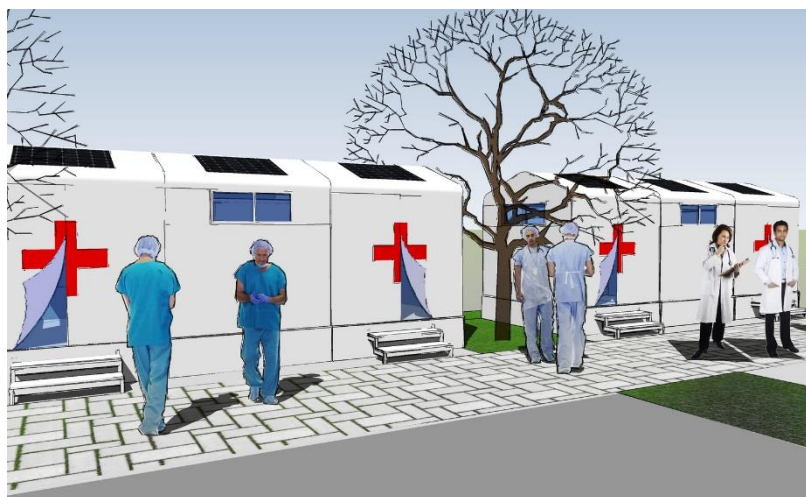


**Figura 16:** Sistema de MOBILE PPS, y uso de áreas, elaboración propia a partir de la fuente (Mobile PPS for Doctors - Plastique Fantastique. s. f.)

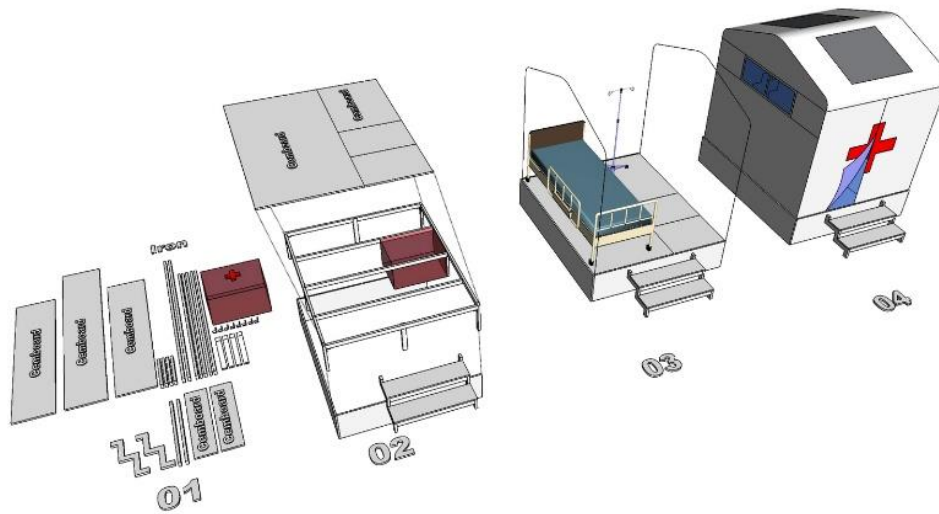
### Caso 8: Mobile hospital, VHL Architecture

Proponen un diseño de hospital móvil donde se garantiza el funcionamiento e instalaciones de un centro médico. Además de ser construido rápidamente bajo un sistema de producción de masas, se ensambla fácilmente y no requiere mano de obra calificada, puede ser ubicado en cualquier terreno plano y no requiere el uso de pilotes.

El módulo se puede dividir en cuatro partes para garantizar que el transporte del modelo se pueda mover fácilmente a cualquier lugar, desde zonas urbanas hasta zonas rurales remotas. Los materiales utilizados que proponen son de fácil acceso.



**Figura 17:** Módulos Mobile hospital, VHL Architecture,

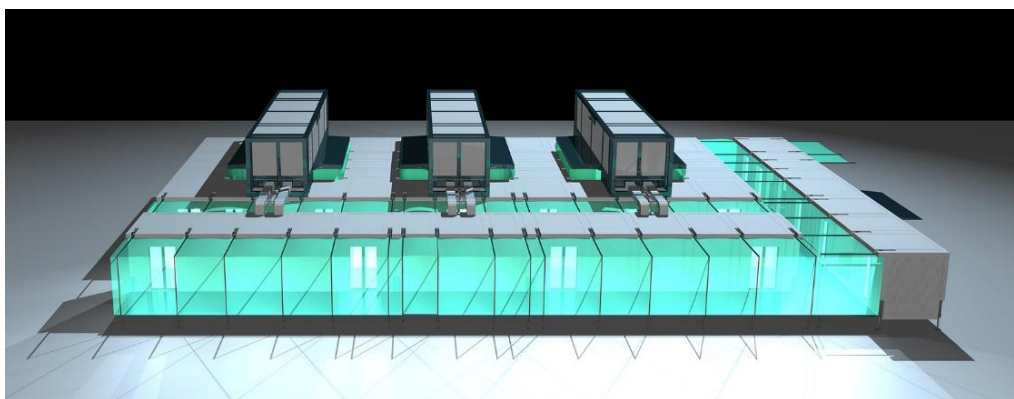


**Figura 18:** División de partes de módulo Mobile Hospital

### **Caso 9: Rescue Center, HAHA Architects Group**

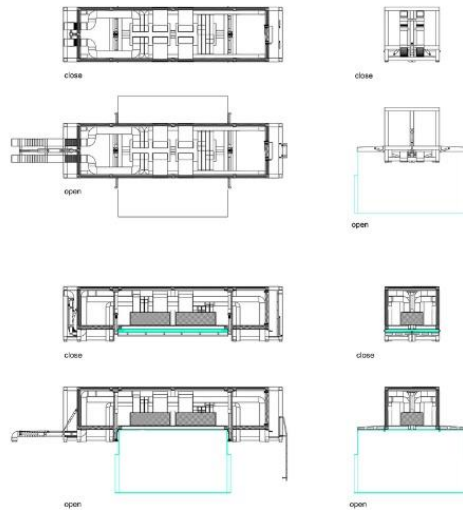
Exponen el concepto de centro móvil de diagnóstico y tratamiento que puede cumplir con todas las tareas de un hospital modular de emergencia temporal completamente funcional. Utilizan contenedores TEU FRC modificando y adaptando los contenedores, con piezas móviles y un sistema hidráulico con un montaje autónomo.

La estructura modular de la instalación “totalmente autosostenible” permite montarla con cualquier configuración.



**Figura 19:** Sistema de módulos Rescue Center (Harrouk, 2020)

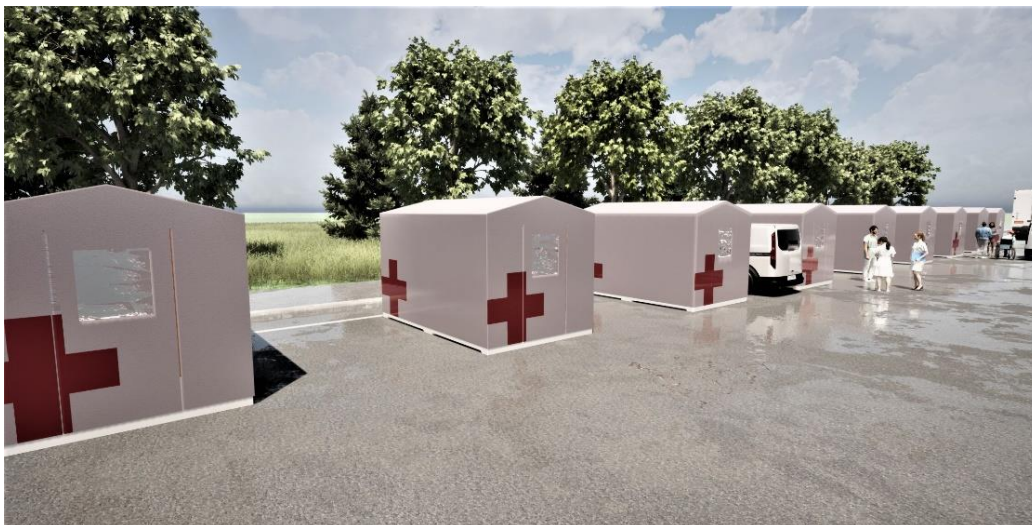




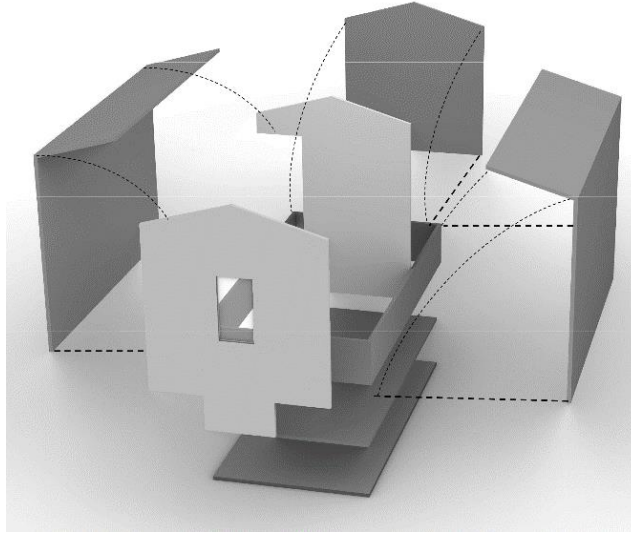
**Figura 20:** Planimetría módulo, distribución y orden, Rescue Center (Harrouk, 2020)

### **Caso 10: Refugio de emergencia plegable, Gonzalo Guzmán**

Presentan el diseño de un refugio simple, efectivo y económico que puede transportarse y construirse fácilmente. El módulo propuesto puede ampliarse y adaptarse a cualquier situación en la que se requiera el refugio de emergencia. No proponen un material específico ya que se establece que puede ser construido con cualquier material disponible.



**Figura 21:** Módulos Refugio de emergencia plegable (Emergency shelter | Gonzalo Guzman, s. f.)



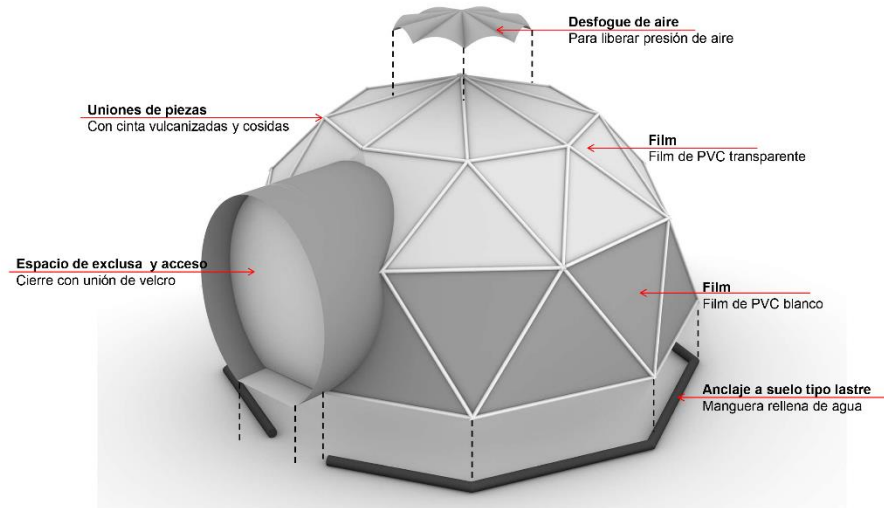
**Figura 22:** Despliegue de partes del módulo, elaboración propia a partir la fuente (Emergency shelter | Gonzalo Guzman, s. f.)

### **Caso 11: Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil, Universidad de La Salle**

Las unidades de aislamiento proponen una estructura neumática generada a través de módulos de domos geodésicos y túneles de circulación. Presentan un diseño flexible adaptable, ligero y fácil de transportar. Establecen un sistema construido por 9 domos que se encuentran unidos, por lo que no requiere ensamblar piezas o partes de los módulos.



**Figura 23:** Sistema de domos geodésicos Unidad de Aislamiento Epidemiológico (Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil. 2020).



**Figura 24:** Estructura de 1 domo PEIU, elaboración propia a partir de la fuente (Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil. 2020).

### Caso 12: Zona Cero, Fau Uchile

Proponen un diseño simple prefabricado en base a módulos que se repiten, lo permite distintas configuraciones. De esta manera se adapta a las complejidades y tamaños de los diferentes recintos hospitalarios.

Utilizan materiales de fácil adquisición, bajo costo, simplicidad de montaje y tecnología de fácil acceso. Aseguran la ventilación del espacio, resistencia a la lluvia, la protección frente a escorrentías de aguas lluvias, la posibilidad de variación del aislamiento térmico según el requerimiento geográfico y accesibilidad universal.



**Figura 25:** Módulo Zona Cero (FAU, 2021)

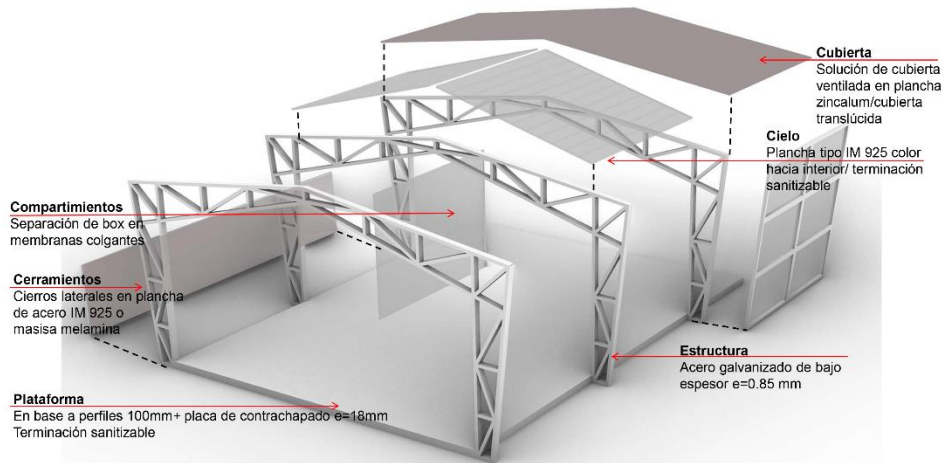


Figura 26: Estructura y partes del módulo, elaboración propia a partir de la fuente (Alvarado, 2020)

A partir de las propuestas por cada caso de estudio, donde se exponen estructuras prefabricadas, construcciones modulares comenzando de contenedores de envío, sistemas modulares en base a de láminas, y estructuras neumáticas, se muestra en la siguiente tabla la comparación entre ellas y la evaluación de los parámetros de constructividad de cada uno de los casos estudiados.

Podemos observar en la tabla 3 la constructividad presente en los casos de estudio, donde las estructuras neumáticas responden con una mayor cantidad de elementos que demuestran la calidad en los diseños y la optimización del tiempo de ejecución de las propuestas.

Por otro lado, además del grado de constructividad, en la tabla 4 se analizarán las ventajas y desventajas de los casos de estudios propuestos.

**Tabla 3:** Parámetros de constructividad, elaboración propia a partir de datos de casos de estudio.

Tipología estructural	Casos de estudios	Montaje	Requiere Mano de obra calificada	Rapidez de montaje (menor a 1 día)	Flexibilidad	Simplicidad	Reutilización o capacidad de reciclaje del material	Durabilidad en el tiempo
Estructuras prefabricadas	KAKSH, AGX Architects	Se debe instalar en una plataforma de hormigón o cualquier superficie plana y nivelada		X	X	X	Totalmente reciclable	X
	Zona cero Fau, Uchile	Consideran la instalación sobre una plataforma en un terreno nivelado	X		X		Puede ser reciclado casi en su totalidad debido a los materiales utilizados	X
Construcciones modulares	CNC – MEM KOTKO	No establecen requerimientos o consideraciones		X	X	X	Totalmente reciclable	X
	JUPE HEALT, JUPE			X			Totalmente reciclable	
	Refugio de emergencia plegable, Gonzalo Guzmán			X		X	Dependerá del material seleccionado ya que la propuesta especifica la utilización de cualquier material accesible	
	Mobile hospital, VHL Architecture	Puede ser instalado en cualquier terreno plano, no requiere pilotes		X		X	Puede ser reutilizado y se pueden reciclar algunas partes del módulo	X
	CURA Carlo Ratti e Italo Rota	Se debe instalar en una superficie nivelada y firme. Además del uso de maquinarias para mover los contenedores y caminos de carga pesada para su transporte	X		X	X	Al utilizar contenedores de envío los autores de las propuestas mencionan que estos pueden ser reutilizados para otras emergencias o seguir utilizándolos para envíos o almacenaje	X
	Hospital Modular de Emergencia MMW Architects		X		X	X		X
	Hospital ships, Weston Williamson + Partners		X					X
Rescue Center, HAHA Architects Group	X			X	X	X		X
Estructuras neumáticas	MOBILE PPS Plastique – Fantastique	No establecen requerimientos o consideraciones		X	X	X	Totalmente reciclable	X
	Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil U. de La Salle	Se debe instalar bajo una estructura techada con baja exposición al sol y una superficie plana		X	X		Totalmente reciclable y se propone una reutilización en diferentes usos	X

**Tabla 4:** Ventajas y desventajas generales de las tipologías estructurales presentes en los casos de estudio.

Tipología estructural	Ventajas	Desventajas
Estructuras prefabricadas	Tiempo de construcción rápida en el caso de estudio de KAKSH Materiales de construcción pueden ser reciclados en un 100% Puede ser reutilizado para otro tipo de usos Adaptabilidad de los espacios	Tiempo de construcción mayor a 15 días en el caso de estudio Zona cero Al ser armado in-situ genera desechos en el montaje de la estructura
Construcciones modulares	Rápidez de instalación Materiales de construcción pueden ser reciclados en un 100% (sin considerar construcciones a partir de contenedores de envío) Puede ser reutilizado para otro tipo de usos No genera un gran impacto y desechos en la ubicación de las estructuras Resistentes ante factores climáticos	Las construcciones a partir de contenedores requieren el uso de maquinarias para su montaje Las construcciones a partir de contenedores requieren de mano de obra especializada Las construcciones a partir de contenedores requieren el uso de transporte pesado
Estructuras neumáticas	Rápidez de instalación Materiales utilizados en los casos de estudios propuestos como el PVC, TPU y lona pueden ser reciclados en un 100% Puede ser reutilizado para otro tipo de usos Fácil fabricación Fácil de transportar, no requiere maquinaria para su instalación No requiere mano de obra especializada y en gran cantidad. Cantidad de materiales mínima. No genera un gran impacto y desechos en la ubicación de las estructuras. Capacidad de guardar la estructura en un espacio menor a 1 metro cuadrado por módulo. Adaptabilidad de los espacios	Factores climáticos (no puede tener luz del sol directa, las cargas por lluvia o nieve pueden hacer que la estructura colapse) Requiere el uso permanente de aire para funcionar

Podemos observar que las estructuras neumáticas presentan diversidad de usos y una gran cantidad de ventajas más que desventajas en comparación a los otros tipos de tipologías propuestas en los casos de estudio. Resulta ser un diseño óptimo, de rápida respuesta, con el uso de una menor cantidad de materiales y elementos, además de responder de manera segura ante la situación de emergencia sanitaria propuesta.

## 5. Conclusiones

Para finalizar, se puede concluir lo siguiente:

El objetivo principal de la investigación establecía evaluar las estructuras neumáticas para su utilización en emergencias sanitarias y compararlas con otros tipos de estructuras propuestas en dicho contexto. Por esta razón, se realizó una evaluación tomando diferentes parámetros de análisis en el diseño de los diferentes casos de estudio expuestos. Así, se determinó que las estructuras neumáticas presentan mayor potencial para otorgar una respuesta rápida, eficaz y segura.

Los casos de estudios realizados con estructuras neumáticas toman en consideración las recomendaciones de la OMS en la importancia de renovar el aire interior contaminado y utilizan un sistema de ventilación mecánica con filtros de aire que aseguran la calidad del aire al interior. La propuesta presentada por *plastique fantastique MOBILE PPS* establece que el personal médico se encuentra en el interior en un espacio confinado donde aseguran la biocontención, y limitando el contacto con los pacientes. Y por otro lado la Universidad de Lasalle presenta la Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil, donde realizan un estudio de la forma revisando diferentes puntos en la propuesta, en el que logran establecer un sistema seguro, rápido y eficaz para su uso inmediato.

Ambas propuestas tienen una constructividad alta que permite que los diseños se adapten a las necesidades, permitiendo ampliarse, unirse y disponer los módulos de diferentes maneras. Esta evaluación nos permite evidenciar que las estructuras neumáticas sí responden ante una situación de emergencia sanitaria, y con la utilización de un proceso de fabricación digital las propuestas pueden ser difundidas y replicadas con facilidad, de manera segura.

Por otro lado, dentro de los casos de estudio revisado existen propuestas que al igual que las estructuras neumáticas, presentan características que responden de manera eficaz ante el contexto establecido. En este sentido, el caso de la estructura prefabricada *KAKSH*, y el caso de *CNC-MEM*, presentan una propuesta flexible, adaptable, rápida. Pero debemos considerar que no todas las propuestas prefabricadas y modulares presentan estas características, algunas requieren de un mayor uso de materiales, mano de obra calificada o de un tiempo mayor en su ejecución y montaje.

Los casos de estudio *KAKSH* y *CNC-MEM*, se asemejan en el resultado de una respuesta exitosa, en comparación a las estructuras neumáticas, pero debemos destacar que el avance en el estudio de las estructuras neumáticas y el uso de la tecnología para fabricarlas y diseñarlas, presentan una mayor ventaja en un sentido constructivo, sustentable, sostenible y eficaz, lo que permitiría en una próxima emergencia sanitaria tomar en consideración el uso de las estructuras neumáticas como una respuesta rápida y segura para la atención de pacientes.

Ante lo revisado y evaluado en esta investigación se espera que en una nueva eventualidad se utilicen los resultados presentes y que a través de la arquitectura y la tecnología se establezcan planes de acción que incorporen un precedente para que puedan ser replicados.

## Agradecimientos

Agradecimiento a mi profesora guía Carla Cortés por guía durante este proceso y a el Laboratorio Lasallista para la Construcción del Hábitat Colombiano (LAB-LAHC) de la Universidad de La Salle por la facilitación de la investigación en las unidades de aislamiento epidemiológico portátil que realizaron.

## Referencias

- Acosta-Gnass, S. I. (2011). Manual de control de infecciones y epidemiología hospitalaria. Pan American Health Organization. Recuperado 22 de octubre de 2022, de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51545>
- Alvarado, R. P. F. C. E. D. D. / /. (2020, 20 abril). U.Chile creará módulos auxiliares en recintos hospitalarios para evitar contagios. Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad de Chile. <https://fau.uchile.cl/noticias/162644/uchile-creara-modulos-en-recintos-hospitalarios-para-evitar-contagios>
- Ane Efe Santana, C., & Chaves, L. (2020, abril 21). CNC – MEM (Modulo para Emergencias Médicas) – ARQA. ARQA/CL. Recuperado 24 de septiembre de 2022, de <https://arqa.com/arqa-comunidad/cnc-mem-modulo-para-emergencias-medicas.html>
- Baldwin, E. (2020, marzo 26). [https://www.archdaily.cl/cl/936381/jupe-health-disena-unidades-moviles-para-la-escasez-de-camas-hospitalarias-por-covid-19?utm\\_medium=website&utm\\_source=archdaily.cl](https://www.archdaily.cl/cl/936381/jupe-health-disena-unidades-moviles-para-la-escasez-de-camas-hospitalarias-por-covid-19?utm_medium=website&utm_source=archdaily.cl). Arch Daily. Recuperado 4 de noviembre de 2022, de [https://www.archdaily.cl/cl/936381/jupe-health-disena-unidades-moviles-para-la-escasez-de-camas-hospitalarias-por-covid-19?utm\\_medium=website&utm\\_source=archdaily.cl](https://www.archdaily.cl/cl/936381/jupe-health-disena-unidades-moviles-para-la-escasez-de-camas-hospitalarias-por-covid-19?utm_medium=website&utm_source=archdaily.cl)
- Basset, L. (s. f.). Estructuras Neumáticas. Repositorio institucional UPV. Recuperado 19 de agosto de 2022, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30383/Estructuras%20neum%C3%A1ticas.pdf>
- Centro de tratamiento de infecciones respiratorias agudas graves. (2020, marzo). Organización Mundial De La Salud. Recuperado 25 de septiembre de 2022, de [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331860/WHO-2019-nCoV-SARI\\_treatment\\_center-2020.1-spa.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331860/WHO-2019-nCoV-SARI_treatment_center-2020.1-spa.pdf)
- COVID-19 Glosario sobre brotes y epidemias. Un recurso para Organización Panamericana De La Salud (2020, abril 30). Recuperado 3 de octubre de 2022, de



<https://www.paho.org/es/documentos/covid-19-glosario-sobre-brotes-epidemias-recurso-para-periodistas-comunicadores>

CURA | Carlo Ratti Associati. (s. f.). Carlo Ratti Associati . Recuperado 15 de noviembre de 2022, de <https://carloratti.com/project/cura/>

Dent, R. N. (1975). Nuevos caminos de la arquitectura, Arquitectura neumática (1.ª ed.). Editorial Blume, 1975.

El impacto de covid19 en el sistema de salud y propuestas para la reactivación. (2020, agosto 19). Colegio Médico De Chile A.G. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <https://www.colegiomedico.cl/wp-content/uploads/2020/08/reactivacion-sanitaria.pdf>

Emergency Modular Hospital | MMW Architects. (s. f.). Archello. <https://archello.com/project/emergency-modular-hospital>

Emergency Modular Hospitals - Projects for COVID-19 Pandemic .. (s. f.). Prefab Modular Homes and Buildings. Recuperado 12 de noviembre de 2022, de <https://blog.prefabium.com/2020/05/emergency-modular-hospitals-projects.html>

Emergency shelter | Gonzalo Guzman. (s. f.). Archello. <https://archello.com/es/project/emergency-shelter>

ESTRUCTURAS SINCLASTICAS - Issuu. (s. f.). Issuu. Recuperado 15 de agosto de 2022, de <https://issuu.com/esmeraldaamparansaenz/docs/sinclasticas/s/11104520>

Fau, C. D. (2021, 15 octubre). Cinco Premios y Menciones obtuvo la FAU en ARQUISUR 2021. Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad de Chile. <https://fau.uchile.cl/noticias/180723/cinco-premios-y-menciones-obtuvo-la-fau-en-arquisur-2021>

Futurarc, A. (2021, 18 agosto). Modular design of mobile hospitals for the treatment of COVID-19. FuturArc. <https://www.futurarc.com/project/modular-design-of-mobile-hospitals-for-the-treatment-of-covid-19/>

Govea, J. (2019, mayo 10). Arquitectura abierta – ¿qué es la arquitectura open source?. Jesus Govea Arquitecto. Recuperado 10 de noviembre de 2022, de <https://jesusgovea.wordpress.com/2019/05/10/arquitectura-abierta/#:~:text=La%20arquitectura%20de%20c%C3%B3digo%20abierto,un%20esfuerzo%20colectivo%20y%20colaborativo.>

Harrouk, C. (2020, abril 27). Instalaciones alternativas de atención médica: Arquitectos se movilizan por la lucha contra COVID-19. Arch Daily. Recuperado 15 de septiembre de 2022, de [https://archdaily.cl/cl/938414/instalaciones-alternativas-de-atencion-medica-arquitectos-se-movilizan-por-la-lucha-contra-covid-19?ad\\_medium=gallery](https://archdaily.cl/cl/938414/instalaciones-alternativas-de-atencion-medica-arquitectos-se-movilizan-por-la-lucha-contra-covid-19?ad_medium=gallery)

- HistoryOfVaccines.org. (s. f.). History of Vaccines . Recuperado 1 de noviembre de 2022, de <https://historyofvaccines.org/>
- HVAC design for emergency COVID-19 hospitals with biocontainment through negative pressure. (s. f.). Reddit . Recuperado 15 de noviembre de 2022, de [https://www.reddit.com/r/COVIDProjects/comments/fsvug7/hvac\\_design\\_for\\_emergency\\_covid19\\_hospitals\\_with/](https://www.reddit.com/r/COVIDProjects/comments/fsvug7/hvac_design_for_emergency_covid19_hospitals_with/)
- Krauel, J. (2013). Arte, Arquitectura y Diseño Inflable. Links book.
- La labor de la OMS en emergencias sanitarias. (2021, mayo). Organización Mundial de la Salud. [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA74/A74\\_9Add1-sp.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA74/A74_9Add1-sp.pdf)
- Loyola, M. & Goldsack, L. (2010). Constructividad y Arquitectura (Primera edición).
- Mobile PPS for Doctors - Plastique Fantastique. (s. f.). Plastique Fantastique Recuperado 1 de octubre de 2022, de <https://plastique-fantastique.de/Mobile-PPS-for-Doctors>
- Module Emergency Hospital by MMW. Housing Innovation Collaborative (s. f.). Recuperado 26 de noviembre de 2022, de <https://housinginnovation.co/rapidshelter/module-emergency-hospital/>
- Nannig, A. (2020). Estructuras neumáticas Potenciales de construcción y uso en situaciones de emergencia en Chile. Seminario de licenciatura
- Protocolo de investigación de los primeros casos y sus contactos .. <https://apps.who.int/iris/Handle/10665/332192>. <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/covid-19-master-ffx-protocol-v2-sp-web.pdf>
- Serrador, V. J. (2017b, julio 8). ARQUITECTURA MODULAR Y CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA. MOJURU Modular Buildings. <https://www.mojuru.com/arquitectura-modular-prefabricada/>
- Triage. (s. f.). Ministerio de salud gobierno de Colombia. <https://www.minsalud.gov.co/salud/PServicios/Paginas/triage.aspx>
- Unidad de Aislamiento Epidemiológico Portátil. (2020, julio 25). Universidad De La Salle. Recuperado 1 de septiembre de 2022, de <https://www.lasalle.edu.co/Noticias/CienciasdelHabitatNoticias/uls/Unidad+de+Aislamiento+Epidemiologico+Portatil#:~:text=La%20estructura%20propuesta%20es%20un,de%20materiales%20o%20personal%20m%C3%A9dico.>
- Universidad Naval. (s. f.). metodología de investigación. Gobierno de México. Recuperado 16 de noviembre de 2022, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA\\_DE\\_INVESTIGACION.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION.pdf)

## Prototipado de uniones plegables para envolventes conformadas por CLT y barreras de humedad

**Estudiante:** Martina Mansilla Yáñez

**Profesor guía:** Felipe López

### Resumen

En la presente investigación se analiza la combinación de tableros de madera contralaminada y una barrera de humedad, los que configuran una envolvente plegable continua. Se concibe al elemento plegable como un recurso de eficiencia a la hora de transportar y construir estructuras de forma rápida, como viviendas de emergencia. Es así que, dada la alta capacidad estructural del CLT es que se observa como oportunidad para crear una estructura de este tipo, generándose la necesidad de encontrar un elemento flexible que permitiera el plegado. Se realizó un análisis de las membranas existentes, para luego construir prototipos plegables a partir de la unión membrana-madera, se puso a prueba, tanto el comportamiento mecánico de las membranas como la conformación de ángulos de las estructuras, de esta forma se determinaron las características mínimas que deben tener las materialidades para conformar este tipo de estructuras.

**Palabras clave:** Arquitectura de emergencia plegable, *Folding houses*, Plegado arquitectónico, Membrana hidrofuga, Madera contralaminada.

## 1. Introducción

Chile se ha visto afectado por catástrofes de todo tipo a lo largo de su territorio, en los últimos 10 años han ocurrido al menos 80 siniestros (Sernageomin, 2017), siendo un porcentaje importante el impacto en los habitantes. Una manera de responder ante el déficit habitacional tras una catástrofe, es a través de viviendas de emergencia, que constituyen soluciones rápidas de suma relevancia. En Chile, por ejemplo, en el año 2015 Fundación Vivienda construyó 1054 viviendas de este tipo.

Bajo este contexto, una manera más eficiente para responder ante la necesidad de soluciones rápidas son las estructuras plegadas. Sus principales ventajas son el poco volumen que ocupan al estar almacenadas en bodegas y su eficiencia en el traslado, ya que se movilizan múltiples ejemplares en pocos viajes a las zonas afectadas. Al ser plegadas constituyen un elemento continuo que hace más entendible la estructura y facilita su armado, principalmente, por la reducción de piezas que la conforman.

Chile es uno de los 10 más importantes productores internacionales de madera (P.Guindos, 2019), catalogándose como un país maderero, donde se genera la oportunidad de innovar con la madera en sus distintas formas. Se plantea la construcción de estructuras plegables en base a placas de madera contralaminada, un material macizo de gran calidad, que genera una envolvente de alto estándar de manera inmediata. Su alta resistencia en relación a su poco peso junto a su gran desempeño estructural, su capacidad de constituir muros rígidos, la posibilidad de adquirir geometrías de todo tipo y su buen desempeño en ámbitos sísmicos, resistencia al fuego y humedad, lo transforman en un material idóneo para experimentar en este planteamiento.

El plegado de una estructura se desprende de la conceptualización del armado de una caja de pizza de cartón, elemento plano que a través del pliegue genera un volumen en el espacio. Ahora, al llevar esto a la arquitectura y tratarse de un elemento rígido, el CLT no puede plegarse, solo cortarse, lo que deriva a la necesidad de otro material que sea flexible, y le otorgue la característica plegable a la estructura con la eficiencia del armado de una caja de pizza. Este material, además de ser flexible debe constituir una barrera de humedad como protección a la estructura. Los paneles de CLT son susceptibles a la humedad, ya que al ser un elemento orgánico los hongos como el moho, pueden afectar su desempeño estructural. De esta manera, barreras de humedad se posicionan como una oportunidad de ser utilizadas para la investigación, por ejemplo, membranas hidrórepelentes o de polietileno, revestimiento de fibras, entre otros.

Plantear este tipo de estructuras plegables genera varias incógnitas, primeramente, no se conocen las características geométricas que debiesen tener las placas de CLT, es decir, el tipo de ángulo de corte a realizar. Por otro lado, no hay conocimiento de las características técnicas y específicas que este debe tener el material flexible. De esta forma se establece como objetivo de la investigación determinar las características mínimas que deben tener, tanto los paneles de CLT como la barrera de humedad para conformar una envolvente

plegable, además de identificar las posibilidades de plegado, según el tipo de unión entre ambos materiales.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Plegados

Una estructura plegable es definida como un elemento continuo que puede ser sometido al pliegue de sus partes para concebir un modelo espacial, considerando, además la definición de pliegue como el doblez con cierto ángulo que genera la división de sus partes.

Jackson (2011), realizó un estudio sobre el plegado de elementos y como esto es aplicable en la arquitectura. El primer tipo de plegado es el “acordeón” (Figura 1), un plegado básico valle-monte-valle (valle siendo el punto más bajo del pliegue y monte el más alto), el cual determina un patrón regular por la separación entre dobleces. Este tipo de plegado posibilita la experimentación con la forma, ya que permite la variación del espaciado y cortes en la placa que diversifiquen la geometría.

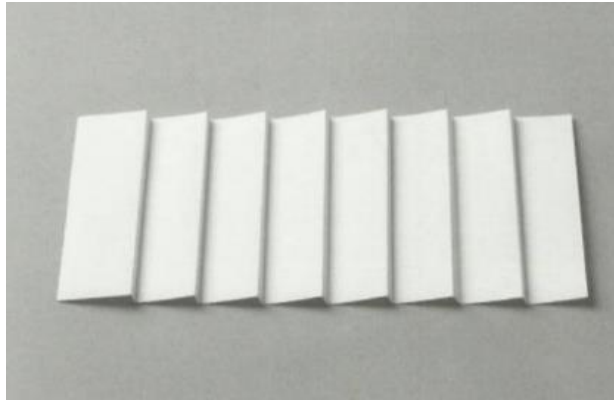
Por último, se mencionan los “plegados incrementales” (Figura 4) en donde el espaciado entre los pliegues va disminuyendo o aumentando progresivamente, generando geometrías dinámicas que pueden parecer confusas para el espectador, es una técnica más estética que funcional.

El plegado “plisado” (Figura 2), también es en base a valle-monte-valle, se diferencia, principalmente, en la distancia entre la primera relación valle-monte, al cambiarse la medida del espaciado se genera un desplazamiento de la estructura hacia un costado, ya que a diferencia del anterior no es un zigzag continuo con medidas iguales.

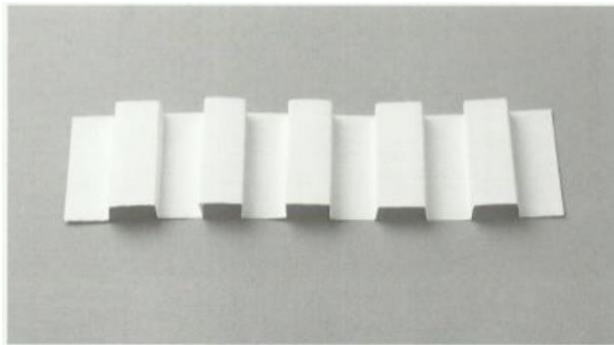
El tercer tipo de plegado básico es el “tipo caja” (Figura3), este consta de cuatro dobleces repetidos, los cuales al ser plegados forman volúmenes con distintos tipos de ángulos. La configuración de este elemento al estar compuesto por caras y no bordes le otorga más estabilidad al conjunto, debido a que los montes se encuentran todos al mismo nivel.



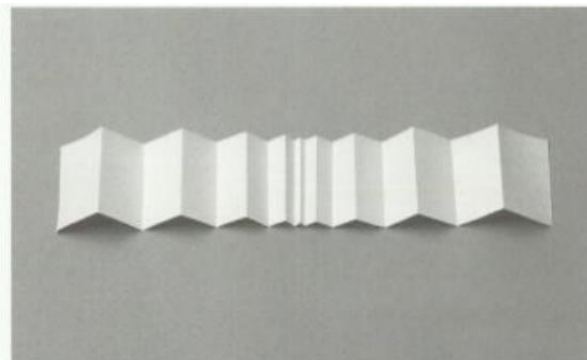
**Figura 1:** Nota. Extraído de *Folding techniques for designers from sheet to form* (p.55) por P. Jackson, 2011, Laurence King Publishing Ltd.



**Figura 2:** Nota. Extraído de *Folding techniques for designers from sheet to form* (p.64) por P. Jackson, 2011, Laurence King Publishing Ltd.



**Figura 3:** Nota. Extraído de *Folding techniques for designers from sheet to form* (p.72) por P. Jackson, 2011, Laurence King Publishing Ltd.



**Figura 4:** Extraído de *Folding techniques for designers from sheet to form* (p.78) por P. Jackson, 2011, Laurence King Publishing Ltd

De lo expuesto por el autor se pudo extraer, principalmente, la esencia del plegado, es decir, como es el pliegue que se le hace a un elemento y como este puede variar. En el primer caso el doblado se hizo en partes iguales, obteniendo una figura con dos lados equivalentes, con ángulos de apertura variables entre agudo, obtuso y recto. En el segundo caso, el doblado permitió generar elementos menos simétricos, variando el ángulo según el criterio a utilizar. Y en el tercer caso se observó un elemento compuesto por 4 partes, donde estas podrían variar en medidas, formando un volumen con más caras, dando también la posibilidad de variar con los ángulos entre elementos, por un lado, mantener los 90° para formar una caja o experimentar con los ángulos y crear nuevas volumetrías.

## 2.2. Plegado como morfología en arquitectura

Ha existido un interés por desarrollar el plegado bajo distintos criterios de diseño y de consideración del pliegue, Stravic et al. (2015) plantearon el diseño y construcción de una estructura estéticamente plegable en base al CLT, diseñada a partir del concepto del origami (Figura 5). Para llevar a cabo la construcción de esta estructura, se diseñó cada pieza por separado, las cuales fueron cortadas en los paneles con los ángulos específicos, para luego ser ensambladas y generar la estructura, ya que el CLT al ser un material rígido no puede ser plegado al igual que una hoja de papel, por lo tanto, debe ser cortado. En este proyecto el pliegue fue utilizado como concepto de diseño, dado que su armado y estructuración no son a partir del plegado.

La renovación de la casa madre de las Diaconisas de la Comunidad de St-Loup (Figura6) diseñada por Danilo Mondada y Localarchitecture es otro ejemplo de arquitectura diseñada a partir del pliegue. Esta edificación construida con paneles de madera utilizó la técnica del origami en zigzag como referente para su diseño, determinando así una “*folded plate structure*” con una geometría base de un trapecoide que se va replicando a lo largo de la estructura.



Izq. Figura 5: Extraído de *Generative Design for folded timber structures* por Stravic et al., 2015.

Der. Figura 6: Nota. Adaptado de *Capilla temporal para las diaconisas de St-Loup* / Danilo Mondada + LOCALARCHITECTURE por Nico Saieh, 2008, Archdaily (<https://www.archdaily.cl/cl/892185/capilla-temporal-para-las-diaconisas-de-st-loup-danilo-mondada-plus-localarchitecture>)

### 2.3. Estructuras plegables en la arquitectura

El *módulo abitativo dispiegabile* o M.A.D.I (Figura 8), es un sistema constructivo desarrollado por el arquitecto Renato Vidal, que utilizó el plegado como técnica para la creación de edificaciones antisísmicas con gran eficiencia energética. Son módulos que se caracterizan por su rapidez de construcción, su práctico transporte y su carácter modular permite libertad de construcción, ya que se pueden adicionar más módulos a través del ensamble (Renato Vidal, s.f). Son viviendas prefabricadas que se montan a través de un sistema de paneles plegables, cuya construcción es bastante rápida, ya que demora aproximadamente 6 horas. Su estructura se compone, principalmente, de CLT junto a perfiles y tubos de acero resistentes a la corrosión y bisagras especiales que garantizan el plegado de la vivienda (EcolInventos, 2017).



**Izq. Figura 8:** Nota. Adaptado de *Italian Architect Designs Folding House That Can Be Built in 6 Hours* por Ciclovivo, 2017, Arch Daily (<https://www.archdaily.com/885915/italian-architect-designs-folding-house-that-can-be-built-in-6-hours>)

**Der. Figura 9:** Nota. Adaptado de *Tricycle House and Tricycle Garden / People's Architecture Office (PAO) + People's Industrial Design Office (PIDO)* por Alison Furuto, 2012, ArchDaily (<https://www.archdaily.com/312651/tricycle-house-and-tricycle-garden-peoples-architecture-office-pao-peoples-industrial-design-office-pido>)

“*Tricycle house*” es una casa transportable que a través del pliegue tipo acordeón (Figura 9) permitió generar espacios más amplios o nuevas habitaciones. La materialidad de la estructura es de plástico, las partes que componen el volumen plegado son cortadas para luego ser soldadas, y lo que hace posible el plegado es la flexibilidad del material que compone la estructura, ya que al estar formada por polipropileno puede plegarse sin deformarse (Gessato, 2012).

### 2.4. CLT como elemento estructurante

Para el diseño de una estructura plegable -como elemento continuo que al plegarse sea autosoportante y resista cargas externas- se requiere un material rígido como la madera contralaminada. El CLT (*Contra laminated timber*) es un material innovador que poco a poco



se está haciendo más visible en la industria de la construcción, está compuesto por láminas de madera encoladas de forma perpendicular una sobre la otra, generando de esta manera paneles altamente resistentes a los esfuerzos, tanto de compresión como tracción (Solid clt, s.f).

El grosor del panel varía entre 60 mm y 240 mm, las medidas de este pueden alcanzar los 12 m de largo y 3 m de ancho y su densidad es de 470 kg (Solid clt, s.f) (Xilonor, s.f). Esto permite la creación de estructuras en base a muros o elementos macizos, cuyo peso puede alcanzar los 3384 kg. La diversidad de medidas es una de las principales ventajas del CLT, ya que ofrece una gran versatilidad en el diseño. Esta versatilidad permite generar diversas formas y uniones según requiera el proyecto, lo que es posible gracias a la mecanización de este, adquiriendo relevancia para esta investigación, ya que el CLT deberá ser sometido a cortes que dependen, principalmente, del diseño de la estructura.

El CLT se ha posicionado como un material con un gran desempeño, principalmente, por su composición, ya que al colocar las láminas de madera cruzadas permite resistir cargas en distintos sentidos, y tener un buen rendimiento ante las cargas sísmicas (Van de Kuilen, 2011). Su alta resistencia se puede evidenciar en la construcción de edificaciones de varias plantas, demostrando la eficiencia del material y su potencial como elemento estructurante. En Japón se han realizado pruebas de resistencia ante sismos en edificios de 3 a 7 pisos, concluyendo que el CLT conformado por 3 a 5 capas posee un buen comportamiento frente a este tipo de cargas (Ceccoti et al, 2009) y (Sandhass et al, 2009). De esta forma, se ha explotado la capacidad estructural del CLT a través de construcciones de diferentes alturas, siendo el edificio más alto el Murray de Londres, cuya estructura principal es en base al CLT (Yates et al, 2008). Considerando lo anterior, en un contexto sísmico como lo es el de Chile, la utilización de CLT en edificaciones aparece como una alternativa con bastante potencial, puesto que presenta un buen desempeño estructural ante las necesidades, tanto dinámicas como estáticas.

La crisis climática requiere de soluciones y procesos constructivos que disminuyan el impacto medioambiental de la industria de la construcción, y el CLT se presenta como una herramienta sostenible, ya que tiene un bajo impacto en la huella de carbono. Asimismo, su producción en masa no genera una mayor alteración al calentamiento global como sí la producción de hormigón o acero. Las edificaciones en base a CLT tienen menos de la mitad del CO<sub>2</sub> que edificios de hormigón armado, y por último reaparece como una opción viable bastante importante por su capacidad de ser reutilizado o reciclado (Yaunis & Doodoo, 2022).

Un factor relevante a la hora de construir con madera es su susceptibilidad ante la humedad, varios estudios tratan sobre la exposición del CLT a la humedad, cuya consecuencia deriva en la presencia de hongos y termitas si no se protege debidamente el material. Ayantele et al (2021) experimentó, durante 60 días, dejando a la intemperie un elemento de CLT, y observó cómo aumentaba, progresivamente, la humedad contenida, alcanzando un 24% de presencia de hongos de descomposición y ataques de termitas.

## 2.5. Barreras de humedad como elemento flexible

La idea de generar la continuidad en la estructura plegable se puede producir a través de una membrana como elemento flexible que actúe como barrera de humedad. La madera, naturalmente, concentra ciertas cantidades de agua, pero se ha comprobado que “una humedad entre un 20% y un 100% genera mayor susceptibilidad a ataques de hongos y a un posterior deterioro” (Fritz, s.f, p.60). Las barreras de humedad “*se definen como parte de un elemento constructivo con resistencia al vapor superior a 10 MPa·m<sup>2</sup> ·s/g... Son materiales cuya función no es detener el paso del vapor, si no permitir su paso, pero ofreciendo una gran resistencia*” (Mesquita, 2012)

Sus principales funciones son proteger a los elementos estructurales del paso de agua y del exceso de humedad, evitando las filtraciones, hacia el interior, de agua y de viento, actuando como una segunda piel (Volcan, s.f). Otras propiedades importantes a mencionar son su resistencia mecánica a la tracción, su elasticidad, su resistencia a agentes de deterioro, su facilidad de fabricación y su adecuado comportamiento ante el fuego (Mesquita, 2012).

Las membranas hidrofugas, son láminas flexibles respirables, permiten la salida del vapor que contiene la madera, lo que prolonga su vida útil. Se encuentran en base a materiales como polietileno o polipropileno, y son instaladas tanto en muros como en techumbres (Mathiesen, s.f).

Dentro de las barreras de humedad respirables, se puede encontrar el fieltro asfáltico, material compuesto por papel Kraft impregnado con asfalto, que de igual forma da paso al vapor y a la vez lo protegen del exceso de humedad. (Especificar cdt, s.f)

Existen barreras impermeabilizantes como la membrana asfáltica, compuesta por polietileno o poliéster que posee una gran capacidad de protección ante las condiciones atmosféricas, y una característica que la destaca es su resistencia mecánica y su alta capacidad de elongación (Dynal, 2021).

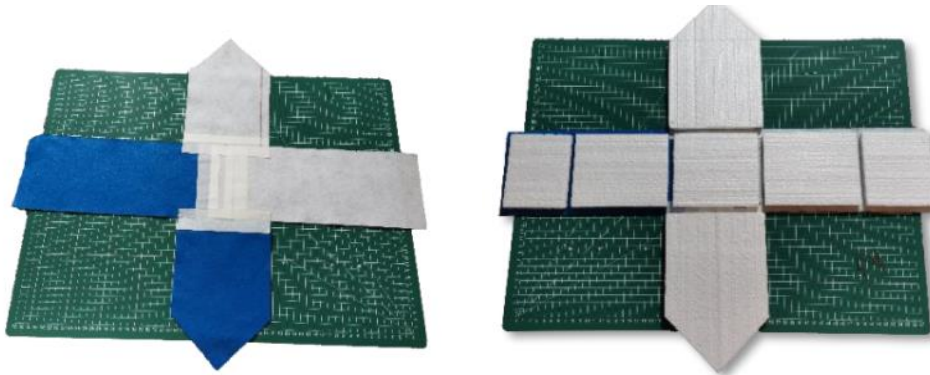
Por otro lado, los geotextiles son telas que pueden ser tanto tejidas como no tejidas, compuestas de fibras de poliéster, son permeables al agua, pero protegen de la humedad y agentes químicos por su alta absorción. Son, comúnmente, utilizados en la construcción de caminos, estabilización de suelos, filtros de sistemas de drenaje, entre otros. Su principal ventaja es su alta resistencia mecánica (Feltrex, s.f), un geotextil G80 tiene una resistencia a la tracción de 1200N. Esta materialidad resultó bastante llamativa para la investigación, ya que, dada su resistencia mecánica y flexibilidad, se presentó como una oportunidad para probar sus características en otro ámbito de la construcción.

## 3. Métodos

Frankel & Racine (2010) definen diseño como una “actividad de planificación e incrementación de nuevos productos, que incluye los subproductos de los procesos implicados como dibujos, modelos, planos y objetos fabricados”. En la investigación a través

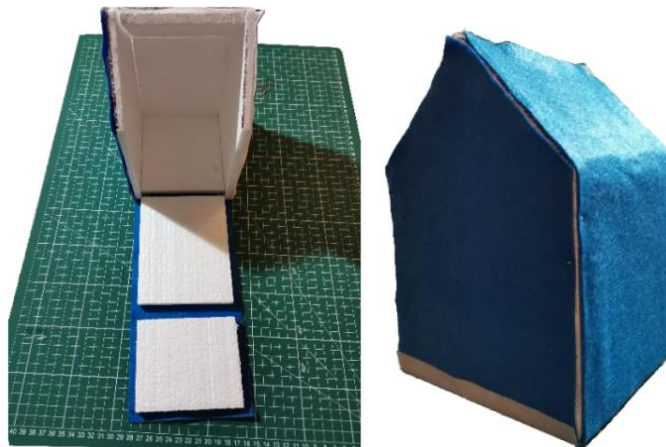
del diseño, se generan reflexiones a partir de la acción que lleva a la adquisición de nuevos conocimientos, ósea generar conocimiento a través de la práctica, lo que derivó a una investigación de índole exploratoria. De esta forma, el sondeo se realizó a través del diseño de un producto plegable continuo en base a CLT y una barrera de humedad, proceso que fue dividido en 4 fases.

La primera fase correspondió al entendimiento del plegado como método de construcción de una volumetría, para lo que se diseñó, digitalmente, un prototipo conformado por ángulos de 90°. Luego se construyó en base a plumavit y tela asemejando lo que sería el CLT con una membrana de manera esquemática, con esto se buscaba identificar la posición de la membrana y comprender la construcción del volumen final. Para la construcción del modelo se cortaron las piezas de plumavit que conformarían la estructura rígida, con las medidas obtenidas del diseño digital, luego se conformó la pieza continua de tela (Figura 10). Ya teniendo ambos elementos se realizó la combinación (Figura 12) de estos a través de alfileres, para finalizar plegando los elementos hasta conformar un volumen (Figura 13 y 14).



Izq.: **Figura 10:** Configuración de tela como material flexible y continuo. Elaboración propia, 2022.

Der.: **Figura 12:** Combinación del elemento rígido y tela. Elaboración Propia, 2022



Izq.: **Figura 13:** Plegado de la pieza. Elaboración propia, 2022

Der.: **Figura 14:** Conformación de la volumetría. Elaboración propia 2022

La segunda fase correspondió a la identificación de las diversas barreras de humedad existentes en el mercado de la construcción, para la posterior elección de las más idóneas para la investigación. A partir de la revisión de literatura se encontraron tres familias de barreras de humedad, las membranas hidrofugas, las membranas asfálticas, y el fieltro asfáltico, y además se consideró la familia de los geotextiles que varían, tanto en grosor como en resistencia, desde el más bajo G10 al G80.

Tras el reconocimiento de muestras de cada familia, se descartaron las barreras que no cumplían con el requerimiento mínimo de resistencia y flexibilidad. Las membranas asfálticas se presentaron como un elemento plástico poco flexible donde su grosor no facilitaba el doblez. El fieltro asfáltico se descartó debido a su escasa resistencia, al aplicar un poco de fuerza este se desgarraba, ya que su comportamiento se asimila al de un papel.

Se reconocieron membranas hidrofugas que no se desgarraban y eran flexibles, las membranas Altewrap y Altefusión, correspondientes al fabricante Altecomercial y la membrana Ultrafieltro, correspondiente a OwensCorning, empresas a las que se les solicitaron muestras para realizar la construcción de prototipos plegables. De la misma forma se solicitó también, muestras al fabricante chileno de geotextiles G60 y 670 de Feltrex.

Para el estudio de las posibilidades de corte a realizar en el CLT, se experimentó sobre rectángulos de terciado, con los que se componía una pieza de 25 mm a la que se sometió un corte con un ángulo determinado en el borde. Se realizaron 4 ángulos de corte cuya combinación posibilitara la unión de elementos, no solo en ángulo recto, el de 90° fue realizado en la maquina ingleteadora, y los ángulos de 30°, 45° y 60° en la sierra de banco.

Una vez estudiados los componentes de la estructura plegable por separado se procedió a estudiar la combinación de estos, siendo la adhesión de la membrana a la madera un tema a considerar. A partir de las muestras de membranas obtenidas y los cortes realizados en el terciado se desarrollaron prototipos plegados compuestos por dos placas rígidas y una membrana Ultrafieltro. Según la información obtenida de Altecomercial una forma de adherir la membrana a la madera es a través de una engrapadora industrial, método aplicado en construcción de los prototipos. De esta manera se armaron 5 prototipos (Figura 15 a 19) donde vario el ángulo de corte del terciado (90°-90°, 45°-45°, 60°-30°, 90°-45°, 60°-60°), cuyo objetivo es observar el comportamiento de ambos elementos y así determinar las variables a considerar para construir posteriormente prototipos en base a tableros de mayor tamaño.



De izq. a der.: **Figura 15:** Unión 90°-90°. **Figura 16.** Unión 45°-45°. **Figura 17.** Unión 30°-60°.

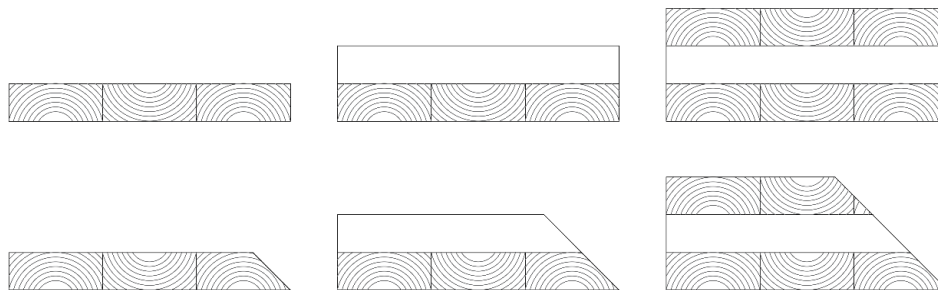


De izq. a der.: **Figura 18:** Unión 45°-90°. b Unión 60°-60°.

Desde lo estudiado anteriormente, se diseñó una experimentación donde se evaluaron los 3 principales factores que componen al elemento plegable, el grosor del CLT y su el ángulo de corte, el elemento flexible y la combinación de ambos.

El experimento se realizó en base a tableros contra laminados de elaboración propia de 30cm x 30cm, se realizaron 12 tableros donde se varió grosor (4 tableros de 1', 4 tableros de 2', 4 tableros de 3') de los cuales la mitad fueron cortados en ángulos de 90° y la otra en ángulos de 45°. Para la elaboración de las piezas plegables la adhesión de la membrana a los tableros fue a través de una engrapadora industrial, en 8 puntos del tablero. De esta forma se obtuvieron 6 tipos de piezas plegables (Figura 20):

1. Pieza compuesta por dos tableros de 1' corte en 90°
2. Pieza compuesta por dos tableros de 1' corte en 45°
3. Pieza compuesta por dos tableros de 2' corte en 90°
4. Pieza compuesta por dos tableros de 2' corte en 45°
5. Pieza compuesta por dos tableros de 3' corte en 90°
6. Pieza compuesta por dos tableros de 3' corte en 45°

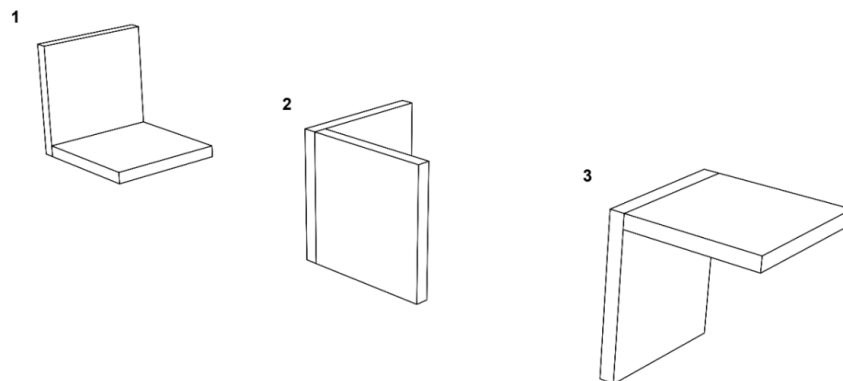


**Figura 20:** Tableros a utilizar en experimentación corte en 45° y 90°. Nota. Elaboración propia, 2022

**Tabla 1:** Piezas de CLT a utilizar en las tres experimentaciones

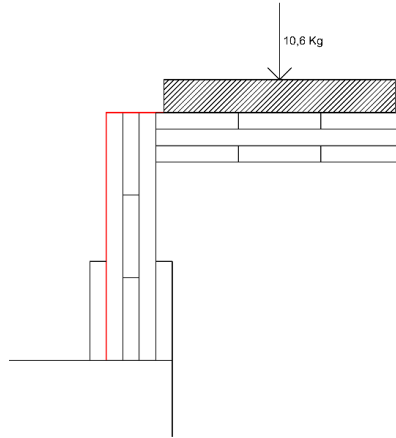
Variable a estudiar	Tablero a utilizar		
Grosor tablero	1' / 90°-90°	2' / 90°-90°	3' / 90°-90°
	1' / 45°-45°	2' / 45°-45°	3' / 45°-45°
Membranas			3' / 90°-90° 3' / 45°-45°
Posición de la membrana	1' / 90°-90°	2' / 90°-90°	3' / 90°-90°
	1' / 45°-45°	2' / 45°-45°	3' / 45°-45°

La primera variable a estudiar fue el grosor del tablero, se cortaron los distintos tableros en ángulos de 90° y 45°, los cuales fueron corroborados con escuadra carpintera, para luego añadir la membrana Ultrafieltro de Owenscorning, generando un elemento plegable. Al conformar la pieza plegable se evaluó la precisión del ángulo formado variando en tres posiciones el conjunto (Figura 21), con el objetivo de establecer si existe una relación entre el grosor de la pieza y la conformación del ángulo en 90°. Las herramientas de medición correspondieron a una escuadra carpintera, escuadra escantillón y trasportador.



**Figura 21:** Posiciones en el espacio del elemento plegable Nota. Elaboración propia, 2022

La segunda variable correspondió al entendimiento del tipo y factores de falla mecánica del elemento flexible, en donde se realizaron pruebas con las membranas hidrofuga Altewrap, Altefusión, Ultrafieltro, y geotextiles G60 y G70. La experimentación consistió en someter a la pieza plegable compuesta por 3 tableros de corte en 90° a una carga de 10,6 kg dada por metales previamente pesados (Figura 22), este ejercicio se realizó 5 veces variando el elemento flexible. La elección de esta pieza se debió a que en este tipo de ángulo de corte la membrana está sometida a un esfuerzo de corte dada la naturaleza del plegado, de esta forma se pudo observar el comportamiento de la membrana al ser sometida tanto al peso propio de la madera (3,3 Kg) como al de la carga externa (10,6 Kg).



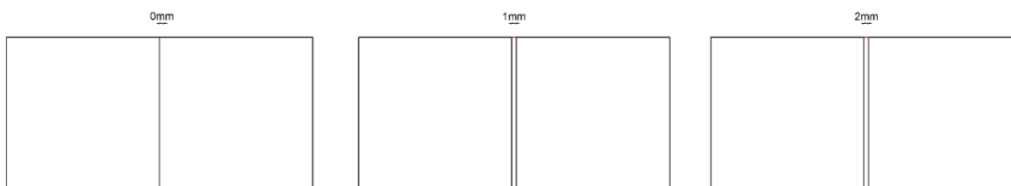
**Figura 22:** Esquema de experimentación con un peso Nota. Elaboración propia, 2022

El mismo proceso se realizó con el símil de la pieza, pero en corte 45°, en este tipo de plegado es la madera la que es sometida mayormente a la carga, por lo que corresponde a un caso, totalmente, distinto al anterior, pero de igual forma se observó el comportamiento mecánico de la membrana.

La tercera variable correspondió a la posición de la membrana, para las 6 piezas plegables la posición de la membrana Ultrafieltro variaba en 0mm, 1mm y 2mm (Figura 23 y 24). Con cada variación se medía el ángulo que alcanzaba la pieza o si existía una tolerancia, para así determinar la precisión necesaria para conformar la pieza plegable en relación al grosor y ángulo de corte del tablero. Las herramientas de medición utilizadas fueron escuadra carpintera, escuadra escantillón y trasportador.



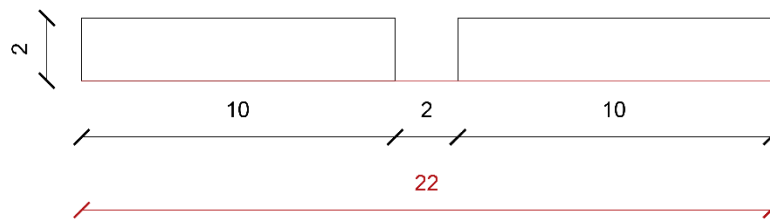
**Figura 23:** Esquema posición de la membrana en piezas de ángulo 90°.Nota. Elaboración propia, 2022



**Figura 24:** Esquema posición de la membrana en piezas de ángulo 45°.Nota. Elaboración propia, 2022

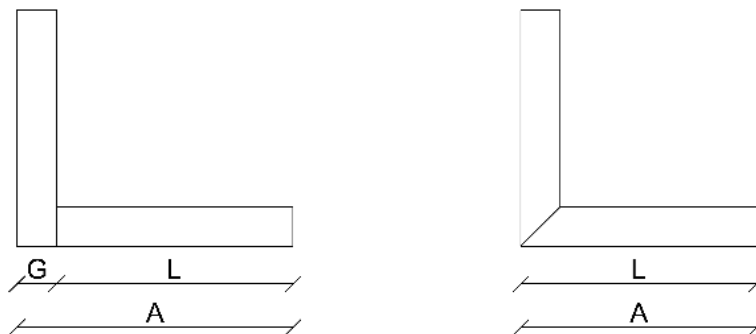
#### 4. Resultados

A partir de la construcción del volumen plegable en base a plumavit se determinaron dos factores relevantes para la investigación. En primer lugar, la posición de la membrana, al generar el plegado con elementos rígidos de mayor grosor que una hoja de papel se concluyó que la membrana debe ir por fuera de la pieza, ya que así adquiere mayor relevancia para la conformación de ángulos de los elementos rígidos que serán los que generen el volumen autosoportante. Por otro lado, también se visualizó la relación de posición entre el elemento rígido y la membrana, al estar cortado en 90° el plumavit, para realizar un plegado que genere la volumetría, las piezas deben estar separadas a una distancia igual al grosor del elemento rígido (Figura 25), lo que afecta, directamente, al tamaño de la membrana, de manera que esta debe cubrir, tanto el perímetro de las piezas rígidas como la separación de estas.



**Figura 25:** Distancia de separación entre las piezas rígidas. Nota. Elaboración propia, 2022

La construcción de prototipos plegables de terciado cortado en distintos ángulos, determinó 3 factores principales a considerar en la construcción de una estructura plegable. El primer factor a considerar es el tipo de ángulo a realizar en la madera para luego configurar el plegado. En cortes de 90° grados la membrana debe considerar el grosor del material para posibilitar el plegado, mientras que en cortes de 45° o 30°-60, para configurar el plegado es relevante que la membrana considere el perímetro de las piezas, más que su grosor, esto es porque al generar el plegado en piezas de 90° el largo A considera el grosor, mientras que en los otros ángulos el largo A es el mismo que el de la pieza (Figura 26)



**Figura 26:** Largo de la membrana según ángulo de corte. Nota. Elaboración propia, 2022



En el plegado de pieza cuyo corte es en  $90^\circ$  en posición tipo voladizo (Figura 27) se observó como la membrana debe resistir la carga de la madera, de tal forma que en este tipo de plegado la solitud de carga a la que está expuesta la membrana es mucho mayor que en el caso del corte en  $45^\circ$ , ya que ese plegado la pieza de madera en voladizo es soportada tanto por la membrana como por la madera. De esta forma, otro factor importante a considerar es, tanto el grosor de la barrera de humedad como su resistencia, en este primer acercamiento solo fue utilizada la membrana Ultrafieltro de grosor 0.05 mm y resistencia de 150 N/50mm.



**Izq. Figura 27:** Prototipo  $90^\circ$  en posición tipo voladizo. Nota. Elaboración propia, 2022

**Der. Figura 28:** Separación entre piezas de madera en conjunto plegable. Nota. Elaboración propia, 2022

El tercer factor corresponde a la posición de la membrana, al realizar el pliegue de dos piezas cortadas en  $45^\circ$  se logró observar que para consolidar el ángulo en  $90^\circ$  debió existir una separación de 1mm entre las piezas de madera (Figura 28), mientras que en el pliegue de la unión  $90^\circ$ - $45^\circ$  esa misma separación de 1 mm genera un ángulo de  $42^\circ$  y no de  $45^\circ$ . De esta forma se descubrió que la posición de la membrana es la que determina el ángulo de la pieza, pero no existía conocimiento de si esto era dependiente del grosor de la madera o de la precisión del ángulo de corte o bien de los dos.

Con la construcción de las piezas plegables conformadas por los distintos tableros, para el estudio de la variable grosor, se realizó el plegado de cada pieza compuesta por tableros cortados en  $90^\circ$  y  $45^\circ$ , la membrana fue adherida al tablero de forma exacta en relación este, y se midió el ángulo obtenido en tres posiciones distintas (Figura21), obteniendo los resultados expuestos en la tabla 2

Con respecto a los resultados obtenidos, en la posición 1 (Figura 29 a Figura 34) todas las piezas alcanzaron el ángulo objetivo, lo permitió deducir que sin importar el grosor ni ángulo de corte en una posición determinada se puede alcanzar la geometrización deseada.

**Tabla 2:** Resultados ángulos obtenidos según posición en el espacio de la pieza plegada

Tipo de Pieza plegable	Posición 1	Posición 2	Posición 3
Pieza compuesta por dos tableros de 1' corte en 90°	90°	91°	96°
Pieza compuesta por dos tableros de 1' corte en 45°	90°	90°	94°
Pieza compuesta por dos tableros de 2' corte en 90°	90°	90°	96°
Pieza compuesta por dos tableros de 2' corte en 45°	90°	90°	90°
Pieza compuesta por dos tableros de 3' corte en 90°	90°	91°	98°
Pieza compuesta por dos tableros de 3' corte en 45°	90°	90°	90°



**Izq. Figura 29:** Posición 1 piezas de 1' unión 90°. **Der. Figura 30:** Posición 1 piezas de 1' unión 45°.



**Izq. Figura 31:** Posición 1 piezas de 2' unión 90° **Der. Figura 32:** Posición 1 piezas de 2' unión 45°.



**Izq. Figura 33:** Posición 1 piezas de 3' unión 90°. **Der. Figura 34:** Posición 1 piezas de 3' unión 45°

El punto crítico de los resultados se manifestó al variar drásticamente de la posición 1 a la 3, se observó un alto desvío del ángulo que vario entre 4° a 8° (Figura 35), en donde solo en dos piezas se mantuvo el ángulo 90°, de esta forma se pudo establecer una relación directa entre grosor y corte del tablero, es decir, mientras la pieza tenga un mayor grosor y sea sometida a un corte en 45° mayor es la precisión del ángulo (Figura 36).



**Izq. Figura 35:** Posición 3 piezas de 3' unión 90°. **Der. Figura 36:** Posición 3 piezas de 3' unión 45°.

Por otro lado, se estableció otra relación, entre grosor, ángulo de corte en 90° y membrana, cuando la posición sea en voladizo (posición 3, Figura 21) mientras más grosor tenga el tablero mayor será la desviación del ángulo, esto es porque la membrana sufrió una deformación dado el peso del tablero, lo que significó variación del ángulo.

Tras la experimentación con los 5 elementos flexibles en la pieza plegable corte en 90° (Figura 37 a Figura 43) se observó como cada uno de estos elementos al ser sometidos a una carga de 13,9 kg sufrían una deformación medida en mm, valores expresados en la tabla 3.

**Tabla 3:** Resultados deformaciones en los elementos flexibles en plegado de corte 90°

Elemento flexible	Deformación (mm)
Membrana hidrófuga Ultrafieltro, Owens Corning	10 mm
Membrana hidrofuga Altewrap, Altecomercial	11 mm
Membrana Alutermic, Altecomercial	8 mm
Geotextil G60, Feltrex	10 mm
Geotextil G70, Feltrex	6 mm



**Izq. Figura 37:** Experimentación membrana Ultrafieltro.

**Der. Figura 38:** Experimentación membrana Altewrap.



**Izq. Figura 40:** Experimentación membrana Alutermic. Nota. Elaboración propia, 2022

**Der. Figura 41:** Experimentación geotextil G60. Nota. Elaboración propia, 2022



**Izq. Figura 42:** Experimentación geotextil G70. Nota. Elaboración propia, 2022

En el caso de las membranas, al aplicar la carga el primer punto crítico fue la utilización de corchetes para la adhesión de la membrana al tablero, a medida que la membrana se estiraba debido a la fuerza de gravedad que se daba por la carga, los corchetes al ser una fuerza puntual comenzaron a desgarrar la membrana, provocando de esta forma rupturas en los bordes de los corchetes (Figura 43). La misma prueba fue realizada en los geotextiles, los cuales no sufrieron ningún daño de este tipo, lo que comprobó una diferencia en la resistencia al desgarro entre ambas familias.



**Figura 43:** Desgarro en membrana Ultrafeltro. Nota. Elaboración propia, 2022

Los 5 casos a estudiar resultaron en una deformación, esta fue menor en el geotextil como material más resistente de todos y mayor en la membrana Altewrap, pero de igual forma existió deformación, esto sucedió principalmente porque en la posición en la que se ubicó la pieza plegable, la membrana era sometida a esfuerzos de corte, esfuerzos a los que no son resistentes, ya que según sus especificaciones técnicas estas materialidades están diseñadas para resistir tracciones. Si bien ninguno de los materiales sufrió una ruptura que pudo significar el colapso de la estructura, se observó que son materialidades que al sufrir una deformación no vuelven a su tamaño original.

A partir de los resultados anteriores, se eligieron la membrana Ultrafeltro por obtener una deformación promedio entre las otras membranas y al geotextil G70 como material con menor deformación de otra familia para realizar la misma experimentación (Figura 44 y Figura 45), pero con tableros cortados en 45° y una carga de 12,8 Kg (2,2 kg peso propio + 10,6 Kg carga externa), obteniendo los resultados de la tabla 4.

**Tabla 4: Resultados de deformaciones de elemento flexible en plegado de corte 45°**

Elemento flexible	Deformación
Membrana hidrofuga Ultrafeltro, Owens Corning	0,5 mm
Geotextil G70, Feltrex	2 mm



**Izq. Figura 44:** Experimentación con membrana Ultrafieltro. Nota. Elaboración propia, 2022

**Der. Figura 45:** Experimentación con geotextil G70. Nota. Elaboración propia, 2022

En este tipo de plegado los tableros trabajan en conjunto para resistir la carga a la cual es sometida la pieza plegable, la membrana tensiona la pieza para mantener el ángulo de plegado y la unión de los tableros, por lo tanto, la carga que recibe la membrana es muy distinta a la del caso anterior donde se sometió a esfuerzos de tracción y no de corte, lo que dio como resultado una deformación mínima.

Para la última variable es relación a la posición de la membrana y tolerancia medida en mm, los resultados se expresaron en la tabla 5:

<b>Tipo de Pieza plegable</b>	<b>0 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>2 mm</b>
Pieza compuesta por dos tableros de 1' corte en 90°	90°	90°	91°
Pieza compuesta por dos tableros de 1' corte en 45°	90°	90°	92°
Pieza compuesta por dos tableros de 2' corte en 90°	90°	91°	91°
Pieza compuesta por dos tableros de 2' corte en 45°	91°	90°	91°
Pieza compuesta por dos tableros de 3' corte en 90°	90°	90°	91°
Pieza compuesta por dos tableros de 3' corte en 45°	90°	90°	91°

A partir de los resultados obtenidos, se logró identificar que entre 0 y 1mm de distancia entre las piezas se obtiene la precisión angular deseada, mientras que al aumentar la distancia 1mm variaba el ángulo en 1 grado, lo que estableció una relación directa entre mm y grados, mientras mayor sea la separación mayor será la desviación de una manera proporcional (Figura 46 a Figura 51). Por lo que no es necesaria una tolerancia, ya que en 0mm se logra el ángulo y se permite el plegado, de todas formas, el caso 4 es una desviación con respecto al resto de los resultados que no se consideró, de todas formas, la prueba podría hacerse nuevamente varias veces para entender si esta desviación ocurrió por fabricación o diseño.



**Izq. Figura 46:** Tolerancia 2mm en pieza 1' ángulo corte en 90°. Nota. Elaboración propia, 2022

**Der. Figura 47:** Tolerancia 2mm en pieza 1' ángulo corte en 45°. Nota. Elaboración propia, 2022



**Izq. Figura 48:** Tolerancia 2mm en pieza 3' ángulo corte en 90°. Nota. Elaboración propia, 2022

**Der. Figura 49:** Tolerancia 2mm en pieza 3' ángulo corte en 45°. Nota. Elaboración propia, 2022

## 5. Conclusiones

La combinación de una barrera de humedad y madera contralaminada no lograron conformar una pieza plegable autosoportante. A través del ángulo de corte realizado en el tablero se determinaron dos formas de plegado en 90°, cada una con su caracterización propia. Se logró determinar que la membrana de humedad como elemento flexible que genera el plegado posee varias limitantes, y de igual forma se establecieron ciertos criterios a considerar para realizar prototipos plegables.

Al variar la posición de la pieza plegable en el espacio, se logró determinar que las membranas de humedad o los geotextiles al ser sometidos a esfuerzos de corte sufren deformaciones, generando estiramiento del elemento sin la posibilidad de volver a su tamaño original, por tanto, esto llevado a un muro de clt (2.4mx6mx0.09m) con un peso de 609 kg la membrana sufrirá una deformación crítica que no conforme el plegado objetivo y terminará en el colapso de las partes. Por tanto, se puede determinar que las características mínimas del elemento flexible son resistencia a esfuerzos de corte y tracción, y que al ser sometidas a cargas su deformación sea elástica, es decir, vuelva a su tamaño original.

A partir de los resultados obtenidos se determina que las uniones en 45° tienen mejor desempeño que los de 90° en relación a la conformación de ángulos en distintas posiciones y a la deformación alcanzada por las membranas siendo estas las mínimas, de manera que para la generación de prototipos plegables se determina que el corte a realizar en el CLT para obtener un mejor comportamiento del conjunto debe ser en 45°.

Para conformar la envolvente plegable la posición del material flexible que otorga la continuidad de la estructura debe ser exterior a la pieza para permitir el plegado. Además, no es necesaria una tolerancia con relación a los mm de separación entre los tableros adheridos a la membrana, mientras mayor precisión exista, el plegado se conformará según el ángulo deseado sea en tableros de menor o mayor grosor, de manera que se minimizan los errores angulares si las piezas de CLT entran en contacto directo.

El fallo en la adhesión del elemento flexible a los tableros a través de corchetes, evidencia que deberá ser estudiado en un futuro nuevas formas de unión que no deterioren los elementos, es decir, que no generen rupturas o desgarros a la materialidad flexible.

Si bien en esta investigación solo se estudiaron piezas plegables compuestas solo por dos elementos rígidos, es imperante que para un futuro se realicen prototipos que incluyan más elementos, conformando por ejemplo una caja, estudiando de esta forma la variable adición, agregando más lados y como esto puede afectar al plegado, ya que la suma de elementos puede derivar nuevas limitantes o factores a considerar.

Por último, se deben considerar nuevas materialidades que aporten a la estructuración y que permitan un plegado continuo resistiendo las cargas que conlleva una estructura de mayor tamaño como un módulo habitable.

## **Agradecimientos**

Se procede a dar los agradecimientos respectivos a los fabricantes OwensCorning, Altecomercial y Feltrex por sus aportes con muestras de membranas y geotextiles a la investigación. De igual forma, se agradece al taller de prototipos FAU y a sus docentes por facilitar los conocimientos y entregar las herramientas para la construcción del CLT.

## **Referencias**

Ayanleye, S., Udele, K., Nasir, V., Zhang, X., & Militz, H. (23 de Noviembre de 2021). Durability and protection of the mass timber structures. *Journal of Buildings Engineering* .

Buri, H., & Weinand, Y. (s.f). *ORIGAMI – Folded Plate Structures, Architecture* . Lausanne, Switzerland.

CLT, Solid. (s.f.). *Catálogo de paneles CLT*. España.



- Dynal. (2021). Membrana asfáltica. Obtenido de Dynal:  
<https://www.dynal.cl/construccion/membrana-asfaltica-sbs>
- Especificar cdt . (s.f.). Fichas tecnicas fieltro asfáltico. Obtenido de Especificar cdt:  
<http://www.especificar.cl/fichas/fieltro-asfaltico>
- Feltrex. (s.f.). Geotextiles. Obtenido de Feltrex: <https://www.feltrex.cl/geotextiles/>
- Frankel, L., & Martin, R. (2010). The Complex Field of Research, for Design, through Design, and about Design . Montreal, Canada.
- Fritz, A. (s.f.). La construcción de viviendas en madera . Santiago .
- Guindos, P. (2019). Fundamentos del diseño y la construcción con madera . Santiago : Ediciones UC.
- Jackson, P. (2011). Folding Techniques for Designers from sheet to form. Londres: Laurence King Publishing Ltd.
- Loyola, M., Rossel, D., Madariaga, N., & Montiel, C. (s.f.). Un método para el plegado de paneles de yeso en ángulos variables para la fabricación de productos arquitectónicos. Santiago, Chile.
- Mathiesen. (s.f.). Membrana hidrófuga respirable para muros Tyvek. Obtenido de Construcción Mathiesen : <http://www.construccionmathiesen.cl/productos/membrana-hidrofuga-respirable/>
- ONU. (16 de diciembre de 2021). FAOSTAT. Obtenido de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/FO>
- Stravic, M., Bogensperger, T., & Wiltsche, A. (Enero de 2015). Generative Design for folded timber structures. Graz, Austria. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/283518432>
- Tricycle House By PAO. (s.f.). Obtenido de Gessato: <https://www.gessato.com/tricycle-house-by-pao-peoples-architecture-office/>
- Van de Kuilen, J., Ceccotti, A., Xia, Z., & He, M. (2011). Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber .
- Volcan. (s.f.). Barrera de humedad y sus principales funciones. Obtenido de Volcan: <https://volcan.cl/barrera-de-humedad-y-sus-principales-funciones/>
- Xilonor. (s.f.). Catálogo CLT. A Coruña, España.
- Younis, A., & Doodoo, A. (10 de Abril de 2022). Cross-Laminated timber for building construction: A life cycle assessment overview. Journal of Building Engineering.

## **Redes neuronales artificiales aplicadas al proceso de diseño: Integración del stock de conocimiento semántico utilizado en esquemas de distribución de plantas arquitectónicas.**

**Estudiante:** Daniela Inés Martuffi Lazo

**Profesor guía:** Pedro Soza Ruiz

### **Resumen**

Esta investigación examina la integración del stock de conocimiento disciplinar de arquitectos y el uso de redes neuronales artificiales con miras a asistir la toma de decisión proyectual. Dado que los problemas de diseño no tienen formulación definitiva, se planteó que una herramienta de esta naturaleza permitiría una mayor profundización en la formulación del problema de diseño. El objetivo de esta investigación fue implementar una red neuronal capaz de entregar representaciones de grafos a partir de información semántica capturada desde el stock de conocimiento. Dicha información se capturó de esquemas de distribución de espacios en viviendas, la cual sirvió como datos de entrada para la red neuronal. Los productos resultantes de este trabajo son una base de datos semántica, una red neuronal que contribuye a la resolución de problemas desestructurados y facilita la toma de decisiones proyectuales, y una discusión sobre nuevas posibilidades en la formulación temprana de problemas arquitectónicos.

**Palabras clave:** Procesos de diseño, Problema arquitectónico, Inteligencia artificial, Redes neuronales artificiales, Sistematización.

*“Las reglas del arte pueden ser útiles, pero no determinan su práctica, son máximas que pueden servir como guías solo si pueden ser integradas en el conocimiento práctico del arte. No pueden reemplazarlo.” - Michael Polanyi*

## 1. Introducción

Los procesos de diseño como problemas desestructurados (Simon H. 1973), abstractos e incompletos permiten una mayor exploración en torno a ellos. Este proceso se lleva a cabo produciendo representaciones semánticas y procedurales (Soza, 2018) mediante iteraciones de movimientos horizontales, o de cambios de idea, y verticales, o de profundización (Goel, 1995). Si bien los procesos de diseño del arquitecto son distintos en cada persona, están basados en la exploración con un stock de conocimiento común, con lenguajes y representaciones comunes, planos, isométricas, croquis (Schon, D, 1992) y búsquedas de soluciones y estrategias similares como las relaciones programáticas, con el lugar, circulaciones, vistas, etc. Este conocimiento se recupera desde la memoria a largo plazo para generar una formalización, es decir, una transformación del problema a una representación del problema que puede ser sujeta a cambios. La formalización del problema mediante la exploración debe emplear un periodo extenso en la fase preliminar del proyecto para lograr soluciones optimizadas, dado que, según la curva de McLeamy (Curt, 2004), en esta fase los cambios influyen de manera directa en las posibilidades de mejorar su desarrollo.

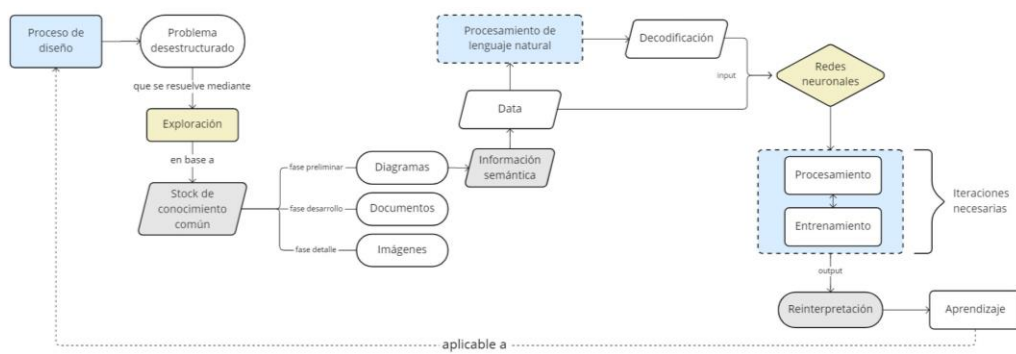
Por otro lado, el diseño computacional nos permite ir más allá de lo que está al alcance de nuestro stock de conocimiento, memoria e imaginación, abriendo nuevas posibilidades, soluciones y estrategias que pueden ser útiles al momento de diseñar. En este sentido, el diseño algorítmico, o generativo, es capaz de generar geometrías usando algoritmos basados en un objetivo, límites y reglas; mientras que, con inteligencia artificial, específicamente las redes neuronales artificiales (ANN) permiten trabajar con tareas más complejas, generando alternativas de soluciones y estrategias de diseño, además de un aprendizaje en el agente desde un conjunto de datos o *dataset* (Goodfellow, I, 2016). Esto es posible gracias a que las ANNs poseen una arquitectura de capas y nodos, un procesamiento que posibilita mayores combinaciones de las características y valores de las bases de datos, con una morfología similar a las iteraciones de movimientos horizontales y verticales del proceso de diseño de las y los arquitectos propuesta por Goel (1995).

Actualmente, el diseño computacional permite incrementar la eficiencia en torno al desarrollo formal, sin embargo, en su mayoría este tipo de diseño funciona como una herramienta pasiva que es manejada por el humano y no como una herramienta activa que posibilita la evolución del diseño. Esto es producto que no existe una integración del stock de conocimiento del arquitecto con la herramienta, sino que más bien es una implementación, tomando un papel secundario acorde a su naturaleza operativa dentro del proceso de diseño.

Esta investigación, por el contrario, busca y propone la integración del stock de conocimiento común de los arquitectos con redes neuronales artificiales, en vista de la falta de herramientas activas que permitan una interacción humano-computacional y que sean

capaces de asistir en la fase preliminar de diseño de manera fundamentada. Dado que los problemas de diseño no tienen una formulación definitiva o una regla establecida de término (Rittel y Webber, 1971), una herramienta de esta naturaleza permitiría una mayor profundización en nuestro entendimiento sobre cómo las y los arquitectos formulamos problemas de diseño, y nuevas posibilidades al momento de tomar decisiones proyectuales.

Dado esto, la pregunta de esta investigación es ¿Cómo puede integrarse el uso de modelos de redes neuronales a los procesos de diseño para asistir en el flujo de trabajo proyectual? A su vez, el objetivo general que se persigue es combinar los procesos de diseño con el uso de redes neuronales para asistir en la fase preliminar de diseño, y como objetivos específicos el estructurar una base de datos de esquemas con conocimiento semántico del stock de conocimiento de los arquitectos, implementar una red neuronal artificial para generar diagramas con conceptos semánticos usados en la fase preliminar de diseño y evaluar cómo los diagramas arquitectónicos generados a partir de ANNs pueden asistir en la formulación y resolución de los problemas de diseño.



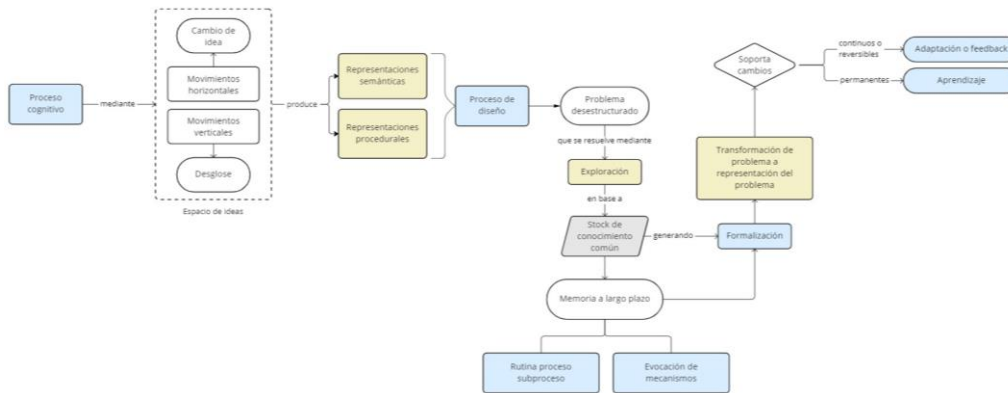
**Figura 1:** Representación del problema de investigación. Elaboración propia.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Proceso de diseño

Los procesos cognitivos del arquitecto conducen la interacción entre las representaciones semánticas y procedurales del conocimiento de diseño. Estos procesos son los responsables de hacer emerger la práctica del diseño y pueden tratar de comprenderse explicando la naturaleza del *stock* de conocimiento disciplinar que desarrollamos las y los arquitectos, y la forma en que este *stock* se enmarca (Soza, 2018). Estos procesos involucrados en el diseño preliminar requieren transformaciones laterales y para eso, representaciones mentales desestructuradas del problema que puedan soportar estas transformaciones (Goel, 1999). Simon (1973) postuló que no existe un límite entre los problemas estructurados y desestructurados, sino que más bien todos los problemas son desestructurados y se vuelven estructurados mediante el proceso de formalización de resolución de problema. Este proceso de definición es distribuido en la memoria a largo plazo y es recuperado mediante dos

mecanismos: (1) una estructura rutinaria que permite pasar información de un proceso a un subproceso y (2) evocando mecanismos que permiten reconocer cierta información que se ha vuelto relevante para recuperarla de la memoria a largo plazo. De esta manera, el problema se transforma en una representación del problema y se puede ver modificado por los cambios internos y externos que actúen en ella. Si estos cambios son continuos y/o reversibles son referidos como “adaptación o feedback” y si son permanentes son referidos como “aprendizaje”.

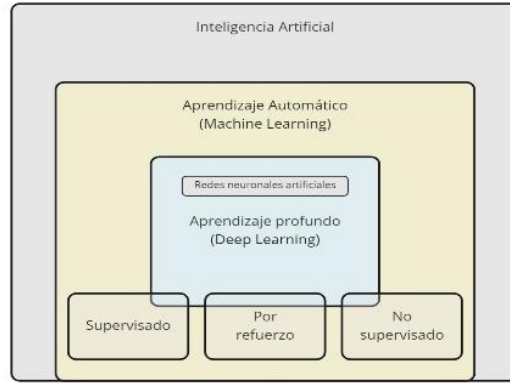


**Figura 2:** Representación del proceso de diseño. Elaboración propia.

A partir de la representación del problema, Kelly y Gero (2021) describen dos formas de entender cómo se dirigen los problemas de diseño. Uno mediante el pensamiento de diseño y otro mediante el pensamiento computacional, donde ambos funcionan como transferencias de un modo de pensar entre lo particular y lo general. Gero (1990) define el diseño como una actividad de exploración y aprendizaje que opera dentro de un contexto que depende de la percepción del diseñador, orientada a un objetivo, limitada y donde debe haber toma de decisiones. Los problemas de diseño son, por ende, problemas orientados a un objetivo y limitados, que dependen de la percepción del contexto del problema por parte del diseñador. De esta forma, el pensamiento de diseño puede entenderse como el conocimiento que ha sido desarrollado con relación a cómo se razona al involucrarse en este tipo de problemas. Por otro lado, Wing (2006) define dos tipos de pensamientos computacionales, uno basado en el tipo de razonamiento que se usa, y otro basado en el tipo de soluciones que se produce. El primero sugiere que este tipo de pensamiento involucra resolver problemas, diseñar sistemas y entender el comportamiento humano desde los conceptos fundamentales de la ciencia de la computación, mientras que el segundo lo define como el proceso involucrado en formular problemas y sus soluciones, que puedan ser representados de forma efectiva por un procesador de información.

## 2.2. Tecnología en función de los procesos de diseño

### Inteligencia artificial y redes neuronales



**Figura 3:** Subconjuntos de la inteligencia artificial. Elaboración propia

La inteligencia artificial (IA) es un conjunto de técnicas que permiten a las máquinas imitar el comportamiento humano inteligente a partir de algoritmos. Esta nos permite automatizar funciones que aplicadas al diseño pueden sintetizar geometrías y generar soluciones a partir de una base de datos. El machine learning (ML) es un subconjunto de IA que utiliza algoritmos para aprender desde datos sin ser explícitamente programado y que puede mejorar en base a la experiencia. Se diferencia por tener la capacidad de hacer predicciones y generar reglas a partir de datos y ejemplos de resultados.



**Figura 4:** Diferencia entre un modelo clásico de IA y un modelo de ML. Elaboración propia a partir de Chollet, F. 2011.

El ML tiene 4 subconjuntos según el grado de supervisión de la máquina, en un espectro desde donde todos los valores son supervisados por el humano hasta donde no existe supervisión sino solo el input de datos (Alpaydm, 2010), y cualquiera de ellos puede ser denominado aprendizaje profundo (Deep Learning) al implementar redes neuronales artificiales (ANN). La implementación de las ANN le permite a la máquina entrenarse a sí misma para llevar a cabo su objetivo y permiten trabajar con tareas más complejas gracias al procesamiento mediante capas y nodos. Esta arquitectura de capas y nodos posibilita mayores combinaciones de características y valores de las bases de datos, a su vez permitiendo jerarquización (Goodfellow, 2016).

Un problema generalizado de los algoritmos de machine learning es la cantidad de datos que requiere para obtener una mayor precisión, es por esto que Deng, Rainey, Zhang y Lu (2020)

proponen integrar el conocimiento humano para reducir la necesidad de grandes cantidades de datos y al mismo tiempo incrementar la fiabilidad para construir sistemas que puedan ser entendidos por humanos. En el caso del conocimiento cualitativo, debe existir por parte del humano un compromiso e interpretación sofisticado, ya que requeriría estrategias personalizadas a cada campo de estudio. Esta integración tiene dos ventajas principales, primero, que al ser explicado por conocedores de cada campo de estudio, puede ser validado con mayor rigor generando una masa estadísticamente más rigurosa, y segundo, ayuda a profundizar en los mecanismos teóricos de los modelos de machine learning al estar sujetos a interpretación.

### **Modelo de Procesamiento natural de lenguaje (NLP)**

Para que una máquina pueda ser capaz de procesar información mediante aprendizaje automático (ML), es crucial que el input y el output entregados sean interpretables por el ser humano. El procesamiento natural de lenguaje (NLP) es una colección de técnicas computacionales para el análisis y representación automática del lenguaje humano motivado por la teoría. (K.R. Chowdhary, 2020) Este permite analizar las estructuras sintácticas y léxicas de las palabras y oraciones para armar una estructura que corresponda al significado. Esta estructura puede ser usada en un proceso de razonamiento sistemático como una simulación parcial de la comprensión del lenguaje (Winograd & Flores, 1986). Actualmente los modelos de NLP se usan tanto para propósitos teóricos, como explorar la naturaleza de la comunicación y sus propiedades, como para propósitos prácticos y de aplicación, como establecer comunicaciones humano-computacionales efectivas. A modo de ejemplo, Word2vec, es una familia de algoritmos de NLP desarrollado por Google, que es utilizado para crear *word embeddings*, o incrustaciones de palabras, a partir de un conjunto de datos. Las incrustaciones de palabras son un método de conversión de palabras a vectores numéricos para construir un vocabulario desde los datos de entrenamiento y crear un aprendizaje de la representación vectorial de las palabras. (Google, 2013) El resultado en vectores es lo que permite poder trabajar posteriormente en un modelo de aprendizaje automático.

### **2.3. Aplicación en arquitectura**

Dentro de los usos de inteligencia artificial en arquitectura podemos encontrar el diseño algorítmico como método de representación arquitectónica, Castelo-Branco, Caetano y Leitão (2022) evalúan si el diseño algorítmico es apropiado para representar, haciendo un análisis sistemático y comparando la capacidad de representar el problema con otras herramientas de representación como CAD y BIM. Sostienen que la principal diferencia entre estas herramientas está basada en la expresividad y la comprensibilidad. En cuanto a la expresividad, el diseño algorítmico, al estar basado en un pensamiento matemático, está más enfocado en la abstracción de conceptos, entregando una mayor flexibilidad al facilitar más instancias de diseño, mientras CAD y BIM obligan al diseñador a concretar solo una instancia. En cuanto a la comprensibilidad, el diseño algorítmico es más difícil de comprender dada su naturaleza matemática, sin embargo, esto le permite representar de manera explícita

conceptos complejos y su visualización, simplificando el proceso de representación y contribuyendo a la correcta comprensión del concepto.

Otro modo de uso de inteligencia artificial orientada a los procesos de diseño es dirigido al seguimiento y análisis de los procesos. La investigación de Millán et al (2022) busca explorar si elementos de la etapa conceptual tienen una influencia en la calidad del diseño final, y en encontrar y evaluar soluciones comunes en el comportamiento de resolución de problemas. Esto lo hacen mediante la aplicación de análisis de datos y machine learning para extraer el conocimiento que contenían los datos. Con el aprendizaje supervisado (*data analysis*) encontraron las estrategias utilizadas, y con el aprendizaje automático (ML) encontraron las soluciones comunes que se utilizaron en los procesos de diseño. Este último punto es importante ya que los caminos comunes de estrategias de resolución de problemas pueden ayudar a establecer patrones de comportamiento diferentes y específicos que pueden ayudar a clarificar el proceso de diseño de forma racional al establecer un camino u orden de acción. Kelly y Gero (2021) han postulado que la principal actividad cognitiva en el pensamiento computacional es la abstracción, la cual definen como el movimiento de instancias específicas a patrones generales manteniendo la información relevante.

Chaillou en “Architecture + IA” (2019) evidencia cómo el uso de las tecnologías ya ha transformado la arquitectura antes, ya sea a través de técnicas o softwares, y cataloga la ciencia de datos y la inteligencia artificial como la continuidad en la evolución de la arquitectura. Describe la inteligencia artificial más que como una oportunidad de desarrollo como un potencial para reconfigurar la disciplina, y desarrolla un método de generación de planos mediante GANs, un tipo de redes neuronales, basado en métricas que permiten extraer tanto el estilo como la organización de las plantas arquitectónicas creadas por arquitectos a lo largo de la historia.

En resumen, el pensamiento de diseño puede entenderse como un razonamiento experiencial en base a una secuencia de operaciones como estrategia armada en base a soluciones comunes. Esta es posible de codificar para analizar y representar de manera computacional, lo cual permitiría armar una base de datos de conocimiento en base a las estrategias y conocimientos implícitos presentes en el proceso de diseño, con el fin de reconocer y sistematizar uno de los múltiples tipos de resolución del problema arquitectónico y contribuir así al desarrollo de la práctica de la arquitectura.

### **3. Métodos**

Esta investigación se realizó como una investigación del tipo experimental y cualitativa con una aproximación metodológica basada en el uso de la teoría fundamentada (Glasser y Strauss, 1967). El diseño metodológico de esta investigación está dividido en dos fases dados los objetivos de estudio. El criterio para dividir la metodología se basa en que se debe, en primer lugar, comprender qué conocimiento implícito es posible extraer del stock de conocimiento de los arquitectos, y en segundo lugar como ese conocimiento puede ser entregado e implementado por una máquina.



### 3.1. Fase 1: Extracción de conocimiento

#### Comprensión del problema

En primer lugar, se identificó la tipología o caso a analizar y se optó por esquemas de distribución de espacios en plantas de viviendas. Esto debido a que lo importante para esta investigación es el proceso de diseño en su fase preliminar, es decir, los primeros acercamientos a la resolución de una planta arquitectónica. Se definió el uso de esquemas dado que estos usan símbolos convencionales para representar los componentes de un edificio y además tienen un sentido espacial (Yi-Luen Do, 1995) por sobre representaciones de plantas de proyectos inmobiliarios terminados o diagramas más simples como los de burbuja. Dentro del conocimiento semántico encontrado en los esquemas es posible separar la información de nodos y conexiones. Los nodos corresponden a los espacios y sus atributos, y las conexiones al tipo de relación existente entre los espacios.

#### Identificación de datos

Al trabajar con inteligencia artificial y redes neuronales es fundamental saber cuáles son los datos requeridos y esperados, por lo que el set de datos es determinante para su implementación. En esta investigación se definió que los datos importantes a extraer de las plantas esquemáticas arquitectónicas son las relaciones topológicas de conexión entre las habitaciones. Para definir estas relaciones se utilizó el razonamiento espacial basado en las relaciones de conexión de cálculo RCC8, estas son DC: desconectado, EC: conectados por una arista, EQ: equivalentes, PO: traslape, Tppi: dentro de tangencial, NTppi: Dentro de no tangencial como puede observarse en la figura 5. Dado el carácter cualitativo de estas relaciones, deben ser procesadas por un algoritmo de procesamiento de lenguaje natural (Yandong Wang et al, 2018)

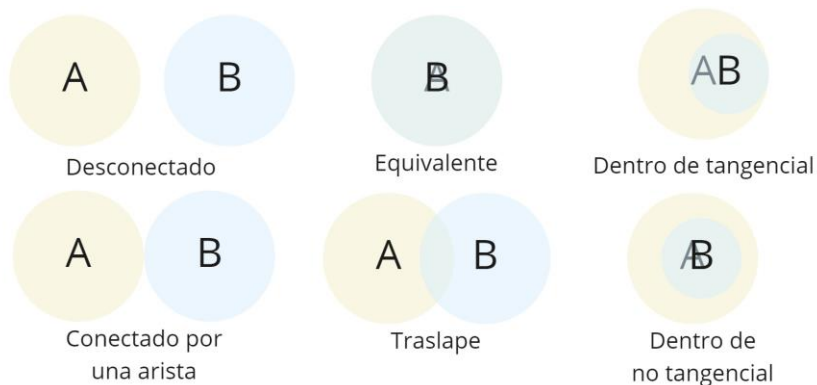
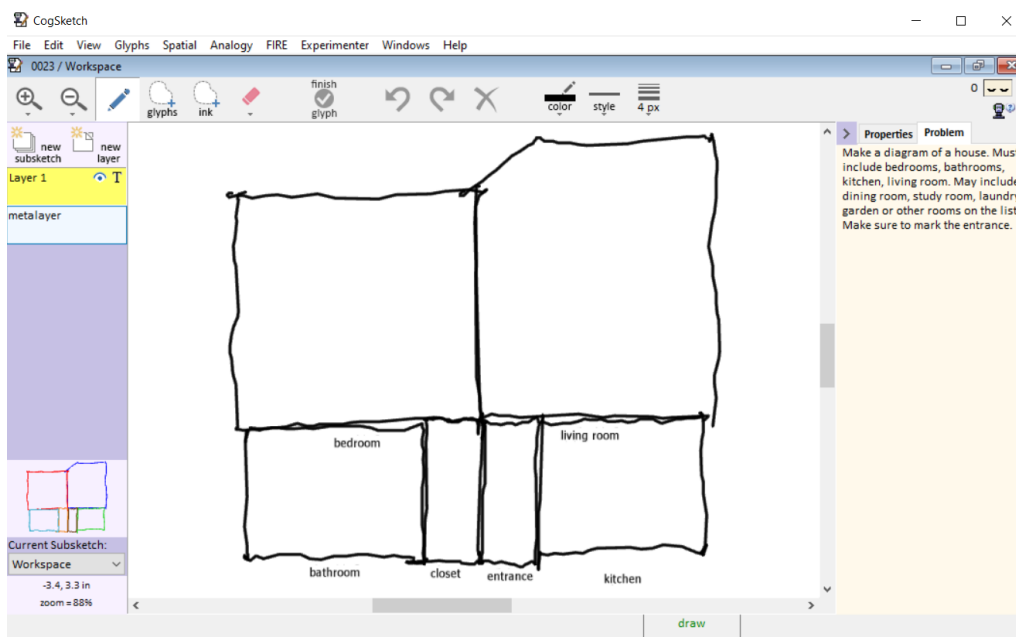


Figura 5: Tipos de relaciones RCC8. Elaboración propia a partir de Yandong Wang et.al. (2018)

#### Recopilación de datos

Las investigaciones dentro del campo de ciencia de datos utilizan *datasets* públicos o elaboran los propios a partir de los recursos que se tienen. En esta investigación, dado su

carácter experimental dentro de la disciplina de la arquitectura y específico apuntando a una fase del proceso de diseño arquitectónico, no existían datos, por lo que se elaboró un *dataset* propio a partir de dibujos recolectados en las facultades de arquitectura de la Universidad de Chile y la Universidad Católica con estudiantes desde taller 7 en adelante, profesores, ayudantes y arquitectos profesionales. Estos dibujos fueron recolectados usando Cogsketch, un programa de comprensión de sketches que proporciona una interfaz que nos permite asignar significado a lo dibujado. Este programa integra un conjunto de rutinas de procesamiento visual y espacial para codificar las propiedades de un dibujo de una manera similar a la humana, además de una gran biblioteca de conocimiento sobre el mundo para proporcionar su comprensión conceptual del dibujo. (Forbus, K., & Wetzel, J., 2020). Cogsketch se enfoca en mejorar la comprensión visual y la comprensión conceptual, luego usa esta información semántica para razonar sobre los sketches. Los sketches se hacen en una hoja de trabajo que contiene un problema declarado, cada dibujo es denominado un glifo y cada glifo debe ser asignado como una entidad, relación o anotación que pueden ser abiertos o previamente definidos por el creador de la hoja de trabajo. En este caso el problema declarado fue “Dibuje un esquema de una casa. Debe incluir habitación, baño, cocina, y estar. Puede incluir comedor, sala de estudio, logia, patio u otros espacios de la lista. Asegúrese de marcar la entrada” donde cada glifo era etiquetado como una entidad a partir de una lista finita de espacios. La representación y el razonamiento espacial en Cogsketch se basa en la estructura de los sketches y en consideraciones de fidelidad, almacenando todos los resultados en memoria caché para poder usarlos en las explicaciones (Usher; Lovett, 2010). El programa es capaz de computar las relaciones topológicas a partir de las relaciones RCC8 como intersecciones, contenciones o superposiciones basadas en relaciones de desconectado, tangentes o conectados por una arista.



**Figura 6:** Hoja de trabajo con la declaración del problema. Esquema 023

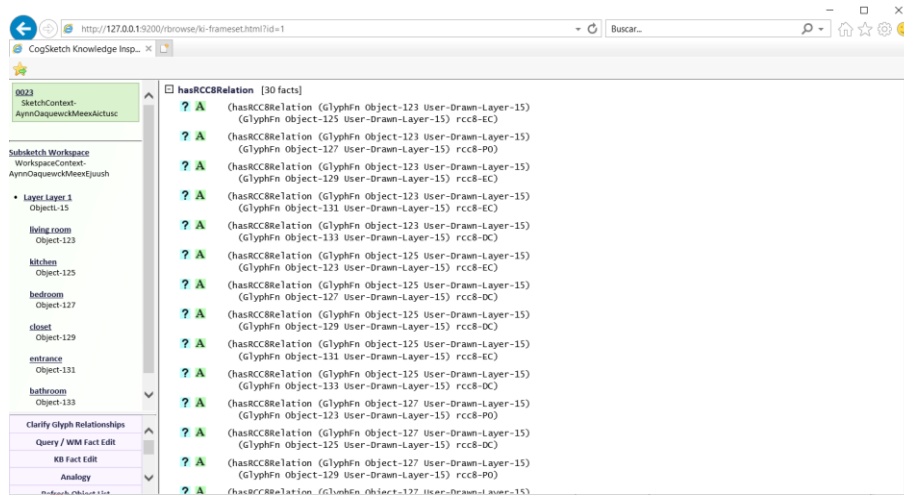


Figura 7: Conocimiento total acerca del sketch entregado por CogSketch.

### Preprocesamiento de datos

Posterior a la recolección de los diagramas se extrajeron los datos desde CogSketch para ser convertidos en estructura de datos. CogSketch permite mostrar el conocimiento total de los dibujos en formato HTML, el cual puede ser exportado a una planilla de cálculo. Luego de la extracción de datos y exportación a la planilla de cálculo, se realizó una limpieza de los datos convirtiendo el conocimiento total del dibujo en tablas de datos de las etiquetas y las relaciones. Esta limpieza de datos se realizó con macros o procesos de automatización, pero dada la variabilidad de los dibujos, la cantidad de etiquetas y relaciones, este proceso debió contar con una revisión a mano en cada una de las planillas. Tras concluir el ordenamiento de los datos en la hoja de cálculo se generan dos archivos, una tabla de relaciones en archivo .csv con “habitación 1”, “habitación 2” y “tipo de relación”, y una cadena de texto en archivo .txt con los mismos datos escritos en prosa de la forma - “habitación 1” tiene una relación del tipo “tipo de relación” con “habitación 2”. Estos archivos se usaron respectivamente como output e input para entrenar la red neuronal.

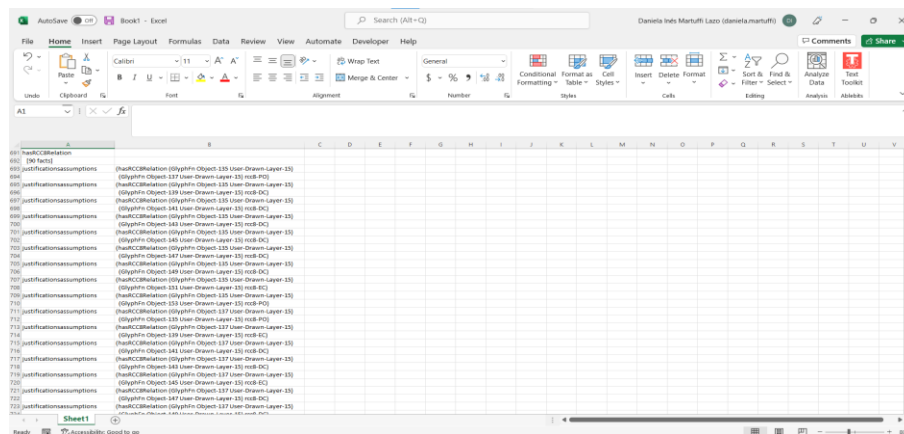


Figura 8: Datos exportados a Excel sin procesar.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data rows (rows 363-393):

Row	Column A	Column B	Column C	Column D	Column E	Column F	Column G	Column H	Column I	Column J	Column K	Column L	Column M	Column N	Column O	Column P	Column Q
363	hasRCCRelation																
364	[BQ]acts																
365	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	LivingRoom	User-Drawn-Layer-15											
366				GlyphF	Kitchen	User-Drawn-Layer-15	rccB-EC										
367	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	LivingRoom	User-Drawn-Layer-15											
368				GlyphF	Bedroom	User-Drawn-Layer-15	rccB-PO										
369	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	LivingRoom	User-Drawn-Layer-15											
370				GlyphF	Closet	User-Drawn-Layer-15	rccB-EC										
371	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	LivingRoom	User-Drawn-Layer-15											
372				GlyphF	Entrance	User-Drawn-Layer-15	rccB-DC										
373	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	LivingRoom	User-Drawn-Layer-15											
374				GlyphF	Bathroom	User-Drawn-Layer-15	rccB-DC										
375	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	Kitchen	User-Drawn-Layer-15											
376				GlyphF	LivingRoom	User-Drawn-Layer-15	rccB-EC										
377	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	Kitchen	User-Drawn-Layer-15											
378				GlyphF	Bedroom	User-Drawn-Layer-15	rccB-DC										
379	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	Closet	User-Drawn-Layer-15											
380				GlyphF	Kitchen	User-Drawn-Layer-15	rccB-DC										
381	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	Entrance	User-Drawn-Layer-15											
382				GlyphF	Kitchen	User-Drawn-Layer-15	rccB-EC										
383	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	LivingRoom	User-Drawn-Layer-15											
384				GlyphF	Bedroom	User-Drawn-Layer-15	rccB-DC										
385	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	Bedroom	User-Drawn-Layer-15											
386				GlyphF	LivingRoom	User-Drawn-Layer-15	rccB-PO										
387	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	Bedroom	User-Drawn-Layer-15											
388				GlyphF	Kitchen	User-Drawn-Layer-15	rccB-DC										
389	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	Bedroom	User-Drawn-Layer-15											
390				GlyphF	Closet	User-Drawn-Layer-15	rccB-PO										
391	Justificationassumptions	hasRCCRelation		GlyphF	Bedroom	User-Drawn-Layer-15											

Figura 9: Datos ordenados.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data rows (rows 2-30):

Row	Column A	Column B	Column C	Column D	Column E	Column F	Column G	Column H	Column I	Column J	Column K	Column L	Column M	Column N	Column O	Column P	Column Q	Column R	Column S	Column T	Column U	Column V	Column W	Column X	Column Y
2	LivingRoom	Bedroom	rccB-EC																						
3	LivingRoom	Closet	rccB-EC																						
4	LivingRoom	Entrance	rccB-EC																						
5	LivingRoom	Bathroom	rccB-DC																						
6	Kitchen	LivingRoom	rccB-EC																						
7	Kitchen	Bedroom	rccB-DC																						
8	Kitchen	Closet	rccB-DC																						
9	Kitchen	Entrance	rccB-EC																						
10	Kitchen	Bathroom	rccB-DC																						
11	Bedroom	LivingRoom	rccB-PO																						
12	Bedroom	Kitchen	rccB-DC																						
13	Bedroom	Closet	rccB-DC																						
14	Bedroom	Entrance	rccB-EC																						
15	Bedroom	Bathroom	rccB-DC																						
16	Closet	LivingRoom	rccB-EC																						
17	Closet	Kitchen	rccB-DC																						
18	Closet	Bedroom	rccB-PO																						
19	Closet	Entrance	rccB-EC																						
20	Closet	Bathroom	rccB-DC																						
21	Entrance	LivingRoom	rccB-EC																						
22	Entrance	Kitchen	rccB-EC																						
23	Entrance	Bedroom	rccB-EC																						
24	Entrance	Closet	rccB-EC																						
25	Entrance	Bathroom	rccB-DC																						
26	Bathroom	LivingRoom	rccB-DC																						
27	Bathroom	Kitchen	rccB-DC																						
28	Bathroom	Bedroom	rccB-EC																						
29	Bathroom	Closet	rccB-EC																						
30	Bathroom	Entrance	rccB-EC																						

Figura 10: Tabla de relaciones para .csv.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data rows (rows 2-30):

Row	Column A	Column B	Column C	Column D	Column E	Column F	Column G	Column H	Column I	Column J	Column K	Column L	Column M	Column N	Column O	Column P	Column Q	Column R	Column S	Column T	Column U	Column V	Column W	Column X	Column Y
2	LivingRoom	HasA	rccB-PO	RelationWith	Bedroom	.																			
3	LivingRoom	HasA	rccB-EC	RelationWith	Closet	.																			
4	LivingRoom	HasA	rccB-EC	RelationWith	Entrance	.																			
5	LivingRoom	HasA	rccB-DC	RelationWith	Bathroom	.																			
6	Kitchen	HasA	rccB-EC	RelationWith	LivingRoom	.																			
7	Kitchen	HasA	rccB-DC	RelationWith	Bedroom	.																			
8	Kitchen	HasA	rccB-DC	RelationWith	Closet	.																			
9	Kitchen	HasA	rccB-EC	RelationWith	Entrance	.																			
10	Kitchen	HasA	rccB-DC	RelationWith	Bathroom	.																			
11	Bedroom	HasA	rccB-PO	RelationWith	LivingRoom	.																			
12	Bedroom	HasA	rccB-DC	RelationWith	Kitchen	.																			
13	Bedroom	HasA	rccB-PO	RelationWith	Closet	.																			
14	Bedroom	HasA	rccB-EC	RelationWith	Entrance	.																			
15	Bedroom	HasA	rccB-EC	RelationWith	Bathroom	.																			
16	Closet	HasA	rccB-EC	RelationWith	LivingRoom	.																			
17	Closet	HasA	rccB-DC	RelationWith	Kitchen	.																			
18	Closet	HasA	rccB-PO	RelationWith	Bedroom	.																			
19	Closet	HasA	rccB-EC	RelationWith	Entrance	.																			
20	Closet	HasA	rccB-EC	RelationWith	Bathroom	.																			
21	Entrance	HasA	rccB-EC	RelationWith	LivingRoom	.																			
22	Entrance	HasA	rccB-EC	RelationWith	Kitchen	.																			
23	Entrance	HasA	rccB-EC	RelationWith	Bedroom	.																			
24	Entrance	HasA	rccB-EC	RelationWith	Closet	.																			
25	Entrance	HasA	rccB-DC	RelationWith	Bathroom	.																			
26	Bathroom	HasA	rccB-DC	RelationWith	LivingRoom	.																			
27	Bathroom	HasA	rccB-DC	RelationWith	Kitchen	.																			
28	Bathroom	HasA	rccB-EC	RelationWith	Bedroom	.																			
29	Bathroom	HasA	rccB-EC	RelationWith	Closet	.																			
30	Bathroom	HasA	rccB-DC	RelationWith	Entrance	.																			

Figura 11: Cadenas de texto para .txt.

### 3.2. Fase 2: Entrega de conocimiento

La segunda fase en el diseño metodológico de esta investigación implica aplicar, según la metodología computacional, un modelo de procesamiento de lenguaje natural con redes neuronales artificiales. Para la implementación de este modelo debe utilizarse un entorno de desarrollo visual, en este caso Visual Studio Code y Google Collab, con python como lenguaje y como red neuronal artificial sequential keras para generar dos modelos, uno archivo .py y otro archivo .ipynb al que se le pueden integrar etiquetas. El modelo de procesamiento natural de lenguaje a utilizar es Word2Vec, un modelo que convierte los datos a vectores mediante la red neuronal artificial sequential keras, con el fin de aprender asociaciones de palabras desde cuerpos de texto. De esta forma, los pasos quedaron consignados de la siguiente manera:

#### Procesamiento de datos con modelo NLP

Para procesar los datos de Cogsketch se definieron dos cosas: La librería del input inicial con la carpeta de los archivos .csv previamente extraídos, y las relaciones que debía encontrar con una lista de etiquetas de relaciones definida como: `labels[i]= ["rcc8-DC", "rcc8-EC", "rcc8-PO", "rcc8-TPP", "rcc8-EQ", "rcc8-NTPP"]` con los valores desde 0 a 5 respectivamente. Posteriormente se creó una definición que recorriera los datos para crear una lista de espacios y una de etiquetas, las cuales deben ser llenadas entre sí. Para hacer esto, se convierte el archivo .cvs en un *dataframe* utilizando Pandas y se recorre para ingresar los espacios, determinando el número de espacios como `M = len(list_habit)`

#### Conversión del *dataframe* a matrices

Se ocupó *numpy zeros* para crear una matriz de tamaño MxM a partir de ceros. Luego se ingresó la lista de tipos de relaciones y se generó un ciclo `for` que hace un recorrido por el *dataframe* y la matriz. Con `list_habit.index` se incluyen las relaciones encontradas en el *dataframe* en la matriz, buscando el nombre de la relación y convirtiéndola a la posición del vector dentro de la matriz. Posteriormente, se imprime el número del archivo, la lista de etiquetas y la matriz con las relaciones.

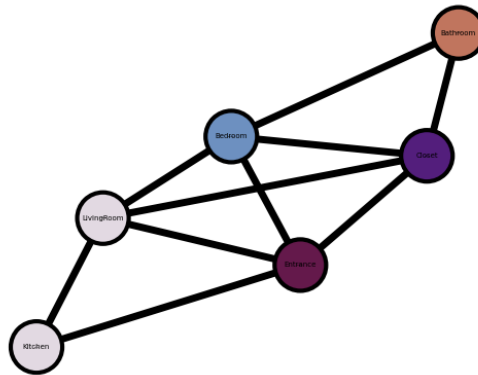
```
['Kitchen', 'Bedroom', 'Closet', 'Entrance', 'Bathroom', 'LivingRoom']
El archivo es el numero 023 y su cantidad de relaciones es 30
[[0, 16], [1, 16], [2, 4], [3, 0], [4, 0], [5, 0]]

[[0. 0. 0. 1. 0. 1.]
 [0. 0. 2. 1. 1. 2.]
 [0. 2. 0. 1. 1. 1.]
 [1. 1. 1. 0. 0. 1.]
 [0. 1. 1. 0. 0. 0.]
 [1. 2. 1. 1. 0. 0.]]
```

Figura 12: Matriz de relaciones. Esquema 023.

### Diseño y creación de grafos a partir de matrices

Uno de los aspectos más importantes al realizar los gráficos es la manera en la que serán generados. Para esta investigación se utilizó el modelo *NetworkX*, una librería de *python* para el análisis de estructura, dinámica y función de redes complejas. Se optó por este modelo dado que decide las posiciones convenientes de los nodos evitando nudos en los conectores, en este caso, los grafos se generaron de forma *spring*, simulando una fuerza de conexión que mantiene los conectores cerca mientras trata de repeler los nodos. A su vez, se separó los valores de cada espacio por colores y se les atribuyó una posición (x,y). Para su creación, se creó una función `main` para generar los grafos a partir del *dataframe*, la cual recorre todo el directorio de matrices y genera iteraciones de cada archivo mediante `relation_matrix=df_to_node(filename)`.



**Figura 13:** Grafo de nodos. Esquema 023.

Sintetizando, la metodología de la investigación dividida en dos fases trabajó primero de forma cualitativa capturando el conocimiento implícito extraíble del stock de conocimiento común de los arquitectos, desde su comprensión, identificación y recopilación hasta su decodificación gracias al análisis semántico hecho en Cogsketch, y en un segundo lugar, entregando el conocimiento a la red neuronal a través del procesamiento de la información semántica convertida a vectores por un modelo de NLP para crear matrices y grafos de nodos.

## 4. Resultados

En primera instancia, es necesario hacer la distinción entre los tipos de resultados de la investigación basados en datos estadísticos y cualitativos. Se definieron los datos estadísticos como los datos disgregados obtenidos a partir de la metodología del estudio, en este caso, datos numéricos sobre la cantidad de etiquetas y relaciones entre los espacios. Los datos estadísticos obtenidos en esta investigación son datos discretos, es decir, que tienen un número de posibles valores limitados a partir del número de espacios en una vivienda.

Por otro lado, los datos cualitativos fueron definidos como datos descriptivos, propiedades y características que se obtuvieron como el tipo de relaciones, el método de obtención de datos, el funcionamiento de la red en el proceso de explicitar el conocimiento implícito y los datos temáticos junto con sus atributos. Los datos temáticos son entendidos como los datos relacionados a un tema o sujeto particular. En esta investigación los datos temáticos son las representaciones de reinterpretación gráfica de los datos semánticos.

#### 4.1. Resultados estadísticos

Los datos estadísticos se extrajeron mediante análisis a partir de 150 diagramas, tanto de manera individual con 150 análisis, uno por diagrama, como de forma colectiva como un conjunto de datos dentro de un *dataframe*.

Al analizar los datos de forma global es posible hacer observaciones sobre las cantidades de espacios (etiquetas). El espacio más frecuente fue la habitación (*bedroom*) con 298 apariciones y la menos frecuente *garage* con 22 apariciones. También fue posible observar que los esquemas con menos espacios fueron los esquemas que solo propusieron lo requerido, es decir, los 5 espacios básicos explicitados en el problema que se entregó a los participantes: entrada, habitación, baño, cocina y estar. Por otro lado, el esquema con más dibujos fue el número 141 con 20 espacios. El promedio de espacios por esquema es de 9.1 espacios y la cantidad total de espacios en los 150 dibujos fue de 1347.

Sobre las relaciones es posible determinar que la cantidad mínima de relaciones en un esquema es de 20, esto porque los espacios mínimos requeridos son 5, de los cuales cada uno tiene relación con los otros 4. La cantidad máxima de relaciones está sujeta a la cantidad de espacios propuestos, como el esquema número 141 tiene 20 espacios, es por ende la que más relaciones tiene con 380 relaciones. A partir de este modo de extraer el resultado es posible determinar que la cantidad de relaciones tiene una función de  $(N^2)-N$ , sin embargo, este dato es insuficiente dado que gran porcentaje de las relaciones es 0 o “desconectado” (DC). La cantidad de relaciones totales es

[0, 8449], [1, 3576], [2, 1204], [3, 41], [4, 0], [5, 9]

de donde es posible extraer el porcentaje de las relaciones con un 63.5% de desconectado, 26.9% de conectados por una arista, 9% de traslape, 0.3% de dentro de tangencial y 0.06% de dentro de no tangencial.

Dado este resultado, es posible observar que la relación más común es DC, ya que todos los espacios etiquetados presentes en el dibujo que no estén adyacente a una habitación estarán desconectados de ella. La segunda relación más común es EC, conectado por una arista, ya que las habitaciones suelen tener 4 caras de adyacencia y conectar al menos dos de ellas.

Un resultado importante sobre la frecuencia de las relaciones es la cantidad de relaciones dada la dupla de espacios, la cual varía según si se toma en cuenta la relación de “desconectado”. Para efectos de un mejor análisis la relación de “desconectado” se obvia

para el análisis dado que entrega información no relevante a nivel global y distorsiona los datos. A partir de la tabla de relaciones totales entre espacios (Figura 14), es posible observar que la relación más frecuente se da entre habitación-pasillo, habitación-habitación y habitación-baño. También se puede constatar que los espacios de closet, comedor, entrada, estar, logia y bodegas suelen ser únicos o no tener relación de adyacencia con un espacio del mismo tipo.

	'Bedroom'	'Bathroom'	'Closet'	'DiningRoom'	'Kitchen'	'Entrance'	'Garden'	'LivingRoom'	'Hallway'	'StudyRoom'	'LaundryRoom'	'StorageRoom'	'Garage'
Bedroom	214	207	49	27	42	42	74	101	227	24	2	6	5
Bathroom	207	44	46	16	61	32	24	45	146	15	4	7	5
Closet	49	46	0	2	2	5	3	9	22	1	3	1	1
Dining Room	27	16	2	0	64	20	22	80	53	5	5	5	4
Kitchen	42	60	2	64	2	51	27	94	93	12	18	9	6
Entrance	42	32	5	20	50	0	9	55	54	10	2	9	4
garden	72	24	3	22	27	10	4	50	34	4	6	7	6
LivingRoom	101	45	9	80	94	56	50	0	105	14	11	10	3
Hallway	227	146	22	53	93	55	34	105	30	24	8	11	4
Studyroom	24	15	1	5	12	9	4	14	24	2	1	1	0
laundryroom	2	4	3	4	17	2	6	11	8	1	0	4	0
storageroom	6	7	1	5	8	8	7	10	10	1	4	0	1
Garage	6	5	1	4	6	4	7	3	4	0	0	1	2

Figura 14: Tabla de datos relacionales totales.

#### 4.2. Resultados cualitativos

Es posible determinar como resultado el método de obtención de datos y la codificación de las relaciones a partir de la extracción del conocimiento semántico implícito en los esquemas de distribución de espacios de una vivienda. Esto genera dos reinterpretaciones por parte de la red neuronal a partir del modelo de NLP, los cuales son presentados como datos temáticos, las matrices de adyacencia y los grafos de nodos.

Los primeros resultados de esta investigación, como se mencionó en la metodología, son los dibujos producidos en CogsKetch. Estos diagramas de disposición de espacios reflejan el stock de conocimiento común que poseemos las y los arquitectos al momento de tomar decisiones proyectuales, que permiten armar una composición geométrica en base a nuestro conocimiento implícito sobre las relaciones de estos espacios. Como segundo resultado se obtuvo la información semántica de las relaciones de adyacencia basado en las relaciones de conexión de cálculo RCC8 en formato \*.csv, formando una base de datos.

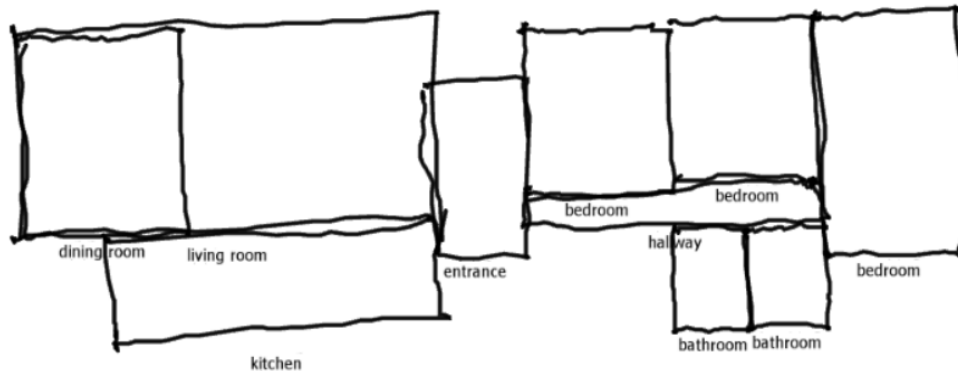


Figura 15: Esquema de distribución de planta 024.



En una segunda fase, en los resultados obtenidos a partir del procesamiento con de la red neuronal fue posible constatar contenido y proceso como los datos temáticos y las estrategias de extracción de conocimiento. Así, mientras los datos temáticos de la investigación corresponden a las reinterpretaciones gráficas computacionales del conocimiento extraído del stock común de los arquitectos, la red neuronal nos entrega una matriz de adyacencia y un grafo de nodos.

```
['Entrance', 'Bedroom1', 'Bedroom2', 'Bedroom3', 'Hallway', 'Bathroom1', 'Bathroom2', 'Kitchen', 'DiningRoom', 'LivingRoom']
El archivo es el numero 024 y su cantidad de relaciones es 90
[[0, 68], [1, 25], [2, 5], [3, 2], [4, 0], [5, 0]]
```

```
[[0. 1. 0. 0. 1. 0. 0. 1. 0. 2.]
 [1. 0. 1. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0.]
 [0. 1. 0. 2. 1. 0. 0. 0. 0. 0.]
 [0. 0. 2. 0. 2. 0. 1. 0. 0. 0.]
 [1. 1. 1. 2. 0. 1. 1. 0. 0. 0.]
 [0. 0. 0. 0. 1. 0. 1. 0. 0. 0.]
 [0. 0. 0. 1. 1. 1. 0. 0. 0. 0.]
 [1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 1.]
 [0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 3.]
 [2. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 3. 0.]]
```

**Figura 16:** Matriz de relaciones. Esquema 024

Las matrices de adyacencia mostradas en la Figura 16 representan los datos de las relaciones ordenadas en forma de una matriz de tamaño NxN, donde N representa el número de espacios. Las filas y columnas representan cada habitación y en su intersección está determinada el tipo de relación. Las relaciones fueron establecidas como 0 para “desconectado”, 1 para “conectado por una arista”, 2 para “traslape”, 3 para “dentro de tangencialmente” y 4 para “dentro de no tangencialmente”. Para clarificar la matriz se asumió que todos los elementos se relacionan consigo mismos creando una diagonal de 0 en la matriz desde la esquina superior izquierda hacia la esquina inferior derecha. También se asumió que las relaciones son bidireccionales, es decir, si A está adyacente a B, entonces B está adyacente a A, por lo cual la diagonal corresponde al eje de simetría de la matriz.

El grafo de nodos mostrado en la figura 17, muestra los mismos datos de las relaciones espaciales reinterpretados por la red neuronal en forma de grafo topológico, donde los espacios están definidos como los nodos y la adyacencia por las líneas. Es importante clarificar que no se trata de un grafo de programa, dado que no fueron considerados particiones ni vanos, sino que de la distribución completa de los espacios dentro de la vivienda organizados de una manera más similar a las agrupaciones.

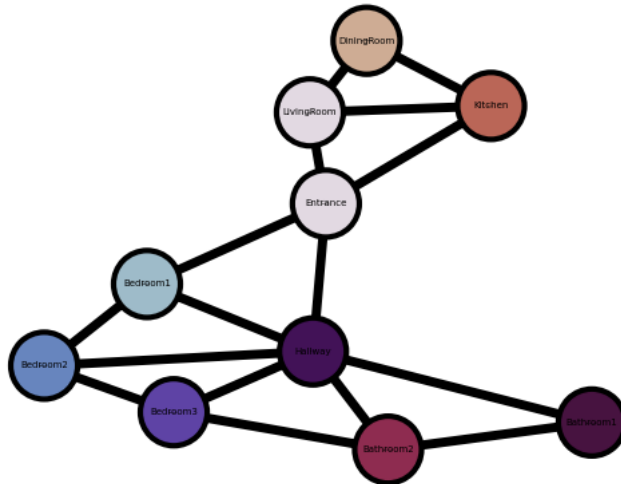


Figura 17: Grafo de nodos. Esquema 024.

### 4.3. Discusión de resultados

A partir de los datos temáticos es posible observar que los datos entregados por la red neuronal son un reflejo de lo que aprendió, en base a la estrategia utilizada para representar distintos inputs de datos de una misma manera. Esta estrategia a partir de las relaciones de adyacencia es solo una de las múltiples formas de abordar la formalización del problema de diseño, dado que las relaciones consideradas muestran solo una fracción del espacio dentro de la resolución del problema para la composición de la planimetría. Niedereer (2007) postuló que uno de los problemas existentes en la búsqueda de soluciones de diseño es la priorización explícita del conocimiento proposicional o explícito, dada su naturaleza basada en lenguaje, que excluye otros formatos de conocimientos asociados con la práctica. Es por esto que se busca explicitar el conocimiento implícito, para incluir su uso en la práctica y facilitar la identificación de soluciones potenciales o caminos para tratar los problemas identificados durante la etapa temprana de formulación arquitectónica

Dado que el conocimiento tácito es fundamental para desarrollar una técnica, y el conocimiento proposicional para tener la habilidad de discernir de maneras que van más allá de la lógica, como un juicio adquirido mediante la práctica (Niedereer, 2007), es necesario incluir ambos tipos de conocimiento en la práctica creativa y en el desarrollo de procesos de diseño para formular tanto problemas como soluciones. Esta inclusión puede darse por la sistematización y la codificación del proceso de diseño mediante los esquemas de distribución de espacios, dado que a partir de la decodificación de las relaciones es posible establecer porcentajes y patrones de cada relación, ya sea individualmente por grafo o común desde el *dataframe*, y generar representaciones que posibiliten otras opciones arquitectónicas.

Actualmente, al momento de aprender arquitectura en las escuelas, se espera que las y los estudiantes adquieran ciertas competencias para representar sus proyectos, análogas y

computacionales, y que puedan discernir sobre la selección de la forma de representación correcta, y desarrollar la capacidad de entender un edificio a partir de un conjunto de representaciones distintas. Al respecto, Eastman (2001) sostenía que se espera de las y los estudiantes que sean capaces de llevar a cabo simulaciones mentales de las actividades, evaluar las distintas perspectivas, hacer inferencias acerca del uso y la función de un edificio, entre otras tareas complejas.

Es por esto que la capacidad de desarrollar y navegar mentalmente representaciones adecuadas a nuestro conocimiento disciplinar es fundamental para guiar de forma activa el proceso de diseño, al lograr mediante ellas descomponer problemas, determinar consideraciones y desarrollar un criterio de evaluación para llegar a un resultado de diseño. La sistematización de la secuencia de operaciones para extraer el conocimiento implícito en la distribución de los espacios propuesta en esta investigación puede entenderse como una forma de revelar dicho proceso, al mismo tiempo que explicita los criterios mediante los cuales es posible buscar una solución a la formalización del problema de diseño.

Esta declaración de sistematización, se define computacionalmente como una secuencia de instrucciones por parte de un operador para lograr cierto fin, en el caso de las redes neuronales y la inteligencia artificial, Winograd y Flores (1986) dicen que la máquina funciona con antecedentes sólo en la medida en que los antecedentes estén articulados y plasmados en su programa, pero que, para describir nuestro pre-entendimiento y entrégalo a la máquina, debemos hacerlo en un lenguaje y con antecedentes que reflejan por sí mismos un pre entendimiento. Esto quiere decir que al momento de entregar conocimiento a la máquina debemos ser capaces de observar, distinguir y entender cuál es el conocimiento que entregamos y de qué forma lo hacemos. Simon (1960) dice que “independiente de si simula o no el comportamiento humano, un programa de esta naturaleza en particular puede ser de gran valor como un medio artificial para manejar o direccionar la tarea de procesar información compleja” y que, en ese caso, el procesador de información estaría tratando con una “concepción especial y limitada de la actividad intelectual humana”. A pesar de las dudas que puede producir “que una máquina piense como humano” diversos autores del ámbito de inteligencia artificial como Neisser, Newell y Simon han hecho notar las diferencias entre humanos y computadoras y han llegado a la conclusión de que lo único común que pueden afirmar, es que es la función de uno la cual puede ser reproducida con la ayuda del otro.

Esto lleva a cuestionar entonces cuál es la función de la arquitectura y como un proceso de sistematización mediante redes neuronales puede afectar en ella. Adrian Forty (2000) postula que en la arquitectura tenemos una teoría sobre la función reciente, y propone identificar el significado de función antes de ser otorgada su coherencia e intensidad contemporánea. Para esto, describe como hasta el final del siglo XIX la “función” fue un término asociado a la tectónica o estructura del edificio. A partir del siglo XX se le otorga al término que los edificios debían actuar en función de las personas o de alguna materia social. Considera al menos 5 usos del término desde 1530, y dice que es un término complejo porque funciona como una metáfora que busca definiciones desde la matemática, la biología y la sociología.

Para ahondar en el término, Forty cita a diversos autores en su libro "Form and Function". Greenough (1958) escribe sobre la función como uso, como "repartir los espacios por conveniencia, decidir su tamaño y modelar sus formas por sus funciones son los actos que organizan un edificio" y Paul Frankl (1914) concibe el concepto de "intención de propósito", dejando claro que "propósito" no tiene relación con la construcción sino con un problema teórico, como la realización de que si bien es posible analizar el espacio en término de estética, sin un sentido de uso para el cual el espacio fue destinado, permanece insignificante. Estos argumentos desde la teoría de la arquitectura sirven para reflexionar sobre el rol de los distintos softwares que actualmente proponen configuraciones espaciales a partir de una distribución más "óptima" geométricamente, o un orden dado los límites y los metros cuadrados requeridos, sin embargo, estos programas no ofrecen un fundamento basado en la reinterpretación del conocimiento que poseemos y hemos desarrollado las y los arquitectos. Al respecto, Alison y Peter Smithson (1957) mencionaban sobre Walter Gropius que "el funcionalismo no era considerado solamente como un proceso racionalista, sino que el término funcional debe incluir valores irracionales y simbólicos". Estos valores es posible entenderlos como la internalización de la experiencia, los cuales pueden producir conocimiento procedural, utilizado posteriormente para reinterpretar el problema de diseño cuando se requiera. Acerca de esto, es importante recordar que para Baudrillard (1972), "la funcionalidad no es más que un sistema de interpretación" y para Lefebvre (1974), la función era una de las características del "espacio abstracto", mencionando que "la ciencia del espacio debería ser vista como la ciencia del uso", advirtiendo que "es inexacto y reduccionista definir el uso sólo en términos de la función como propone el funcionalismo". En resumen, los resultados de este estudio, específicamente, las matrices y los grafos generados por la red neuronal, permiten demostrar patrones y relaciones numéricas en el proceso de esquematización de la distribución de los espacios de una vivienda. Estos datos aportan evidencia para esbozar una respuesta a la pregunta de qué datos es posible explicitar del stock de conocimiento común de las y los arquitectos y nos lleva al cuestionamiento de la función en la arquitectura mediante la extracción del conocimiento implícito como un propósito y como un conocimiento dado por la experiencia, y a la reinterpretación y la sistematización de los procesos como estrategia de diseño posible de adquirir al trabajar con redes neuronales.

## **5. Conclusiones**

Esta investigación buscó explorar maneras de representar conocimiento tácito implícito con inteligencia artificial, específicamente redes neuronales, a partir de la extracción del conocimiento desde los esquemas de distribución de una planta arquitectónica como una sistematización de las estrategias de diseño. Los resultados de este trabajo presentan un método de integración de redes neuronales al proceso de diseño, a partir de los resultados obtenidos al explicitar conocimiento semántico implícito en los esquemas de distribución de espacios en una vivienda. Dado esto, es posible concluir que los resultados obtenidos a partir de la red neuronal son una base de datos de información semántica sobre las relaciones de

adyacencia extraídos desde los diagramas de disposición de los espacios de una vivienda. Esta información sobre las relaciones es posible interpretarla como uno de los nodos de conocimiento implícito que se encuentra presente en el proceso de formalización del problema de diseño. Al evidenciar las relaciones de adyacencia es posible basar una estrategia para establecer la estructuración del problema.

A partir de los resultados, se discute cómo puede afectar la práctica de la arquitectura los puntos de vistas generados a partir de los procesos de diseño como procesos cognitivos y de la teoría de la función, de lo cual puede concluirse que al comprender el pensamiento de diseño como un razonamiento experiencial en base a una secuencia de operaciones como estrategia, es posible codificarlo para analizar, interpretar y representarlo de manera computacional. Esta base de datos de conocimiento en base a las estrategias y conocimientos implícitos presentes en el proceso de diseño nos permitirían reconocer y sistematizar uno de los múltiples tipos de formulación y resolución del problema arquitectónico.

La completa sistematización del proceso de toma de decisiones resulta casi inaccesible de llevar a cabo dada la exponencialidad del espacio del problema de diseño (Goel, 1994). Es por esto que es reduccionista pensar es que la estructuración y formulación del problema de diseño, así como el espacio de diseño, pueda acotarse sólo a las relaciones de adyacencia estudiadas en esta investigación, sin embargo, es posible aislarlos para deducir, codificar e implementar lineamientos generales que funcionen en forma de guía para asistir el proceso de diseño.

Como trabajo futuro, existe un potencial de la investigación en aportar al desarrollo de nuevas tecnologías de inteligencia artificial aplicadas a la disciplina de la arquitectura, donde a partir de la base de datos semánticos y la red neuronal implementada podrían generarse nuevas representaciones no solo interpretativas, sino que propositivas de las cuales podría beneficiarse el proceso de formulación arquitectónica al generar opciones y nuevas estrategias de diseño que aporten en la formalización del diseño final. Para esto sería necesario una base de datos mucho más extensa y de naturaleza real, no sintética o producida por una máquina, como los datos obtenidos para en investigación. Luego de presentar las conclusiones, la contribución de la investigación a la arquitectura y el trabajo futuro, aún queda espacio para nuevas preguntas relacionadas al rol que la inteligencia artificial puede llegar a tener en la disciplina, así como se analizó el rol que juega el conocimiento semántico en la construcción de representaciones la arquitectura, cabe cuestionarse por el aporte que otras representaciones de conocimiento presentes en nuestro stock de conocimiento común podrían ser explicitados e implementados a través de la codificación, y sí, especulamos, al integrar y combinar estos conocimientos sería posible reconstruir nuevos métodos de formalización de los problemas desestructurados y por ende nuevas aproximaciones proyectuales y métodos de la enseñanza en arquitectura.

Finalmente, y en un horizonte aún más lejano, queda abierta otra pregunta que nos indica otro camino posible de exploración: ¿Es posible enseñarle sobre arquitectura a la máquina? Sin duda, el tiempo lo dirá.

## Agradecimientos

Agradecer a mi profesor guía Dr. Pedro Soza, por siempre animarme a aprender cosas nuevas e involucrarme en el aprendizaje durante toda la investigación, a Sebastián Díaz por asistirme con la programación de las redes neuronales, al profesor Dr. Matías del Campo por mostrarme opciones e inspirarme con su trabajo a estudiar sobre inteligencia artificial, a Camila Bergasa de FCFM por compartirme sus clases de deep learning y a todas las personas que dispusieron de su tiempo y conocimiento para hacer los esquemas.

## Referencias

- Alpaydm, E. (2010). Introduction to Machine Learning Second Edition. In The MIT Press (Vol. 2). [https://doi.org/10.1007/978-1-62703-748-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-62703-748-8_7)
- Castelo-Branco, R., Caetano, I., & Leitão, A. (2022). Digital representation methods: The case of algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.12.008>
- Chaillou, S., & Gsd, H. (2019). *AI + Architecture*.
- Chollet, F. (2011). Deep learning with Python. In *The Lancet Neurology* (Vol. 10, Issue 2). [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(11\)70007-2](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(11)70007-2)
- CURT. (2004). Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation. The Construction Users Roundtable, August 14. <http://codebim.com/wp-content/uploads/2013/06/CurtCollaboration.pdf>
- Deng, C., Ji, X., Rainey, C., Zhang, J., & Lu, W. (2020). Integrating Machine Learning with Human Knowledge. *IScience*, 23(11), 101656. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101656>
- Forbus, K., & Wetzell, J. (2020). *CogSketch Manual*. 2020.
- Gero, J. S. (1990). Design prototypes: a knowledge representation schema for design. *AI Magazine* 11
- Goel, V. (1994). A Comparison of design and nondesign problem spaces. *Artificial Intelligence in Engineering*, 53-72, 9 (1). [http://dx.doi.org/10.1016/0954-1810\(94\)90006-X](http://dx.doi.org/10.1016/0954-1810(94)90006-X)
- Goel, V. (1995). *Sketches of Thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Goel, V. (1999). Cognitive role of ill-structured representations in preliminary design. *Database and Expert Systems Applications*, 131-143. <http://papers.cumincad.org/data/works/att/df70.content.pdf>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

- Kelly, N., & Gero, J. S. (2021). Design thinking and computational thinking: A dual process model for addressing design problems. *Design Science*, Ennis 1993, 1–15. <https://doi.org/10.1017/dsj.2021.7>
- Millán, E., Belmonte, M.-V., Boned, F.-J., Gavilanes, J., Pérez-de-la-Cruz, J.-L., & Díaz-López, C. (2022). Using machine learning techniques for architectural design tracking: An experimental study of the design of a shelter. *Journal of Building Engineering*, 51(November 2021), 104223. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104223>
- Niedderer, K. (2007). Mapping the meaning of knowledge in design research. *Nordes 2007: Design Inquiries*, 1(April), 1–27. <https://doi.org/10.21606/nordes.2007.002>
- Reitman, W.R. (1965). *Cognition and thought: an information processing approach*. Wiley.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence: A modern approach*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall.
- Schön, D. A., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing in designing. *Creativity and Innovation Management*, 1(2), 68–74. doi:10.1111/j.1467-8691.1992.tb00031.x
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence*, 4(3–4), 181–201. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(73\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0004-3702(73)90011-8)
- Soza Ruiz, P. A. (2018). On the role that specific domain knowledge and procedural strategies play in defining the episodic nature of architectural design formulation. August, 235.
- Strauss, A., & Glaser, B.G. (1967). *The Discovery of Grounded Theory*.
- T. Winograd & F. Flores. (1986). *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*
- Usher, J., & Lovett, A. (2010). *CogSketch Spatial Reasoning*.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*
- Yandong Wang, Mengling Qiao, Hui Liu & Xinyue Ye (2018): Qualitative spatial reasoning on topological relations by combining the semantic web and constraint satisfaction, *Geospatial Information Science*, DOI: 10.1080/10095020.2018.1430659
- Yi-Luen Do, E. (1995). What's in a Diagram That a Computer Should Understand? *Proceedings of the Sixth International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures*, 469–480.

## **Simulación computacional VR como método de evaluación pre-Ocupacional (PREOE): contraste entre el supuesto virtual y la realidad construida.**

**Estudiante:** Javier Ignacio Ochoa García

**Profesor guía:** Mauricio Loyola

### **Resumen**

Es importante que las propiedades de un modelo de realidad virtual (VR) respalden su propósito en el contexto específico en el que se utiliza. En esta investigación se hace una comparación directa entre el comportamiento de los habitantes en el entorno virtual en contraste con el entorno físico de un edificio construido. Los elementos principales del método son el uso de lentes de realidad virtual junto a herramientas computacionales de registro en tiempo real para el entorno virtual, y la utilización de cámaras de video para el registro de comportamiento en el entorno físico. El método evalúa en una serie de métodos de estudio que abarcan distintos comportamientos de los habitantes de un edificio, estos métodos son: “*wayfinding*” (comportamiento de orientación), Method of choice (Método de decisión -en inglés) y Señalamiento. Los resultados demostraron que el método Pre-ocupacional funciona, pero que pequeñas diferencias entre el modelo virtual y el edificio construido pueden traer diferencias sustanciales en el comportamiento de los habitantes de ambos entornos.

**Palabras clave:** Evaluación Pre-Ocupacional (PREOE), Evaluación Pos-Ocupacional (POE), Realidad Virtual, Wayfinding, Señalamiento, Método de decisión.



## 1. Introducción

Frecuentemente los ocupantes de los edificios diseñados por los arquitectos no son utilizados como fueron planeados en primer lugar, por lo que, como regla general, estos resultados se pueden analizar solo cuando el edificio ha sido construido. Esta diferencia entre lo que se diseña y cómo se utiliza realmente, el espacio diseñado recae en problemas concretos de eficiencia dentro de las instalaciones, como, por ejemplo, áreas pequeñas utilizadas por más personas de las esperadas, los problemas de los retrasos en los aeropuertos y pasajeros que pierden vuelos debido a un comportamiento de orientación (Wayfinding) ineficaz, uso de luces en espacios deshabitados, entre otros ejemplos (Vergara, 2020).

La piedra angular del problema no yace en la falta de experiencia, creatividad o interés por parte de los proyectistas, sino que es muy difícil predecir el comportamiento humano. Se ha intentado solucionar este problema mediante el desarrollo tecnológico de aparatos que puedan medir y calcular en tiempo real los problemas de diseño después de la construcción del edificio (Post-Occupancy Evaluation o POE), empleando remodelaciones constantes e instalaciones de equipos de eficiencia energética que permiten mejorar los problemas que aparecieron una vez el edificio es habitado, lo que recae en gastos no esperados o vagamente explicados en los presupuestos originales del edificio.

Además de este tipo de evaluaciones, se han hecho estudios de métodos para simular el comportamiento humano abordando el problema previamente a la construcción del edificio (Pre-Occupancy Evaluation o PREOE), ejemplos de esto son estudios basados en el desarrollo de inteligencia artificial a través de agentes virtuales en modelos BIM (Gath-Morad, Aguilar, Dalton, & Hölscher, 2020) los cuales resultan insuficientes al intentar predecir comportamiento humano aún con los avances actuales en desarrollo y programación de inteligencia artificial, y además no presentan contrastes con la vida real que puedan arrojar resultados concretos, sino que se mantienen en supuesto virtual, además hay muy pocos estudios en esta área que hayan validado este supuesto básico, y aún menos que hayan presentado una comparación directa entre el uso del edificio virtual y el real. (Ewart & Johnson, 2021)

Si el uso del método Pre-Ocupacional basado en Realidad virtual (VR) contempla elementos virtuales y reales, entonces puede ser utilizado como una herramienta más certera al determinar el comportamiento de los usuarios de un edificio antes de que este sea construido.

**Objetivo general:** Comprobar el uso del método Pre-Ocupacional basado en Realidad Virtual en un espacio virtual con el uso real del mismo.

**Objetivos específicos:**

- Extraer información cuantificable del comportamiento de personas dentro del modelo virtual BIM.

- Analizar el habitar de los usuarios dentro de instalaciones reales de un edificio.
- Contrastar el comportamiento humano en torno a Realidad Virtual con el comportamiento y uso del edificio real.

## 2. Antecedentes

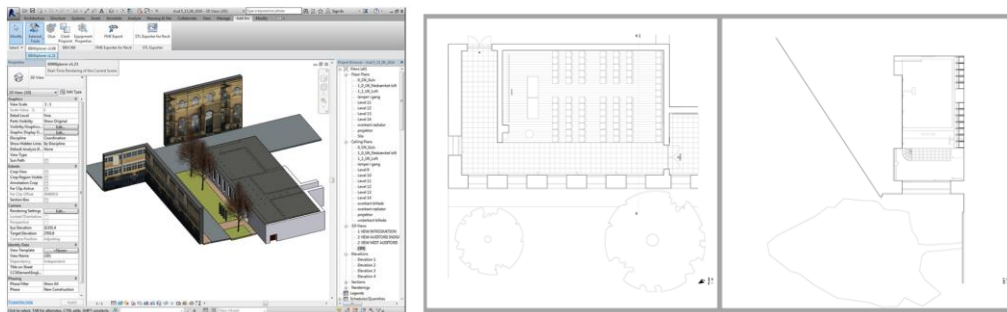
Los investigadores del diseño sostenible han mostrado un creciente interés en comprender y medir cómo los ocupantes perciben el entorno construido, por lo que distintos investigadores proponen los métodos de evaluaciones de edificios antes y después de su uso como manera de buscar una real sostenibilidad en los edificios.

Para buscar esta eficiencia energética y sostenibilidad se plantea que es necesario llevar a cabo evaluaciones antes y después de la ocupación del mismo edificio para recoger información oportuna sobre los factores de calidad ambiental interior (IEQ) y examinar su impacto en el entorno construido. La continua retroalimentación, incluyendo métodos pre ocupacionales (PREOE) y pos ocupacionales (POE) ofrecen una gran oportunidad para el crecimiento y el cambio en el área del diseño sostenible, ya que estos desafían la co-evolución y auto organización de todos los sistemas a lo largo del ciclo de vida de un edificio (Asojo, Vo, & Bae, 2021).

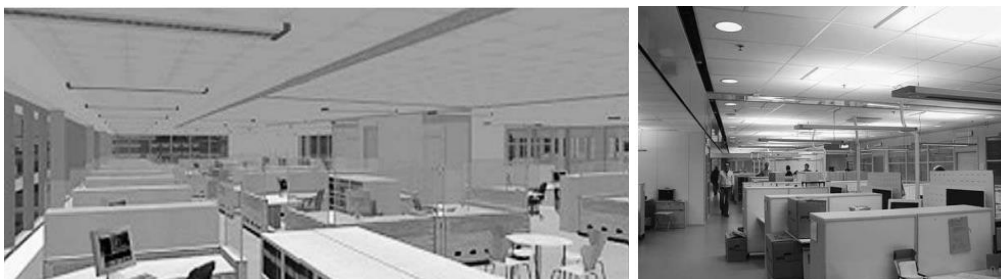
Reckermann (2008) propone que para co-crear satisfactoriamente experiencias para y con los habitantes y permitir que un sistema vivo evolucione para mayores potenciales, los flujos continuos de información pueden promover el aprendizaje y crecimiento para nosotros como humanos y para los sistemas más grandes en los que estamos integrados. Sin embargo, típicamente, los procesos de retroalimentación que apoyan la evolución de los sistemas son a menudo perdidos. Los métodos de evaluación pre-ocupacional que se realizan con poca frecuencia tienen lugar antes de que se construya el edificio ocupado pueden llevarse a cabo por varias razones y en varias etapas antes de la ocupación del edificio en función de su función. Los objetivos incluyen la optimización del espacio para obtener comentarios de los habitantes antes del diseño puede mejorar el diseño del edificio y reducir las posibles fuentes de descontento. Para esto, se pueden utilizar los métodos PREOP en diversas etapas de la fase de diseño de un edificio, desde la misma idea y planimetría en 2D hasta un proyecto con meses de trabajo y modelos BIM con grandes avances.

En el experimento realizado por Hermund, Klint, Bundgaard (2019), se realizó una comparación entre un espacio arquitectónico espacio comunicado como el propio espacio y sus dos representaciones diferentes, es decir un modelo de realidad virtual y los dibujos tradicionales de planta y sección (Figura1). Utilizando la tecnología de seguimiento ocular en combinación con cuestionarios cualitativos, se investigó un caso de estudio de un espacio arquitectónico en la realidad física, un modelo de realidad virtual 3D BIM y, por último, mediante la representación del espacio en planos y secciones. En este estudio, los resultados mostraron que el escenario de realidad virtual parece más cercano a la realidad que la experiencia del mismo espacio experimentada a través de dibujos de planos y secciones.

En el estudio de Westerdahl et al. (2005) se realiza un experimento en dos partes, en una primera instancia se compara el comportamiento de los participantes dentro de un modelo virtual en dos ambientes, uno dentro y otro fuera del edificio (ambos en realidad virtual). Como resultado, existieron correlaciones significativas que indican que las experiencias de los habitantes en las diferentes partes del modelo fueron parecidas dentro y fuera del edificio en un entorno virtual. Para la segunda parte del experimento, se realizó una comparación entre el mismo interior del edificio virtual, pero esta vez en contraste con el mismo diseño en la vida real (Figura2). En esta segunda parte del experimento los resultados fueron distintos a la primera parte, el comportamiento y percepción del interior fue distinto en ambos entornos, demostrando que existen diferencias en comportamiento entre quienes habitan un edificio habiendo experimentado su interior en VR de antemano antes de la vida real, que los participantes que visitaron el entorno real sin haber visto el entorno virtual de anteriormente. Se concluye en este experimento que la experiencia VR afecta la experiencia en el edificio real, además de que las diferencias en el comportamiento de los mismos participantes en realidad virtual están condicionadas a su experiencia y cercanía con computadoras.



**Figura 1:** Comparación de modelo virtual (izq) con representaciones 2D (der) (Hermund et al, 2019)



**Figura 2:** Ejemplos de modelos de entorno real (izq) y entorno físico (der) de un mismo edificio utilizado en el experimento. (Westerdahl, et al., 2006)

Tomando en consideración los últimos avances en realidad virtual (RV) que se extienden hacia los sectores de estudio de comportamiento humano como herramienta para probar y predecir los comportamientos de los ocupantes de los edificios en el área de la arquitectura, hay muy pocos estudios en esta área que hayan validado este supuesto básico, y aún menos

que hayan presentado una comparación directa entre el uso del edificio virtual y el real. Debido a los últimos avances tecnológicos en torno a artículos de realidad aumentada y desarrollo de software gráfico en torno a los mismos, se refleja que el estudio pre-ocupacional de edificios con realidad aumentada y espacios públicos presenta una prometedora forma de reducir la brecha existente en la predicción entre diseño de espacios y su utilización real, puede potenciar la eficacia con la que se diseñan las funciones de los espacios, así como también conceptos de eficiencia energética, tiempo con el que las personas se desempeñan en instalaciones tanto en edificios únicos como el espacio público entre otras aristas del comportamiento humano con el entorno construido.

### 3. Métodos

Para realizar una comparación del comportamiento de habitantes entre el espacio virtual y físico, fue realizado un estudio en forma de experimento de dos fases. La primera fase consiste en el desarrollo de un entorno virtual de un edificio existente y el desarrollo de herramientas de lectura de usuario para registrar el comportamiento de los participantes dentro de este mismo entorno, esta fase fue denominada “Fase Virtual”. La segunda fase consiste en registrar el comportamiento de los participantes utilizando herramientas de observación en la realidad física, denominada “Fase Física”. Finalmente se extraen los resultados de ambas fases para establecer una comparación bajo los mismos criterios con el fin de extraer conclusiones acerca de sus similitudes y sus diferencias.

El enfoque de estas dos fases es extraer información del comportamiento de los participantes bajo tres módulos de estudio: “Wayfinding” (“orientación” -en inglés) y Método de decisión (“Method of choice -en inglés) y Señalamiento. Wayfinding consiste en que los participantes deben encontrar un elemento del edificio caminando para alcanzar su objetivo, el Método de decisión consiste en que los participantes deben decidir con acciones qué decisión tomar, en este caso en particular que acceso escogieron. Por último, el método de señalamiento consiste en que deben señalar un lugar del edificio en el cual les interesaría realizar una acción (por ejemplo, sentarse, esperar, comer, esparcimiento, etc.)

Para la ejecución del experimento se utilizó un universo de participantes de **28** personas en el edificio de Diseño de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Los participantes eran personas que no conocían las instalaciones del edificio ni física ni virtualmente, su total desconocimiento fue crucial para la recolección de información. Todos los participantes debieron realizar ambas fases del experimento (la virtual y la física), pero no necesariamente en ese orden. A la primera mitad de participantes -**14** en este caso- se les pidió realizar primero la fase física y después la virtual, a este grupo de participantes lo llamamos “**Grupo A**”, la mitad restante de participantes realizaron primero la fase virtual y después la física, este grupo lo llamamos “**Grupo B**”.

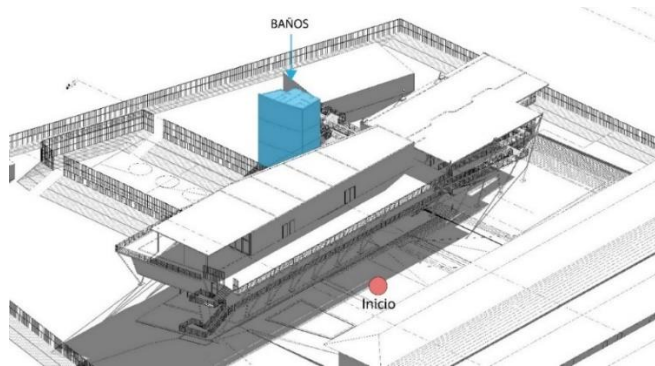
Para poder acercar las tareas de las fases a los participantes, las instrucciones fueron dadas en torno a un relato con el cual los participantes debían escuchar y seguir. Este relato estaba

relacionado con las tareas que debieron cumplir. A continuación, se presenta cada módulo de estudio y sus tareas específicas en forma de relato:

**Primera tarea (Wayfinding):**

En esta tarea se le pide al participante que se dirija hacia los baños del edificio (Figura3). Se le entrega información en forma de relato de la siguiente manera: -

*“Ahora mismo te encuentras en el Ágora de la universidad. Tu primera misión es encontrar los baños en el edificio que tienes a tu izquierda.”*

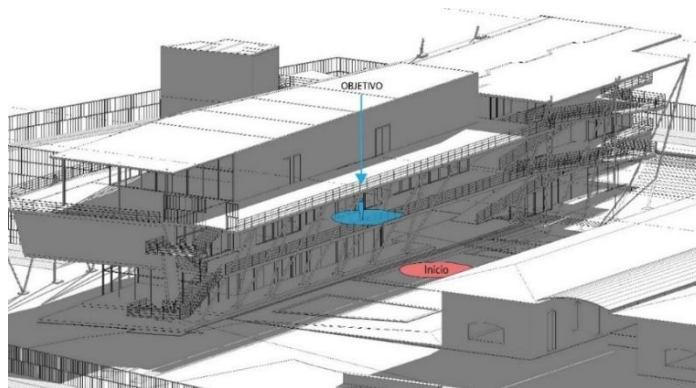


**Figura 3:** Elaboración propia. Primera tarea: “Encontrar los baños”.

**Segunda tarea (Método de decisión):**

En esta tarea se le pide al participante que se dirija hacia una persona que se encuentra en el segundo piso del edificio, en este caso, debe escoger la rampa o alguna escalera como acceso principal (Figura 4). Se le entrega información en forma de relato de la siguiente manera: -

*“Un amigo te está pidiendo que lo ayudes a llevar sus materiales a su casa después de clases. Está esperando por ti en el segundo piso del edificio a tu izquierda, justo frente a su sala de clases. Tiene forma de maniquí. ¡No lo hagas esperar! “*

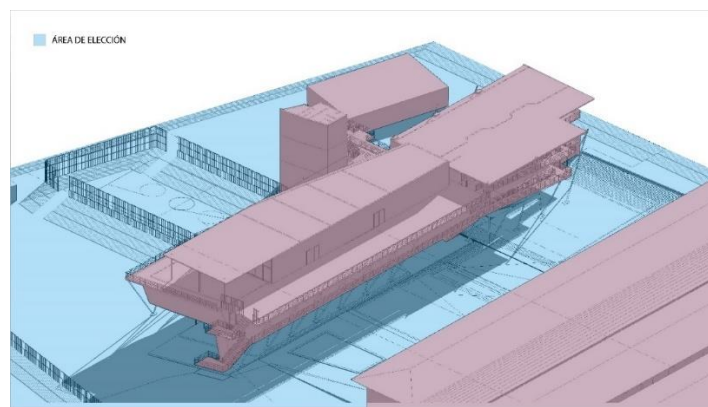


**Figura 4:** Elaboración propia. Segunda tarea: “Acceder al segundo piso”.

### **Tercera y cuarta tarea (Señalamiento):**

En esta tarea se le pide al participante que escoja dos lugares frente al edificio, uno en el que quiera sentarse y otro en el que no le gustaría sentarse (Figura 5). Se le entrega información en forma de relato de la siguiente manera:

*¡Tu amigo se ha olvidado que tenía una reunión con su profesor! Ha vuelto a la sala para una corrección rápida en su último proyecto de seminario de título. Debes esperar unos 20 minutos para que finalmente vayan juntos a su casa. Debes escoger un lugar donde te gustaría esperar sentado/a y uno en el cual no te gustaría. Puede ser donde quieras, ya sea en algún asiento o en los escalones de piedra, ¡donde quieras y estimes conveniente!*



**Figura 5.** Elaboración propia. Zona en azul refleja el área de elección.

### **3.1. Fase Física**

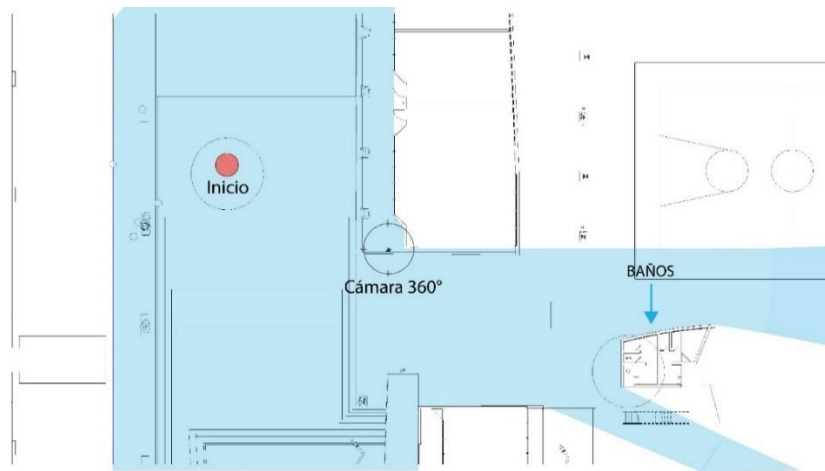
En esta fase se les pide a los participantes que cumplan con los módulos de estudio a través del edificio en el entorno físico. El experimento fue conducido por un evaluador quien se colocó en el punto inicial al comienzo de cada prueba (Figura 6), además fue él mismo quien relató cada tarea en forma de relato como fue estipulado en los módulos iniciales. El edificio estuvo deshabitado y al ser un edificio de carácter educacional se realizó el experimento un día donde la facultad estaba cerrada. Los participantes pasaron uno a uno, donde se les entregó la información para que cumplieran sus tareas sin límite de tiempo, el evaluador sólo relató la tarea al comienzo de cada módulo de estudio.

El recorrido de los participantes fue grabado en su totalidad, con una cámara 360 en la primera planta (Figura 9) y otro evaluador con una cámara de mano en el segundo nivel (Figura 10). Los videos fueron almacenados en una computadora, donde el experimentador observó y digitalizó el recorrido con la ayuda de planimetrías del edificio y puntos de referencia, trazando y marcando los objetivos de manera análoga para la muestra de resultados (Figura 7 y 8). Se grabaron 28 videos por cada cámara y el recorrido de cada

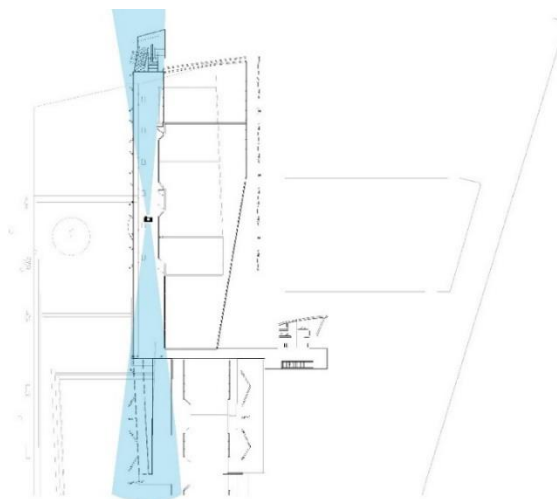
participante fue dibujado con una línea de color, esta fue representada sobre el modelo BIM con el cual se desarrolló la etapa virtual del experimento.



**Figura 6,7,8 de izq a de.** Elaboración propia. Registro de participantes realizando tareas en fase física.



**Figura 9.** Elaboración propia. Plano de primera planta del edificio con posición de cámara 360\*.



**Figura 10.** Elaboración propia. Plano de segunda planta del edificio con posición de cámara de mano.

### 3.2. Fase Virtual

Esta fase consiste en completar los módulos de estudio en un entorno virtual, donde los participantes ahora cumplen el rol de usuario los cuales puedan desempeñar las tareas utilizando visores VR dentro de un modelo 3D del edificio de estudio. El método de recolección de información fue realizado dentro del marco mismo del entorno virtual, utilizando las herramientas de *Unity 3D* en conjunto a *Dynamo* (entorno de programación visual de REVIT) para poder extraer información detallada y exacta de cómo se comportan los participantes dentro del modelo digital, de esta manera en esta fase el evaluador sólo tiene que otorgar información práctica acerca de los visores y su utilización, la información del experimento es registrada y almacenada en su totalidad por la computadora.



**Figura 11.** Elaboración propia. Esquema de flujo de trabajo de experimento en fase virtual.

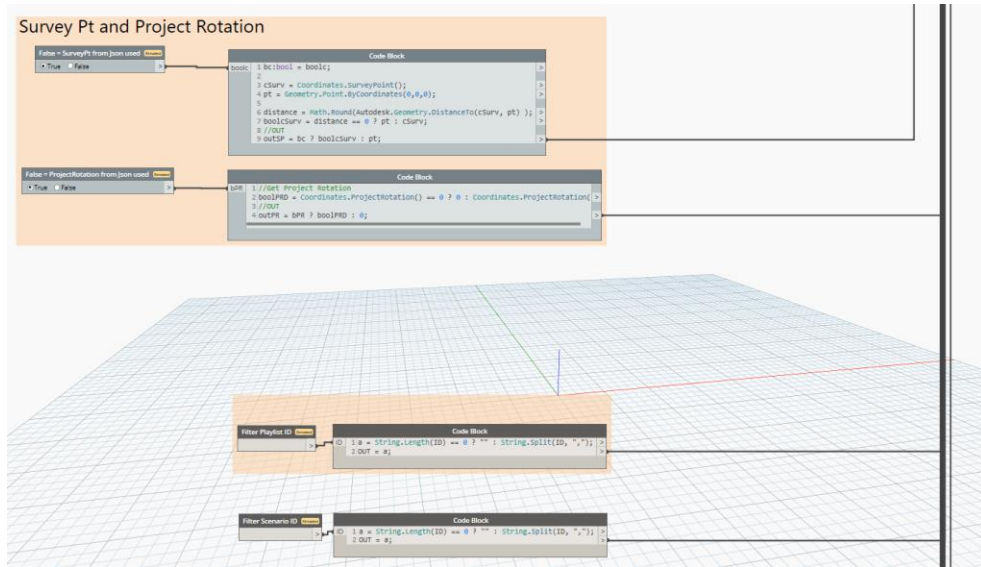
Para los módulos de estudio, se programó un texto al inicio de cada tarea, donde se explica en detalle y en forma de relato las instrucciones para los participantes. Para introducir a los participantes dentro del entorno virtual se hizo una tarea extra llamada “tutorial”, donde se explica cómo se utilizan los visores VR y los controles para moverse dentro del entorno virtual, una vez es terminado se ejecuta cada módulo de estudio uno a tras de otro.



**Figuras 12,13,14,15 en orden.** Elaboración propia. Vistas internas del modelo en Realidad Virtual.







**Figura 18.** Elaboración propia. Módulo en Dynamo sobre el modelo, exportación en lista como archivo de texto en formato JSON, para posterior análisis en ficha Excel para realizar cálculos de posición y tiempo.



**Figura 19.** Elaboración propia. Extracto de código JSON de registro de participante, con marcador inicial de posición y registro de tiempo de tarea.

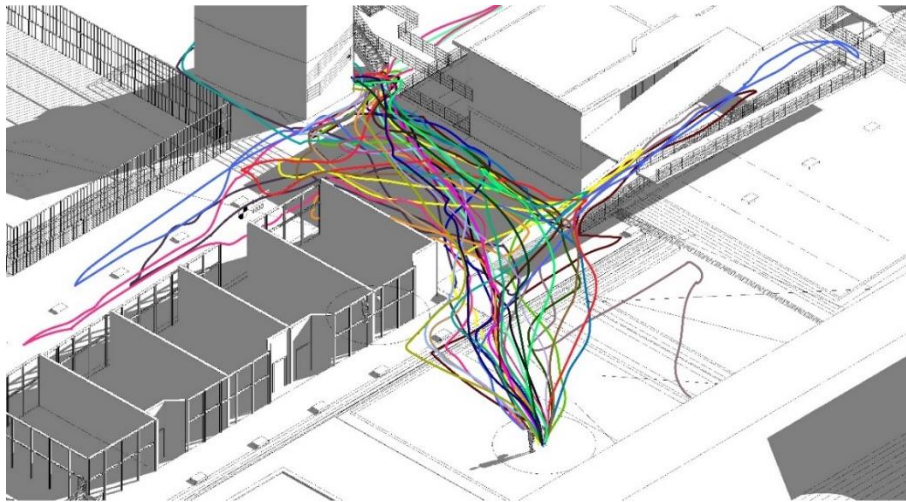
## 4. Resultados

Los resultados se muestran categorizados por **módulo de estudio**, comparando a su vez las dos fases y grupos A y B.

### 4.1. Primera tarea: Resultados Wayfinding - Búsqueda de baños en instalaciones.



**Figura 20.** Resultados de todos los participantes en Fase Virtual. Wayfinding: "Búsqueda de baño".



**Figura 21.** Resultados de todos los participantes Fase Física. Wayfinding: "Búsqueda de baño".

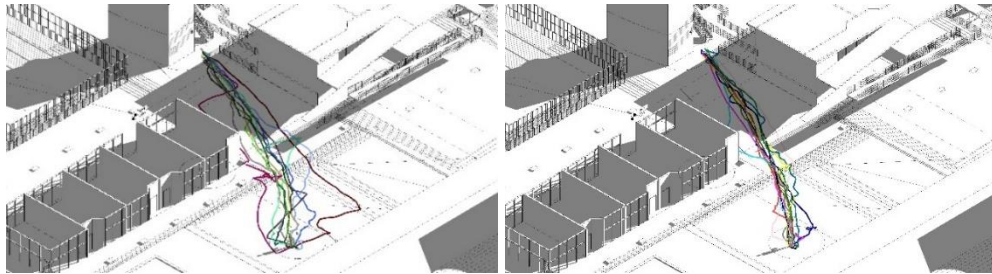
Ambas fases presentan diferencias visibles. En la fase física (Figura 21) los participantes recorrieron una distancia mayor a través del edificio, generando un recorrido mas sinuoso con respecto a la fase Virtual (Figura 20). En la fase física sólo un participante no pudo encontrar el objetivo de la tarea.

**Tabla 1:** Comparación de resultados de ambas fases en tiempo (minutos y segundos)

	Tiempo Promedio (mm:ss)	Desviación Estándar (mm:ss)
<b>Fase Física</b>	0:51	0:26
<b>Fase Virtual</b>	0:57	0:13

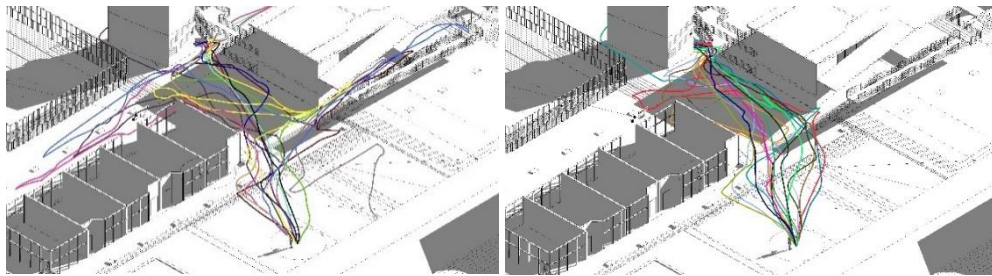
A pesar de la diferencia de recorridos, el tiempo de ejecución promedio para la tarea fue parecido, además la desviación estándar en ambos casos se duplica en el entorno físico, por lo que el comportamiento de todos los participantes es diferente en ambas fases (ver tabla 1). Esto puede deberse a que la velocidad en el entorno virtual para cada participante está bloqueada a 5 km/h, en cambio en la vida real los participantes realizaron las tareas a distintas velocidades, dependiendo de su condición física o estado emocional.

**Comparación de resultados por grupo**



**Figura 22.** Grupo A. Fase Virtual.

**Figura 23.** Grupo B. Fase Virtual.



**Figura 24.** Grupo A en Fase Física.

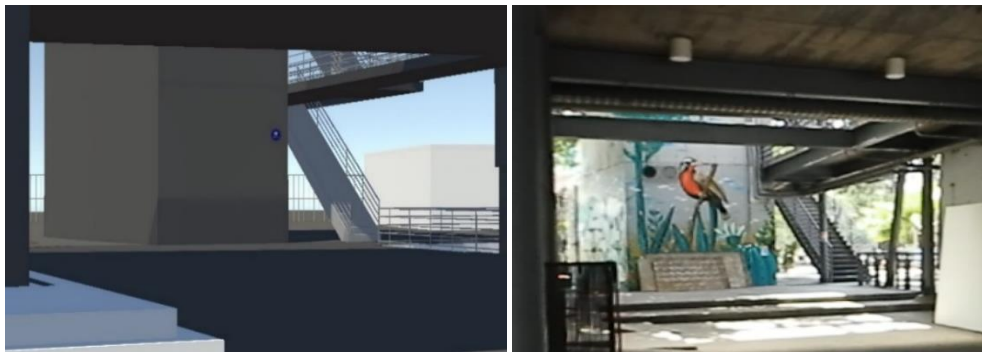
**Figura 25** Grupo B en Fase Física.

**Tabla 2:** Comparación de resultados por grupo de ambas fases en tiempo (Primera tarea).

	Tiempo Promedio (mm:ss)	Desviación Estándar (mm:ss)
<b>Grupo A – Fase Virtual</b>	0:55	0:17
<b>Grupo B – Fase Virtual</b>	1:00	0:09
<b>Grupo A – Fase Física</b>	1:02	0:29
<b>Grupo B – Fase Física</b>	0:37	0:15

En la comparación de los grupos en las distintas fases, comparamos al grupo A en su fase física (Figura 24) en contraste a el Grupo B en su fase virtual (Figura 23), esto debido a que es una situación en la cual los participantes se tienen un acercamiento a el diseño del edificio por primera vez. En ambos grupos el tiempo promedio fue muy similar, no así la desviación estandar, la cual tiene una diferencia de 20 segundos (ver tabla 2). La razón por la cual ambos tienen un tiempo promedio a pesar de tener recorridos significativamente distintos yace en la velocidad de los participantes, ya que en el entorno virtual están programados para alcanzar un velocidad máxima de 5 km/h, en cambio en la fase física los participantes podían variar su velocidad.

En el entorno virtual la señal del baño se veía claro y resaltaba desde el inicio del experimento (ver figura 26), en cambio, en la realidad física la señal de los baños no era tan visible, existían elementos sobre el muro lo que dificultó la búsqueda de los participantes (ver figura 27).



**Figura 26.** Captura de pantalla desde el interior **Figura 27.** Captura de cámara 360 sobre baños.

#### **4.2. Segunda tarea: Resultados Wayfinding - Acceso al segundo piso.**

##### **Comparación de resultados completos.**



**Figura 28.** Resultados de todos los participantes en Fase Virtual. Wayfinding: "Acceso al segundo piso".



**Figura 29.** Resultados de todos los participantes Fase Física. Wayfinding: "Acceso al segundo piso".

Ambas fases se presentan más similares que en la tarea anterior. En esta tarea el módulo presenta el método de decisión, en el entorno físico (Figura 29) **6** participantes escogieron la escalera y **22** escogieron la rampa para acceder al segundo piso, en cambio, en el entorno virtual (Figura 28) fueron **9** quienes escogieron la escalera y **19** la rampa de acceso. En ambos entornos ningún participante escogió la escalera de acceso junto a los baños.

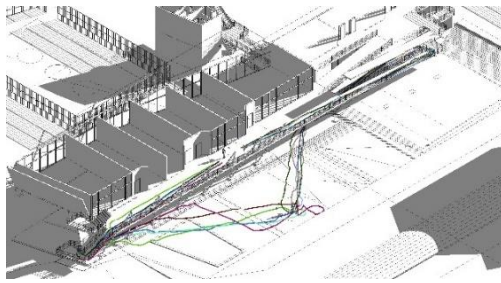
**Tabla 3:** Comparación de resultados de ambas fases en tiempo (Segunda tarea).

	<b>Tiempo Promedio (mm:ss)</b>	<b>Desviación Estándar (mm:ss)</b>
<b>Fase Física</b>	1:10	0:22
<b>Fase Virtual</b>	1:34	0:30

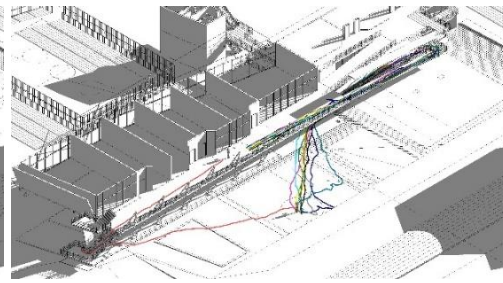
Para esta parte del experimento las aptitudes físicas de los participantes no fueron registradas, teniendo en cuenta de que en un entorno Virtual los participantes están físicamente de pie mientras navegan por las instalaciones con el equipo de realidad virtual sobre sus ojos y manos, de este modo no realizan la misma actividad física que en el entorno Físico al realizar las mismas tareas, por lo cual es importante tenerlo en consideración. A pesar de esta discusión los resultados totales demuestran que los resultados para ambas fases fueron similares en tiempo, decisión y recorrido (ver Tabla 3).

En la comparación de los grupos en las distintas fases, comparamos al grupo A en su fase física (Figura 32) en contraste a el Grupo B en su fase virtual (Figura 31), esto debido a que es una situación en la cual los participantes se tienen un acercamiento a el diseño del edificio por primera vez. En el grupo A en fase física **5** participantes escogieron la escalera y **9** participantes la rampa de acceso, mientras que en grupo B en la Fase Virtual **1** sólo participante escogió utilizar la escalera y los **13** restantes escogieron la rampa de acceso.

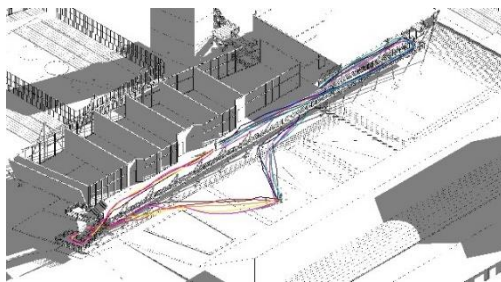
**Comparación de resultados por grupo.**



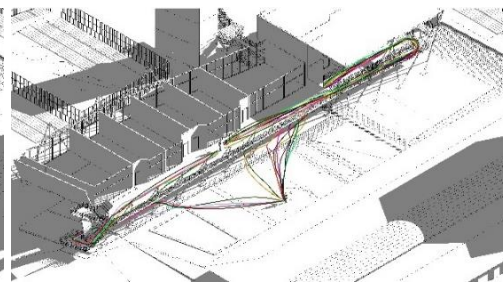
**Figura 30.** Grupo A. Fase Virtual.



**Figura 31** Grupo B. Fase Virtual.

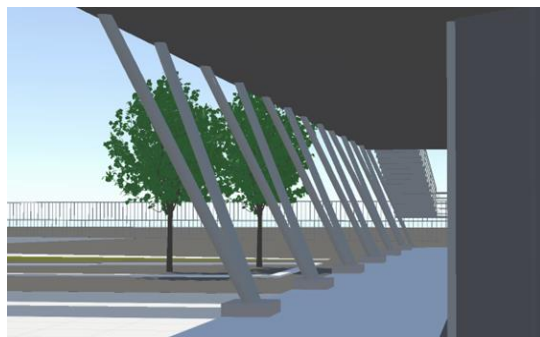


**Figura 32.** Grupo A. Fase Física.



**Figura 33.** Grupo B. Fase Física.

Con los resultados más en detalle se puede apreciar que las diferencias aumentan, esto puede ser debido a el factor de la similitud del modelo, como pasó en el módulo de experimento de la búsqueda de baños, en este caso existe vegetación en el entorno real (Figura 35) que no fue modelada con detalle en el entorno virtual (Figura 34), esta vegetación impedía la vista de los participantes desde el inicio del recorrido hacia el acceso en la fase física del experimento, lo que pudo alterar su comportamiento de búsqueda de acceso.



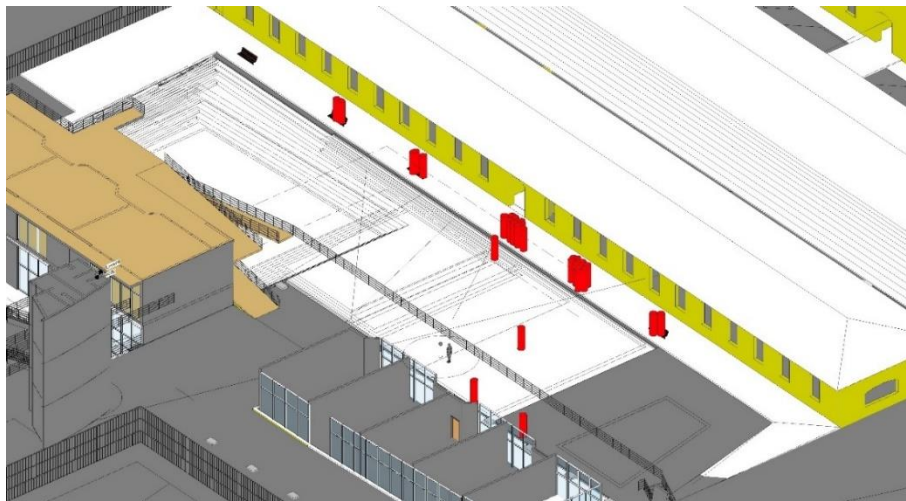
**Figura 34.** Captura de pantalla de entorno virtual. **Figura 35.** Captura de cámara 360 en entorno físico.

### 4.3. Resultados Señalamiento.

#### Comparación de resultados tercera tarea: Elección de asiento de espera



**Figura 36.** Fase Virtual. Elección de asiento donde el participante escogió como posición de espera.



**Figura 37.** Fase Física. Elección de asiento donde el participante escogió como posición de espera.

En esta tarea se les pidió a los participantes que escogieran un lugar en el cual les gustaría esperar a una persona en un tiempo hipotético de 20 minutos. En este experimento los resultados de ambas fases no fueron muy distintos. En la fase Virtual (Figura 36) **24** participantes escogieron los asientos frente al edificio antiguo de la facultad, mientras que sólo **4** escogieron sentarse en el suelo o muro, pero en lugares cercanos a los participantes que escogieron sentarse. En el caso de la Fase física (Figura 37) los resultados fueron los similares, **24** participantes escogieron los asientos cercanos al edificio antiguo, sólo que esta vez los **4** participantes restantes escogieron posiciones alejadas de los asientos.



El comportamiento de escoger un lugar dónde sentarse se emplea bajo distintos criterios al de “Wayfinding”, en este módulo de estudio los participantes no deben utilizar el modelo para orientarse, sino que escoger un lugar de agrado bajo criterios como “seguridad”, “comodidad”, “belleza”, entre otros. Bajo la luz de los resultados podemos asumir que la mayoría de las participantes escogieron lugares aptos para sentarse y cuya espalda estuviese más cerca de un volumen o “cubierta”.

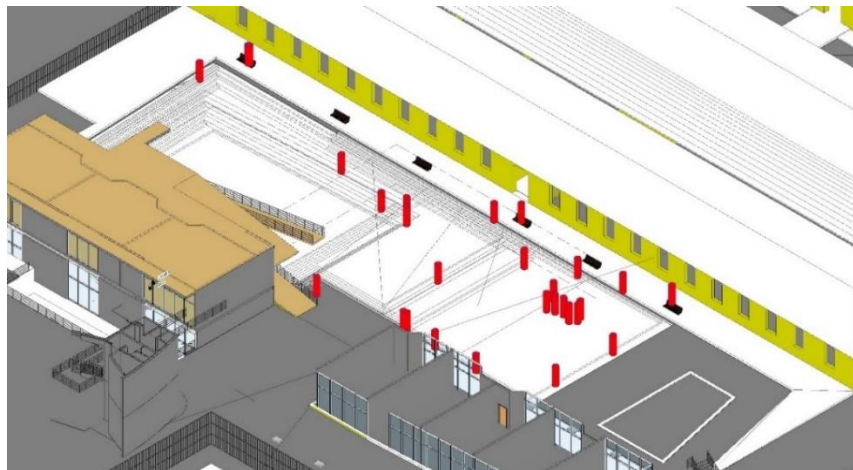
Factores como la protección bajo la sombra en un día caluroso, o la búsqueda de luz solar si el día está frío son factores relevantes de la Fase Física que no formaron parte de el método de investigación, los cuales pueden tener incidencia en los resultados de este módulo de estudio; éstos no fueron considerados.

### **Comparación de resultados tercera tarea: Elección de asiento indeseado**

En esta tarea se les pidió a los participantes que escogieran un lugar en el cual **no** les gustaría esperar a una persona en un tiempo hipotético de 20 minutos. Los resultados son más variados en este módulo de estudio, donde podemos ver más lugares repartidos al interior de ambos edificios. En la fase Virtual sólo **3** participantes escogieron asientos designados como lugares en los que no se sentarían, mientras que en la Fase Física este aumenta sólo a **4** participantes.

Si contrastamos estos resultados con los del módulo de estudio anterior (donde los participantes escogerían sentarse) podemos asumir que los resultados se rigen bajo el mismo criterio, de que los participantes escogieron esta vez lugares donde al sentarse su espalda queda descubierta y no “protegida” por algún volumen o cubierta.

Factores como la luz solar directa en un día caluroso, o la elección de un interior si el tiempo presenta temperaturas bajas son factores relevantes de la Fase Física que no formaron parte del método de investigación, los cuales pueden tener incidencia en los resultados de este módulo de estudio; éstos no fueron considerados.



**Figura 38.** Fase Virtual. Elección de asiento donde el participante escogió como posición en la que no esperaría.



**Figura 39.** Fase Física. Elección de asiento donde el participante escogió como posición en la que no esperaba

## 5. Conclusiones

Mediante los experimentos realizados se comprobó que el uso del método Pre-Ocupacional basado en Realidad Virtual es una herramienta confiable al predecir el comportamiento humano en edificios construidos, pero si existen diferencias o detalles que sean distintos entre el modelo físico y virtual, estos alteran el comportamiento de los habitantes sustancialmente.

El experimento fue realizado en tres diferentes módulos de estudio: “Wayfinding”, “método de decisión” y “elección de lugar”. Según los resultados presentados en *Wayfinding* y en *método de decisión*, el comportamiento de los participantes fue distinto en la realidad física y en la virtual, incluso al dividir los participantes en grupos quienes realizaron las fases Real y Física en distinto orden. Se puede deducir que los comportamientos fueron distintos porque el modelo de el edificio virtual no era tan detallado como el real, un simple detalle como que el logo de los baños no fuese visible o vegetación cerca de un acceso en la fase física del experimento impactó en los resultados de los participantes. Se puede asumir que mientras más parecido sea el modelo virtual a el edificio construido, el comportamiento de los habitantes será más parecido. Para que esto se cumpla se deben considerar variables como el ángulo de luz solar, hora del día, temperatura, cantidad de sombra, detalles de texturas, sonido ambiental y elementos del clima, variables que no fueron consideradas al modelar y desarrollar el entorno virtual. Podemos observar resultados parecidos en las conclusiones del experimento de Westerdahl, B., Suneson, K., Wernemyr, C., Roupe, M., Johansson, M., & Allwood, C. M. (2005), donde se explica que el modelo producido en 2003 no era lo suficientemente “inmersivo” -como se expresa en el estudio- en comparación con el edificio en el entorno físico de su investigación, ya que éste modelo virtual carecía de sonido y no fue probado con lentes virtuales, sino con una proyección sobre un muro.

Es importante remarcar que existen comportamientos que fueron similares a pesar de las diferencias en el modelo, como fue en el módulo de estudio de elección de asiento. Esto puede deberse a que existe una lógica de comportamiento común entre los participantes que fue posible observar a través del estudio en ambas fases, la cual remite en que los habitantes eligen lugares para sentarse donde su espalda esté lo más cubierta posible.

Debido a las diferentes limitaciones metodológicas, este estudio debe considerarse como un estudio piloto que ha proporcionado hipótesis en relación con diferentes preguntas de investigación para futuras investigaciones. Por ejemplo, ¿qué propiedades de un modelo VR en contraste con un edificio real afectan el comportamiento de los participantes en mayor o menor medida? ¿En qué medida varía la percepción del espacio con respecto a experiencia de realidad virtual en contraste con la experiencia del edificio físico resultante?

## **Agradecimientos**

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al Laboratorio VER de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile por facilitar los equipos necesarios para realizar el experimento. Quiero agradecer a Luis Mosquera por su disposición en las fases del experimento como guía para los participantes. Por último, al profesor PhD. Sven Schneider y a Msc. Olaf Krammer de la Universidad Bauhaus-Weimar, quienes me introdujeron a los estudios de comportamiento humano en arquitectura con métodos computacionales y también quienes me entregaron la información y conocimiento de desarrollo de software para realizar la fase virtual de este experimento.

## **Referencias**

- alffanclub. (11 de 09 de 2022). GitHub. Obtenido de <https://github.com/Unity-Technologies/AssetBundles-Browser>
- Asojo, A., Vo, H., & Bae, S. (2021). The Impact of Design Interventions on Occupant Satisfaction: A Workplace Pre-and Post-Occupancy Evaluation Analysis. *Sustainability*.
- Ewart, D. I., & Johnson, H. (2021). VIRTUAL REALITY AS A TOOL TO INVESTIGATE AND PREDICT OCCUPANT BEHAVIOUR IN THE REAL WORLD: THE EXAMPLE OF WAYFINDING. (O. E, Ed.) *ITcon*. doi:10.36680/j.itcon.2021.016
- Gath-Morad, M., Aguilar, L., Dalton, R. C., & Hölscher, C. (2020). cogARCH: Simulating Wayfinding by Architecture in Multilevel Buildings. *Symposium on simulation on Architecture*. Zurich: SimAud2020.
- Hermund, A., Klint, L. S., Bundgaard, T. S., & Bjørnson-Langen, R. N. (2019). The Perception of Architectural Space in Reality, in Virtual Reality, and through Plan and Section Drawings. *En e. 36, VR, AR & VISUALISATION | Experiments* (pág. 744).

- Hjorth, P., & Bagheria, A. (2005). Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. *Futures*, 75.
- Reckermann, J. E. (2008). CIRS PRE-OCCUPANCY EVALUATION: INHABITANT FEEDBACK PROCESSES AND POSSIBILITIES FOR A REGENERATIVE PLACE. Columbia, USA: The University of British Columbia.
- Vergara, M. A. (Junio de 2020). A COMPUTATIONAL METHOD FOR QUANTITATIVE POST OCCUPANCY EVALUATION OF OCCUPANTS' SPATIAL BEHAVIOR IN BUILDINGS. Princeton, Nueva Jersey, Estados Unidos.
- Westerdahl, B., Suneson, K., Wernemyr, C., Roupe, M., Johansson, M., & Allwood, C. M. (2006). Users' evaluation of a virtual reality architectural model compared with the experience of the completed building. *ELSEVIER*, 150 – 165.

# 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.

## 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. Antecedentes

### 2.1. 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.

#### **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.

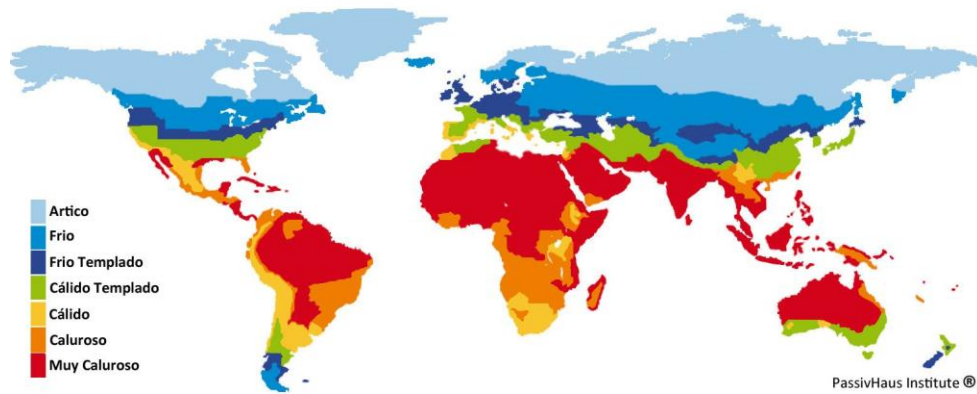
El *Consejo Mundial de Edificación Sustentable* afirma que el impacto del sector edificación es responsable globalmente del 36% del consumo de energía, 38% de la energía relacionada a emisiones de carbono, 50% del consumo de recursos y se espera que esta huella se duplique de aquí al 2060; Aproximadamente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

### **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* (Figura 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  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  a  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ .





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

Zonas Climaticas según el PHPP (Passive House Planning Package)	Envoltante 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) [W/(m2K)]		
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

**Figura 2** Tabla coeficiente mínimo de transmitancia térmica U [W/(m2K)] 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).

### Como se realiza el acondicionamiento térmico

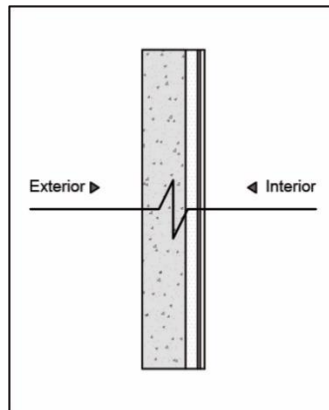
Según el *Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico*, existen diferentes maneras de aislar térmicamente una edificación, dependiendo del sistema constructivo y materialidad. Simplificando, se pueden categorizar en tres sectores; aislamiento adosado a la cara interior del muro, aislamiento dentro del muro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

#### 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 (Figura 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.



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

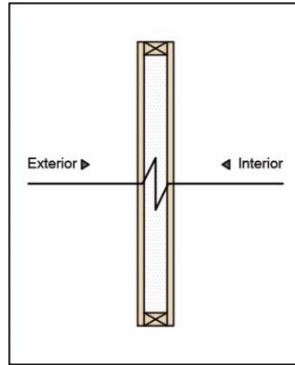
#### Dentro del muro

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 (Figura 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).



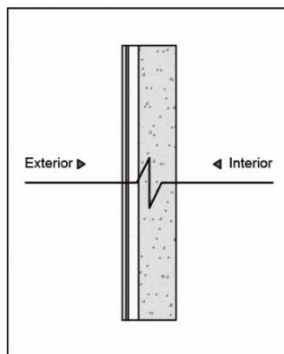
**Figura 4** Sección esquemática sistema de aislamiento dentro del muro, elaboración propia.

#### **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 (Figura 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)

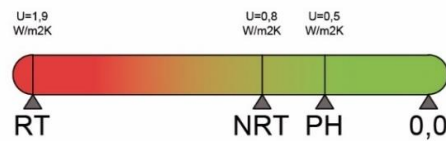


**Figura 5** Sección esquemática sistema de aislamiento adosado al exterior, elaboración propia.

## 2.2. 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 (Figura 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 ( $U=0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).



**Figura 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	Mamostería 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.

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  $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  a un U de  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 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.

### **2.3. 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.

#### **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  $0,040 \text{ W/mK}$ . podemos ver según el cuadro comparativo de aislamientos térmicos vegetales (Tabla 2), que el rango está entre los  $0,029 \text{ W/mK}$  hasta los  $0,150 \text{ W/mK}$  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)

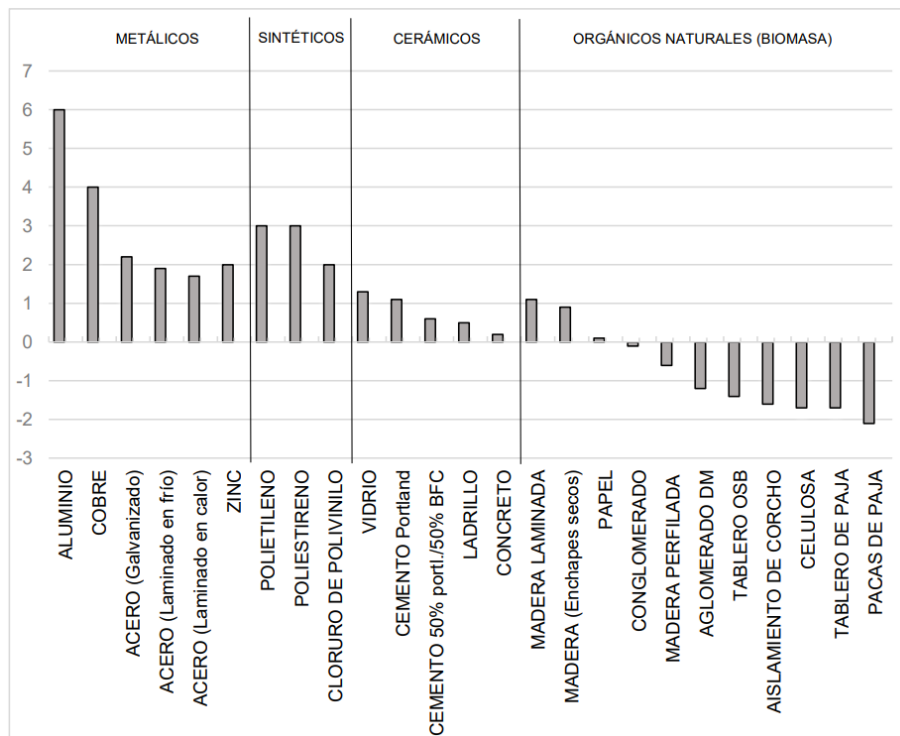
Material	Materia prima	Formato	Residuo	Espesor	Eco-data	Densidad kg/m3	Conductividad térmica W/mK	Coste aprox. CLP
EPS <i>aislapol</i>	Poliestireno expandible	Paneles, proyectado	-	20-100 mm	Reutilizable	10-30	0,036-0,043	1.000-6.500/m2
Lana mineral AYRSA	Arena de sílice y vidrio	Paneles, rollo	-	30-90 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

### 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 (Figura 7) y por rescatar un desecho actualmente incinerado (Gremiobioconstruccion.cl, 2022).



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

### 3. Métodos

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



## 4. Resultados

### 4.1. 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



**Figura 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.

## 4.2. Entramado relleno con fardo de paja

### MURO DE DOBLE ENTRAMADO RELLENO DE FARDO 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.
- Zonta climática: Cálida.
- Materialidad: Listones de madera y fardos de paja.
- Sistema constructivo: Doble entramado relleno de fardo.
- 



**Figura 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.

### 4.3. 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:  $-32.6446^{\circ}$  Longitud:  $-71.4326$   $32^{\circ}38'40.56''$  Sur,  $71^{\circ}25'57.36''$  Oeste
- Zonta climática: Cálida
- Materialidad: Metalcon, paja, planchas de madera y revoque de tierra.
- Sistema constructivo: Doble entramado relleno de fardo



**Figura 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 gráfico de emisiones de CO<sub>2</sub> (Figura 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.

#### 4.4. 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.
- Zonta climática: Cálida / fría templada / fría...
- Materialidad: Listones de madera, paja suelta y tierra cruda.
- Sistema constructivo: Entramado ligero de madera, Quincha liviana.



**Figura 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.

#### 4.5. 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



Figura 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 kg/m<sup>3</sup>, 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 W/m<sup>2</sup>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.

#### 4.6. 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.
- Zonta climática: Calurosa.
- Materialidad: Listones de madera, osb, perfiles metálicos y paneles de paja de arroz.
- Sistema constructivo: Entramado de madera relleno de paneles prefabricados.



**Figura 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.

#### 4.7. Paneles de paja como terminación

##### CASA QUATTRO

- Año de construcción: 2016.
- Oficina de arquitectura: LCA Architeti.
- Ubicación: Magnano, Italia.
- Latitud: 45.4644, Longitud: 8.0033 45° 27' 52" Norte, 8° 0' 12" Este
- Zonta 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.



Figura 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. 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  $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$  hasta  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 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.

### 5.1. 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.

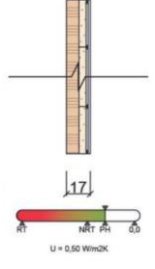
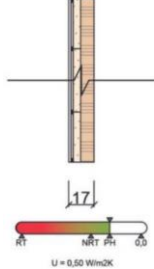
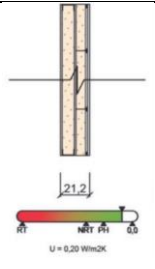
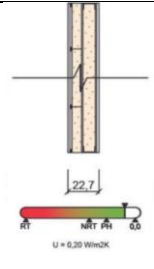
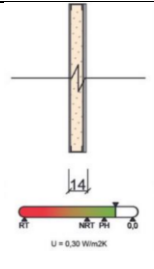
El objetivo es demostrar la factibilidad de estas distintas maneras de aislar una edificación, mediante un caso estándar, dejando a su vez libre la elección para quien diseñe según los requerimientos de su envolvente, pudiendo aumentar o reducir espesores de material o cambiar el detalle constructivo 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				Material estructural con alta huella de carbono, preferible considerar para reacondicionamiento que para estructura nueva.  Resultados por encima de recomendación <i>Passivhaus</i> sin comprometer demasiado el espesor.
Mampostería ladrillo			No aplica.	Material estructural cada vez en menos uso.  Soluciones aplicables al reacondicionamiento.  Resultados por encima de recomendación <i>Passivhaus</i> sin comprometer demasiado el espesor.
Entramado madera				Material estructural con baja huella de carbono.  Soluciones tanto para obra nueva como para reacondicionamiento.  Resultados por encima de recomendación <i>Passivhaus</i> con espesores bajos.

CLT			No aplica.	<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>
Entramado Metalcon				<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>

## 5.2. 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>

CDT Concepción. (2016). Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico. En C. Concepción, Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico (págs. 30-31).

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)

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-romatalia?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-romatalia?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/residential/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, MIEN. (2017). Informe técnico Calificación energética de viviendas CEV.

MINVU. (22 de Octubre de 2018). ESTÁNDARES DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO PARA VIVIENDAS NUEVAS DEL FSEV, EN EL MARCO DEL PDA RM. Santiago, Chile.

Passivhaus costa del sol. (27 de Marzo de 2019). Passivhaus costa del sol. Obtenido de <https://www.passivhauscostadelisol.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#\\_ftnref](https://www.conexiones365.com/nota/expo-cihac/ingenieria-y-construccion/arquitectura-sostenible-edificios-net-zero#_ftnref)

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#>

## **Estrategias de diseño pasivo en depósitos de archivos: Una forma sustentable de conservar el patrimonio documental.**

**Estudiante:** Paulina Verónica Orellana Tapia

**Profesor guía:** Gabriela Muñoz Sotomayor

### **Resumen**

El patrimonio documental o bibliográfico es un registro material cultural que refleja la evolución de la humanidad y puede ser en forma de escritos, fotografías o grabaciones. Este bien no renovable, es conservado, estudiado y almacenado en un depósito, edificio que debe contar con las condiciones espaciales y tecnológicas para su salvaguarda y acceso permanente. En nuestro país hay un gran déficit de depósitos y los existentes no cuentan con los estándares mundiales sobre conservación patrimonial. Las cartas internacionales determinan que los factores que más inciden en el deterioro del patrimonio documental son la temperatura y humedad relativa del ambiente, por lo que estos requerirán mayor atención y tecnología en el diseño y construcción de un depósito. Como nuestro país cuenta con diversos climas, se determinará cuáles son las brechas por superar en el diseño, tomando como caso de estudio y para generar un modelo replicable, la ciudad de Santiago.

**Palabras clave:** Patrimonial documental, Estándares de conservación patrimonial, Estrategias de diseño pasivo.

## **1. Introducción**

El patrimonio cultural corresponde a vestigios, huellas, restos o documentos que nos permiten conocer el transitar del hombre en el tiempo y espacio, por lo que tiene gran valor material e inmaterial. Es por eso que instituciones como repositorios y museos se convierten en agentes custodios de esas huellas, como fin y como medio. Los museos chilenos custodian un total de 6.672.437 objetos en sus colecciones, de los que solo un 2% se encuentra exhibido. Esto significa que el resto queda guardado para su preservación, estudio y/o futura exposición. A pesar de esto, apenas un 65% de los museos cuenta con depósito para sus colecciones, del cual un 56% es propio y un 7% externo. Además, un 30% de los museos no cuenta con depósitos para sus colecciones (Área de Estudios, SNM. 2021). Esta situación es preocupante, pues no se condice con la infraestructura que demanda el resguardo de las colecciones, lo que, además va en perjuicio del derecho al goce y disfrute del patrimonio nacional que establece el Ministerio de las Culturas, las Artes, y el Patrimonio (2017).

Si bien, existen instituciones y documentos que velan por la preservación, cuidado y difusión del patrimonio documental como el Programa Memoria del Mundo (MoW) elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), las cartas internacionales del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) y las normas ISO, estas son de carácter genérico y quedan en el ámbito de las sugerencias. En nuestro país, el diseño y ejecución de una obra de arquitectura debe hacerse bajo el marco de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y la Norma Chilena (NCh), dentro de las cuales, actualmente no existe una norma que sugiera la aplicación de las guías internacionales, o mencione cómo debiese realizarse la construcción de un depósito. Esto se hace necesario puesto que el depósito protege y resguarda la historia de todos, reúne elementos que representan a un colectivo y debiese ser un fin común protegerlo.

El edificio puede contribuir en la salvaguarda del patrimonio documental desde la preservación y la conservación. Este documento estudia los factores que influyen en la conservación del material bibliográfico, puesto que tiene por objetivo el fin mismo de la arquitectura, construir de la mejor manera posible para satisfacer las necesidades y requerimientos del ocupante del edificio. Este caso de estudio tiene la particularidad de ser un edificio cuyo principal usuario no son personas, sino objetos. A pesar de esto, ha de responder a los requerimientos de ambos, siendo el desafío cómo conviven estos.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Patrimonio**

Según la Real Academia Española, patrimonio se define como un conjunto de bienes propios que han sido heredados por sus ascendientes (s.f.). Este puede ser natural o cultural. El patrimonio cultural es un conjunto determinado de bienes intangibles y tangibles que forman

parte de prácticas sociales, a los que se les atribuyen valores a ser transmitidos, y resignificados de una generación a las siguientes (Dibam, 2005). El patrimonio cultural intangible o inmaterial, es decir que no se pueden tocar, son los bailes, los idiomas, las celebraciones, las comidas, las canciones, los oficios tradicionales, entre otros. Por otro lado, el patrimonio cultural tangible o material, consiste en bienes inmuebles, como los edificios y bienes mueble, como cuadros, esculturas, instrumentos musicales y artesanías (Memoria Chilena, 2017). Dentro del patrimonio material mueble podemos identificar subcategorías como el patrimonio artístico, arqueológico y documental o bibliográfico (Figura 1). Este último comprende una amplia gama de registros inscritos textuales y no textuales; imágenes; registros sonoros, audiovisuales y virtuales que son conservables, reproducibles y trasladables. Se constituye por todas aquellas manifestaciones registradas que dan cuenta de la evolución del pensamiento, de los descubrimientos y de los logros de la sociedad (Servicio Nacional del Patrimonio Cultural, 2018), por lo que pertenece a todos, debe ser preservado y protegido por completo y, con el debido reconocimiento de las costumbres y aspectos prácticos culturales, ser permanentemente accesible para todos sin obstáculos (UNESCO, 1992).



**Figura 1:** Tipos de Patrimonio. Elaboración propia

## 2.2. El depósito

Es por esto que, en la época del renacimiento, surgen junto a bibliotecas y museos, los depósitos con el objetivo de conservar el patrimonio cultural material mueble. Según la RAE, depósito es el lugar o recipiente donde se deposita (s.f.). Según Gael de Guichen, consejero de ICCROM, *“el depósito de un museo es el lugar donde se guardan en condiciones óptimas las colecciones no expuestas, preparadas para exponerlas en las galerías, para que los especialistas las estudien y, si es posible, para que el público las vea”* (G. Guichen, 2021).

Sumado a lo anterior y con la clasificación de edificios y recintos que hace el manual “Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas



Geográficas del País y Según Tipología de Edificios” elaborado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) se puede concluir que el depósito corresponde a un recinto no habitable, puesto que tiene ocupación ocasional, excepcional o por periodos muy cortos de tiempo, como salas de máquinas y bodegas, entre otros. (MOP, 2011).

En nuestro país, de acuerdo con la Ley 17.288, los depósitos son Monumentos Nacionales y, por tanto, propiedad del Estado quien debe garantizar las condiciones apropiadas para su resguardo (Consejo de Monumentos Nacionales, 2019). La preservación y conservación del patrimonio, es esencial para mantener viva la memoria en torno al pasado y para reconstruir la historia. El primero, es una medida de protección preventiva que puede aplicarse a patrimonio cultural material como inmaterial. En el caso del patrimonio bibliográfico, que es un bien material, se manifiesta en la suma de medidas necesarias para garantizar la accesibilidad permanente del patrimonio documental (UNESCO, 1992). Estas acciones se materializan en el diseño y protección del depósito como edificio contenedor de un bien, por ejemplo, garantizando su integridad ante un evento sísmico o un incendio. Por otro lado, conservar es una medida que aplica sobre bienes culturales tangibles. Según el Consejo Internacional de Museos, son aquellas acciones que tienen como objetivo la salvaguarda del significado y propiedades físicas del bien cultural (2008). Un ejemplo de lo anterior es responder a los requerimientos de iluminación, humedad y temperatura de estos bienes para evitar su deterioro, ya sea de manera pasiva o activa.

### **2.3. Estándares de conservación**

El comité consultivo internacional (CCI) del MOW, junto con la Institución Internacional de Estándares (ISO) ha elaborado manuales con especificaciones técnicas para la correcta conservación y preservación del patrimonio documental en sus distintos medios, como CDs, papel, pergaminos o fotografías.

#### **CDs y DVDs**

Los discos son un formato de almacenamiento moderno que contiene información digital. Estos son muy utilizados pues como material son económicos, fáciles de guardar por su tamaño reducido, de fácil replicación y reproducción. Los discos más usados son los CD o discos compactos y los DVD o disco de video digital, ambos de 12 centímetros de diámetro. Los primeros tienen una capacidad aproximada de 650 megabytes para almacenar textos y grabaciones auditivas. Los DVD por otro lado tienen una capacidad entre los 4 y 9 gigabytes y son capaces de almacenar y reproducir videos de alta calidad al igual que textos y audios con la ventaja de mayor capacidad de almacenaje (1998). Para que la vida útil de estos sea la mayor posible y su contenido se conserve de manera íntegra, se debe tener en consideración la exposición a luz solar o luces de alta frecuencia, temperatura y humedad (1998).

#### **Papel y pergaminos**

La familia de papeles y pergaminos es la más grande, variada y antigua dentro del patrimonio documental y bibliográfico. Este grupo está compuesto por escritos, tanto impresos como a

mano, en papel, pergaminos, fibras vegetales y cueros, entre otros. Si bien estos son muy frágiles tienen una vida útil muy larga si son guardados bajo condiciones ideales de iluminación, ventilación, temperatura y humedad (1998).

### **Fotografías**

La fotografía se puede definir como cualquier método que produzca una imagen visible mediante la interacción de luz y químicos. Estos incluyen todo tipo de imágenes estáticas; sean en blanco y negro o a color, negativo o positivo y plasmado sobre todo tipo de formato; papel, vidrio, celulosa y otros. En cuanto a sus cuidados, esta familia se divide en las imágenes en blanco y negro y las a color, donde al igual que los materiales bibliográficos antes descritos, son más frágiles a variaciones de temperatura y humedad relativa (1998).

### **2.4. Zonificación climática chilena**

La Norma Chilena Oficial (NCh) 1079:2019, establece una zonificación climática y térmica para Chile con el objetivo de facilitar un adecuado diseño arquitectónico e higrotérmico de las edificaciones (2019). Es así que en base a datos meteorológicos y características climáticas se han identificado nueve zonas: Norte Litoral (NL), Norte Desértica (ND), Norte Valle Transversal (NVT), Central Litoral (CL), Central Interior (CI), Sur Litoral (SL), Sur Interior (SI), Sur Extremo (SE) y Andina (An) (2019). (Figura 2)



**Figura 2:** Mapa Zonificación Climática de Chile

Los parámetros que se utilizan en la norma para la clasificación de zonas climáticas son temperatura en grados Celsius, oscilación térmica, humedad relativa del ambiente, insolación y precipitaciones, entre otros. Temperatura (instantánea) ( $t^{\circ}\text{C}$ ) se define como la temperatura del aire expresada en  $^{\circ}\text{C}$ , que indica el termómetro de bulbo seco, en cualquier instante del día. Asimismo, se determina que temperatura media mensual corresponde al promedio aritmético de las temperaturas medias de todos los días de dicho mes (2019). Otro factor es la oscilación térmica, que es la diferencia de temperaturas entre la máxima y mínima de un día. En esta línea, oscilación media mensual corresponde al promedio aritmético de las oscilaciones diarias ocurridas dentro de un mes (2019).

Según la norma, humedad relativa (HR) es la razón entre la fracción molar del vapor de agua contenida en el aire húmedo y la fracción molar del vapor de agua en el aire saturado a la misma temperatura y presión, medida por un higrómetro o higrógrafo y expresado en porcentaje (2019).

## **2.5. Arquitectura Pasiva**

La arquitectura pasiva es un método de diseño arquitectónico que tiene como objetivo alcanzar condiciones de confort ambiental (higrotérmico, visual, acústico y de calidad de aire) adecuadas para el bienestar de sus ocupantes, demandando un mínimo de energía para ello (2011). Esto es con el fin de disminuir el impacto ambiental del edificio (1998). Para ello se debe tener completa comprensión del clima en la que está inserto el edificio, pues es esta relación la que le permitirá al edificio modificarse según las características del medio ambiente y beneficiarse de los aspectos positivos del clima (Manual MOP, 2011).

En Chile encontramos una gran diversidad climática, por lo que al inicio del proceso de diseño se deberá realizar un análisis que permita caracterizar el clima local y, de esta manera, identificar las estrategias de diseño arquitectónico apropiadas al clima y las características de uso del edificio (2011).

## **3. Métodos**

La metodología para abordar el objetivo general de la investigación se dividió en cuatro etapas que responden a cuatro objetivos específicos. El primero se logró mediante revisión bibliográfica, el segundo y tercer objetivo se llevaron a cabo mediante revisión bibliográfica y recolección de datos, mientras que el cuarto y último objetivo se desarrolló mediante la aplicación de los datos obtenidos en los objetivos anteriores en un caso de estudio y posterior análisis.

El primer objetivo es determinar la importancia del correcto almacenamiento del patrimonio documental en un depósito. Este objetivo es el primer paso para comprender por qué es relevante la investigación, por lo que fue preciso definir qué es el patrimonio documental, por qué es relevante para la humanidad y su valor intrínseco como objeto. Esta información se consiguió a través de la revisión bibliográfica del Programa Memoria del Mundo de la

UNESCO, el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, ICCROM y el Plan de Infraestructura patrimonial del CMN.

El segundo objetivo es determinar las variables físicas ante las cuales se ven afectados archivos y documentos, esto se logró mediante la revisión bibliográfica de los manuales de estándares de conservación de documentos del MoW, cartas internacionales y normas ISO, y la obtención de datos de estas fuentes. Del objetivo anterior se desprendió que los principales tipos de patrimonio documental son papeles, fotografías y material audiovisual, por lo que se recolectaron los datos para dichos elementos.

Según el manual de estándares del MoW y las normas ISO, los factores que más dañan estos materiales son la temperatura y la humedad. Es así que estas variables se utilizarán como medida para determinar el esfuerzo técnico que se debe superar para lograr el rango ideal de conservación de los distintos bienes culturales.

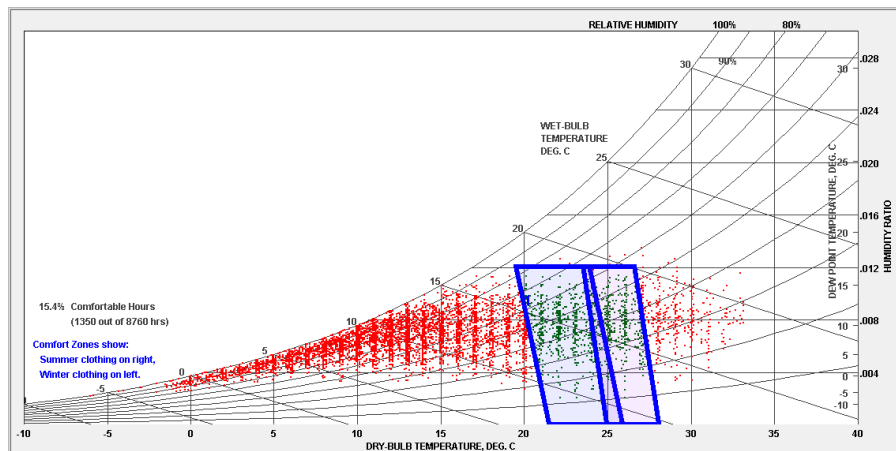
El tercer objetivo consiste en alinear los requerimientos de almacenamiento internacional obtenidos en el objetivo anterior, con los contextos climáticos chilenos. Para ello, se revisó la Norma Chilena 1079-2019, en la cual se identifican nueve zonas climáticas. La norma incluye valores de temperatura media, oscilación media y humedad relativa para los meses de enero (verano) y julio (invierno) para varias ciudades en cada zona. Para minimizar la muestra de datos y obtener resultados más certeros se escogieron las dos ciudades con más población en cada zona para analizar. La decisión de elegir dos ciudades por zona se hizo debido a la notable variedad que existe entre los datos dentro de una misma zona climática, y puesto que la mayoría de estas abarcan más de una ciudad importante, como son las capitales regionales. Esto es excepción en la zona ND, que solo cuenta con información para la ciudad de Calama y la zona Andina, para la cual la norma no registra información.

Posterior a esto, se compararon en un gráfico los requerimientos de temperatura y humedad relativa para papeles, fotografías, CDs y DVDs, con la temperatura media mensual, considerando la oscilación media mensual, y la humedad relativa para los meses de enero y julio. Puesto que los datos recolectados en el segundo objetivo son aproximaciones y se presentan en intervalos, se han generado rangos de temperatura mensual para enero y julio utilizando la cifra de oscilación media para estos meses, y así poder comparar ambas variables de igual forma y observar representativa y visualmente ambas en un gráfico. La diferencia entre las áreas de ambas variables en el gráfico representan una aproximación del esfuerzo tecnológico que se debe emplear en cada caso para alcanzar el rango ideal en cada ciudad. Esto se hace con el interés de visualizar como varía este esfuerzo según la zona y reconocer la importancia que tiene identificar y analizar los factores climáticos del contexto donde se inserta el edificio para poder aplicar las estrategias de diseño pasivo más adecuadas en cada caso.

La última etapa de la investigación corresponde a identificar las variables y evidenciar la complejidad del análisis sobre la aplicación de las estrategias de diseño pasivo más adecuadas en el diseño de un depósito, tomando como caso de estudio la ciudad de

Santiago. La elección sobre analizar la capital chilena se debe a que es la ciudad más poblada, con más museos del país y también la ciudad con mayor déficit de depósitos.

Debido a que el impacto que tiene la aplicación de una estrategia de diseño sobre un edificio no es representativo de forma numérica ni exacta, se utilizara el software Climate Consultant 6.0 para realizar un gráfico psicrométrico que representa las aproximaciones del impacto de cada una de ellas. El gráfico psicrométrico relaciona temperatura de bulbo seco en el eje horizontal, humedad específica o radio de humedad en el eje vertical y humedad relativa en forma de curvas exponenciales. Sobre él se posicionan puntos que representan todas las combinaciones temperatura-humedad que se registran en un periodo de tiempo en una determinada ciudad. Sobre esa base de información se ubica una zona de confort humano según el modelo ASHRAE Standard 55-2004, el cual se basa en la temperatura de bulbo seco, nivel de vestimenta en invierno y verano, actividad metabólica, velocidad del viento, humedad y temperatura radiante (Figura 3). Finalmente, con estos parámetros, el programa grafica las mejores estrategias de diseño pasivo y los rangos de temperatura-humedad que logra adaptar al confort humano.



**Figura 3:** Gráfico psicrométrico Confort Humano Santiago. Climate Consultant 6.

Si bien el grafico psicrométrico mide el confort humano y hace las operaciones con el objetivo de lograr este bienestar, se utilizará como un punto de referencia y comparación con los rangos de “bienestar” para los distintos materiales. El fin de dicha comparación es poder visualizar la diferencia de los requerimientos para cada objeto y establecer estrategias que favorezcan el cuidado de todos, puesto que si bien el depósito es un recinto no habitable y su principal usuario es inerte, deberá coexistir con espacios habitables para personas.

Esta metodología se puede replicar para el resto de las ciudades del país, obteniendo los resultados más pertinentes a cada ciudad y zona.

## 4. Resultados

### 4.1. 1er Objetivo: Determinar la importancia del correcto almacenamiento del patrimonio documental en un depósito.

El patrimonio documental y bibliográfico es un registro cultural con alto valor material e inmaterial. Desde el punto de vista tangible, es un bien material que comprende una amplia gama de registros inscritos textuales; imágenes; registros sonoros; audiovisuales y virtuales que son conservables, reproducibles y trasladables (2018). Cada uno de estos tiene propiedades físicas intrínsecas que aportan al contenido cultural del cual son portantes, y el cual este sujeto a condiciones de deterioro antrópicas y acción natural.

Por otro lado, tiene valor inmaterial puesto a que consiste en todas aquellas manifestaciones registradas que dan cuenta de la evolución del pensamiento, de los descubrimientos y de los logros de la sociedad (Servicio Nacional del Patrimonio Cultural, 2018). Es por eso que este bien está en permanente crecimiento, puesto que acompaña la historia de la humanidad y por lo cual pertenece a todos. Es así que debe ser preservado y protegido por completo, con el debido reconocimiento de las costumbres y aspectos prácticos culturales, para ser permanentemente accesible sin obstáculos (UNESCO, 1992). Asimismo, este ha de ser accesible para generaciones futuras.

### 4.2. 2do Objetivo: Determinar las variables físicas ante las cuales se ven afectados archivos y documentos en un depósito

El manual de la MoW de la UNESCO es el documento internacional más relevante sobre especificaciones técnicas para el resguardo de distintos bienes patrimoniales. Esto debido a su antigüedad, constante revisión y actualización de la información presentada a través de convenciones y el equipo de especialistas que participan en ella. Este documento rector se ha complementado con normas ISO, también de carácter internacional, desde las cuales se ha obtenido la siguiente información:

#### CDs y DVDs

Debido a su composición física y química, esta familia bibliográfica debe mantenerse idealmente por en zonas oscuras o con un cobertor, entre 15 y 25 grados Celsius y con una humedad relativa en el ambiente entre 30 y 40% (1998). (Tabla 1)

**Tabla 1.** Parámetros Climáticos de Almacenamiento Recomendados. Elaboración propia

Material	Temperatura ideal media de almacenaje (°C)	Humedad Relativa (HR) ideal media de almacenaje (%)
CDs	<b>15-20°C</b>	30-40%
DVDs	<b>15-20°C</b>	30-40%

**Papel**

Material	Temperatura ideal media de almacenaje (°C)	Humedad Relativa (HR) ideal media de almacenaje (%)
Papel	13-20°C	45-55%
Pergamino	13-20°C	45-55%
Cuero	13-20°C	45-55%
Hojas de palma	13-20°C	45-55%

Debido a su naturaleza vegetal, la familia de los papeles es muy sensible a generar hongos si no se controlan ambos la temperatura y humedad de forma equilibrada. Es por eso que deben mantener una temperatura que oscile entre 13 y 20 grados Celsius y una humedad relativa entre 45 y 55%. (Tabla 2)

**Tabla 2.** Condiciones Climáticas Recomendadas de Almacenamiento. Elaboración propia

**Fotografías**

Las fotografías en todas sus manifestaciones son muy sensibles a la radiación, esto debido a que afecta la visualización de colores y degrada la tinta o imagen impresa. La temperatura media ideal a la que se deben guardar debe ser mayor a 2 grados Celsius y no mayor a 12 grados en el caso de fotografías en blanco y negro y entre 18 y 22 grados en el caso de fotografías a color, además de un rango entre 30 y 40 % de HR (1998). (Tabla 3)

**Tabla 3.** Requerimientos Climáticos de Preservación para Materiales Fotográficos. Elaboración propia.

Material	Temperatura ideal media de almacenaje (°C)	Humedad Relativa (HR) ideal media de almacenaje (%)
Fotografías a color (impresiones y negativos)	2-12°C	30-40%
Fotografías en blanco y negro (B/N) (impresiones y negativos)	18-22°C	30-40%

Vale destacar que, si bien es importante mantener estos elementos dentro de los rangos ideales, es esencial y más relevante mantener las condiciones climáticas del depósito constantes, pues las variaciones de humedad y temperatura son más dañinas (1998).

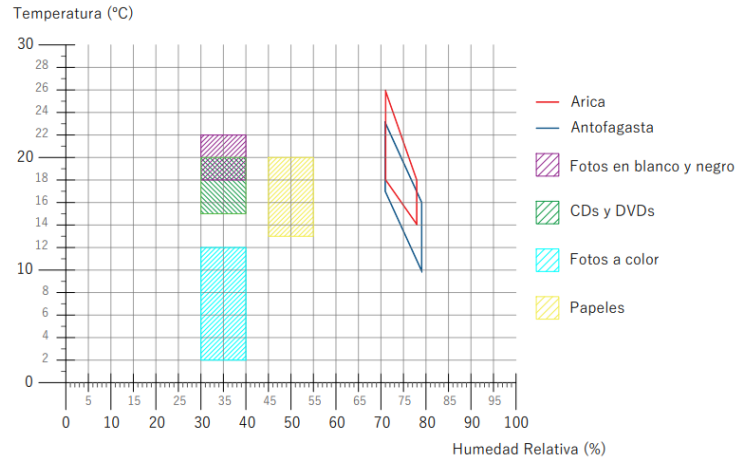
### 4.3. 3er Objetivo: Alinear los estándares de almacenamiento internacional con las zonas climáticas chilenas.

Dado que los factores que más deterioran los medios bibliográficos antes descritos son temperatura (T) y humedad relativa (HR), serán estos los utilizados en este seminario para determinar cuáles son los principales requerimientos tecnológicos y constructivos para la mejora y/o construcción de un depósito en las distintas zonas climáticas del país. Así mismo, se grafica cuál es la diferencia entre la T y HR media de las dos ciudades más importantes de cada zona en invierno y verano (enero y julio) (Tabla 4) y la T y HR ideal para cada material (Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11).

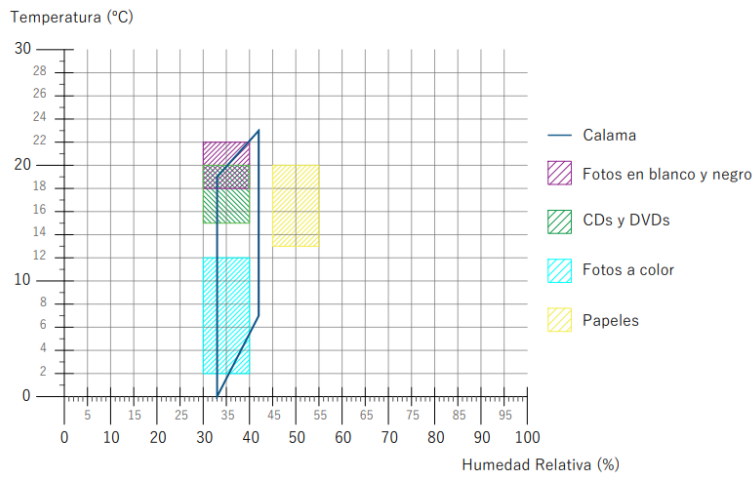
**Tabla 4.** Datos climáticos de las localidades más importantes de las zonas climáticas chilenas.

Zona	Localidades más importantes	Temp. media (°C)		Oscilación media mensual (°C)		Temp. media mínima (°C)		Temp. media máxima (°C)		Humedad relativa (%)	
		E	J	E	J	E	J	E	J	E	J
NL	Arica	22,0	15,6	7,4	4,9	18,3	13,2	25,7	18	71	78
	Antofagasta	20,0	13,4	7,2	6,3	16,4	10,3	23,6	16,5	75	79
ND	Calama	15,1	8,6	19,0	21,8	7,1	-2,3	23,1	19,5	42	33
NVT	Copiapó	19,6	11,3	14,8	14,2	12,2	4,2	27	18,4	70	76
	Ovalle	18,6	10,5	14,6	15,2	11,3	3,0	25,9	18,1	73	83
CL	Valparaíso	17,0	11,4	6,9	5,1	13,6	8,9	20,4	13,9	78	84
	Quintero	16,0	10,0	9,0	7,9	11,5	6,1	20,5	13,9	82	89
CI	Santiago	20,9	8,1	16,7	11,0	12,6	2,6	29,2	13,6	57	84
	Rancagua	19,9	7,1	15,3	11,0	12,2	1,6	27,5	12,6	61	82
SL	Concepción	16,3	8,8	12,3	7,3	10,2	5,2	22,4	12,4	75	87
	Puerto Montt	14,3	6,6	10,2	6,4	9,2	3,4	19,4	9,8	80	90
SI	Temuco	15,8	7,2	14,8	7,4	8,4	3,5	23,2	10,9	74	88
	Osorno	15,2	6,5	14,5	7,2	8,0	2,9	22,4	10,1	75	90
SE	Aysén	13,6	3,9	7,9	5,1	9,7	1,4	17,5	6,4	83	91
	Punta Arenas	10,5	1,1	8,2	4,8	6,4	-1,3	14,6	3,5	69	84

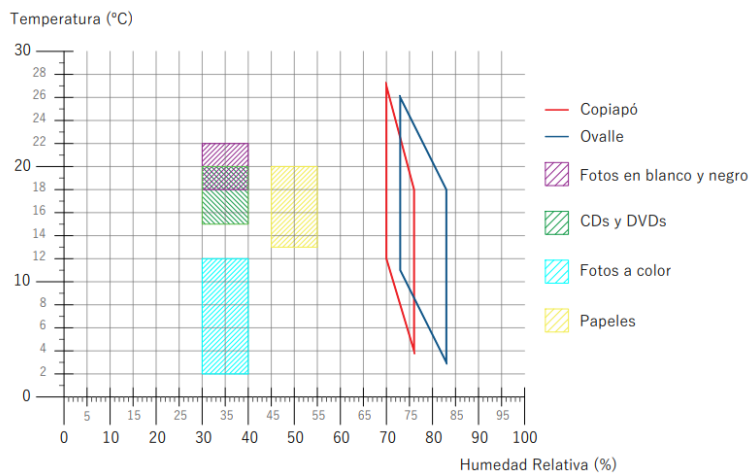




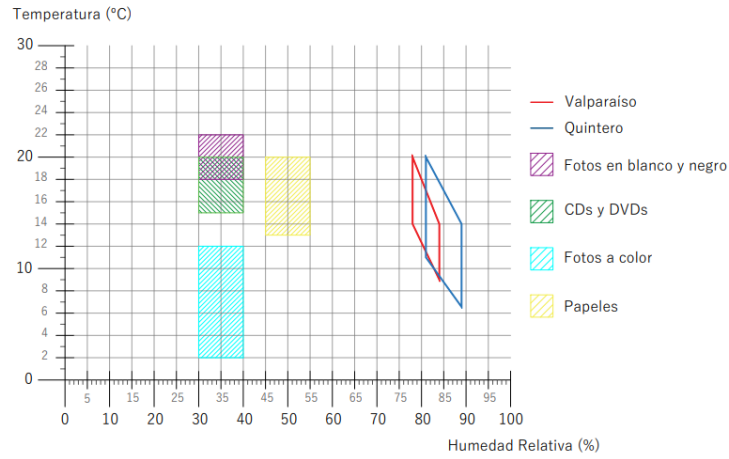
**Figura 4:** Zona Norte Litoral (NL). Elaboración propia



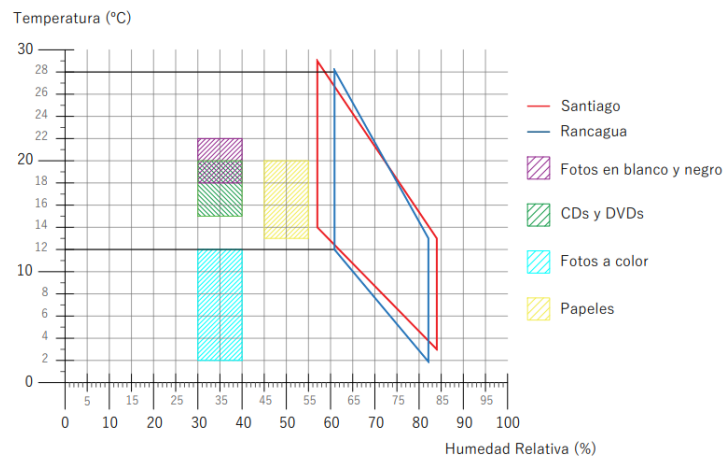
**Figura 5:** Zona Norte Desértica (ND). Elaboración propia



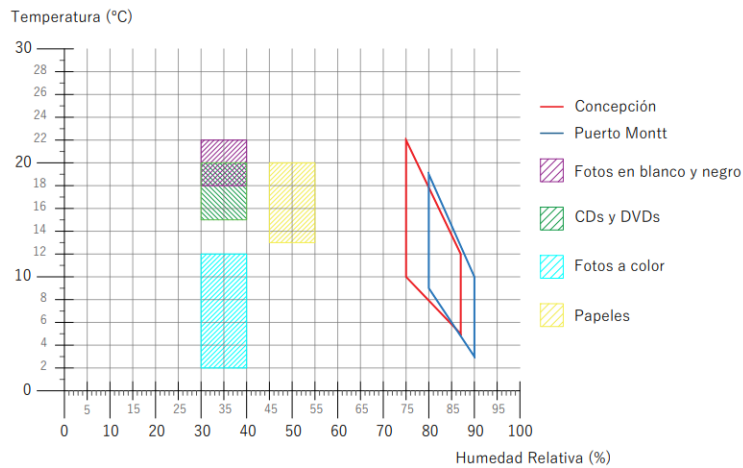
**Figura 6:** Zona Norte Valle Transversal (NVT). Elaboración propia



**Figura 7.** Zona Centro Litoral (CL). Elaboración propia



**Figura 8.** Zona Centro Interior (CI). Elaboración propia



**Figura 9.** Zona Sur Litoral (SL). Elaboración propia

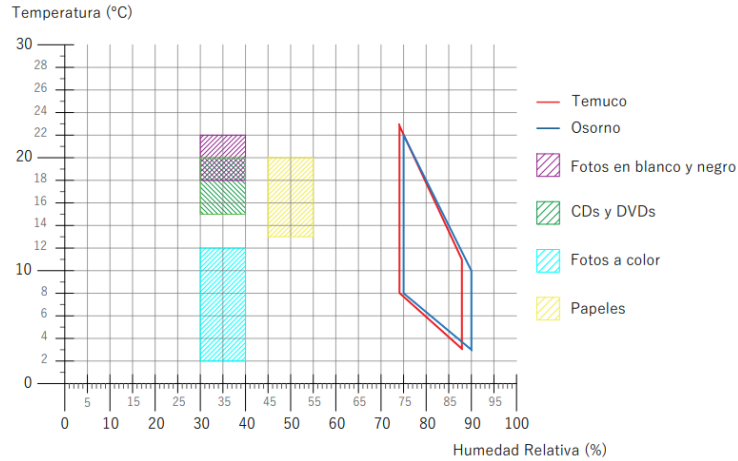


Figura 10. Zona Sur Interior (SI). Elaboración propia

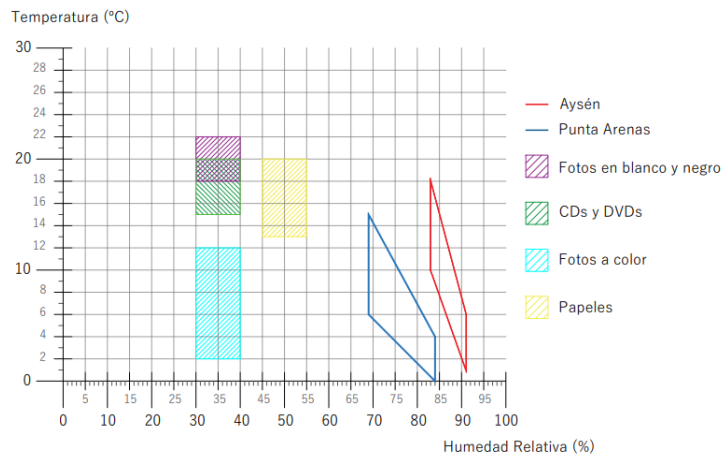


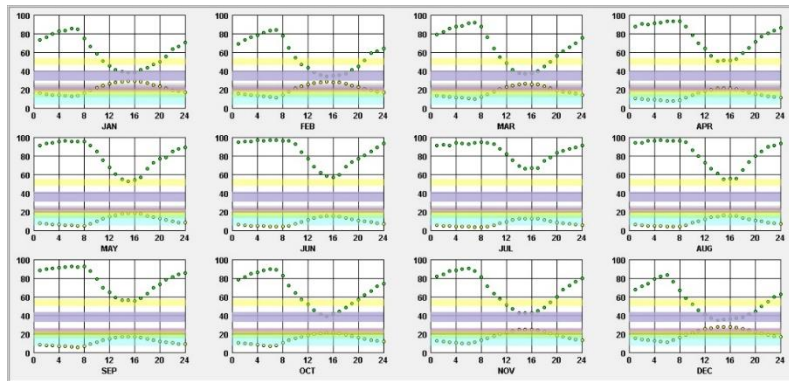
Figura 11. Zona Sur Extremo (SE). Elaboración propia

**4.4. 4to Objetivo: Evidenciar la complejidad de la aplicación de estrategias de diseño pasivo para alcanzar los requerimientos técnicos de cada material tomando como caso de estudio la ciudad de Santiago.**

El clima es una serie de condiciones ambientales que está sujeto a muchas variables. Es por esto que se requiere estudiar de forma profunda cada agente para comprender su impacto sobre el medioambiente y las personas. Dado a la su situación compleja y variable, la temperatura, velocidad de los vientos, humedad relativa, asoleamiento, entre otros se expresa rangos que son representativos. En este contexto, hacer un estudio sobre esta información siempre será una aproximación y no una certeza. Cabe mencionar que en este documento se estudian solo dos de estas variables para facilitar el acercamiento al problema, más se reconoce la complejidad de un análisis completo debido a la densidad de datos a comparar, el cual escapa al alcance de esta investigación. Sumado a lo anterior, también se reconocen los requerimientos de bienestar humano para exponer como principal

dificultad y objetivo, la convivencia y puntos de encuentro entre espacios habitables y no habitables dentro del depósito.

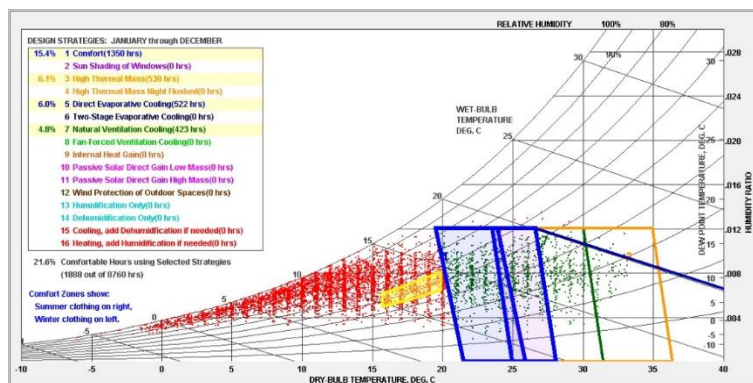
Utilizando el programa Climate Consultant se ha obtenido la información climática de la ciudad de Santiago de Chile, rescatando cifras de temperatura de bulbo seco (amarillo), y humedad relativa (verde) para cada mes del año y los niveles de confort humano en invierno (gris oscuro) y verano (gris claro). El programa presenta esta información en gráficos, a los cuales se les suma el confort de papeles, CDs y DVDs, y fotografías en blanco y negro y color, para visualizar cuales son las solicitudes de acondicionamiento en cada mes y como este varía. (Figura 12)



**Figura 12.** Gráfico Humedad Relativa-Temperatura Mensual Santiago. Climate Consultant 6.0

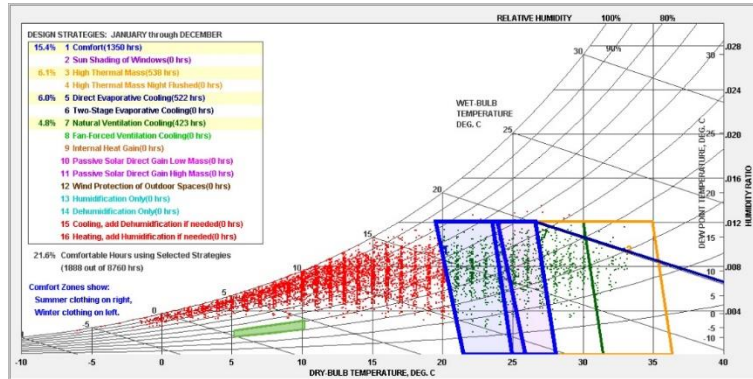
A través del mismo software, se elaboran gráficos psicrométricos que incluyen los rangos ideales de conservación para papeles, material audiovisual y fotografías, sobre los cuales aplican estrategias de diseño que logren disminuir la temperatura y/o humedad relativa. Si bien esto aplica sobre el confort humano, representa el esfuerzo de enfriamiento de dicha estrategia, lo cual da indicios sobre cómo acercarse a un ideal para cada material.

En el caso de los papeles, las estrategias más ideales son de enfriamiento como el de alta masa térmica, el método de enfriamiento directo evaporativo y ventilación natural. (Figura 13)



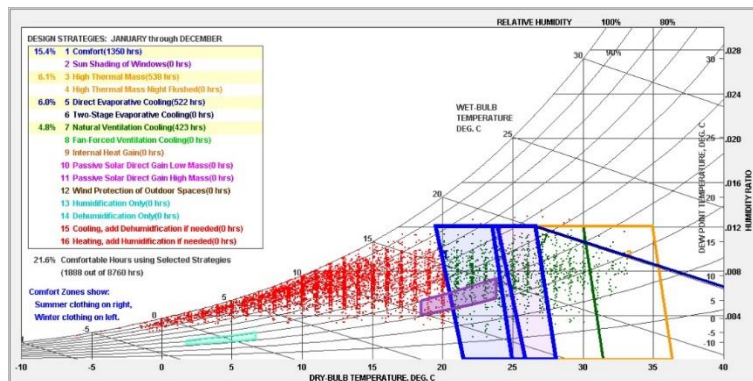
**Figura 13.** Gráfico Psicrométrico Estrategias de Diseño Pasivo para Papel. Climate Consultant 6.0

CDs y DVDs requieren condiciones más extremas respecto a las condiciones meteorológicas de Santiago, por lo que si bien se pueden aplicar estrategias como el de alta masa térmica, el método de enfriamiento directo evaporativo y ventilación natural, para esta familia bibliográfica se deberán ocupar sistemas activos. (Figura 14)



**Figura 14.** Gráfico Psicrométrico Estrategias de Diseño Pasivo para CDs y DVDs. Climate Consultant 6.0

Finalmente, al igual que en el caso del material audiovisual, se pueden aplicar estrategias de enfriamiento para fotografías en blanco y negro. Sin embargo no existe en el programa estrategia que se acerque a las condiciones climáticas de fotografías a color, puesto que dicho rango tampoco se presenta de forma natural en la ciudad de Santiago. Es así, que para este material se debiese emplear sistemas de climatización activa. (Figura 15)



**Figura 15.** Gráfico Psicrométrico Estrategias de Diseño Pasivo para Material Fotográfico. Climate Consultant 6.0

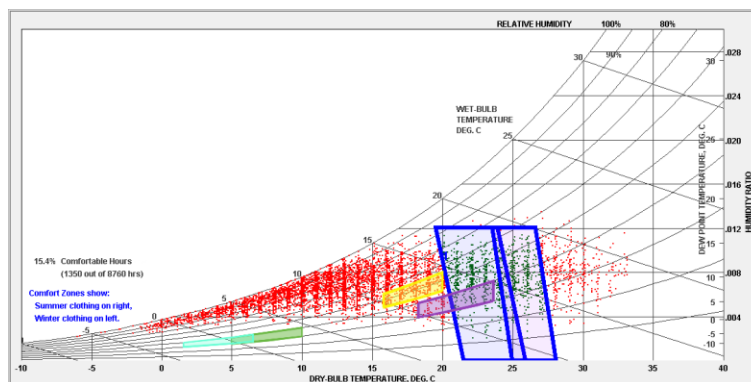
## 5. Conclusiones

El objetivo de esta investigación ha sido exponer la importancia del patrimonio bibliográfico y documental, y explorar métodos para su correcto almacenamiento y prolongación en el tiempo. Es así que, considerando la crítica situación climática que vivimos y el impacto de la construcción sobre el medioambiente, se optó por estudiar la posibilidad de usar herramientas de diseño pasivo para lograr el objetivo.

Chile es un país con gran riqueza y variedad climática, a pesar de esto, se concluye que en las ocho zonas hay que realizar un gran esfuerzo para reducir tanto la temperatura y la humedad relativa del ambiente, a excepción de la zona norte desértica con la ciudad de Calama, que se encuentra en el rango ideal de HR. Sin embargo, requerirá gran despliegue tecnológico para controlar la gran oscilación térmica. Otra zona que destaca es la central interior, que debido a su rango de temperaturas y humedad, es la zona que más se acerca de forma armónica y controlada a los rangos ideales.

Si bien se ha concluido que no es factible alcanzar los niveles óptimos de temperatura y humedad relativa para todas las distintas familias de patrimonio bibliográfico en todos los contextos climáticos chilenos, se ha desarrollado una metodología que permitirá comprender de mejor manera estas variables y hacer uso de dicha información para lograr acercarse lo más posible al objetivo. Asimismo, se plantea que en caso que el edificio no alcance estándares de confort de forma pasiva, se debe recurrir a sistemas activos de calefacción, refrigeración y/o ventilación (2011).

En el caso de la ciudad de Santiago se observa cómo el confort humano se acerca al bienestar de la familia de papeles y comparte un rango de bienestar con fotografías en blanco y negro. Por otro lado, se ve cómo los requerimientos de fotografías a color y material audiovisual se alejan de este parámetro (Figura 16). Con esta información se pueden tener indicios sobre cuales serán los elementos que requerirán mayor despliegue tecnológico y/o estudio para alcanzar dicho estándar.



**Figura 16.** Gráfico Psicrométrico Estrategias de Diseño para Material Bibliográfico. Climate Consultant 6.0

## Referencias

- Área de Estudios, SNM, 2021. Panorama de los museos en Chile: Reporte 2021 [En línea]  
<https://www.registromuseoschile.cl/663/w3-article-115281.html> < Santiago de Chile:  
Subdirección Nacional de Museos, Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio.
- Boston, G., & Keynes, M. (1998). Safeguarding the Documentary Heritage: A Guide to Standards, Recommended Practices and Reference Literature Related to the Preservation of Documents of All Kinds. Memory of the World Programme.  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000112676>
- Climate Consultant 6.0. (2021)
- De Guichen, G. (2021, July 23). Collection Storage: A Window into the Richness of Cultural Heritage. Interview by International Council of Museums.  
<https://icom.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13500775.2021.1956780?scroll=top&needAccess=true#.YtG0s3ZBzrc>
- Departamento Gestión de Proyectos, Subsecretaría del Patrimonio Cultural. Santiago, Región Metropolitana. (2021). Plan Nacional de Infraestructura Patrimonial 2021 – 2026. Ministerio de Culturas, las Artes y el Patrimonio.
- Dirección de Arquitectura (2011). Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, para licitaciones de diseño y obra de la dirección de arquitectura, según zonas geográficas del país y según tipología de edificación. Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos. (2005). Memoria, cultura y creación. Lineamientos políticos. Ministerio de Artes, Cultura y Patrimonio.  
[https://www.patrimoniocultural.gob.cl/sites/www.patrimoniocultural.gob.cl/files/images/articles-5371\\_archivo\\_01.pdf](https://www.patrimoniocultural.gob.cl/sites/www.patrimoniocultural.gob.cl/files/images/articles-5371_archivo_01.pdf)
- Instituto Nacional de Normalización. (2019). Norma Chilena 1079:2019. Arquitectura y construcción: Zonificación climática y térmica habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- International council of museums-committee for conservation. (2008). Terminología para definir la conservación del patrimonio cultural tangible. Nueva Delhi Congress.  
[https://ge-iic.com/files/Cartasydocumentos/2008\\_Terminologia\\_ICOM.pdf](https://ge-iic.com/files/Cartasydocumentos/2008_Terminologia_ICOM.pdf)
- Ley Nº 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas (Ed. 7). (2019). Consejo de Monumentos Nacionales.  
[https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/ley\\_2019\\_web.pdf](https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/ley_2019_web.pdf)
- Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile, Ministerio de Artes, Cultura y Patrimonio. (2017). Patrimonio. Un tesoro intangible. Chile para niños.  
<https://www.chileparaninos.gob.cl/639/w3-article-320941.html> Memory of the World Programme. (1992, March 22).

Memory of the World Resources. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://en.unesco.org/programme/mow>

Olgay, V. (1963). Arquitectura y Clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Princeton University Press. 1ª edición 2019 (impresión digital)

Real Academia Española. (s.f.). Depósito. En Diccionario de la lengua española. Recuperado el 10 de julio, 2021, de <https://dle.rae.es/deposito>

Servicio Nacional de Patrimonio Cultural. (2018). Que es el Patrimonio documental. Ministerio de Culturas, las Artes y el Patrimonio. Gobierno de Chile.  
<https://www.patrimoniocultural.gob.cl/ii-que-es-el-patrimonio-documental>



# Aplicación del cartón para el diseño de estructuras de refugio plegables como respuesta dentro de la arquitectura efímera de emergencia: el origami como inspiración

**Estudiante:** Catalina Alejandra Palma Quezada

**Profesor guía:** Miguel Angel Delso Páez

## Resumen

La arquitectura es una disciplina que busca entender las distintas condiciones de habitar en que puede situarse el ser humano. Una de ellas es la arquitectura efímera de emergencia, una respuesta que puede darse como refugio ante desastres naturales que requiere cumplir de varias condiciones y necesidades. Esta investigación busca abordar los alcances del cartón como sistema constructivo como una oportunidad de desarrollar esta arquitectura, desde una perspectiva en que el pliegue sea el desarrollador de la espacialidad y morfología del diseño arquitectónico. De esta manera, se buscará un vínculo entre sistemas plegables y arquitectura efímera de emergencia mediante la revisión de referentes de proyectos construidos en este material, además del estudio de la sistematización de origami en base a los estudios de Tomohiro Tachi junto a la técnica de acomodación de grosor de Kyler Austin Tolman, con el fin de entender el pliegue y su valor arquitectónico.

**Palabras clave:** refugio, efímero, arquitectura de emergencia, cartón, pliegue.

## 1. Introducción

Dentro de la disciplina de la arquitectura, existen diseños elaborados con un propósito temporal que requieren ajustarse a necesidades de habitar inmediatas. Uno de ellos es la arquitectura de emergencia surgida a partir de los desastres naturales, que se define como “una solución constructiva para cubrir las necesidades surgidas de una situación determinada de riesgo y urgencia, materializadas como infraestructuras que ofrecen soluciones inmediatas como la protección en forma de refugio temporal” (Aguilar, B. 2021).

Bajo esta mirada, en esta investigación se propone analizar los alcances del cartón como sistema constructivo plegable capaz de adaptarse a la arquitectura de emergencia desde una perspectiva del refugio efímero, definida en torno a las palabras de Laura Uribe (2011), como “aquella con la intención de generar espacios que solo cumplieran funciones específicas durante un corto tiempo configurando espacios inesperados mediante materiales cuyas posibilidades no se habían explorado en la práctica arquitectónica”.

Es así como se despierta interés en el uso del cartón junto a sus posibilidades constructivas aplicadas a desarrollar soluciones de habitabilidad de emergencia como una oportunidad, al tratarse de un material sustentable de fácil acceso que tiene la posibilidad de reciclarse, además de ser una alternativa económica que podría responder de manera eficaz contra las necesidades surgentes en este tipo de arquitectura.

De esta manera se opta por el trabajo del pliegue como una alternativa de investigación que busca la innovación en sistemas constructivos que puedan trabajar de manera modular y sistematizada, con el fin de favorecer la rápida respuesta que requiere una situación de emergencia arquitectónica como lo son los desastres naturales.

*“Se precisa, por parte de los arquitectos asumir no sólo un rol más protagónico, sino un aporte en materia del mejoramiento de los procesos del diseño y construcción en beneficio del servicio de atender a uno de los principales derechos del ser humano: el acceso a un refugio digno, en este caso de carácter transitorio”. (Garrido y Peña, 2020, p.2)*

En este trabajo se busca responder a la pregunta de investigación “¿de qué manera es posible usar el cartón mediante la técnica del pliegue para desarrollar un nuevo sistema constructivo aplicable en la arquitectura efímera de emergencia?”, centrándose principalmente al desarrollo de refugios temporales como primera respuesta.

En base a esto, se plantea como hipótesis que el cartón entendido como un material laminar trabaja bien como elemento plegable, que, tanto en ámbitos mecánicos como climáticos, se puede aplicar para construir espacialidades del tipo refugio frente a desastres naturales. Del mismo modo, el cartón plegado responde como un mecanismo de aplicación rápida que puede ser trabajado desde la técnica del origami, dada a la capacidad que tiene este sistema de modularse y compactarse, ayudando a la rápida distribución y armado del refugio que se requiere en este tipo de situaciones.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Cartón como material

Para poder hablar de arquitectura efímera de emergencia en cartón, primero se ve necesario saber las cualidades del material frente a aspectos constructivos. Para ello, se tomará el estudio titulado “Arquitecturas efímeras con cartón: el caso de la village en cartón de Guy Rottier”, del cual se rescata la interpretación del cartón en la arquitectura como una forma de determinar la factibilidad de este material.

*“Independientemente de que no se trate de un material de uso masivo en la construcción, cabe destacar la importancia de la experimentación y búsqueda de nuevas aplicaciones de distintos materiales, especialmente en casos como este, en que su ligereza, economía, facilidad de transporte y aceptable comportamiento térmico, pueden ser también de gran ayuda en proyectos de cooperación internacional que requieran una respuesta rápida como campos de refugiados, viviendas de emergencia, etc.” (Sánchez, R.2016)*

#### Procesamiento y fabricación

La razón de considerar este material como objeto de estudio es tanto su accesibilidad como su factibilidad económica, dado que tanto el papel como el cartón que son utilizados como materia prima tienen facilidad para integrarse a un círculo de reciclaje.

Su fabricación inicia con la recolección de residuos papeleros que, junto con agua en una máquina mezcladora, extraen los materiales indeseables (alambres, plásticos, entre otros) para generar la pulpa. Esta sustancia debe filtrarse hasta obtener la consistencia ideal del papel, para luego emparejarla y secarla en una máquina transportadora. Para la generación del cartón, se unen las láminas de papel con un pegamento especial a altas temperaturas para darle la estructura resistente por la que es conocido.

**Tabla 1:** Tipos y características de los papeles usados en la fabricación del cartón

PAPELES PARA CARAS EXTERIORES	% PAPEL RECICLADO	MALEABILIDAD	RESISTENCIA	ABSORCIÓN DE HUMEDAD	GRAMAJES (en g/m <sup>2</sup> )
TEST LINER DE 4ª CLASE	100%	ALTA	BAJA	ALTA	80-180 g/m <sup>2</sup>
TEST LINER DE 1ª CLASE	90%	MEDIA	MEDIA	MEDIA	110-180 g/m <sup>2</sup>
PAPEL KRAFT	0%	BAJA	ALTA	BAJA	130-450 g/m <sup>2</sup>





PAPELES DE ACANALADURA	% PAPEL RECICLADO	MALEABILIDAD	RESISTENCIA	ABSORCIÓN DE HUMEDAD	GRAMAJES
FLUTING o PAPEL PAJA	100%	ALTA	BAJA	ALTA	110-180 g/m <sup>2</sup>
PAPEL SEMIQUÍMICO	90%	BAJA	MEDIA	MEDIA	130-180 g/m <sup>2</sup>

## Propiedades técnicas

La evaluación del cartón como material constructivo se ve restringida a la información técnica obtenida de la producción masiva de las cajas de embalaje. Es por ello que se considerarán estas variables como forma de medición de las cualidades de resistencia del cartón, especialmente frente a esfuerzos de compresión.

Dado que se busca un sistema plegable, se prioriza el estudio del cartón corrugado u ondulado debido a que es un cartón laminar resistente, maleable y que puede trabajarse bajo una sistematización de patrones de plegado. Este cartón es el resultado de la unión de varias hojas de papel intermediados por una ondulación, permitiendo su maleabilidad.

**Tabla 2:** Tipos y características técnicas del cartón ondulado

TIPOS DE CARTÓN ONDULADO	FABRICACIÓN	TIPOS DE CANALES (Altura de la onda)	RESISTENCIA ECT (en KN/m)	MALEABILIDAD
 <b>SIMPLE CARA</b> (single face - SF)	Es el módulo elemental de todo cartón ondulado y está formado por una hoja lisa (una cara) y un ondulado, unidos entre sí con cola.	Canal E – 1.6 mm Canal B – 2.5 mm	MUY BAJA <b>&lt; 3 KN/m</b>	MUY ALTA
 <b>DOBLE CARA</b> (double face - DF)	Al añadir una segunda cara se forma el doble-cara. Compuestos por dos papeles exteriores y acanaladura	Canal E – 1.8 mm Canal B – 2.7 mm Canal C – 3.5 mm Canal A – 6 mm	BAJA <b>3 - 8 KN/m</b>	MEDIA - ALTA
 <b>DOBLE-DOBLE CARA</b> (double - double - DD)	Si al doble-cara se le añade un segundo módulo simple-cara, constituye el llamado doble-doble	Canal EB -- 4 mm Canal EC -- 5 mm Canal BC -- 7 mm Canal AC -- 8 mm	MEDIA <b>6 - 15 KN/m</b>	MEDIA - BAJA
 <b>TRIPLE ONDULADO</b> (solo papeles kraft y semiquímicos)	Un triple ondulado resulta de un doble-doble con un tercer simple-cara. Como resultado, tiene una <b>baja absorción de humedad</b>	Canal ACC -- 13 mm Canal AAC -- 16 mm	ALTA <b>&gt; 15 KN/m</b>	NO MALEABLE

Según la empresa española Upalet, una empresa especializada en la elaboración de elementos de embalaje en cartón desde 2014, el uso de este material en la elaboración de pallets y cajas es una alternativa más sustentable en comparación a la madera, cumpliendo estándares de resistencia similares pero con ventajas en temas de ligereza, adaptabilidad, rendimiento y sostenibilidad.

**Tabla 3:** Diferencia entre pallets de madera y cartón en una aplicación típica

	Typical Wooden Pallets	Typical Corrugated Pallets
<b>Capacidad:</b>	4,600 lbs (about 2087 kg)	3,000 - 15,000* lbs (about 4536 kg)
<b>Peso:</b>	30 - 70 lbs (about 13.6 - 31.8 kg)	13 - 16 lbs (about 5.9 - 7.3 kg)
<b>Costo por unidad:</b>	\$10 - \$25 US	\$7 - \$20 US

Con esta información y en búsqueda de utilizar un material accesible para la investigación, se opta por el uso de cartón ondulado simple de 2 mm a 3 mm de espesor dada su masificación de producción al usarse en las cajas de cartón, permitiendo usar este mismo formato.

## 2.2. Arquitectura efímera de emergencia: refugios como respuesta inmediata

Para entender este tipo de arquitectura primero hay que atender al concepto de emergencia, el cual “generalmente se trata de una situación inesperada que viene dada por una sucesión de imprevistos que hay que atender y solucionar lo antes posible” (Císcar, C. 2019).

Una manera de enfrentar esta situación sería la arquitectura efímera, “aquella que se diseña para una duración temporal, por su uso tradicionalmente para eventos puntuales y por lo tanto con materiales acordes a estas condiciones” (Aguilar, B. 2021). Esta tipología arquitectónica toma como prioridad ofrecer una infraestructura que solviente necesidades inmediatas como lo es, desde el punto de estudio de esta investigación, la protección en forma de refugio temporal.

### Desastres naturales y arquitectura de emergencia

Los desastres naturales “son procesos climáticos que se encuentran en constante movimiento y transformación de la naturaleza que, cuando superan un límite de normalidad, pueden llegar a afectar un lugar concreto en un determinado momento” (Císcar, C. 2019), pudiendo perjudicar el bienestar tanto físico como psicológico de una localidad.

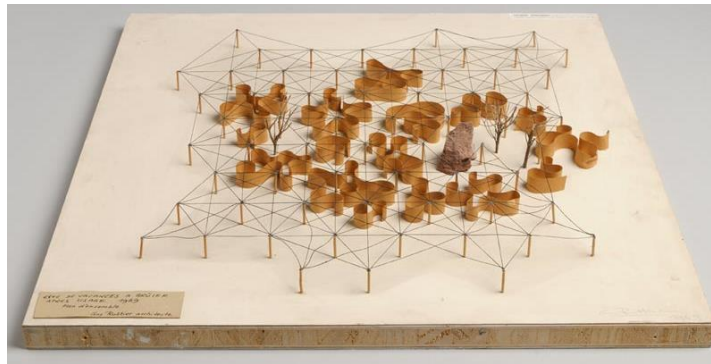
Es por ello que, ante la situación de emergencia producida por un desastre natural, se ve necesario considerar las necesidades humanas a las que debe responder un prototipo de emergencia. En el texto “Arquitectura de emergencia: prototipos contemporáneos efímeros” Muñoz, L. (2015); se describen cuatro características principales a las que debe responder un refugio:

- **Eventualidad** Correspondiente a la inmediatez que un refugio busca responder ante el “socorro, rehabilitación y reconstrucción”, considerando el tiempo empleado en su construcción y su durabilidad.
- **Flexibilidad** Considera el hecho de tener que responder a un amplio abanico de posibles desastres, y que la solución permita adaptarse a posibilidades de adición, modificación o agregación de módulos y formas.
- **Funcionalidad y diseño eficiente** Se deben resolver problemas funcionales y formales, considerando reinventar espacios y trabajar a diferentes escalas en búsqueda de soluciones innovadoras.
- **Economía de recursos y autoconstrucción o montaje** Se prioriza el bajo costo material y disponibilidad bajo un diseño que debe ser adecuado para optimizarse. Se trata de prototipos ligeros, rápidos y fáciles de montar, sostenibles y con posibilidad de reutilización.

### Casos de arquitectura de emergencia en cartón

Para comprobar la factibilidad del uso de cartón en la arquitectura, se opta por presentar casos de importancia realizados en situaciones de emergencia en la variedad de formatos de este material, de tal modo que se deje en evidencia su correcto funcionamiento en este tipo de situaciones.

Uno de los pioneros en el diseño de la arquitectura de emergencia en cartón fue Guy Rottier, otorgando valor al carácter temporal para el diseño arquitectónico de emergencia como una solución óptima. Destaca por su diseño de la village en cartón (Figura 1) como una propuesta que refleja el cambio social vivido a finales de la época de los 60.



**Figura 1.** *Village en cartón de Guy Rottier, 1969.* Fotografía de Francis Lauginie. Ciudad de vacaciones para quemar después de su uso. Maqueta, 4.5 x 51.5 x 51.5 cm.

Es relevante mencionar al arquitecto Shigeru Ban, ganador del premio Pritzker en 2014 por sus destacadas obras que utilizaron el cartón como material principal visible el diseño arquitectónico. Atendiendo principalmente las necesidades ante un desastre natural, construye refugios temporales que responden a la emergencia brindando una solución rápida y cómoda.



**Figura 2.** *Catedral de cartón en Nueva Zelanda, 2013.* Fotografía de Stephen Goodenought. Construcción temporal bajo la necesidad simbólica de la ciudad afectada. La geometría derivó de la catedral original.

### Casos de arquitectura efímera de emergencia plegable

La arquitectura de emergencia requiere de una rápida respuesta en donde se priorice la velocidad de construcción, en la que el pliegue de la estructura se considera una buena solución que optimiza la eficacia de respuesta en temas de transporte a la zona afectada, además del armado y ensamble rápido. “Generalmente este tipo de intervenciones tienen carácter efímero, pues debido a su economía de recursos la durabilidad no es el objetivo del diseño o del proceso constructivo” (Muñoz, L. 2015).

Un caso que puede demostrar esto lo da la arquitecta Tina Hovsepian, quien busca dar ayuda a las personas sin hogar con el diseño de un prototipo llamado Cardborigami (Figura 3), una estructura con el fin de brindar un vivienda temporal y portátil tipo refugio para resguardar a las personas como parte de un proceso de adquisición de vivienda. Aplica el sistema de origami como módulo prefabricado para su rápido despliegue y posterior uso.

Del mismo modo, un estudio japonés llamado Atelier OPA desarrolló una cápsula de cartón (Figura 4) enfocada a atender las necesidades de las personas que necesiten un refugio frente diversos desastres y escenarios de emergencia. Se caracteriza por ser una pieza de arquitectura efímera diseñada en base a un sistema prefabricado ensamblable que se puede plegar y apilar.



**Izq. Figura 3.** *Cardborigami*, 2013. Fotografía de Justine Testado.

**Der. Figura 4.** *Cápsula de cartón para dormir*, 2021. Fotografía de Cabrera Bienes Raíces.

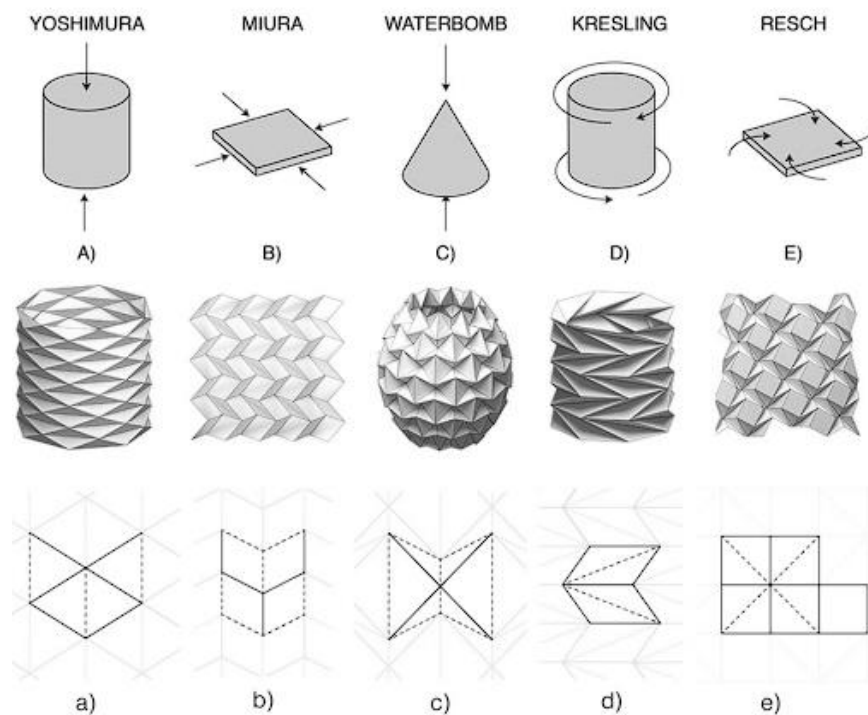
### 2.3. Técnicas de estructuras plegables

Para hacer un acercamiento al funcionamiento de las estructuras plegables laminares, se opta por realizar el estudio geométrico planteado en la técnica japonesa del origami dado que trabaja un sistema de pliegue como un arte tradicional desde tiempos inmemorables. En palabras del arquitecto Manuel Carrasco,

*“El conocimiento de la ancestral técnica del Origami unido a nuestra formación como arquitectos nos va a permitir experimentar con formas y geometrías que van a enriquecer nuestra percepción sobre el espacio arquitectónico. Si el pliegue es importante en la historia de la arquitectura es en el Origami donde el concepto de ‘plegado’ se investiga hasta sus últimas consecuencias.” (Carrasco, M. 2015)*

### Técnica de patrones de origami tradicionales

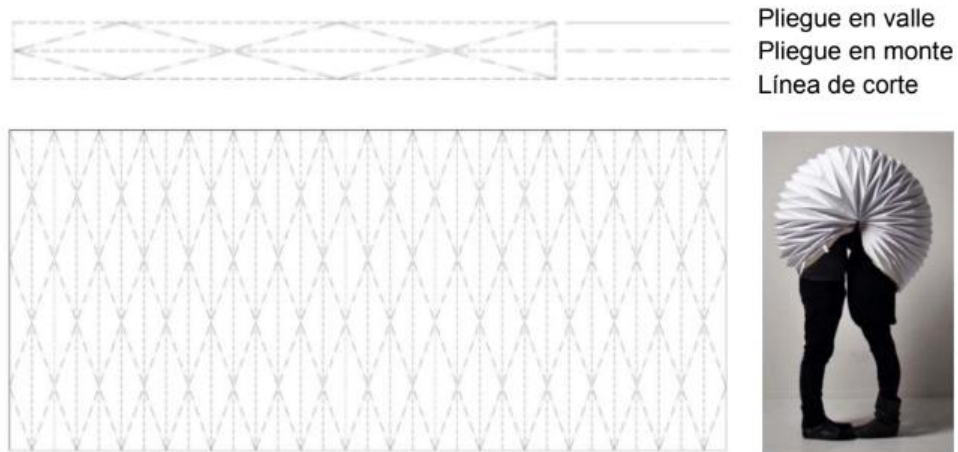
En el texto “ORI\* On the Aesthetics of Folding and Technology” (Gardiner, M. 2018) se trabajan distintos patrones de origami tradicionales simétricos que son de interés arquitectónico, puesto que permiten la formación de pliegues en base a cuerpos geométricos que pueden tomarse como unidad básica para el diseño de una pieza arquitectónica (Figura 6). En base a esto, se propone estudiar los patrones en sus estado plegado y desplegado con el fin de un posterior estudio práctico en la fase de experimentación física.



**Figura 6.** Patrones de plegado naturales: la relación geométrica entre fuerzas y patrones de plegado, 2018. a) Compresión cilíndrica de Yoshimura. b) Compresión planar transversal de Miura. c) Compresión cónica de Waterbomb. d) Compresión rotacional de Kresling del cilindro. e) Compresión Resch torsional del plano. Ilustración de Matthew Gardiner.

La comprensión de los patrones de plegado de origami con el fin de transmitir la correcta forma de plegado de una lámina de papel se puede entender en base al sistema Yoshizawa-Randlett (Figura 5), un sistema de diagramación que se utiliza hoy en día que consta de una simbología de líneas punteadas que indican la orientación y el modo de pliegue.



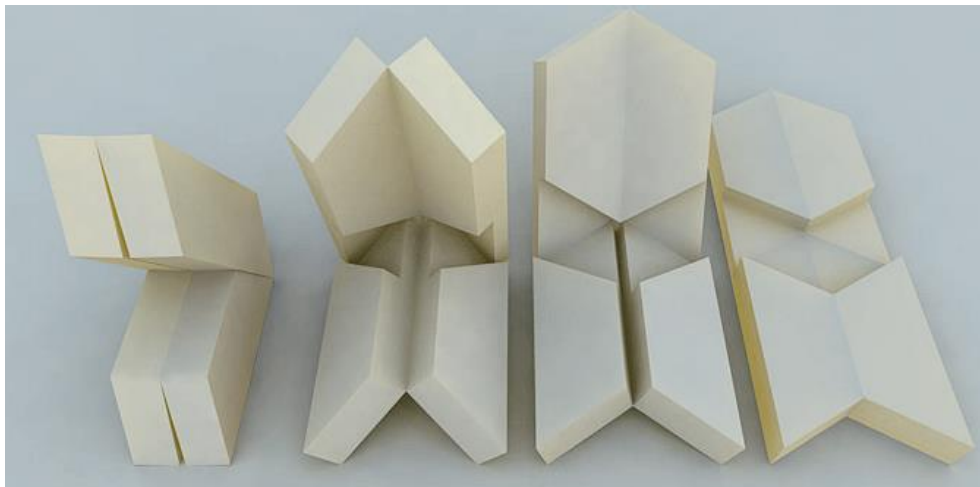


**Figura 5.** Patrón de plegado CP1, 2015. Fotografía desde el Colegio Oficial Arquitectos de Madrid

### Técnica de patrones de origami de Tomohiro Tachi

El académico japonés Tomohiro Tachi estudia patrones de plegado desde 2018, siendo en la actualidad uno de los mayores representantes en esta materia. La investigación que lleva a cabo titulada “Rigid-Foldable Thick Origami” hace énfasis en el origami rígido, estructuras conformadas de placas rígidas que se pliegan dentro de un sistema tridimensional (Figura7).

Uno de los sistemas de estudio considera el material plegado con un espesor constante, el cual se compone de distintos pliegues que mantienen el rango de movimiento similar al origami tradicional desde una construcción simplificada (Figura8).



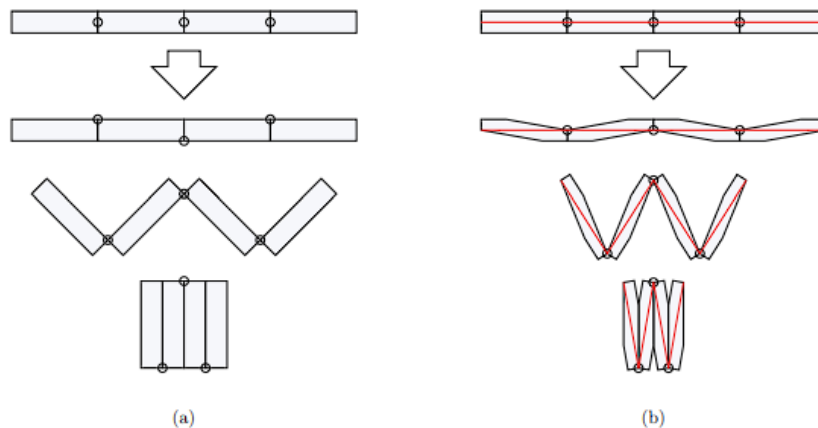
**Figura 7.** El movimiento de plegado del origami rígido, 2011. Maqueta de Tomohiro Tachi.



**Figura 8.** Ejemplo de diseño de origami rígido plegable materializado con telas y cartones, 2011. Maqueta de Tomohiro Tachi.

### Técnica de acomodación de grosor de Kyler Austin Tolman

Otra técnica que complementa el estudio del origami rígido tratado por Tachi sería la investigación de Tolman titulada *Developing Hybrid Thickness-Accommodation Techniques for New Origami-Inspired Engineered Systems*. En ella se propone un sistema geométrico para resolver la diferencia de grosor de un material en comparación al papel, puesto que la técnica de origami funciona correctamente en un espesor nulo, y cambiar ese grosor implica que el nuevo material no se comporte de la forma deseada. Como el cartón como material de estudio no posee el deseado espesor cero, se ve necesaria la experimentación con estos sistemas de acomodación de grosor para realizar el nuevo sistema plegable.



**Figura 9.** Dos enfoques para habilitar el origami de panel grueso, 2017. (a) Cambio de eje. (b) El método propuesto basado en el recorte por planos bisectores. Rojo camino representa el origami ideal sin espesor. Ilustración de Tolman.

### 3. Métodos

#### 3.1. Tipo de investigación

Como esta investigación busca determinar de qué manera se puede aplicar el cartón en la arquitectura de refugio efímera de emergencia, se optará por las siguientes cualidades:

- **Descriptiva** para la recolección de antecedentes necesarios que permitan evaluar las condiciones mínimas y óptimas en cuanto a las necesidades que requiere la arquitectura efímera de emergencia, junto a las características físicas y mecánicas que soporta el cartón como material para cumplir este rol.
- **Explicativa** dirigida a entender el funcionamiento del pliegue desde la técnica tradicional del origami y al cómo esta puede aplicarse a la materialidad del cartón.
- **Exploratoria** en tanto se evalúan distintas posibilidades que pudiesen incidir en la finalidad de entender el cartón como un sistema plegable, bajo las oportunidades otorgadas por el sistema de acomodación de grosor de Tolman.
- **Experimental** dado que se requiere desarrollar modelos físicos que busquen aterrizar las posibilidades constructivas del cartón como un sistema plegable, y de modo tal que se deje registro y evidencia del proceso de prototipado.

#### 3.2. Recolección de datos

En primer lugar y para tener un acercamiento al material de estudio, se investiga a través de fuentes multimedia la producción y elaboración industrial del cartón reciclado. Junto a ello, se toma contacto con la industria chilena de embalajes Infinito que trabaja principalmente la materialidad del cartón con el fin de obtener información de producción además de brindar el material necesario para la realización de prototipos, sin embargo, la empresa no tuvo buena disposición en colaborar y no fue posible obtener material visual más allá de la información.

Dado estos inconvenientes, se acoge a la investigación web de seminarios o tesis de distintas universidades para complementar la información obtenida con tablas referenciales, mientras que la obtención del cartón se realizó mediante desechos de cajas de cartón de locales comerciales y ferias libres.

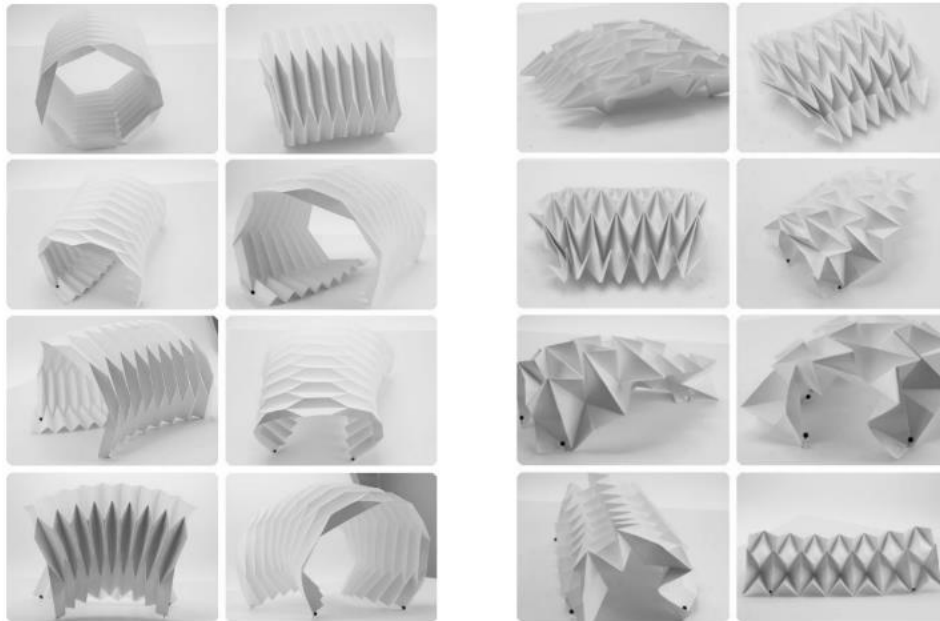
En segundo lugar, se buscan referentes de arquitectura efímera y arquitectura de emergencia en sitios web, revistas de arquitectura, artículos y entrevistas a arquitectos o expertos en el tema, con el fin de saber en qué condiciones se encuentra este tipo de arquitectura en la actualidad junto a su relación con la materialidad del cartón.

Por último, para el estudio de las técnicas del origami, se investiga con material multimedia, la visita de sitios web y la revisión de artículos. Sin embargo, se entiende que este proceso es informativo y da pie a la fase experimental posterior del prototipado, el cual busca experimentar con el cartón la funcionalidad de los sistemas investigados.

### 3.3. Análisis de datos

Si bien existe gran variedad de patrones de plegado de origami en la actualidad, se eligen aquellos patrones que tengan facilidad para formar espacialidades como los revisados anteriormente en el texto “ORI\* On the Aesthetics of Folding and Technology”, entendiendo que cada patrón tiene su comportamiento natural.

La razón de estos patrones de origami se da en base a su simetría, una característica necesaria para poder sistematizar el pliegue en base a la acomodación de grosor establecidos por Tolman. Para ello, se considera el patrón Miura a partir de una superficie constante con tendencia a generar espacialidades rectas, contrastado y comparado con el patrón de origami Waterbomb que puede trabajarse desde la unión de varias partes y permite mayor flexibilidad de diseño espacial.



**Izq. Figura 10.** Distintas variaciones del patrón de origami Miura, s.a. Posibles aplicaciones arquitectónicas. Maqueta de papel por Jean-François Roy. **Der. Figura 11.** Distintas variaciones del patrón de origami Waterbomb, s.a. Posibles aplicaciones arquitectónicas. Maqueta de papel por Jean-François Roy.

Antes de evaluar si el sistema de acomodación de grosor de Tolman se puede aplicar a los patrones de origami seleccionados, es importante hacer pruebas de cómo reacciona el cartón a estas técnicas con la pieza mínima de pliegue de cada patrón, con el fin de establecer un modo de trabajo que servirá de guía y verificación de qué manera se vuelve posible aplicar el sistema a esta materialidad junto a qué otros recursos se necesitarían para su correcto funcionamiento.

De esta manera se seleccionan tres sistemas de acomodación de grosor que se estiman que responderían de buena manera en la materialidad del cartón, los cuales se verán

comparados mediante una tabla de resultados de eficiencia de diseño con una metodología similar a la utilizada por Bruno Aguilar en su tesis *“Arquitectura de emergencia: El cartón como alternativa”*, en donde se utiliza una tabla que compara el montaje, la disposición del sistema plegable y la rigidez estructural que este tenía frente a distintas situaciones climáticas.

Tabla referencial

Montaje	Disposición	Rigidez estructural
Número de personas y tiempo estimado de montaje	Trabajo de módulo único o que permita la agregación de unidades	Autosoportante o que requiera de anclaje al suelo

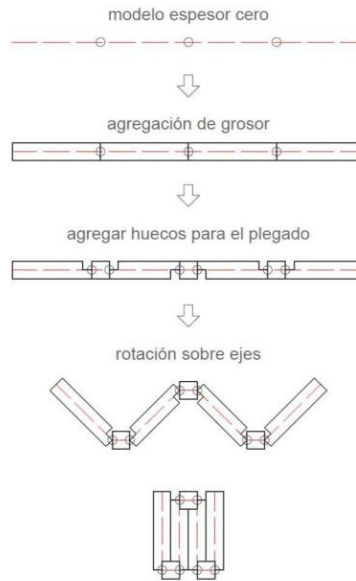
Para entender de mejor manera el cómo se trabaja esta sistematización de los pliegues en el cartón, se ve necesario profundizar en las técnicas seleccionadas utilizando una metodología de análisis comparativa similar a la realizada por Daniel Barroso en su trabajo de investigación *“Arquitectura transformable. Estructuras desplegadas. Del plano al pliegue, del pliegue al espacio. Diseño de un pabellón desplegable basado en el arte japonés del origami”*, en donde mediante imágenes y descripciones se explica su funcionamiento.

#### **Técnica de bisagra duplicada**

Como su nombre lo dice, la *técnica de bisagra duplicada* consiste en la implementación de una bisagra entendida como una unidad con espesor entre dos paneles de plegado, el cual trae como consecuencia la modificación del patrón original al considerar en el diseño este nuevo elemento. Esta técnica modifica el modelo de espesor cero dividiendo cada línea de plegado en dos líneas, considerando que los paneles se vean modificados en sus extremos con la finalidad de evitar roces e intersecciones entre estos y la bisagra seleccionada.

Como ventaja y si la unión donde se sitúa el pliegue se ve realizada de manera eficiente, la estructura general del plegado se ve rigidizada mediante un sistema compuesto de paneles que serían capaces de aguantar mayores esfuerzos, sin embargo, el diseño final del elemento plegado no se podría ni extender en su totalidad ni plegarse por completo, dado que la bisagra que articula el sistema cuenta con su propio grosor que entorpecería estas funciones. Al tratarse de un sistema plegable que busca la formación de espacialidad, esta característica no supondría un problema para su funcionamiento, sino que podría favorecer a mayor flexibilidad de diseño de distintos tipos de refugio según se estime conveniente.

Para que esta técnica funcione en la materialidad del cartón, se opta por utilizar una bisagra flexible en forma de C que al adherirse al cartón permita el movimiento del pliegue deseado. Para llevar a cabo el funcionamiento de esta técnica al momento de realizar el estudio del prototipado se elige la materialidad plástica de una bombilla que, dada su flexibilidad y forma, se estima que podría responder de manera eficiente ante el plegado.



**Figura 12.** Técnica de acomodación de grosor de bisagra duplicada, 2019. Proceso de plegado desde un elemento lineal de espesor cero. Esquemas por Daniel Barroso.

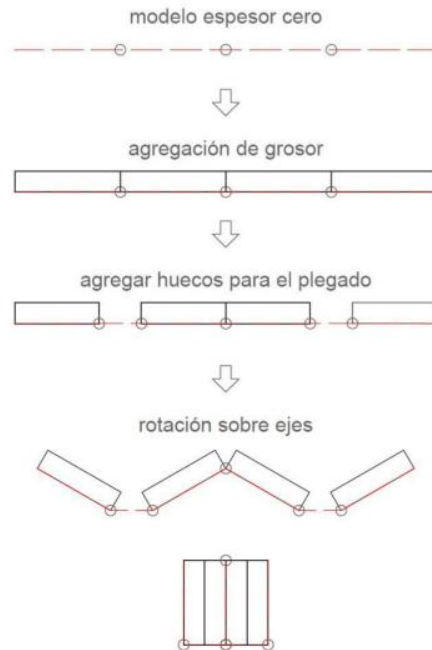
### Técnica de bisagra de membrana

La técnica de bisagra de membrana si bien se considera como una de las técnicas de bisagra, su comportamiento varía en comparación a la técnica vista anteriormente dado que no modifica el diseño del patrón de plegado original, al mismo tiempo que permite realizar pliegues que casi podrían funcionar como el comportamiento de espesor cero del origami.

Bajo este sentido, esta técnica explora la utilización de membranas de mínimo espesor que funcionen como una bisagra sin interponerse entre los paneles de plegado, logrando que el pliegue se realice de manera ideal en el punto de unión de estos. De esta manera se podría considerar que esta técnica de acomodación de grosor podría ser la ideal para aprovechar de buena manera el material dado que la compactación y la extensión del sistema se podrán realizar en su totalidad.

Sin embargo, se puede apreciar una desventaja en que la membrana puede verse frágil ante esfuerzos de compresión o hasta de la misma gravedad con el peso del material de los paneles de plegado, por lo que si se trabaja con una membrana muy delicada podría verse necesario el uso de puntos de apoyo o elementos articuladores que fijen el sistema al suelo para que se pueda mantener en pie.

Para que esta técnica funcione en la materialidad del cartón, se opta por utilizar una membrana de espesor casi cero que vaya completamente adherida al cartón sin dejar espacio entre cada panel de plegado más allá del grosor mismo de la membrana. Se elige utilizar cinta de papel en la realización del modelo de prototipado, estimando que de esta manera podría lograrse el funcionamiento ideal de este sistema.



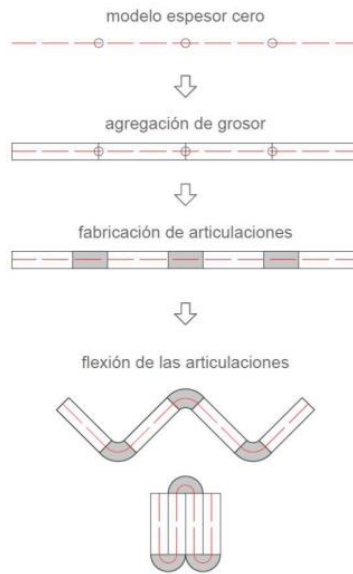
**Figura 13.** *Técnica de acomodación de grosor de bisagra de membrana, 2019.* Proceso de plegado desde un elemento lineal de espesor cero. Esquemas por Daniel Barroso.

### **Técnica de articulación flexible**

La *técnica de articulación flexible* para el acomodar el grosor utiliza la misma materialidad vista en los paneles para crear sus articulaciones de pliegue, actuando como una unidad de sistema que dependiendo del grosor del panel utilizado podría tener un comportamiento flexible similar a la técnica de bisagra de membrana.

Esta técnica guarda relación con el uso de una bisagra en el diseño del patrón, dado que para poder tener el espacio para el doblar de los paneles es necesario modificar el patrón inicial añadiendo un grosor entre cada línea de pliegue. Estas articulaciones agregadas modifican la rigidez del panel con el fin de lograr el pliegue deseado, lo que puede ser dañino para el sistema final del plegado dado que incide directamente en su calidad y depende de que todas las articulaciones se vean correctamente efectuadas para no tener problemas de colapso del sistema frente a distintos esfuerzos.

Para que esta técnica funcione en la materialidad del cartón, se decide retirar las placas rígidas y planas de ambas caras del cartón dejando expuesta la ondulación interna, la cual se estima que debiese responder de buena manera al momento del pliegue. No se ve necesario el uso de un material adicional para su correcto funcionamiento, más bien se debe tener presente que la extracción de las caras del cartón debe realizarse con cuidado para no dañar la estructura de ondulación interna.



**Figura 14.** Técnica de acomodación de grosor de articulación flexible, 2019. Proceso de plegado desde un elemento lineal de espesor cero. Esquemas por Daniel Barroso.

De esta manera y a modo de síntesis, el análisis de la totalidad de los datos se verá realizado en torno a los resultados obtenidos de la actividad práctica de realización de modelos físicos tipo prototipo del funcionamiento del cartón frente a las distintas técnicas de acomodación de grosor en los patrones de plegado seleccionados, como modo de verificar los antecedentes recopilados. Para ello, se plantea hacer una tabla comparativa de síntesis entre los distintos prototipos realizados para evaluar su factibilidad constructiva, comparando su capacidad de plegado o compactación, dificultad y tiempo invertido en la técnica; todo con el fin de distinguir la calidad entre un modelo u otro.

Tabla referencial

Dificultad del patrón	Imagen del plegado	Capacidad de plegado	Tiempo invertido
-----------------------	--------------------	----------------------	------------------

#### 4. Resultados

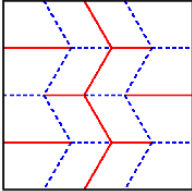
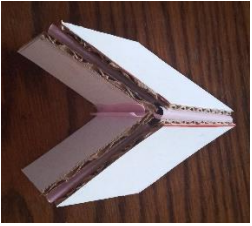

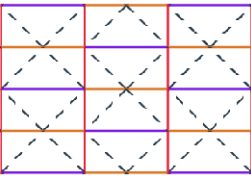

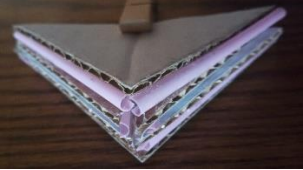
Para la realización de los prototipos se eligieron piezas de cartón de 2 mm a 3 mm de espesor, sobre los cuales se hicieron las piezas mínimas de cada patrón de origami seleccionado en un formato aproximado de 12 x 12 cm.

##### Técnica de bisagra duplicada

En primer lugar, se llevó a cabo el prototipo de las piezas en los patrones Miura y Waterbomb utilizando la técnica de acomodación de grosor de *bisagra duplicada* de las cuales se obtuvo el siguiente resultado:



- Las bisagras vuelven el sistema de pliegue rígido, provocando que los pliegues se cierren naturalmente sobre si mismos y no se puedan extender en su totalidad.
- Las bisagras deben quedar correctamente adheridas a los planos de pliegue para que el sistema no colapse. En el caso de los prototipos el haber utilizado bombillas para la articulación de los paneles no funcionó de buena manera, dado que la bombilla en su comportamiento natural curvo tuvo tendencia a despegarse del cartón.
- Las bisagras al agregar un grosor adicional al propio del cartón y al posicionarse sobre los lados de los paneles, no permiten una intersección de los paneles en las puntas, por lo que se crean agujeros no deseados que, en vista de ser un sistema pensado para responder ante desastres naturales, terminaría no funcionando como es esperado.
- El sistema puede plegarse casi en su totalidad, sin embargo, las bisagras se sienten tensas como si el plegado fuera un movimiento forzado. Se entiende que esta dificultad puede deberse netamente a la materialidad elegida para el sistema de bisagra y que el cambiarlo podría corregir el problema.

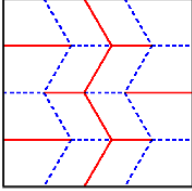
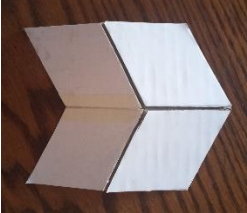

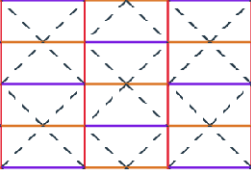
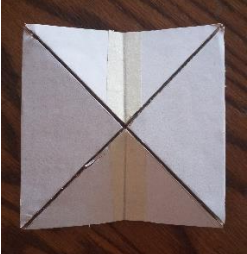

<p>Patrón Miura</p> 	<p>Pieza en estado natural</p> 	<p>Capacidad de plegado</p> 	<p>Tiempo invertido aproximado de 40 min en armar la pieza básica</p>
<p>Patrón Waterbomb</p> 	<p>Pieza en estado natural</p> 	<p>Capacidad de plegado</p> 	<p>Tiempo invertido aproximado de 30 min en armar la pieza básica</p>

En síntesis y revisando la tabla comparativa, si bien los sistemas funcionan de la misma manera en cuanto a la funcionalidad y el comportamiento de la bisagra, existe una mayor complejidad en la realización del patrón Miura en esta técnica dado que se trata de un patrón que no es simétrico y que posee pliegues opuestos, por lo que la unión de las bisagras se ve más complicada de llevarse a cabo.

#### Técnica de bisagra de membrana

En segundo lugar, se llevó a cabo el prototipo de las piezas en ambos patrones utilizando la técnica de acomodación de grosor de *bisagra de membrana* junto a una cinta de papel de 2 cm de ancho que cumplía la función articuladora, pudiendo recopilar el siguiente resultado:

- La membrana se colocó por el lado en el cual se unirían dos paneles, de modo tal que al momento del plegado estos pudieran quedar completamente juntos. Esto conlleva a que las membranas van cambiando de posición dependiendo del sentido en el que se quiere lograr el pliegue, pudiendo estar en ambas caras del panel.
- El sistema de bisagra de membrana al moverse o elevarse en el aire no mantiene su forma, resultando que con el más ligero movimiento se deforma el pliegue abriéndose o cerrándose involuntariamente.
- El sistema puede plegarse en su totalidad sin ningún problema, permitiendo que las caras de los paneles tengan contacto completo y parejo sin huecos entre las uniones de los vértices. Esto reduce el tamaño de plegado al mínimo por lo que se vuelve más sencillo el transporte del sistema.

<p>Patrón Miura</p> 	<p>Pieza en estado natural</p> 	<p>Capacidad de plegado</p> 	<p>Tiempo invertido aproximado de 15 min en armar la pieza básica</p>
<p>Patrón Waterbomb</p> 	<p>Pieza en estado natural</p> 	<p>Capacidad de plegado</p> 	<p>Tiempo invertido aproximado de 15 min en armar la pieza básica</p>

En síntesis y revisando la tabla comparativa, ambos patrones de plegado responden de la misma manera al sistema de bisagra de membrana, por lo que no existe diferencia de complejidad en la realización de un patrón u otro. Esto permite que se pueda utilizar esta técnica para variedad de formas de espacialidades en el diseño de refugios de emergencia.

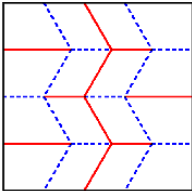
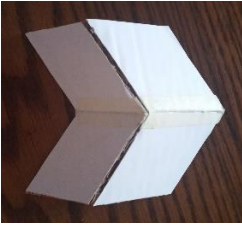

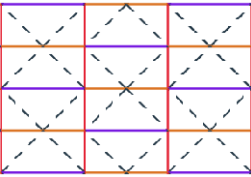
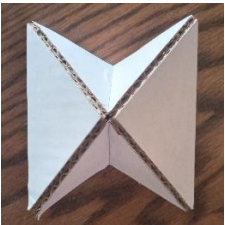
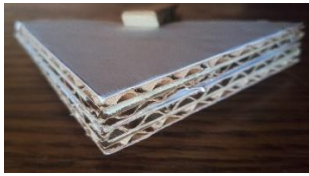
### Técnica de articulación flexible

En tercer y último lugar, se llevó a cabo el prototipo de las piezas en ambos patrones utilizando la técnica de acomodación de grosor de *articulación flexible*, de las cuales se obtuvo el siguiente resultado:

- Los cortes realizados al cartón definen la calidad del plegado, resultando en que las intersecciones entre cada panel variaran su calidad de plegado. Se probó cortar directamente el cartón y retirar una de las caras planas para dejar expuesta la

estructura de ondulación interna, obteniendo que en el primer caso el pliegue se realizaba con mayor facilidad con el segundo, pero afectando a la rigidez del sistema.

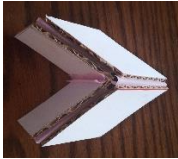

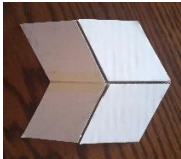
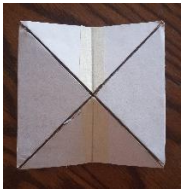

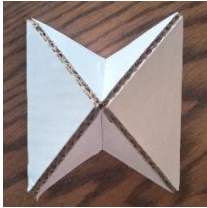
- Los dobleces al momento de plegar el sistema incidían directamente en el panel de cartón, resultado que algunas uniones dependiendo de la calidad de las mismas sufrieran deformaciones al doblarse sus extremos.
- El sistema puede plegarse en su totalidad, pero se observa cierta tensión del cartón al efectuar el plegado. Se entiende que este nivel de plegado total funciona dado el espesor del cartón utilizado, sin embargo, si se considerara el uso de cartón de mayor grosor es probable que no pueda existir un plegado total.

<p>Patrón Miura</p> 	<p>Pieza en estado natural</p> 	<p>Capacidad de plegado</p> 	<p>Tiempo invertido aproximado de 30 min en armar la pieza básica</p>
<p>Patrón Waterbomb</p> 	<p>Pieza en estado natural</p> 	<p>Capacidad de plegado</p> 	<p>Tiempo invertido aproximado de 20 min en armar la pieza básica</p>

En síntesis y revisando la tabla comparativa, ambos patrones de plegado necesitaron de una membrana adicional en su composición para poder realizar la pieza básica, puesto que las diagonales presentes en el diseño de cada patrón no respondían al comportamiento ortogonal interno propio del cartón, tendiendo a que el cartón se deformara. Por otro lado, existe una diferencia entre ambos patrones al momento de realizar la técnica de articulación flexible, en donde destaca el patrón Waterbomb por sobre al Miura dado que al ser simétrico en todas direcciones vuelve más sencillo el proceso de plegado.

### **Eficiencia de diseño**

Con todos estos datos recopilados se pueden comparar las tres técnicas vistas anteriormente junto a cada patrón para determinar cómo respondería su sistematización, de modo tal que se pueda obtener un estimativo de que tan eficiente es cada sistema al momento de hacer un refugio que responda frente a desastres naturales.

<b>Patrones</b>	<b>Disposición</b>	<b>Montaje</b>	<b>Rigidez estructural</b>
Bisagra Miura 	Su diseño se trabaja desde un módulo único planificado inicialmente	3 personas, 2hrs aproximadamente	Autosoportante
Bisagra Waterbomb 	Su diseño permite agregar unidades una vez construido el sistema	3 personas, 2hrs aproximadamente	Autosoportante
Membrana Miura 	Su diseño se trabaja desde un módulo único planificado inicialmente	5 personas, 5hrs aproximadamente	Requiere de anclaje al suelo
Membrana Waterbomb 	Su diseño permite agregar unidades una vez construido el sistema	5 personas, 5hrs aproximadamente	Requiere de anclaje al suelo
Articulación Miura 	Su diseño se trabaja desde un módulo único planificado inicialmente	3 personas, 5hrs aproximadamente	Autosoportante siempre que el cartón tenga buen grosor
Articulación Waterbomb 	Su diseño permite agregar unidades una vez construido el sistema	3 personas, 5hrs aproximadamente	Autosoportante siempre que el cartón tenga buen grosor

Los datos otorgados por esta tabla dan luces de que el patrón Waterbomb es el que funciona de mejor manera frente a una eventualidad de desastre natural, puesto que posee flexibilidad de diseño en el sentido de que si, por ejemplo, una parte del refugio se ve dañada o necesita expandirse, se ve posible realizar tales modificaciones gracias a la naturaleza del patrón. Además, si se trabaja el cartón de la forma adecuada junto al sistema de acomodación de grosor de bisagra duplicada se puede obtener un sistema resistente que con la facilidad del plegado vería simplificado el momento de armarse un refugio.

## 5. Conclusiones

El trabajo de investigación realizado se vio enfocado principalmente en la realización de distintos prototipos para comprobar la calidad del funcionamiento de los sistemas de pliegue seleccionados a partir de las técnicas del origami, para verificar de qué manera se ve posible incluir el pliegue a la materialidad de cartón. En ese sentido se aprecia por sobre todo el valor práctico y metodológico los cuales dan pie a que esta investigación pueda ser continuada en un futuro si es que así alguien lo estima conveniente.

Tras la realización de las piezas mínimas de plegado del patrón Miura y Waterbomb, se deja en evidencia que el patrón de origami Waterbomb trabaja de manera más eficiente independiente del sistema de acomodación de grosor utilizado, gracias a que su patrón al ser simétrico en todos los sentidos permite que el diseño final del sistema pueda trabajarse no solo desde un concepto previo de idea de refugio, sino también permite modificarse según las circunstancias lo requieran.

Respondiendo a la pregunta de investigación “¿de qué manera es posible usar el cartón mediante la técnica del pliegue para desarrollar un nuevo sistema constructivo aplicable en la arquitectura efímera de emergencia?”, se puede concluir que el despliegue del cartón en la unidad mínima de una pieza de un patrón de origami puede funcionar de manera eficaz para formar un sistema constructivo, el cual variará su rendimiento según el sistema de acomodación de grosor utilizado. Además de esto, se considera que el cartón al poder plegarse y compactarse podría responder de buena manera en tiempos de armado de un refugio como primera respuesta ante un desastre natural, una característica que podría ser esencial cuando se trata de responder a la primera necesidad de un techo para las personas afectadas.

Esta investigación posee varias aristas que no se pudieron abordar que podrían dar pie a una nueva investigación futura, en donde por ejemplo se podría profundizar la investigación de aplicaciones de otro tipo de bisagras que funcionen bien con el cartón y que le den rigidez al sistema sin poseer huecos en los encuentros entre los paneles, a partir de una nueva revisión a los sistemas de acomodación de grosor de Tolman.

## 6. Referencias

- Aguilar, B. (2021). Arquitectura de emergencia: El cartón como alternativa [Tesis]. Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación, Universidad Politécnica de Cartagena.  
<https://repositorio.upct.es/handle/10317/10269>
- Aguilar, S. (2021). Arquitectura de emergencia: estudio y ejemplificación de sistemas constructivos [Tesis]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/343196>
- Barroso, D. (2019). Arquitectura transformable. Estructuras desplegables. Del plano al pliegue, del pliegue al espacio. Diseño de un pabellón desplegable basado en el arte japonés del

origami. Máster Universitario en innovación en Arquitectura, Tecnología y Diseño. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/100846>

Cabrera B. R. (2021) Cápsula de cartón para dormir [Imagen].

<https://cabrerabiennesraices.digital/capsula-de-carton-para-dormir-de-atelier-opa-proporciona-refugio-en-caso-de-emergencia/>

Císcar, Cèlia. (2019). Arquitectura de emergencia como recurso ante catástrofes naturales [Tesis]. Escuela de Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia.

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/116540/memoria\\_53608004.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/116540/memoria_53608004.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Colegio Oficial A.M. (2015) Patrón de plegado CP1 [Imagen].

[https://www.coam.org/store.web/CURSOS\\_IA/2015/CUR\\_PDF/2650.pdf](https://www.coam.org/store.web/CURSOS_IA/2015/CUR_PDF/2650.pdf)

Gardiner, M. (2018) ORI\* On the Aesthetics of Folding and Technology [Tesis]. Universidad de Newcastle.

[https://www.researchgate.net/publication/332173756\\_ORI\\_On\\_the\\_Aesthetics\\_of\\_Folding\\_and\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/332173756_ORI_On_the_Aesthetics_of_Folding_and_Technology)

Garrido R. y Peña J. (2020). La innovación en la arquitectura de emergencia y su influencia en el reciclaje arquitectónico. Caso de estudio: Paper Log House. Investigación formativa “estructuras ligeras. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3380>

Goodenought, S. (2013). Catedral de cartón en Nueva Zelanda [Imagen].

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-346388/la-obra-social-y-caritativa-del-premio-pritzker-2014-shigeru-ban>

Gutiérrez. V. (2013). Arquitectura temporal y arquitectura plegable: el pliegue como generador de diseño variable aplicado a la temporalidad [Seminario de Investigación]. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.

[https://www.bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?context=L&vid=56UDC\\_INST:56UDC\\_INST&search\\_scope=MyInst\\_and\\_CI&tab=Everything&docid=alma991001272509703936](https://www.bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?context=L&vid=56UDC_INST:56UDC_INST&search_scope=MyInst_and_CI&tab=Everything&docid=alma991001272509703936)

Industria papelera Paimasa S.A. (2017). ¿Cómo se hace? - Papel de embalaje y cartón

corrugado con papel reciclado [Video]. YouTube. <https://youtu.be/LU0CZYN5DPg>

Industria papelera Upalet (s.a.). Palet de cartón, una alternativa al palet de madera.

<https://upalet.com/palet-de-carton-una-alternativa-al-palet-de-madera/>

Industria Sonoco Conitex (2019). Diferencia entre pallets de madera y cartón en una

aplicación típica. [Tabla]. <https://www.conitex.com/es/blog/comparaci%C3%B3n-de-materiales-pal%C3%A9s-de-madera-y-pal%C3%A9s-de-papel-corrugado>

Lauginie, F. (1969). Village en cartón de Guy Rottier [Imagen]. [https://www.frac-](https://www.frac-centre.fr/_en/art-and-architecture-collection/rottier-guy/rub-317.html?authID=164&ensembleID=913)

[centre.fr/\\_en/art-and-architecture-collection/rottier-guy/rub-317.html?authID=164&ensembleID=913](https://www.frac-centre.fr/_en/art-and-architecture-collection/rottier-guy/rub-317.html?authID=164&ensembleID=913)

- Muñoz, L. (2015). Arquitectura de emergencia: prototipos contemporáneos efímeros [Tesis].  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Valladolid.  
<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/14062>
- Ori\*lab (s.a.). The art and science of folding and technology. <https://orilab.art/>
- Rojas, M. (2010). ARCA: unidad de refugio temporal en caso de desastre natural [Tesis].  
Facultad de Arquitectura y Diseño, Pontificia Universidad Javeriana.  
<http://hdl.handle.net/10554/4183>
- Sánchez, C. (2019). Arquitectura de emergencia de bajo coste: Análisis de viabilidad económica de seis prototipos destinados a refugio temporal [Tesis]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Valladolid.  
<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/38259>
- Sánchez, M. (2015). Arquitectura y Origami. Origami aplicado a la investigación arquitectónica. Colegio Oficial Arquitectos Madrid.  
[https://www.coam.org/store.web/CURSOS\\_IA/2015/CUR\\_PDF/2650.pdf](https://www.coam.org/store.web/CURSOS_IA/2015/CUR_PDF/2650.pdf)
- Sánchez, R. (2016). Arquitecturas efímeras con cartón: el caso de la village en cartón de Guy Rottier [Tesis]. E.T.S. Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.  
<https://oa.upm.es/39216/>
- Sepúlveda, G. (2020). Diseño de estructuras desplegadas mediante materiales auxéticos y sistemas neumáticos [Seminario de Investigación]. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.  
[https://issuu.com/gonzalosepulvedapda/docs/semin\\_-\\_gonzalo\\_sepulveda](https://issuu.com/gonzalosepulvedapda/docs/semin_-_gonzalo_sepulveda)
- Tachi, T. (2011). Ejemplo de diseño de origami rígido plegable materializado con telas y cartones [Maqueta]. [https://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/cg/ThickRigidOrigami\\_tachi\\_5OSME.pdf](https://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/cg/ThickRigidOrigami_tachi_5OSME.pdf)
- Tachi, T. (2011). El movimiento de plegado del origami rígido [Maqueta].  
[https://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/cg/ThickRigidOrigami\\_tachi\\_5OSME.pdf](https://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/cg/ThickRigidOrigami_tachi_5OSME.pdf)
- Tachi, T. (2011). Rigid-Foldable Thick Origami. En: Lang, R. Origami 5. A K Peters/CRC Press.  
[https://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/cg/ThickRigidOrigami\\_tachi\\_5OSME.pdf](https://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/cg/ThickRigidOrigami_tachi_5OSME.pdf)
- Tachi, T. (2017). Origamizer: A practical algorithm for folding any polyhedron. MIT open access Articles.  
[https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=es&user=GxJqE\\_oAAAAJ&citation\\_for\\_view=GxJqE\\_oAAAAJ:W7OEmFMy1HYC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=GxJqE_oAAAAJ&citation_for_view=GxJqE_oAAAAJ:W7OEmFMy1HYC)
- Testado, J. (2013). Cardborigami [Imagen].  
<https://archinect.com/news/article/78386180/cardborigami-designed-to-help-the-homeless>

Tolman, K. (2017). Developing Hybrid Thickness-Accommodation Techniques for New Origami-Inspired Engineered Systems. [Tesis]. Brigham Young University.  
<https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7360&context=etd>

Tolman, K. (2017). Dos enfoques para habilitar el origami de panel grueso [Ilustración].  
<https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7360&context=etd>

Tolman, K. (2017). Técnica de paneles cónicos aplicada al patrón Miura-ori [Maqueta].  
<https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7360&context=etd>

Uribe, L. (2011). Arquitectura efímera: explorando la arquitectura textil. [Tesis]. Universidad Católica de Pereira. <https://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/6689>

Wiki en español (s.a.). Sistema Yoshizawa-Randlett.  
[https://hmong.es/wiki/Origami\\_techniques](https://hmong.es/wiki/Origami_techniques)



## Uso del efecto Bernoulli en el diseño de techos con el viento para zonas rurales

**Estudiante:** Sergio Alberto Parra Huala

**Profesor guía:** José Ignacio Torres Barón

### Resumen

La investigación aborda el tema de la defensa de las casas frente a vientos de altas velocidades en zonas rurales de Chile, debido al constante peligro que los vientos representan a la integridad de las construcciones. El objetivo principal es el de analizar el diseño de un techo que utilice el viento como una herramienta extra que trabaje en conjunto con la estructura para casas rurales, para esto se quiere aprovechar el efecto físico de Bernoulli. Se plantea una metodología cuantitativa, a través de experimentación con software, comparando distintos diseños de techos y su respuesta al viento. Los resultados obtenidos fueron positivos en relación con el objetivo, confirmando su efectividad, concluyendo que se puede utilizar el efecto Bernoulli para el diseño de techos.

**Palabras clave:** Flujo, viento, presión, turbulencia, carga aerodinámica

## 1. Introducción

El tema contingente a la presente investigación, el cual corresponde al diseño de techos pensados usando el efecto Bernoulli para zonas rurales, tiene su origen en la naturaleza de las propias construcciones de dichas zonas, específicamente, las casas. Actualmente, en estos lugares, muchas de las construcciones tienen una gran cantidad de años desde su construcción y, por lo tanto, sus métodos constructivos carecen de las tecnologías que se utilizan hoy en día en la construcción. La tecnología que busca proponer esta investigación para el diseño de nuevas casas en zonas rurales quiere proponer una solución al problema que representan los vientos de altas velocidades en las edificaciones, el constante peligro de que el viento vuele los techos. Esta tecnología afecta directamente el ciclo de vida de la construcción, potencialmente prolongándolo. La manera en la que funciona la propuesta es a través de efecto Bernoulli, es cual dice que, dentro de un caudal horizontal de un fluido, los puntos donde se observe la mayor velocidad del fluido tendrán una menor presión en comparación a los puntos donde la velocidad sea menor, los cuales tendrán una mayor presión. Esto se puede utilizar para muchas finalidades, pero para los techos se puede usar de manera que el propio viento aporte a la estructura de la casa, disminuyendo la posibilidad de que el viento vuele el techo. Bajo esta suposición surge la siguiente hipótesis:

El cálculo del techo diseñado en base al efecto Bernoulli permite el diseño de una cubierta que comprima la estructura de una casa verticalmente en dirección a tierra.

El objetivo general es analizar varios diseños que utilicen el efecto Bernoulli para comprimir la estructura y proponer el diseño más adecuado para una casa genérica, que, a la vez, genere gran fuerza de compresión. Una pregunta que se debe responder lo antes posible es ¿Por qué no la investigación piensa este método en la ciudad? No se piensa para la ciudad debido a que al existir tantas edificaciones alrededor de una casa, se genera gran cantidad de turbulencia que interfiere con el método que se utilizará, a diferencia de una zona rural, donde el viento puede fluir de manera laminar (sin turbulencias que afecten el flujo fluido del viento) y no interferir con dicho método.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Viento

#### **Aspectos meteorológicos.**

Podemos definir al viento como el movimiento del aire relativo a la tierra, el cual es causado por varias fuerzas, principalmente diferencias de presión en la atmósfera. Dicha diferencia de presiones a la vez es causada por la diferencia en el calor recibido por el sol en diferentes partes de la tierra, en conjunto con las fuerzas generadas por la rotación de la tierra. Las diferencias de radiación solar entre los polos y el ecuador producen diferencias de calor y presión que, sumado a los efectos de la rotación del planeta generan que la dirección del viento en los trópicos, así como en los polos, tienda a ser hacia el este, contrario a lo que

pasa en las latitudes más templadas. Vientos severos de altas velocidades pueden ser generados localmente gracias a tormentas eléctricas, huracanes y tifones. Todos estos fenómenos acarrearán vientos turbulentos, generados por vórtices, creados por la fricción con el suelo o por aire corriendo en el sentido contrario.

## **2.2. Efecto Bernoulli.**

El efecto Bernoulli, nombrado así en honor a Daniel Bernoulli, es un efecto contraintuitivo a primera vista relacionado a cómo la velocidad de un fluido (aire en nuestro caso), afecta a la presión de dicho fluido. El efecto de Bernoulli dice lo siguiente:

Dentro de un caudal horizontal de un fluido, los puntos donde se observe la mayor velocidad del fluido tendrán una menor presión en comparación a los puntos donde la velocidad sea menor, los cuales tendrán una mayor presión.

Esta afirmación puede ser interpretada como el hecho de que un fluido que se mueve de un área de mayor presión, a un área de menor presión, acelerará, lo que creará una fuerza cuyo vector de movimiento apunta hacia el área de menor presión.

## **2.3. ¿Por qué el viento arranca los techos?**

Para el propósito de este trabajo, definiremos a los edificios de baja altura como edificios de menos de 15 metros de alto, algunas cosas a tener en consideración respecto a este tipo de edificaciones en relación con sus techos son:

- Se ubican en la capa más cercana en términos de aerodinámica, lo que implica que las turbulencias son altas.
- Las mayores cargas de viento en la superficie de una estructura son usualmente succiones en la superficie del techo, lo que produce que muchas fallas estructurales inicien ahí.
- Estas edificaciones usualmente cuentan con un solo espacio interno, lo que aumenta la importancia de su presión interna, especialmente cuando existe una abertura en un muro de cara al viento, por lo que la relación entre la presión interior y exterior debe ser tratada.

La manera en la que el viento arranca los techos de una casa cuando existen vientos de muy altas magnitudes, como se dijo antes, es a través de la succión del techo. Succión producida por la diferencia de presiones entre el interior del edificio y su exterior. Durante una tormenta o un gran temporal es muy extraño pensar en tener una ventana abierta dentro de la casa, por lo que el aire interior deja de moverse, lo que a la vez causa que, dada su menor velocidad, la presión interior aumente. Por el otro lado, en el exterior ocurre totalmente lo contrario, el viento aumenta significativamente su velocidad, por lo que la presión exterior inmediata al edificio disminuye, generando una diferencia de presiones.

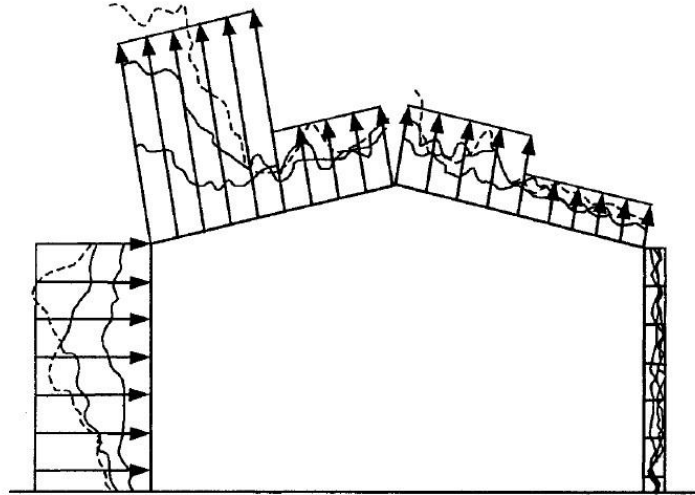


Figura 1: Distribución de las presiones en un edificio de baja altura genérico. Fuente: Holmes, J. (2001) 'Wind loading of structures'

Volviendo al efecto de Bernoulli, recordemos que una diferencia de presiones generaba una fuerza en dirección al área de menor presión, por lo tanto, el interior de la casa empuja hacia el exterior del techo, arrancándolo, o como ya mencionado antes, succionándolo.

Hay una diferenciación importante, que puede confundir a primera vista, ya que no se está hablando de un solo tipo de presión, sino que de dos. El primer tipo de presión es la que se define por el uso de pascales, que tiene relación al área donde se aplica una fuerza, cuya formula es:

$$p = \frac{F}{A}$$

En donde

$$p(\text{presión}) = \frac{F(\text{fuerza})}{A(\text{área})}$$

El segundo tipo de presión es la presión dinámica y estática (la diferencia es que en la estática la velocidad es 0) la ecuación de este tipo de presión forma parte de la ecuación de Bernoulli y se define de la siguiente manera:

$$p = \frac{1}{2} \rho v$$

En donde

$$p(\text{presión}) = \frac{1}{2} \rho(\text{densidad})v(\text{velocidad})$$

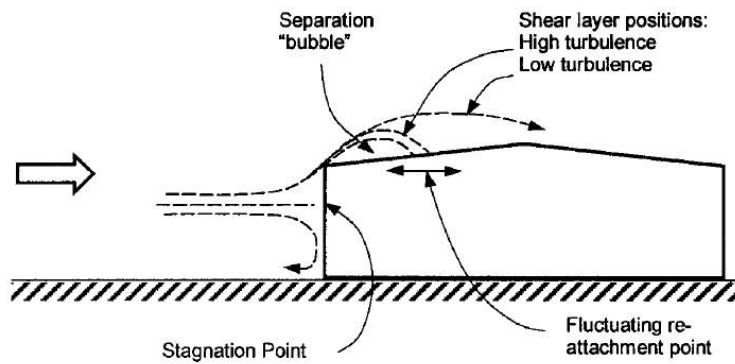
La presión estática se define como

$$p = \frac{1}{2}\rho$$

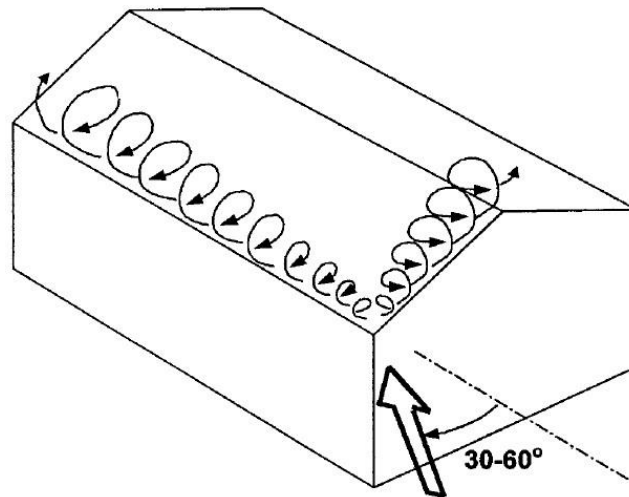
Esto debido a que la velocidad del fluido es 0.

#### 2.4. Cómo afecta el viento a una vivienda.

Una casa actúa como un muro frente al viento, por lo que ocurren situaciones como vórtices y turbulencias en el área donde el viento choca con la casa.



**Figura 2:** Flujo del viento en una construcción de altura baja. Fuente: Holmes, J. (2001) 'Wind loading of structures'



**Figura 3:** Comportamiento del viento que llega de forma diagonal Fuente: Holmes, J. (2001) 'Wind loading of structures'

## 2.5. Puntos de riesgo en la estructura y la cubierta

Como se puede ver en la figura 3, la mayor presión, o succión ejercida sobre el techo se encuentra en la zona más cercana al muro que enfrenta al viento, por lo que las partes que mayor estrés deben resistir son las uniones de la techumbre, para evitar que se vuele la techumbre. Como la estructura funciona de manera que toda carga se transmite hacia las fundaciones bajo en suelo, la succión ejercida sobre las uniones de la techumbre se transmite hacia el nudo de la estructura de techo con los pilares de los muros exteriores, los cuales, a su vez, transmiten la carga a las fundaciones.

Podemos deducir gracias a toda la cadena que se genera al resistir las cargas generadas por el viento, que los elementos más importantes en la estructura, a la vez que son los de mayor riesgo, son las uniones de la estructura, o más bien dicho los componentes que las unen, ya sean clavos, pernos o la propia madera según sistemas estructurales específicos. También se debe tener en cuenta la resistencia a la tracción del elemento que va a formar el pilar, ya que la succión ejercida sobre el techo está en un vector normal en cualquier punto de la techumbre, lo que se traduce en una fuerza neta en dirección hacia arriba, o, en otras palabras, que se opone a las fundaciones, generando una fuerza de tracción

## 2.6. Válvula de Tesla

Una edificación común y corriente, frente a grandes velocidades de viento tendrá dos áreas de presiones distintas, la primera, nombrada con anterioridad, corresponde a la presión interna, que tiene una magnitud mayor, y la externa del techo, la cual tiene una magnitud menor. Este es el caso que siempre ocurre, pero, en este escrito, se plantea una manera de cambiar dicha situación, para esto necesitamos lograr que exista un área de mayor presión arriba de una de menor presión en el techo, de manera que la fuerza total de succión sea mitigada en parte. Para esto, se requiere lograr una diferencia de velocidades en el viento, que utilice un mecanismo pasivo, que permita ahorrar energía y que no sea muy espacioso, para no cambiar la esencia de lo que es un techo común y corriente.

La válvula de tesla, llamada así en honor a Nikola Tesla, es un mecanismo pasivo que favorece el flujo de un fluido en una dirección preferente, esto lo logra utilizando el efecto coanda, que dice que un fluido tiende a ser atraído por una superficie vecina a su trayectoria, generando, en una dirección, un flujo continuo, y en la dirección opuesta, flujos que se anulan entre sí, generando pérdida de energía y, por lo tanto, disminución de velocidad. Tiene dos aberturas, una por donde entra el fluido, y la otra por donde de expulsa.

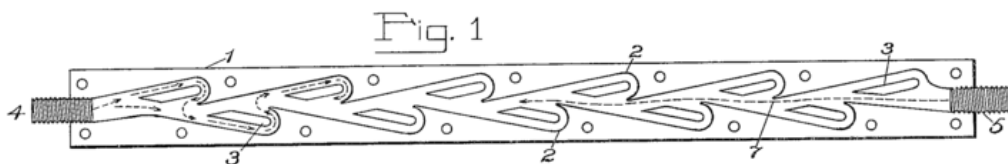


Figura 4: Sección de una válvula de Tesla Fuente: Wikipedia

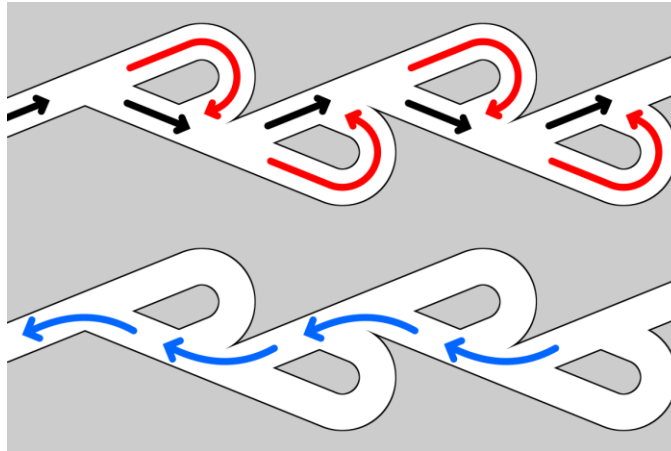


Figura 5: Flujos de viento dentro de una válvula de Tesla Fuente: Wikipedia

## 2.7. Posición geográfica, Mantilhue

Como bien dice el título, el diseño de los techos de esta investigación están pensados para zonas rurales. Debido a la gran cantidad de climas que existen a lo largo del país, se acota la elección geográfica al sector de Mantilhue, comuna de Río Bueno. Según Sepúlveda Mellado y Carrasco Pérez, este sector se ubica en la zona 4, zona Templada Húmeda Lluviosa, y en la subzona de lagos precordilleranos. Para efectos de esta investigación se recomienda tener una **pendiente en la techumbre de entre 30% y 100%** (de 16,7° a 45°).

Específicamente, en Mantilhue, según el explorador eólico proporcionado por el Ministerio de Energía, **entre los años 1980-2017** la velocidad promedio del viento fue de 5,2 m/s (18,7 km/h), **la velocidad mínima estuvo dentro del rango de 0 - 2,17 m/s (7,8 km/h) y una velocidad máxima superior a los 15 m/s (54 km/h).**

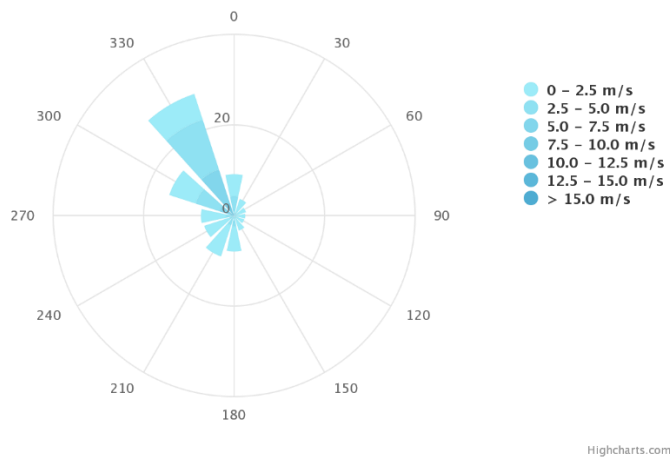


Gráfico 1: Rosa de los vientos de Mantilhue Fuente: Explorador eólico

En la rosa de los vientos de Mantilhue (latitud  $-40,62^\circ$ , longitud  $-72,43^\circ$ ) se aprecia que el viento predominante proviene del noroeste, desde los  $330^\circ$ , lugar de donde provienen también los vientos de mayor intensidad recopilados en este periodo de tiempo, los que corresponden a velocidades mayores a  $15 \text{ m/s}$ . Otra información visible es que el viento proviene de todas las direcciones, pero con una velocidad mínima ( $0 - 2,5 \text{ m/s}$ ), por lo que estas direcciones no son relevantes.

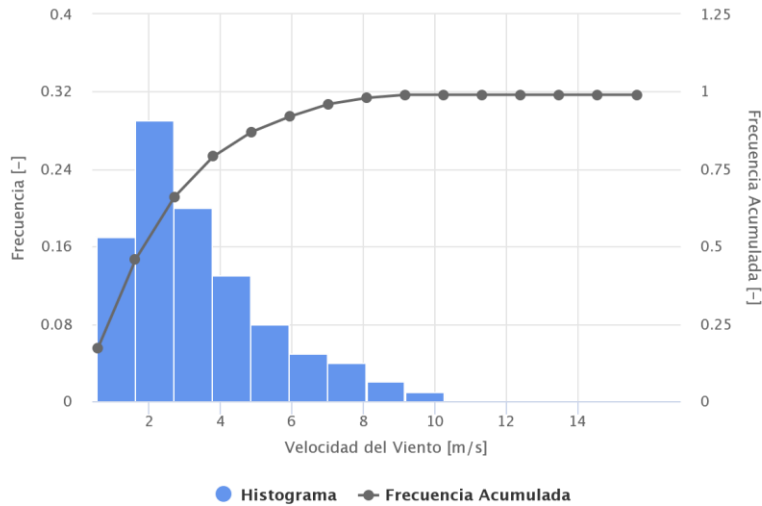


Gráfico 2: Histograma de velocidades y frecuencias del viento en Mantilhue Fuente: Explorador eólico

El histograma correspondiente a la misma localización otorga otra pieza de información importante, nos dice cual es la moda dentro del rango de velocidades de los vientos en la rosa de los vientos en el gráfico 1, **según el gráfico, la velocidad moda es de  $1,62 \text{ m/s}$  ( $5,8 \text{ km/h}$ ), con una frecuencia del  $29\%$  y la velocidad mínima es de  $0,55 \text{ m/s}$  ( $1,98 \text{ km/h}$ )**. Estos datos tienen mayor importancia que el promedio, ya que al ser datos reales y que tienen la mayor frecuencia, son los más adecuados para poner a prueba los diseños, debido a que estas velocidades serían las velocidades a las que se tendrían que enfrentar, otorgando una mejor vista general de la situación que se vive en el lugar.

### 3. Métodos

Para lograr confirmar la hipótesis de investigación, la cual es: El cálculo del techo diseñado en base al efecto Bernoulli permite el diseño de una cubierta que comprima la estructura de una casa verticalmente en dirección tierra, se planteó un método cuantitativo, basado en la recopilación y comparación de datos arrojados por una serie de simulaciones, simulaciones de como el viento interactuó con cada techo propuesto. El software para utilizar para crear dichas simulaciones correspondió al software Ansys, software que calculó la carga aerodinámica\* de cada uno de los techos según tres velocidades, la velocidad mínima, la máxima y la moda. Las cargas aerodinámicas resultantes se tradujeron a newtons, newtons



que después de ser convertidos a Kilopondios, fueron más tarde dispuestos en tablas como medio de comparación a las cargas aerodinámicas producidas por los techos correspondientes al grupo control de cada porcentaje de inclinación. El objetivo final de estas simulaciones fue demostrar que los diseños modificados presentaron una mayor carga aerodinámica en comparación al grupo control correspondiente, corroborando la hipótesis.

El primer paso dentro del proceso de generación y recopilación de datos fue el diseño de techos. Debido al alcance de la investigación, la cual no buscó entregar una solución completa y detallada, los techos se pensaron según la base de una casa genérica, la cual es rectangular y de dos aguas, donde solo varió la pendiente de su techo.

A esto se suman las limitaciones del software Ansys, debido a que se utilizó una licencia estudiantil. Dada la complejidad en los altos números de elementos que requirieron los modelados de cada válvula, los modelos se acotaron a una sección de la casa, para no comprometer la calidad de los cálculos de cada simulación. Aun así, a pesar de que no se pudo calcular la carga aerodinámica de toda la casa, se pueden extrapolar los resultados de cada sección, yendo de lo particular a lo general.

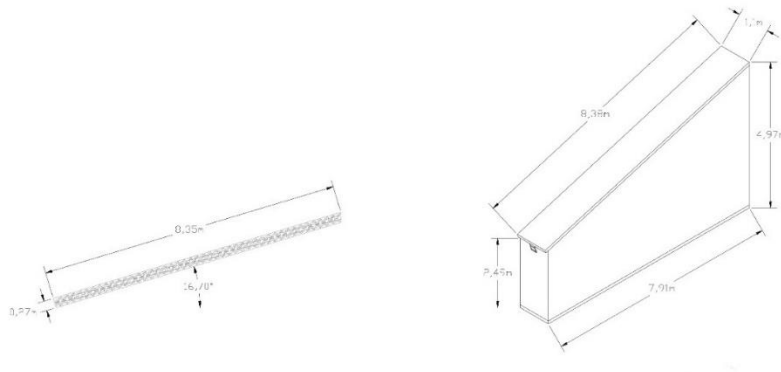


Figura 6: Medidas sección techo a 30% de inclinación Fuente: elaboración propia

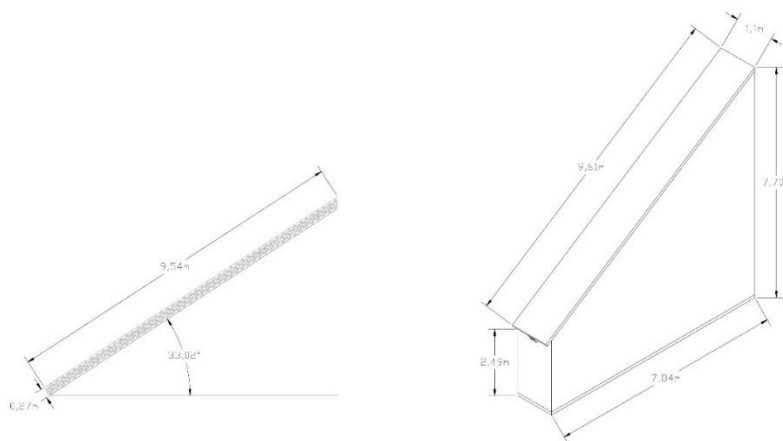


Figura 7: Medidas sección techo a 65% de inclinación Fuente: elaboración propia

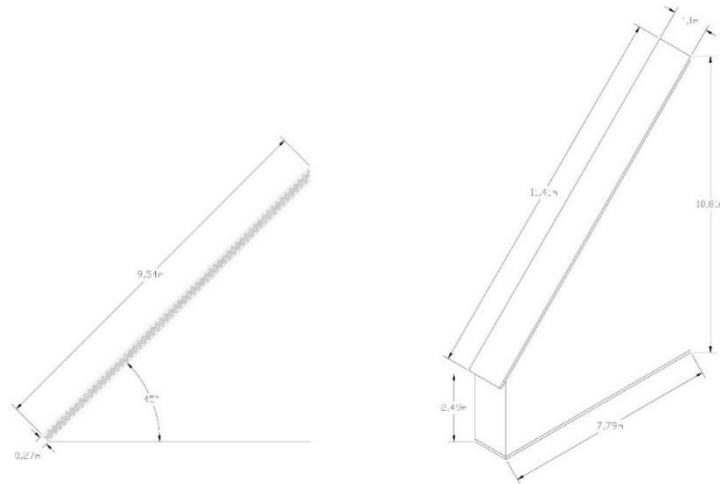


Figura 8: Medidas sección techo a 100% de inclinación Fuente: elaboración propia

Adicionalmente a los diseños de los techos presentados, se creó un grupo control para cada techo, grupo que consistió en las medidas exactas de los techos presentados en las figuras x, x+1 y x+2, pero a los cuales se les restaron las válvulas que las cruzaban, de manera que simularon un techo común y corriente, lo que otorgó una base con la que se pudo comparar los resultados arrojados por las simulaciones, con el comportamiento esperado de un techo genérico.

Una vez finalizados los diseños de los techos, tanto los finales como los correspondientes a los grupos controles, el siguiente paso consistió en exportar los modelos 3D al software Ansys, donde dichos modelos fueron condicionados de igual manera para cumplir con los requisitos que se necesitaron para realizar las simulaciones. Una vez cumplidos los requisitos en cada modelo (requisitos que no fueron relevantes para los resultados, debido a que fueron los mismos en cada caso), el paso a seguir fue el de preparar los parámetros iniciales para dichas simulaciones, parámetros que también fueron los mismos para cada techo. Estos correspondieron a:

- Modelo de viscosidad: Corresponde a un modelo de turbulencia SST K-omega, el cual predice la turbulencia dentro de un sistema de referencia, que en este caso se repite en cada techo.
- Condiciones iniciales (velocidad): Cada techo fue sometido a tres valores de velocidad, tanto los correspondientes al grupo control como los propuestos. La velocidad mínima, la máxima y la moda fue de **0,55 m/s (1,98 km/h), 15 m/s (54 km/h) y 1,62 m/s (5,8 km/h), correspondientemente.**

Con estos parámetros se pudieron obtener los siguientes resultados para cada techo:

- Velocidad
- Presión
- Carga aerodinámica

Dentro de estos tres parámetros resultantes, el importante es la carga aerodinámica, ya que es resultado que puede corroborar o contradecir la hipótesis. El total de datos recopilados, en función de la carga aerodinámica, es de 18, los cuales se reparten en las siguientes tablas:

**Tablas grupos control:**

Techo de 30% de pendiente:

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo control Pendiente 30% (16,7°)	Carga aerodinámica 1	Carga aerodinámica 2	Carga aerodinámica 3

Techo de 60% de pendiente:

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo control Pendiente 65% (33,02°)	Carga aerodinámica 4	Carga aerodinámica 5	Carga aerodinámica 6

Techo de 100% de pendiente:

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo control Pendiente 100% (45°)	Carga aerodinámica 7	Carga aerodinámica 8	Carga aerodinámica 9

Una vez demarcadas las tablas de los grupos control, prosiguen las tablas experimentales:

**Tablas grupos experimentales:**

Techo de 30% de pendiente:

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo experimental Pendiente 30% (16,7°)	Carga aerodinámica 10	Carga aerodinámica 11	Carga aerodinámica 12

Techo de 65% de pendiente:

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo control Pendiente 65% (33,02°)	Carga aerodinámica 13	Carga aerodinámica 14	Carga aerodinámica 15

Techo de 100% de pendiente:

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo control Pendiente 100% (45°)	Carga aerodinámica 16	Carga aerodinámica 17	Carga aerodinámica 18

## 4. Resultados

### 4.1. Resultados grupo control y experimental techo pendiente 30%:

Tabla 1: Comparación datos grupos control y experimental 30%

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo control Pendiente 30% (16,70°)	-0,48 [N] = -0,04 Kgf	-4,19 [N] = -0,42 Kgf	-358,97 [N] = -36,60 Kgf
Grupo experimental Pendiente 30% (16,70°)	-0,46 [N] = -0,04 Kgf	-4,01 [N] = -0,40 Kgf	-339,69 [N] = -34,63 Kgf

### 4.2. Resultados grupo control y experimental techo pendiente 65%

Tabla 2: Comparación datos grupos control y experimental 65%

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo control Pendiente 65% (33,02°)	-1,74[N] = -0,17 Kgf	-15,12 [N] = -1,54 Kgf	-1289,03 [N] = -131,44 Kgf
Grupo experimental Pendiente 65% (33,02°)	-1,79 [N] = -0,18 Kgf	-15,56 [N] = -1,58 Kgf	-1331,65 [N] = -135,79 Kgf

### 4.3. Resultados grupo control y experimental techo pendiente 100%

Velocidad/pendiente	Velocidad mínima 0,55 m/s (1,98 km/h)	Velocidad moda 1,62 m/s (5,8 km/h)	Velocidad máxima 15 m/s (54 km/h)
Grupo control Pendiente 100% (45°)	-2,70[N] = -0,27 Kgf	-23,49 [N] = -2,39 Kgf	-2014,81 [N] = -205,45 Kgf
Grupo experimental Pendiente 100% (45°)	-3,26 [N] = -0,33 Kgf	-28,50 [N] = -2,90 Kgf	-2448,87 [N] = -249,71 Kgf

Tabla 3: Comparación datos grupos control y experimental 100% Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Discusión de resultados

Ya presentados los resultados, se puede iniciar la discusión acerca de qué nos comunican estos datos arrojados a cada una de las tablas. Pero, primero que nada, se debe remarcar que se confirma la hipótesis, la cual decía que **el cálculo del techo diseñado en base al efecto Bernoulli permite el diseño de una cubierta que comprima la estructura de una casa verticalmente en dirección a tierra**. Aún así, dicha fuerza (carga aerodinámica), no presentó grandes aumentos de magnitud en comparación los datos arrojados por los grupos control, a excepción del último y más extremo caso, donde la pendiente estaba al máximo y la velocidad del viento también.

Teniendo en cuenta el alcance de esta investigación, este último fenómeno es un éxito total, ya que demuestra que, en los casos más extremos, donde realmente el viento puede volar los techos (en comparación a las velocidades más bajas, las cuales no presentan riesgo alguno), el diseño en base al efecto Bernoulli cumple con su propósito, el cuál es utilizar el propio viento como herramienta estructural extra, para contrarrestar el efecto de este, evitando así que los techos se vuelen.

Pero no todo fueron buenos resultados, utilizando la información visual presentada en las simulaciones, se aprecia que las válvulas de tesla, pensadas para generar dos áreas de presiones contrarias, no lograron su propósito, que era producir carga aerodinámica negativa, lo único que lograron es disminuir la velocidad del viento a la entrada de estas.

Aún así, esto no necesariamente es del todo malo, ya que se abre una nueva hipótesis si se toma en cuenta que las “casas” dentro de las simulaciones están flotando, dicha hipótesis diría que al dejar que el viento corra libremente por debajo de la casa, este mismo amplifica el efecto provocado por el efecto Bernoulli. Esto funcionaría de manera similar a los vehículos de la formula 1, los que dejan que el viento a altas velocidades pase por debajo del vehículo, y el viento que pasa sobre la carrocería, empuja al vehículo hacia el suelo. Esta idea dejaría de lado los dispositivos más pequeños, como la válvula de tesla, que sirven para complementar a la casa, y miraría a la casa como un todo, la cual actuaría como un sistema frente a los vientos de altas velocidades.

Pero como bien dice el alcance de esta investigación, la cual busca demostrar que este fenómeno físico que es el efecto de Bernoulli puede implementarse para diseñar techos más efectivos contra los vientos, se plantea la idea y se deja abierta para quien quiera llevarla a cabo con mayor precisión.

#### 5. Conclusiones

La manera en la que este artículo aporta al área de conocimiento relacionado a la tecnología dentro de la arquitectura, más allá de la propia propuesta del artículo, la cual fue pensada con el fin de plantar este pensamiento en la cabeza de quien lea este texto, especialmente para arquitectos. Dicho pensamiento es la idea de que las estructuras no necesariamente

tienen que luchar y resistir las cargas que la naturaleza les lanza, especialmente cuando se trata de edificaciones de menor tamaño, sino que también se pueden utilizar estos mismos “problemas estructurales”, en este caso el viento, como herramientas que complementen a la estructura de la propia construcción.

Esta idea cobra más sentido si se mira al futuro, donde se proyecta que los edificios deben ser lo más pasivos posibles, disminuyendo su huella de carbono, huella que en su mayoría es producida por los materiales de construcción. Así, si se puede disminuir la cantidad de materiales necesarios para la construcción a través de la utilización de fenómenos físicos naturales, la sustentabilidad de las edificaciones aumentaría drásticamente, creando un futuro donde los edificios no solo se rigen por lo robusto de su estructura y la fuerza de sus uniones. De nosotros depende, como futuros arquitectos, buscar nuevas alternativas a las construcciones, dejando atrás las ideas implantadas por las escuelas de arquitectura.

Volviendo al tema del artículo, el mayor hallazgo corresponde a la confirmación de la hipótesis, abriendo la posibilidad de utilizar medios pasivos para complementar el funcionamiento de un edificio, en este caso, la estructura de una techumbre frente a fuertes vientos. Como fue mencionado en la discusión de los resultados, se abre una nueva hipótesis que puede complementar más aún la idea de utilizar medios pasivos para complementar a la estructura, la que es pensar la casa como sistema que actúa como un todo frente al viento, en vez de pensar que elementos más pequeños pueden realizar el mismo trabajo de manera más eficiente y efectiva.

## Referencias

- Bienkiewicz, B., Ham, H. J. and Sun, Y. (1993) ‘Proper orthogonal decomposition of roof pressure’. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*.
- Explorador eólico. (2018) <https://eolico.minenergia.cl/inicio>
- Grant, E. (2003) ‘Design and Implementation of a Pressure-Equalizing Vent System for Low-Slope Roofs’. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Holmes, J. (2001) ‘Wind loading of structures’.
- Instituto nacional de normalización (2022) <https://ecommerce.inn.cl/nch1079-2022-in81613>
- Khan Academy (2015). ¿Qué es la ecuación de Bernoulli?. <https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-bernoullis-equation>
- Sepúlveda Mellado, O., & Carrasco Pérez, G. (1989). La vivienda social de desarrollo progresivo en una perspectiva regionalizada. *Revista INVI*
- Wikipedia. (2021) Válvula de Tesla [https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula\\_de\\_Tesla](https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_de_Tesla)

# Alternativas de implementación del aislante térmico semitransparente que aporten iluminación natural

Estudiante: Catalina Belén Pérez Cofré

**Profesor guía:** José Ignacio Torres Barón

## Resumen

El trabajo consiste en una investigación sobre los materiales que poseen las cualidades de ser aislantes térmicos y que aportan luminosidad al interior de espacios cerrados. Los sistemas de aislamiento térmico semitransparente son materiales de uso no muy frecuente en la arquitectura, el más conocido y usado es la ventana de vidrio, lo que nos lleva a la pregunta de ¿Qué alternativas de aislantes térmicos semitransparentes se pueden aplicar en el diseño de las viviendas que sean diferentes a la ventana tradicional?

Como el uso de la ventana es la respuesta más común para otorgar aislación semitransparente, involuntariamente limita el conocimiento e implementación de otras soluciones que también otorgan semitransparencia al diseño. Es por eso que se estudiarán algunos sistemas ya sean de origen plástico, aerogel, u otro material. Que además tengan las características de ser resistentes, flexibles para el diseño y que ofrezcan eficiencia energética para después comparar los resultados entre ellos.

**Palabras clave:** Semitransparente, Translúcido, Transparencia, Luz natural, Aislante térmico.

## 1. Introducción

La radiación solar es una de las fuentes de energía más importantes del planeta, prácticamente inagotable y de gran disponibilidad. En una vivienda la iluminación natural ofrece grandes ventajas, mantiene pasivamente un buen ambiente visual en los espacios, crea una mayor sensación de amplitud, mejora la salud de las personas que viven en el hogar, implica ahorro de energía en las instalaciones eléctricas de iluminación y en los sistemas activos de acondicionamiento térmico (Chi, 2021).

Sin embargo, con el paso del tiempo el aprovechamiento de la luz solar se ha visto limitado porque la gran mayoría de los espacios buscan tener, aparte de iluminación natural, una buena aislación térmica. Para el ser humano siempre ha sido esencial protegerse del frío buscando las mejores condiciones para su confort, y desde entonces la forma de protegerse ha ido evolucionando a través de los nuevos materiales y técnicas (Palomo, 2017). Pero muchos de los materiales tradicionales de aislación térmica no son capaces de dejar que traspase la luz al interior, ya sea por la naturaleza del material o sus requerimientos constructivos.

El aislante semitransparente más común es la ventana de vidrio (el aislante es el aire contenido en el interior) y si bien esta tiene características para dar un adecuado confort térmico, también tiene características negativas, ya que si se quiere tener una buena aislación se debe aumentar el grosor del vidrio, tamaño y por consecuencia también aumenta su peso, lo cual genera que su precio del vidrio sea más elevado, y además se necesita ocupar gran cantidad energía para fabricarlo (Reinholdt, 2015).

Dicho eso, la selección de materiales, en este caso el vidrio, supone una fase importante en el proceso de concepción y desarrollo de la obra arquitectónica, es por eso que la motivación de este trabajo nace de la necesidad de explorar otras opciones de materiales con semitransparencia, y que sean igual o más prometedores que el vidrio para mejorar las condiciones de las viviendas a nivel de iluminación natural interior y el confort térmico. Además estas condiciones le otorgan al usuario una ventaja en torno a la reducción de consumo energético.

Gracias a la tecnología existe una variedad de alternativas para aislantes térmicos, que además tienen la característica de ser semitransparentes y cumplen la función de traspasar la luz, obteniendo un equilibrio entre la admisión de la luz natural y las ganancias solares transmitidas al interior. Pero la mayoría de estos materiales todavía son desconocidos o poco empleados en la arquitectura, sobre todo en la tipología de viviendas.

### **Pregunta y/o Hipótesis de investigación:**

¿Qué alternativas de aislantes térmicos semitransparentes se pueden aplicar en el diseño de las viviendas que sean diferentes a la ventana tradicional?

Existen diferentes opciones tecnológicas para solucionar problemas térmicos y lumínicos de forma simultánea en el diseño de una vivienda, alternativas que se desarrollan desde



materiales simples como plásticos hasta materiales complejos como el aerogel, que también tienen una función estética.

**Objetivo general:**

- Estudiar, conocer y explorar los materiales aislantes térmicos semitransparentes que se pueden utilizar en el diseño de una vivienda.

**Objetivos específicos:**

- Identificar / describir los diferentes materiales térmicos semitransparentes que se abordarán en la investigación.
- Identificar / caracterizar el aporte térmico y lumínico de los distintos materiales y/o soluciones constructivas que se llevarán a cabo en la investigación.
- Comparar los distintos materiales investigados para facilitar la exploración de alternativas para el diseño de viviendas.
- Crear modelos 3D con simulaciones del traspaso de luz de cada material.

## 2. Antecedentes

### 2.1. La luz natural en el diseño arquitectónico

La luz natural es un pilar fundamental para el diseño arquitectónico, ya que es una variable que te permite pensar en cómo diseñar de manera controlada el interior de un edificio, en cómo proporcionar una adecuada iluminación en cuanto a calidad y cantidad. Porque esto permitirá finalmente que los usuarios puedan desarrollarse en el espacio de manera confortable. La iluminación también permite que se respondan a otros temas, como en lo estético, simbólico y expresivo (Chi, 2021). El empleo de la luz natural en espacios arquitectónicos también está ligado a factores como del lugar, el tiempo y las condiciones atmosféricas presentes en el espacio donde se realiza la construcción.

### 2.2. Ubicación de la luz natural

Los principales sistemas de iluminación natural en arquitectura son los de iluminación cenital, lateral, y combinada. La iluminación cenital se refiere a aquella que llega perpendicular desde arriba y su principal ventaja es su gran potencial para iluminar con calidad y cantidad. La iluminación lateral se obtiene a través de una abertura en el muro y a mayor distancia desde la abertura la luz reflejada y difusa aumenta. Y la iluminación combinada aprovecha la luz mediante aberturas cenitales, laterales, etc. (Galicia, I, 2020).



**Figura 01.** Esquemas de orientación de aberturas, Fuente: Elaboración propia a partir de Chi, 2021

### **2.3. El rol de la ventana**

La ventana es un elemento arquitectónico de iluminación lateral que se ubica generalmente en un paramento vertical de un edificio. Entre sus principales funciones esta permitir el paso de luz natural desde el ambiente exterior hacia el interior de un edificio. Otra característica es que las personas pueden percibir el ambiente exterior mediante los cambios de la luz, también mediante el grosor y tratamiento de esta se puede absorber las ondas sonoras y funcionar de aislante acústico (Chi, 2021). Además la ventana tiene que ser diseñada de manera que no afecte al confort térmico, ya que otra propiedad que tiene es que es un aislante térmico semitransparente.

### **2.4. Confort Térmico**

La definición de confort según la Real Academia Española corresponde a aquello que produce bienestar y comodidad, definición que es bastante amplia. En arquitectura el confort térmico se traduce como una manifestación subjetiva de conformidad o satisfacción con el ambiente térmico existente. Trabajan de manera cooperativa los sistemas de construcción que se adaptan al entorno local (por ejemplo, parámetros climáticos) con las funciones del espacio (Stouhi, 2019). Dicho esto, el diseño de la envolvente de un edificio pasa a ser algo esencial al momento de diseñar un espacio cómodo, ya que dependiendo de la transmitancia térmica del material se determina como afecta térmicamente el espacio interior.

### **2.5. Transmitancia Térmica**

Es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, formado por una o más capas de material, de caras plano paralelas, cuando hay un gradiente térmico de  $1^{\circ}\text{C}$  ( $1\text{ K}$ ) de temperatura entre los dos ambientes que éste separa. En el Sistema Internacional se mide en unidades  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  o en  $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ . (Magnus, 2015)

### **2.6. Aislantes semitransparentes o traslucidos**

Los aislantes semitransparentes son sistemas que se utilizan generalmente para cerramientos y su principal características es que permiten el traspaso de luz natural al interior de los recintos (el traspaso de luz no es 100%, por eso se llaman semitransparentes o traslucidos), un ejemplo son las ventanas de vidrio, sin embargo estas no son las únicas alternativas para el traspaso de luz y aislamiento térmico ya que gracias al tiempo y la experimentación material se crearon elementos con diferentes orígenes materiales que poseen las mismas características, estas alternativas se convirtieron en respuestas arquitectónicas más atractivas que las ventanas tradicionales.



**Figura 02.** Fuente: Vitroblock, 2017

Los aislamientos semitransparentes están diseñados para traer la luz y bloquear el resplandor, así como para proporcionar una eficiencia energética superior al edificio. Debido a la reducción del deslumbramiento, las personas se pueden beneficiar de la luz natural sin sufrir el molesto deslumbramiento (Danpal, 2022).

## **2.7. Construcciones arquitectónicas con materiales semitransparentes o translúcidos**

En la arquitectura existen muchas formas de poder aplicar aislantes semitransparentes, y a continuación se muestran algunos edificios en los que se han incorporado materiales translúcidos:

### **Biblioteca Beinecke de Libros Raros y Manuscritos, Yale**

- Arquitecto: Gordon Bunshaft (SOM)
- Año: 1963
- Ubicación: New Haven, Connecticut, EEUU
- En el edificio se utilizaron paneles de mármol translúcidos, los cuales hacen filtro de la luz solar para que los libros puedan mostrarse sin sufrir daño por la luz ultravioleta

### **University of San Francisco John Lo Schiavo, S.J. Center for Science and Innovation**

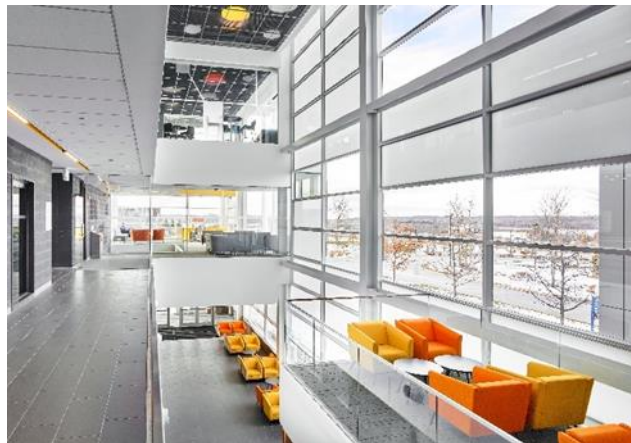
- Arquitecto: NBBJ
- Año: 2013
- Ubicación: San Francisco, EEUU
- Se utilizaron paneles U-Glass con partículas de aerogel de sílice (Aerogel Lumira), los cuales colocaron en los pasillos entre las aulas y el jardín para proporcionar luz al interior del edificio.
- El panel permite traspaso de luz en un 50% y conductividad térmica de  $0,21 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ .



Izq. **Figura 03.** Interior de la Biblioteca Beinecke, Fuente: Etnias del mundo, 2020  
Der. **Figura 04.** Interior de la Universidad de San Francisco, Fuente: TPGAmerica, 2022

### Georgian College

- Arquitecto: Teeple Architects
- Año: 2019
- Ubicación: Barrie, Canadá
- Se utilizaron dos tipos de ventanas translúcidas (Solera R15 y Solera R18), estas están diseñadas para brindar a los espacios luz natural, aislamiento térmico, acústico y además ayuda a darle un valor estético.
- Las ventanas permiten traspaso de luz en un 31% y conductividad térmica de una es  $0,31 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$  (S R5) y  $1,14 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$  (T R18)



**Figura 05.** Interior del Georgian College, Fuente: Advanced Glazings, 2022

### 2.8. Presentación de materiales semitransparentes o translúcidos

A continuación, se mostrarán los materiales que tienen característica de ser semitransparentes y a la vez funcionan como aislante térmico, algunos de estos son

autosoportantes y otros necesitan de un elemento adicional para sostenerse o montarse. Estos materiales son:

### **Aerogel**

El aerogel nació en 1930, fue descubierto por el ingeniero químico Samuel Stephen Kistler, es un material translúcido, también conocido como humo sólido o humo helado, que se obtiene sustituyendo el líquido de un gel por aire u otro gas mediante un proceso de secado supercrítico. El resultado es una espuma sólida muy porosa con alta interconectividad entre estructuras sólidas. Una de las características del aerogel es que se puede fabricar paneles translúcidos que funcionen de cerramientos para construcciones.

### **Características del aerogel Lumira**

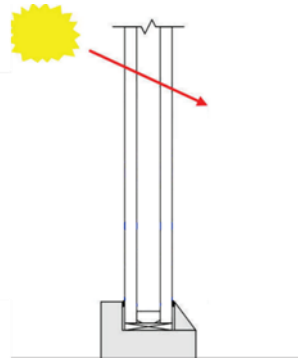
- Material de baja densidad, está compuesto de 95% de aire y 5% sólido.
- Aislante térmico.
- Aislante acústico.
- Resistente a altas y bajas temperaturas. Puede incluso proteger de las llamas.
- Resistente. Puede soportar hasta 1000 veces su propio peso.
- Aspecto fantasmagórico muy parecido al vidrio
- Bajo índice de refracción. No distorsiona las imágenes al pasar la luz a través del material
- Hidrofóbico. Con el debido tratamiento químico se convierte en un material repelente al agua.
- Permite el **traspaso de luz hasta un 80%**.
- **Conductividad térmica  $1,31 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$**



**Izq. Figura 06.** Panel de aerogel, Fuente: AXTER, 2014

**Der. Figura 07.** Cubierta aerogel Lumira, Fuente: AXTER, 2014

El sistema constructivo del aerogel Lumira se compone de láminas de policarbonato alveolar que están rellenas de aerogel.



**Figura 08.** Esquema del aerogel Lumira, Fuente: Elaboración Propia a partir de AXTER, 2014

### Ladrillo de vidrio

El ladrillo de vidrio o bloque de vidrio nació a fines del siglo XIX y fue patentado por Gustave Falconnier, es un elemento de vidrio que admite el paso de la luz mientras mantiene la privacidad visual debido a sus propiedades translúcidas. Es el resultado de un proceso de fusión de dos secciones de vidrio en un solo bloque con un interior hueco. Entre pieza y pieza de vidrio, se crea una cámara de aire en su interior que otorga funcionalidades térmicas y acústicas.



**Izq. Figura 09.** Bloque de vidrio, Fuente: Vitroblock, 2022

**Der. Figura 10.** Cerramiento con bloques de vidrio, Fuente: Archdaily, 2021

#### Características ladrillo de vidrio

- Material translúcido
- Aislante térmico
- Aislante acústico
- Resistente al fuego
- Reduce el gasto energético

- Resistente a cambios de temperatura extremos. No se cuartea ni se agrieta
- Resistente a golpes o impactos.
- Permite el **traspaso de luz hasta un 85%**.
- **Conductividad térmica  $3,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$**
- Los bloques generalmente tienen un grosor de entre 5 y 8 centímetros.

Para poder ensamblar estos bloques entre sí se crea un sistema constructivo en base a mortero y barras finas de acero que irán tanto en sentido vertical como en sentido horizontal para reforzar el ensamblaje. Además, se utilizan separadores o distanciadores para permitir que todos los bloques tengan la misma distancia tanto por arriba como por abajo.

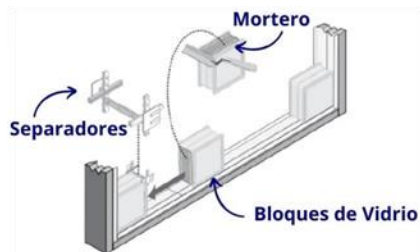


Figura 11. Esquema de construcción, Fuente: Santiago Criado, 2021

### Policarbonato Alveolar

El policarbonato nació en 1955, fue descubierto por el químico estadounidense D.W. Fox. El policarbonato es un material termoplástico compuesto por moléculas unidas a grupos de carbonato. Por lo general se presenta en láminas formadas por múltiples capas. Existen diferentes tipos de láminas y una de ellas es el policarbonato alveolar, esta está compuesta por policarbonato y se fabrica por extrusión, obteniendo planchas con cámaras de aire tipo celdas (parecido a un panal de abejas), por lo que el resultado es una placa translúcida, resistente y liviana.

Características policarbonato alveolar

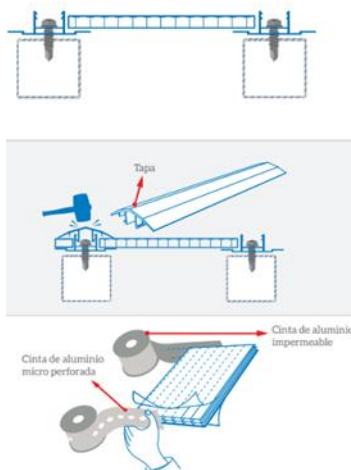
- Aislante térmico
- Resistente frente a impactos sin perder su flexibilidad
- Resistente a altas temperaturas y es ignífugo.
- Maleable, puede ser curvado en frío y en calor.
- Ligero, se puede instalar sin necesidad de montar estructuras complejas
- Reduce el gasto energético
- Permite el **traspaso de luz hasta un 82%**.
- **Conductividad térmica  $2,3 - 3,9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$**



**Figura 12.** Panel de policarbonato, Fuente: Danpal, 2022

**Figura 13.** Cerramiento de policarbonato, Fuente: Danpal, 2021

Una de las maneras para instalar correctamente estos paneles es primero fijar el perfil base a la estructura utilizando los tornillos, luego se colocan las láminas y estas se unen mediante cintas de sellado, finalmente para prevenir la entrada de aire, agua y suciedad al interior se sella la lámina superior utilizando cinta de aluminio impermeable, importante es que no se utilice silicona para sellar las láminas.



**Figura 14.** Instalación de policarbonato

### Hormigón Translúcido

Las investigaciones del hormigón translúcido inician a partir del año 1999, cuando el arquitecto Bill Price comienza a preguntarse por la traslucidez del hormigón. Sin embargo en el año 2001 patentan la invención del hormigón translúcido y se lo otorgan al arquitecto húngaro Aaron Losonczy, este material se desarrolló con la combinación de hormigón fino y fibras ópticas para permitir el traspaso de luz, esta variedad es conocida como Litracon (Light Transmitting Concrete).



En el año 2005 los investigadores Sergio Galván y Joel Sosa crearon otra variedad para el hormigón y se nombró “concreto translúcido”, este material presenta una composición muy parecida a la de los hormigones tradicionales, salvo que el conglomerante (cemento) se sustituye parcial o completamente por el elemento ilum que es un conglomerante polimérico transparente, y que finalmente le confiere la propiedad de la translucidez.

Características del concreto translúcido

- Material translúcido hasta los dos metros de grosor
- Se puede aplicar en grandes volúmenes
- Peso hasta 2100 kg/m<sup>3</sup>, 30% más ligero que el hormigón tradicional
- Resistente a la compresión hasta 60 N/mm<sup>2</sup>. 4500 kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia final alcanzada en 7 días
- Soporta altas temperaturas
- Resistente al fuego
- Resistente al ataque de sulfatos
- Reduce el gasto energético
- El precio es 15 a 20% mayor que el del hormigón tradicional.
- Permite el traspaso de luz hasta un 70%.
- Conductividad térmica 0,21 W/m<sup>2</sup> °K

## **2.9. Aislantes térmicos semitransparentes - Soluciones constructivas**

La mayoría de los materiales empleados en aislación térmica semitransparente no son autosoportantes o estructurales y tienen muy poca resistencia mecánica. En consecuencia, requieren de una estructura de marcos para la sustentación y de un vidrio que los proteja del viento, lluvia, radiación ultravioleta (para el caso de materiales plásticos), polvo, así como también contra pequeños impactos.

Los marcos más usados son de madera, plástico o aluminio. Los marcos en base a perfiles de aluminio presentan puentes térmicos, que transmiten el calor al exterior, presentando inclusive riesgos de condensación al interior del sistema. Por ello, es requisito emplear en la estructura de marco un material con baja conductividad, o bien, un sistema de perfiles separados por materiales no conductores.

## 4. Métodos

Tabla de objetivos y herramientas de investigación

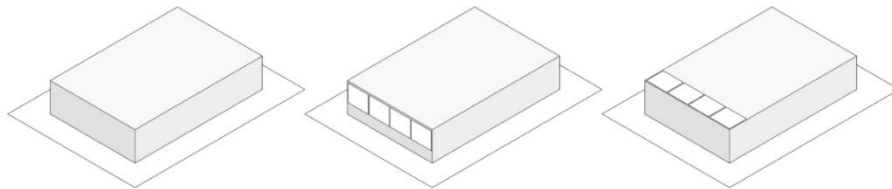
**Tabla 1:** Cuadro metodológico, Fuente: Elaboración propia, 2022

Objetivo General	Objetivos específicos	Fuente de información	Resultados esperados
Estudiar, conocer y explorar los materiales aislantes térmicos semitransparentes que se pueden utilizar en el diseño de una vivienda.	Identificar / describir los diferentes materiales térmicos semitransparentes que se abordarán en la investigación.	Investigar usando la información disponible en libros, revistas y la web.	Tener un listado de información sobre al menos cuatro materiales distintos que tengan las características de ser térmicos y semitransparentes. Los materiales serán nacionales como también internacionales.
	Identificar / caracterizar el aporte térmico y lumínico de los distintos materiales y/o soluciones constructivas que se llevarán a cabo en la investigación.	Investigar Libros, catálogos de materiales, fichas técnicas, páginas web	Obtener información característica sobre la transmitancia térmica y el porcentaje de luz natural que traspasa cada uno de los materiales, además de las características constructivas.
	Comparar los distintos materiales investigados para facilitar la exploración de alternativas para el diseño de viviendas.	Investigar Libros, catálogos de materiales, fichas técnicas, páginas web	La comparación resultante otorgará información para saber cuáles materiales son buenas opciones para el diseño de una vivienda.
	Crear modelos 3d con simulaciones del traspaso de luz de cada material.	Programa Rhinoceros y Ecotect Analysis	Tener esquemas de las simulaciones, conocer la cantidad de lux que se generan en el interior de los contenedores y ver la diferencia entre una abertura lateral y otra cenital.

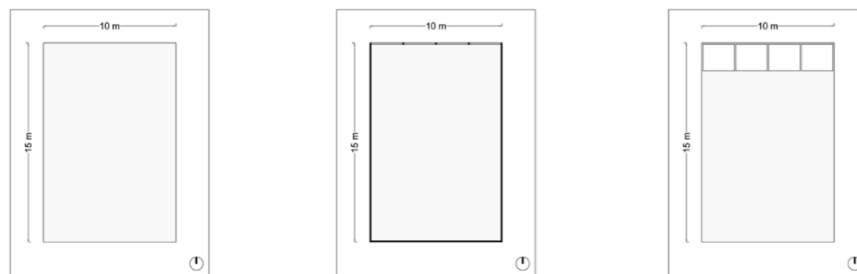
Para responder la pregunta de investigación primero se investigó que significa aislante térmico semitransparente o translúcido y la función que tiene estos en la arquitectura, por qué es importante y cómo o por qué se aplica.

Luego se realizó una breve recopilación de información de diferentes edificios donde son aplicados materiales traslucidos, y posteriormente se describieron las características de algunos materiales en específico para el desarrollo de esta investigación. Ya que el objetivo principal de este trabajo es poder conocer o analizar los diferentes materiales que tengan la cualidad de ser semitransparente y funcionen de aislante. Para eso hay que tener el enfoque en ciertas variables, como por ejemplo, la luminosidad o translucidez que tiene los materiales, esta se lleva a cabo mediante el porcentaje de luz natural que traspasa al material, otra variable es el sistema constructivo si es autosoportante o si necesita de un tercero para poder sostenerse. Cabe destacar que se revisaron varios proveedores del mismo material para obtener los datos y así tener certeza que se está obteniendo información correcta y válida, proveedores nacionales como internacionales.

Una vez que se recopiló toda la información sobre los materiales, la siguiente etapa consta de diseñar contenedores con el método de modelado 3d a través del software Rhinoceros, estos contenedores tipo presentan un diseño simple con aberturas en una sola dirección, ya sea en el muro o techo, en estos vanos se aplicaron los diferentes materiales para ver los contrastes de resultados entre ellos.



**Figura 16.** Contenedores en axonométrica, Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 17:** Contenedores en planta, Fuente: Elaboración propia, 2022

Posteriormente se ejecutó el software de Autodesk Ecotect Analysis para calcular, con los diferentes materiales, los niveles de iluminación interior de los contenedores (Daylighting levels). Dentro de este software se establecieron ciertos parámetros antes de la implementación de la información que presentan los materiales translúcidos.

- Primero se agregaron los parámetros geográficos, tomando de referente a la ciudad de Santiago, Chile, [Latitud  $-33.0^\circ$  y Longitud  $-77.0^\circ$  (-4.0)]. Y se consideró el 21 de diciembre a las 12:00 pm como fecha para la simulación, ya que en diciembre el

tiempo es más cálido y el cielo esta despejado, permitiendo así obtener resultados más claros en la simulación con la luz natural.

- Luego se establecieron parámetros fijos para el techo, piso y muros del contenedor, lo único que varía son los parámetros del material translúcido que se esté analizando.
- Los muros interiores están compuestos por bloques de hormigón de 110 mm de espesor y con placas de yeso de 10 mm en cada lado (medidas dadas por el programa). También se dejó establecido que su traslucidez esté en el valor cero junto con la reflectividad, para que el análisis a los materiales semitransparentes que se lleve a cabo sea más claro y no interfiera la reflectividad de un material tercero en el cálculo.
- El cielo del contenedor también posee un recubrimiento de placa de yeco y al igual que los muros la reflectividad y traslucides tienen valor cero.
- El piso es de hormigón, revestido con placas de yeso y baldosas de cerámica. Al compuesto también se le otorgó una traslucides y reflectividad de valor cero.
- 
- **Panel de aerogel Lumira:** Para simular este compuesto en el software se utilizó una superficie semitransparente estándar, a la cual solo se modificó el porcentaje de transparencia y la reflectividad del material, que en este caso es del 80%.
- **Ladrillo de vidrio:** Al igual que el aerogel, se utilizó el mismo material para calcular los niveles de iluminación al interior del contenedor, pero la diferencia está en que el ladrillo de vidrio traspasa hasta un 85% de luz natural.
- **Polycarbonato alveolar:** Superficie semitransparente estándar, con un traspaso de luz natural hasta el 82%.
- **Hormigón translúcido:** Superficie semitransparente estándar, con un traspaso de luz natural hasta el 70%.
- Finalmente, por defecto del software se le asignó 8500 lux a la iluminación exterior.

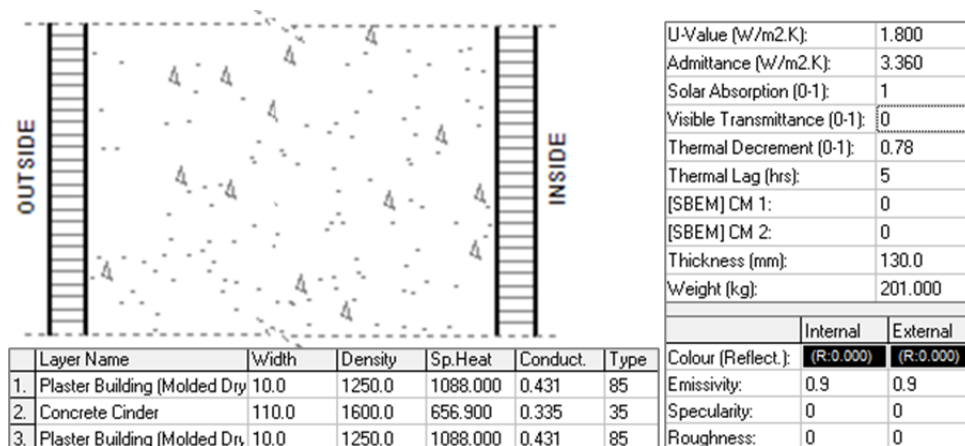


Figura 18: Parámetros de muros interiores, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

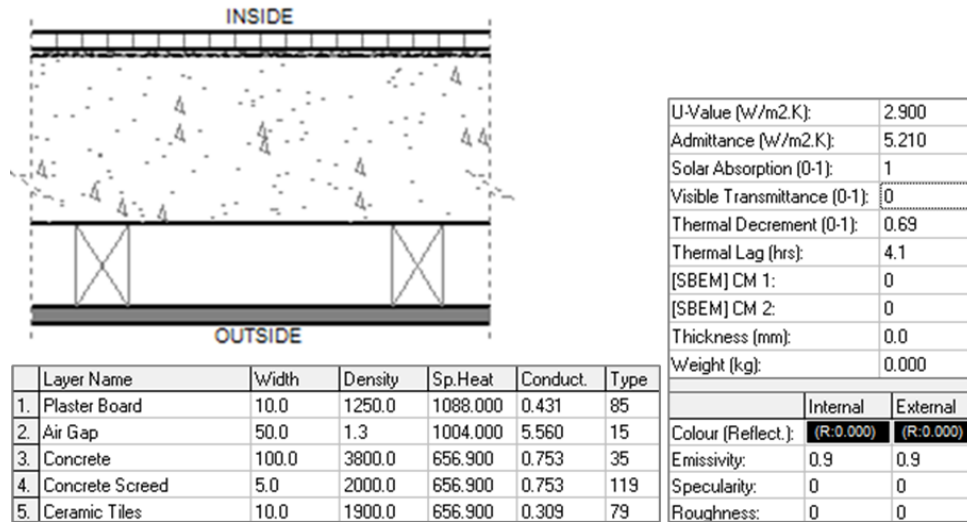


Figura 19. Parámetros de piso, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

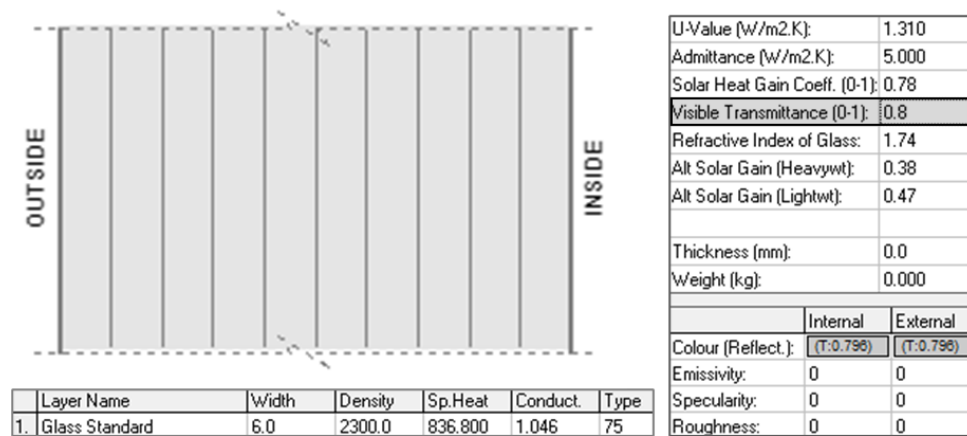


Figura 20. Parámetros de panel de aerogel Lumira, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

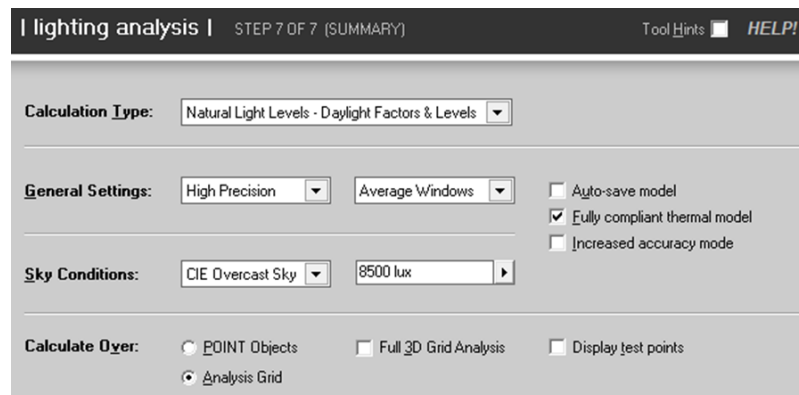


Figura 21. Parámetros del análisis de luz, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

## 5. Resultados

Para empezar se realizó el cálculo de nivel de iluminación al contenedor cerrado para demostrar que el interior no presenta aberturas externas para el ingreso de luz natural.

### 5.1. Contenedor cerrado

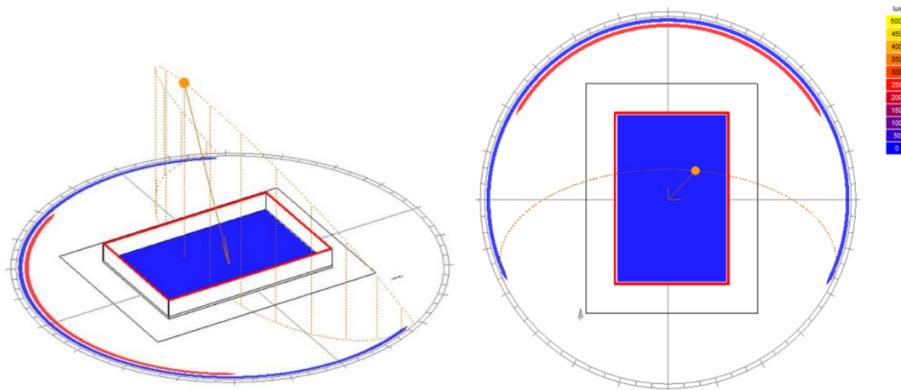


Figura 22 y 23. Análisis de luz, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

Se puede observar que en el interior no existe el ingreso luz natural, se marca un cuadro azul por todo el contenedor que significa que el valor de luxes es cero.

### 5.2. Panel de aerogel Lumira

- Elemento ubicado en el muro norte

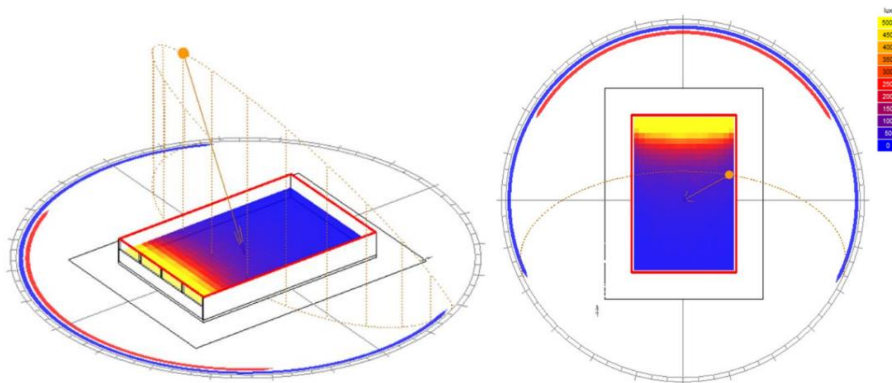
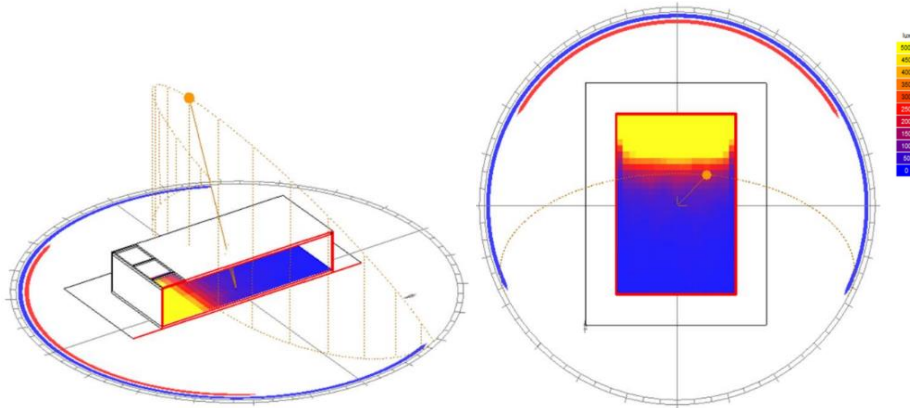


Figura 24 y 25. Análisis de luz de día, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

Con los elementos semitransparentes ubicados en el muro norte se alcanza a ver, a través de los gráficos, que aproximadamente un tercio del contenedor esta sobre 150 lux de nivel de iluminación. Utilizando el aerogel con transparencia de 80%.

- Elemento ubicado en el techo

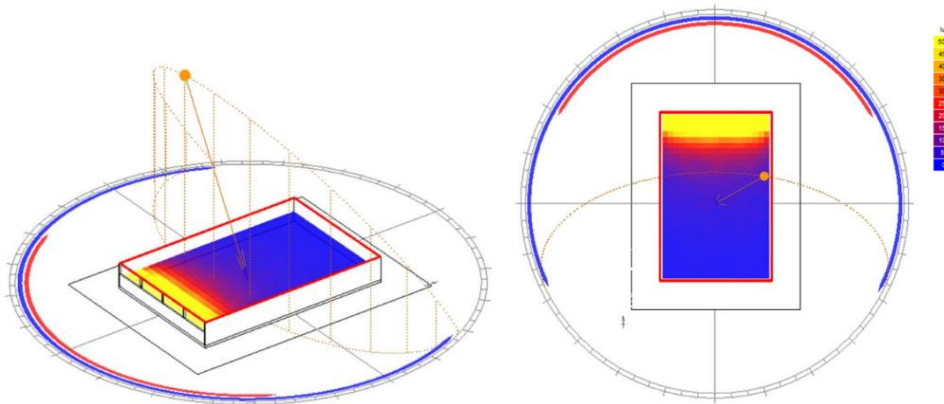
En cambio, con los materiales semitransparentes ubicados en el techo, la luz ingresa de manera cenital lo cual provoca el ingreso de luz natural de forma directa, y de ahí el aumento de luxes el interior. La zona de color amarillo esta sobre los 450 lux de nivel de iluminación. Se utilizo el aerogel con transparencia de 80%.



**Figura 26 y 27** Análisis de luz de día, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

### 5.3. Ladrillo de vidrio

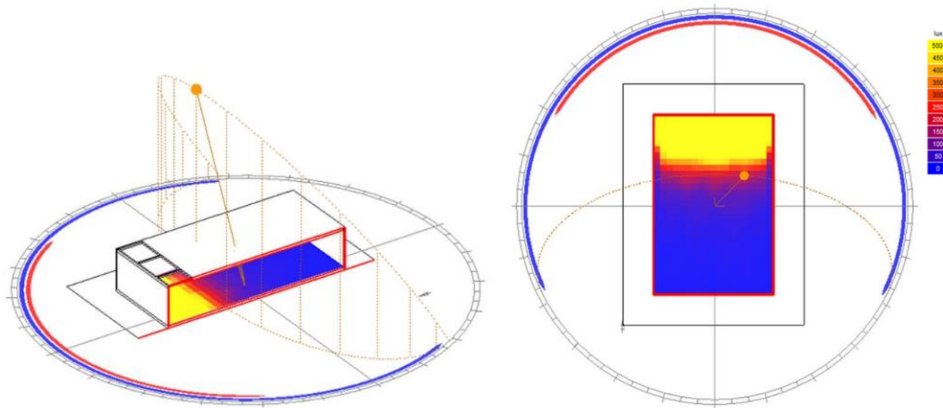
- Elemento ubicado en el muro norte



**Figura 28 y 29.** Análisis de luz de día, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

Se utilizó el material con transparencia de 85%. Si se compara con el cálculo anterior, el muro norte con aerogel Lumira (figuras 24 y 25), la diferencia entre ellos es leve, la intensidad de los luxes interiores es casi la misma la única diferencia es que hay un mayor alcance lateral de ingreso de lux.

- Elemento ubicado en el techo

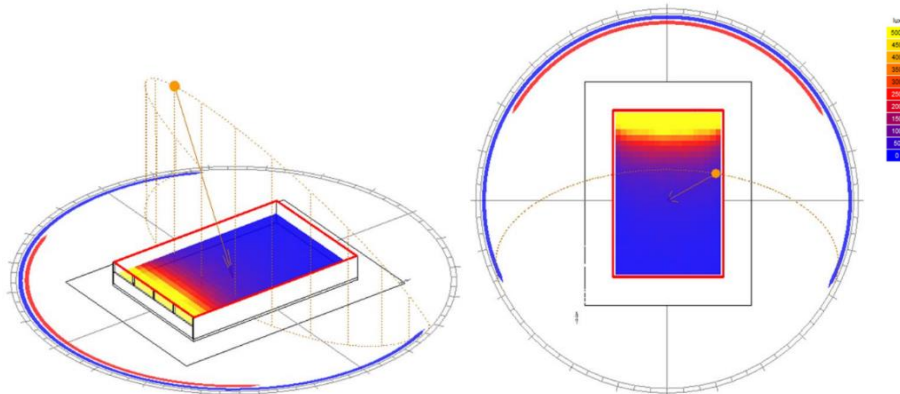


**Figura 30 y 31.** Análisis de luz de día, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

Al igual que el gráfico anterior se utilizó para el ladrillo de vidrio una transparencia del 85%, si se compara con los gráficos de las figuras 26 y 27 no se ve diferencia. El ingreso de la luz cenital queda limitado por el punto perpendicular, si bien el ingreso de luz se distribuye alrededor, esta no tiene el mismo alcance que la luz ingresada de forma lateral porque el ángulo no lo permite. Por eso en los gráficos de los muros laterales se ve la diferencia, aunque sea leve entre ellos, y no con los gráficos de aberturas en la techumbre.

#### 5.4. Policarbonato Alveolar

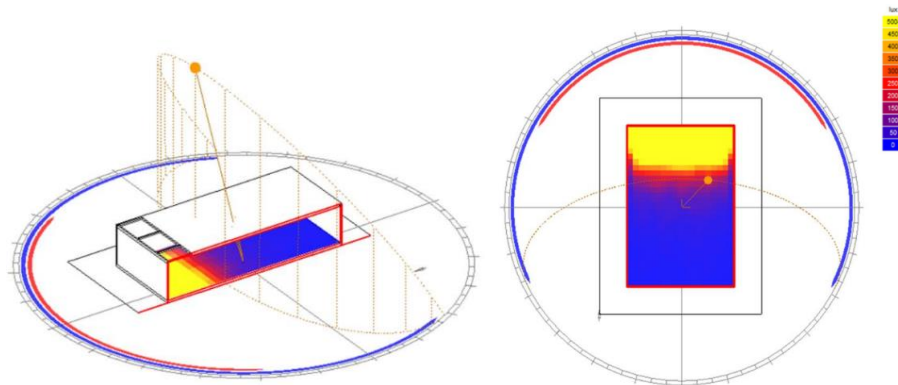
- Elemento ubicado en el muro norte



**Figura 32 y 33.** Análisis de luz de día, Fuente: Ecotect Analysis, 2022



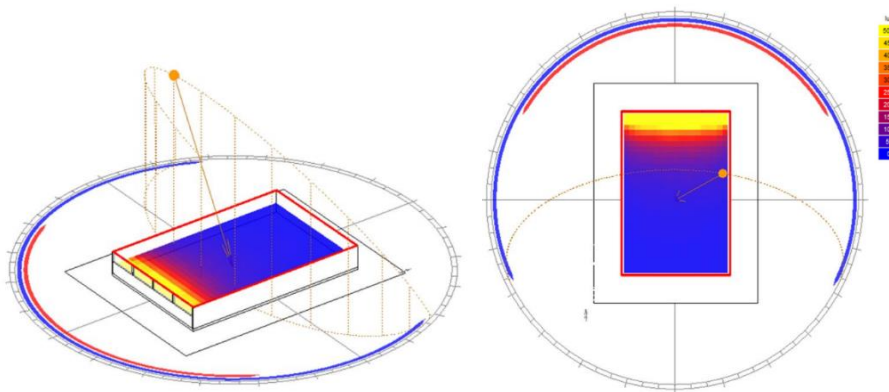
- Elemento ubicado en el techo



**Figura 34y 35.** Análisis de luz de día, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

### 5.5. Hormigón translúcido

- Elemento ubicado en el muro norte



**Figura 36 y 37.** Análisis de luz de día, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

Al utilizar un porcentaje de 70% de transparencia es más notoria la diferencia entre los gráficos anteriores que rondaban el 80-85%, pero se sigue alcanzando un nivel de iluminación superior 500 lux.

- Elemento ubicado en el techo

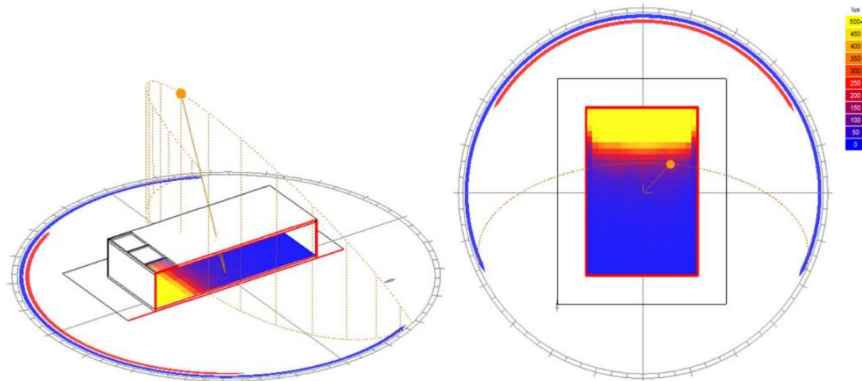


Figura 38 y 39. Análisis de luz de día, Fuente: Ecotect Analysis, 2022

## 6. Conclusiones

Con los avances de la tecnología existen mayores posibilidades de encontrar mejores soluciones para el proceso diseño y el ingreso de luz natural, ahora es posible, en vez de tener un muro cerrado tradicional con una ventana de vidrio, crear otra piel que sea flexible, funcional, con una mejor estética, que permita interactuar con el exterior. El objetivo de estos materiales es crear nuevas perspectivas sobre acristalamientos y también mejorar el confort interior de los espacios.

Del análisis de los gráficos se puede observar que entre los resultados obtenidos de la abertura lateral norte y la abertura cenital, esta última tiene mayor impacto en el interior del recinto de tal forma que si fuera más grande generaría deslumbramiento en el interior, por lo cual es válido decir que se suelen utilizar en localidades donde hay predominio de cielo nublado, y no suelen estar presentes en zonas con climas calurosos a no ser que tengan una protección adicional en estas.

## Referencias

- A. (2020, 17 agosto). LA BIBLIOTECA BEINECKE DE LIBROS RAROS Y MANUSCRITOS. Conozcamos Todas Las Etnias Que Hay En El Mundo. <https://etniasdelmundo.com/bibliotecas/biblioteca-beinecke-de-libros-raros/>
- AXTER (2014). AEROGEL LUMIRA. AXTER. [http://www.dh-portugal.pt/index\\_htm\\_files/x\\_lumira.pdf](http://www.dh-portugal.pt/index_htm_files/x_lumira.pdf)
- Blanco, F. (2015, 25 noviembre). Policarbonato Celular. Nuevos materiales y sistemas para la ejecución. <https://nuevosmaterialesysistemas.wordpress.com/2013/04/17/policarbonato-celular/>

- Boletín de Vigilancia Arquitectónica. (2019). Hormigón Translúcido. Centro Tecnológico para la Innovación. <https://admin.prueba.ctecinnovacion.cl/wp-content/uploads/2021/01/Boletin-Hormigon-Translucido-03062019.pdf>
- Cao, L. (2021, 3 marzo). Los ladrillos de vidrio vuelven a la arquitectura, otra vez. ArchDaily Colombia. <https://www.archdaily.co/co/941777/los-ladrillos-de-vidrio-vuelven-a-la-arquitectura-otra-vez>
- Channel Glass Illuminates Science at the University of San Francisco. (2022). Technical Glass Products. <https://www.tgpamerica.com/resources/design-ideas/case-studies/2013/university-san-francisco/>
- Chi, D. (2021). Iluminación natural a través de ventana. Criterios de diseño para climas en México. México: UDLAP.
- Cubiertas de policarbonato (2021). Policarbonato ALVEOLAR. DVP. [https://dvp.cl/wp-content/uploads/2021/07/POLICARBONATO-ALVEOLAR\\_2021\\_BAJA.pdf](https://dvp.cl/wp-content/uploads/2021/07/POLICARBONATO-ALVEOLAR_2021_BAJA.pdf)
- Danpal. (2017, 31 octubre). La elegancia del policarbonato alveolar combinado con madera. Danpal. <https://danpal.com/tag/policarbonato-alveolar/>
- Danpal. (2022, 27 abril). Paredes De Policarbonato Transparente Paneles Aislantes. Danpal. <https://danpal.com/paredes-de-policarbonato-transparente-paneles-aislantes/>
- Galicia, I. (2020, 22 agosto). Luz natural en el proceso de diseño arquitectónico. Iluminet revista de iluminación. <https://www.iluminet.com/luz-natural-arquitectura/>
- Georgian College. (2022). Advanced Glazings LTD. <https://www.advancedglazings.com/case-studies/georgiancollege>
- Luisi, A. (2020). Hormigón translúcido con fibra óptica investigación y desarrollo [Tesis de Maestría]. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República Uruguay. [https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26747/1/TMA\\_LuisiBuchelli%2C%20Adriana.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26747/1/TMA_LuisiBuchelli%2C%20Adriana.pdf)
- Magnus, P. (2015). Aislamiento Térmico Móvil. Filtros para la reducción de pérdidas de calor por aberturas en la envolvente en climas fríos [Trabajo Final de Máster]. Escuela técnica superior de arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/78658?show=full>
- Palomo, M. (2017). Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos. [Trabajo de fin de grado]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. [https://oa.upm.es/47071/1/TFG\\_Palomo\\_Cano\\_Marta.pdf](https://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf)
- Polymerland a polymershapes company (2017). Ficha Técnica Policarbonato Alveolar. Polymerland.

[https://www.polymerland.cl/pdf/alveolar/Polymerland\\_Ficha\\_Tecnica\\_Policarbonato\\_Alveolar\\_20171207.pdf](https://www.polymerland.cl/pdf/alveolar/Polymerland_Ficha_Tecnica_Policarbonato_Alveolar_20171207.pdf)

Reinholdt, E. (2015). Policarbonato: Una alternativa rentable al cristal.

<https://www.houzz.es/revista/policarbonato-una-alternativa-rentable-al-cristal-stsetivw-vs~52517686>

SGD Catálogo (2014). Bloques de vidrio. Glass blocks. SGD La Granja

<http://www.grupocecilio.com/wp-content/uploads/2014/06/MOLDEADOS1.pdf>

Stouhi, D. (2019, 31 enero). Cómo diseñar para un óptimo confort térmico (y por qué es importante). Plataforma Arquitectura.

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/910532/como-disenar-para-un-optimo-confort-termico-y-por-que-es-importante>

Termodin/air\ (2014). LUMIRA AEROGEL. Termodin/air\.

<http://termodinair.com/files/lumira-aerogel-es.pdf>

Ulloa, R. (2015, 8 diciembre). Aerogel. Nuevos materiales y sistemas para la ejecución.

<https://nuevosmaterialesysistemas.wordpress.com/2015/12/08/aerogel/>

V. (2021, 23 diciembre). Bloques de Vidrio. Un material increíble con grandes prestaciones.

Santiago Criado. <https://santiagocriado.com/bloques-vidrio/>

# **Propuesta metodológica para la creación de recorridos virtuales en base a fotogrametría con drones, enfocados en gafas de realidad virtual autónomas.**

**Estudiante:** Emilio José Rubio Ortiz  
**Profesor guía:** Mauricio Loyola Vergara

## **Resumen**

Los recorridos virtuales son una forma de acercar experiencias arquitectónicas a sus usuarios y gracias al desarrollo de tecnologías como HMD o también conocidos como gafas de realidad virtual, estas experiencias pueden ser mucho más inmersivas. Para crear recorridos virtuales más inmersivos e interactivos, se requiere crear un modelo 3d y existen diferentes técnicas para conseguirlos como el sistema de escáner Lidar, la fotogrametría e incluso modeladores de entornos, dichos métodos resultan ser costosos por los equipos involucrados y/o por la cantidad de personas requeridas para lograrlos. En este artículo se propone una metodología para crear recorridos virtuales en base a fotogrametría con drones, en especial los de categoría “prosumer”, y además con el enfoque de que los recorridos sean visualizados en dispositivos HMD autónomos, lo que presenta una dificultad mayor en la optimización frente a las HMD que se usan a partir de otras plataformas como computadores y videoconsolas.

**Palabras clave:** Recorridos virtuales, Drones, Fotogrametría, HMD autónomos

## **1. Introducción**

### **1.1. Visualización de recorridos virtuales.**

Los recorridos virtuales son una buena manera de acercar experiencias arquitectónicas a diversos usuarios. Estos pueden estar enfocados en diferentes plataformas como los computadores y las videoconsolas. Para mejorar la experiencia inmersiva se puede optar por dispositivos de visualización llamados HDM (Head-Mounted display), con dichos dispositivos se pueden reproducir imágenes en pantallas muy cercanas a los ojos, aislándote de tu entorno para enfocarse solo en la experiencia. Estos HDM pueden ser el complemento de las otras plataformas ya que requieren de ellas para poder funcionar, dado que los recursos necesarios para procesar la experiencia son corridos por la plataforma base, y el HDM solo reproduce las imágenes por lo que su uso se ve limitado a la dependencia de estas plataformas.

Una forma de obtener un HDM con un uso más independiente, es adaptando los teléfonos móviles, estos se denominan “cardboard”, pero como estos dispositivos no están orientados a este uso se ve limitada la experiencia inmersiva.

Por otro lado, tenemos los dispositivos HDM Autónomos, estos al igual que los HDM de plataformas entregan una gran experiencia de inmersividad y su uso no dependen de otras plataformas. La dificultad está en que cuenta con menos recursos en comparación a un computador o una videoconsola por lo que el desarrollo de experiencias tiene que ser más optimizada.

### **1.2. Construcción de recorridos virtuales.**

Respecto a la creación de recorridos virtuales lo más común es hacerlos a partir de fotografías 360°, esta alternativa es la más fácil rápida y económica de hacer, sin embargo, la experiencia inmersiva se ve limitada ya que la interacción no tiene libertad de movimiento.

Para obtener recorridos virtuales con más interactividad hay que construirlos a base de modelos 3D, los cuales pueden ser generados a partir de los siguientes métodos:

La tecnología Lidar, es un sistema que a través de emisiones de luz logra calcular la distancia de superficies, obteniendo una nube de puntos densa la que es post procesada para obtener los modelos tridimensionales. Con este método se obtiene un modelo de alta calidad por lo que la experiencia espacial se ve mejorada, esta alternativa se ve limitada por el costo de involucrar escáner Lidar.

El modelado digital, esta alternativa la podemos ver en los entornos de videojuegos, donde modeladores a partir de fotografías modelan entornos complejos, el beneficio de estos modelos es que se crean optimizados desde un principio, pero requiere un gran esfuerzo para construir y texturizar los modelos por lo que requiere mucho tiempo para crear los entornos e involucra una gran cantidad de personas para optimizar el mismo.

La fotogrametría, es un método de procesamiento de imágenes donde se logran obtener modelos 3d a partir de fotografías y gracias al desarrollo de otras tecnologías como las aeronaves no tripuladas también llamados “drones” se facilita la obtención de imágenes de lugares complejos. Usando drones en fotogrametría podemos obtener modelos digitales con buena calidad de textura. En cuanto a la precisión, esta se puede mejorar utilizando drones de carácter profesional junto con otros sistemas de GPS. Este método se ve limitado debido al costo de drones profesionales y de los otros elementos involucrados como los GPS.

Ante dicho panorama, es válido cuestionarse la capacidad de poder crear modelos digitales a partir de drones que estén en la categoría “prosumer” y sin contar con GPS externos. Esta opción baja considerablemente los costos de producción. A lo largo del presente artículo se desarrolla una metodología de creación de recorridos virtuales a partir de un levantamiento fotográfico con drones enfocado en ser visualizado HMD autónomos. Se espera que dicho recorrido sea más rápido y barato en comparación a los descritos anteriormente.”

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Recorridos virtuales en arqueología**

En la actualidad el uso de recorridos virtuales se ha popularizado en diferentes industrias y se puede emplear con fines tan variados como la publicidad en la promoción de sitios e instalaciones turísticas, la cultura con las representaciones de acervos o edificios históricos, o la educación con recorridos en instalaciones universitarias, bibliotecas, colecciones científicas. (Nieva García et al., 2021).

Una de los campos que más ha explorado la creación de modelos 3d y promoción del patrimonio a través de recorridos virtuales, es la arqueología. Como podemos ver en el trabajo de Esclapés et al. (2013), ya desde ese entonces se proponía una metodología para la creación de recorridos virtuales que involucraba la fotogrametría junto con un motor de videojuegos para crear la experiencia, usando de ejemplo una cueva, por lo que la captura de imágenes significo un trabajo laborioso utilizando un dron para la captura exterior y una cámara digital para la captura interior. Debido a las limitaciones de la época, la experiencia fue diseñada para vivirla a través de un computador utilizando el mouse y el teclado como dispositivos de navegación, sin embargo, ya se referenciaba la aparición de nuevas tecnologías HDM en específico los Oculus Rift que estba e proceso de desarrollo, pero la versión para el consumidor fue lanzada en el año 2016 (figura 1).

En investigaciones más recientes podemos encontrar la desarrollada por R. del Cueto et al. (2021) donde sintetizan las novedosas metodologías de registro y la elaboración de materiales de divulgación, ya podemos ver el uso de la fotogrametría consolidado como método de documentación en esta área, en esta investigación utilizan los drones Dji Phantom 3 advanced y Phantom 4 pro, y se obtuvieron 2 modelos 3d.



**Figura 1:** Evan.m. (2017). The Oculus Rift CV1 (Consumer Version 1). Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/>

A pesar de ya contar con un modelo 3d, para crear los recorridos virtual se utilizó una cámara 360º modelo Samsung Gear 360, a este recorrido se puede acceder desde la plataforma web rundme y puede ser visualizado en el computador, dispositivos móviles y de forma más inmersiva en dispositivos HDM.

Es así como los recorridos virtuales se presentan como estrategia para acercar lugares a las personas, entre otras cosas, sin embargo, la experiencia inmersiva se ve limitada, ya que como sostiene (Gueron,2016) El espectador puede mirar a su alrededor dentro del contenido creado, pero no le permite navegar ni controlar nada más allá de la dirección en la que está mirando.

## **2.2. Fotogrametría**

La fotogrametría mediante la técnica “Structure From Motion” (SFM) puede emplear fotografías desde distintos ángulos y distancias, incluso sin saber la posición de la que fueron tomadas (Nissen et al., 2010). Esta técnica, junto al avance tecnológico de vehículos aéreos no tripulados (drones), ha hecho que la fotogrametría clásica sea sustituida en gran parte por la técnica SFM (Souto-Vidal et al., 2015), donde podemos obtener una precisión de hasta  $\pm 2\text{mm}$ , como podemos ver en el estudio de Gómez-Zurdo et al. (2021), para lograr esa precisión se utilizaron los drones DJI Phantom 4 pro y Drone Matrice 210 RTK con cámara zenmuse X4s. la tecnología llamada RTK (Real Time Kinetic) la cual logra posicionar las fotografías de forma automática en tiempo real.

## **3. Métodos**

Se usaron los antecedentes como referencia para utilizar una metodología preliminar, donde se identificaron 3 partes fundamentales, el levantamiento de imágenes, la creación de un modelo 3d utilizando un software fotogramétrico y la creación del recorrido de realidad virtual en un motor de videojuegos. Este fue el punto de partida de la investigación y a través de experimentar con diferentes pruebas para cada paso, se buscó obtener una metodología refinada y optimizada para la creación de recorridos virtuales con el enfoque ya mencionado.



Para realizar las pruebas se utilizó una ubicación preliminar y una vez teniendo los criterios más refinados se utilizó la facultad de arquitectura de la Universidad De Chile como ubicación para seguir desarrollando la metodología.

### **3.1. Equipo y Herramientas**

Para obtener una metodología óptima se realizaron pruebas en dos softwares de procesamiento fotogramétrico, Pix4Dmapper y Agisoft Metashape Professional, comparando los resultados obtenidos de diferentes lotes de imágenes con diferentes configuraciones. Para capturar las fotografías se contó con el dron DJI Mavic Air 2, se capturaron las imágenes en modo manual y con vuelos autónomos, programados a través de la aplicación de móvil Drone Harmony. Para la creación del recorrido virtual se utilizó el motor de videojuegos Unreal Engine y el dispositivo HMD utilizado fueron las gafas de realidad virtual Oculus Quest 2.

Otro aspecto importante es el computador donde se desarrollaron las pruebas. Se contó con dos equipos, el principal con un procesador Ryzen 7 2700x, 24gb de memoria Ram y una tarjeta de video Nvidia GeForce RTX 2700 de 12gb. Y el secundario fue un notebook con un procesador i5-9300H, 12gb de memoria Ram y una tarjeta de video Nvidia GeForce GTX 1650.

### **3.2. Procedimiento**

El proceso se dividió en tres fases, la primera consistió en elegir una ubicación preliminar donde testear los criterios para capturar imágenes y testear los softwares de fotogrametría con diferentes lotes de imágenes y configuraciones. El objetivo de esta fase fue definir criterios para la captura de fotografías y descartar configuraciones en la creación de modelos 3d para levantamientos posteriores.

En la fase dos se crearon modelos 3D preliminares del caso de estudio, con los criterios obtenidos de la fase uno, posteriormente se integrarán dos modelos en Unreal Engine, uno de cada software. El objetivo de esta fase es elegir el software que más se adapte a la creación de recorridos virtuales y definir los criterios necesarios para obtener un modelo enfocado en ser usados en la Oculus Quest 2.

En la fase tres se encuentra el resultado de esta investigación, donde se aplicarán todos los criterios ya refinados y optimizados. El objetivo de esta fase es explicar la metodología obtenida de las pruebas anteriores ejemplificándolas en el caso de estudio.

### **3.3. Fase 1**

El lugar seleccionado fue una plaza que tiene una pendiente en uno de sus bordes y un muro ciego en otro, como se puede apreciar en la figura 2, la intención de usar esta ubicación es analizar la capacidad de los softwares para reconstruir pendientes.



**Figura 2:** Fotografía de la ubicación de levantamiento preliminar. Elaboración Propia

En este levantamiento se obtuvo un total de 131 fotos, 85 con grado nadir capturadas a través de un vuelo autónomo utilizando la aplicación “Drone Harmony”, las otras 46 fotografías fueron capturadas de forma manual.

Ya obtenidas las imágenes lo siguiente fue crear los modelos, en el caso de Pix4DMapper se crearon 4 modelos con los parámetros descrito en la Tabla 1. Para el caso de Agisoft Metashape Professional se realizaron 6 modelos con los parámetros de la Tabla 2.

**Tabla 1:** Resumen de modelos Pix4Dmapper. Elaboración propia.

Nombre del modelo	Imágenes		Plantilla
	Drone Harmony	Manual	
1A	85	No	3D Maps
1B	85	46	3D Maps
1C	85	No	3D Models
1D	85	46	3D Models

**Tabla 2:** Resumen de modelos Agisoft Metashape Professional. Elaboración propia

Nombre del modelo	Imágenes		Origen de datos para el modelo 3D	Numero de caras
	Drone Harmony	Manual		
2A	85	No	Puntos de paso	89.999
2B	85	46	Puntos de paso	89.999
2C	85	No	Mapas de profundidad	1.518.023
2D	85	46	Mapas de profundidad	2.577.725
2E	85	No	Nube de puntos	7.337.877
2F	85	46	Nube de puntos	7.879.351

En el anexo 1 se puede apreciar todo el material utilizado y obtenido en este levantamiento tales como:

- Lote de 131 imágenes utilizadas.
- Guía con los pasos utilizados para crear vuelos autónomos en Drone Harmony.
- Guía con los pasos utilizados para crear modelos en Pix4Dmapper.
- Guía con los pasos utilizados para crear modelos en Agisoft Metashape Profesional.
- Comparación de los resultados obtenidos en cada software
- Los 10 modelos 3d en formato .obj

En base a la comparación de los resultados obtenidos se determinaron los siguientes criterios para el próximo levantamiento:

Para la captura de imágenes se utilizarán vuelos autónomos para las fotografías en ángulo nadir, ya que con los vuelos autónomos se puede configurar un porcentaje de solapamiento específico, del que se recomienda un 70%. Esto nos permite capturar las suficientes fotografías para crear un modelo del contexto general, sin embargo, utilizando solo imágenes en grado nadir no se logra capturar las fachadas detalladas por lo que se necesita el apoyo de fotografías manuales, para estas considerar capturar todas las fachadas visibles e identificar elementos complejos para capturar secuencias de fotografías enfocadas principalmente en dichos elementos. Con esto se espera una mejora en la morfología de los modelos 3D y en sus texturas.

Respecto a las configuraciones del software se utilizará la plantilla “3D Maps” para Pix4D Mapper, y se crearán los modelos a partir de mapas de profundidad en el caso de Agisoft.

### **3.4. Fase 2**

Para realizar el levantamiento fotográfico autónomo se crean 2 misiones en la aplicación “Drone Harmony” siguiendo los pasos descritos en la “Guía con los pasos utilizados para crear vuelos autónomos en Drone Harmony” del anexo 1. Se obtienen 2 lotes de fotografías a diferentes alturas, el primero con un total de 80 fotos a una altura de 20 m. El segundo con un total de 158 a una altura de 40 m. el enfoque de estos recorridos fue cubrir la Fau con su contexto en diferentes dimensiones.

Respecto a las fotografías manuales también se divide en 2 lotes, el primero con fotografías de las fachadas de los edificios de la Fau con un total de 109 fotografías. El segundo con tomas variadas con diferentes enfoques dentro del patio principal llamado “pircas”, en este lote se enfocan elementos sueltos como sillas bancas basureros entre otros y el lote se compone de 158 fotografías.

Para los modelos 3d se crean cinco modelos en Pix4Dmapper con los parámetros de la tabla 3 y cinco modelos en Agisoft Metashape Profesional con los parámetros de la tabla 4.

**Tabla 3:** Resumen de modelos Pix4Dmapper. Elaboración propia.

Nombre del modelo	Imágenes		Plantilla
	Drone Harmony	Manual	
Rec 1 en Pix4D	80	No	3D Models
Rec 2 en Pix4D	158	No	3D Models
Rec 3 en Pix4D	No	109	3D Models
Rec 4 en Pix4D	No	158	3D Models
Todos los Rec en Pix4D	238	267	3D Models

**Tabla 4:** Resumen de modelos Agisoft Metashape Professional. Elaboración propia.

Nombre del modelo	Imágenes		Origen de datos para el modelo 3D	Numero de caras
	Drone Harmony	Manual		
Rec 1 Agisoft	80	No	Mapas de profundidad	1.866.536
Rec 2 Agisoft	158	No	Mapas de profundidad	3.273.52
Rec 3 Agisoft	No	109	Mapas de profundidad	2.264.349
Rec 4 Agisoft	No	158	Mapas de profundidad	3.383.956
Todos los Rec Agisoft	238	267	Mapas de profundidad	3.424.739

Los modelos exportados desde los softwares de fotogrametría contienen muchas caras en la estructura de su modelo denominados “polígonos”, esto genera un problema para ser procesados por las Oculus Quest 2. El software Agisoft Metashape Professional contiene una herramienta para reducir la cantidad de polígonos considerablemente a partir de un modelo de alta resolución, con la ventaja de poder transferirle la textura desde este modelo, en cambio la herramienta Pix4Dmapper solo se le puede asignar una cantidad específica de polígonos al inicio del proceso por lo que la textura final se ve afectada. Gracias a esta característica Agisoft Metashape Professional se convierte en el software de procesamiento fotogramétrico más compatible con el flujo de trabajo enfocado a crear recorridos virtuales en dispositivos HDM autónomos.

Con el fin de encontrar una cantidad óptima de polígonos se exportan 3 modelos con los parámetros de la tabla 5.

**Tabla 5:** Resumen de modelos con polígonos reducidos. Elaboración propia.

Modelo base	Numero de caras base	Modelo exportado	Numero de caras final
Todos los Rec Agisoft	3.383.956	Prueba polígonos 1	2.000.000
Todos los Rec Agisoft	3.383.956	Prueba polígonos 2	1.500.000
Todos los Rec Agisoft	3.383.956	Prueba polígonos 3	1.000.000

Al comparar los modelos en los Oculus Quest 2 se concluye que la cantidad optima de polígonos es de 1.500.000 .En el anexo 2 se puede apreciar todo el material utilizado y obtenido en este levantamiento tales como:

- Lote de 505 imágenes utilizadas separadas por cada mision.
- Comparación de los resultados obtenidos en cada software
- Guía con los pasos utilizados para exportar modelos en Pix4Dmapper.
- Guía con los pasos utilizados para exportar modelos en Agisoft Metashape Profesional.
- Guía con los pasos utilizados para importar y preparar modelos en Unreal Engine.
- Guía con los pasos utilizados reducir la cantidad de mallas de un modelo en Agisoft Metashape Profesional.

#### **4. Resultados**

Después de realizar las diferentes pruebas podemos proponer un método optimizado para la creación de recorridos virtuales interactivos en base a modelos fotogramétricos y enfocado en HMD autónomos. Este método se puede dividir en 4 partes, la primera es el levantamiento fotográfico, la segunda es la creación y exportación de un modelo 3d utilizando el software Agisoft Metashape Professional, la tercera es la integración del modelo 3d en el motor de videojuegos Unreal Engine y la creación de la experiencia, y por último la exportación del recorrido virtual para los HMD Oculus Quest 2. A continuación se describen los pasos de cada parte y adicionalmente se incluyen anexos para cada parte, ilustrando el paso a paso utilizando como ejemplo el recorrido virtual creado en el lugar de estudio.

##### **Levantamiento fotográfico**

Para realizar la captura de imágenes hay que tener en cuenta que se requieren imágenes en grado nadir, estas serán la base del modelo y su contexto por lo que se recomienda usar vuelos autónomos ya que en ellos se puede configurar una ruta en base al porcentaje de solapamiento de imágenes, para esta configuración se recomienda un uso del 70%.

Tener en cuenta que entre más cerca las fotografías más detalles tendrá la textura, por lo que se recomienda la captura de imágenes con vuelos manuales orbitando las fachadas y los elementos con morfologías complejas. Para los parámetros de la cámara lo ideal es tener la configuración de ISO lo más baja posible para obtener el mayor detalle en las fotografías.

Otra consideración importante es realizar el levantamiento fotográfico un día en que la iluminación no cambie mucho, este puede ser soleado o nublado, pero sin nubes que intercedan en las sombras capturadas en las fotografías ya que esto dificulta la orientación de las imágenes. El levantamiento fotográfico es el único aspecto de la metodología que cambia en función del objetivo de digitalización, en todos los demás pasos se sigue el mismo método.

En el anexo 3 se puede apreciar una guía ilustrada paso a paso utilizando de ejemplo un recorrido virtual del caso de estudio.

### **Creación de modelo digital en Agisoft Metashape Proffesional**

- Orientar fotos.
- Crear malla 3d.
- Crear textura RGB.
- Usar herramienta de reducir mallas.
- Crear textura RGB y Mapa de normales.
- Exportar modelo en formato FBX.

### **Creacion de la experiencia en Unreal Engine 5.1.**

- Crear un modelo con la plantilla Virtual Reality
- Eliminar todos los elementos que no se necesitan.
- Importar el modelo creado en Agisoft Metashape Professional.
- Agregar el modelo al entorno de trabajo, escalarlo y ubicarlo
- Aplicar el material y editar el mismo
- Desactivar las funcione de sombras tanto en “directional lighth” como en el modelo.
- Agregar elementos que limiten los movimientos del recorrido.

### **Exportar modelo unreal**

- Activar modo desarrollador desde las quest 2
- Instalar oculus development en el pc
- Conectar oculus al pc
- Configurar Unreal Engine para empaquetar aplicaciones destinadas al Oculus Quest 2.

## **5. Conclusiones**

Los recorridos virtuales son una herramienta cada vez más accesibles gracias a los avances tecnológicos en esta investigación se plantea una metodología que otorga mayor inmersividad e interactividad en comparación a los recorridos virtuales en 360º y muchos más baratos en recursos de realizar en comparación a los modelos creados a partir de diversos sistemas como sensores lidar, Drones con RTK y GPS y los entornos modelados manualmente por personas.

Esta investigación propone una metodología más asequible para crear modelos digitales de entornos construidos en especial de patrimonios, con el fin de que exista una mayor promoción de los mismos enfocado en los dispositivos HDM autónomos, ya que estos tienen una mayor libertad de uso al no depender de plataformas externas y entregan una gran experiencia inmersiva. Esta metodología entrega la base de la experiencia, a partir de ella se pueden programar diferentes experiencias de interacción con el entorno como cambiar colores y materiales transistor por lugares imposibles de acceder físicamente o incluso proyectar intervenciones arquitectónicas digitales dentro del modelo levantado.

## Referencias

- Cueto, F. R. del. (2021, October 18). Nuevas estrategias de digitalización dentro del megalitismo cantábrico: modelos 3d, visitas y aproximaciones virtuales del proyecto de La Cobertoria (Salas, Asturias) | Espacio Tiempo y Forma. Serie I, Prehistoria y Arqueología. <https://revistas.uned.es/index.php/ETFI/article/view/30819>
- Esclapés, J., Tejerina, D., Esquembre, M. A., & Bolufer, J. (2013). Propuesta metodológica para la generación de recorridos virtuales interactivos. *Virtual Archaeology Review*, 4(9), 212. <https://doi.org/10.4995/var.2013.4276>
- Nieva García, O., Luna González, P., & Arellano Pimentel, J. (2021). Comparativa de características de software para la creación de recorridos virtuales 360 en Web. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 9(19), 109–117. <https://doi.org/10.36825/riti.09.19.009>
- Nissen, E., Arrowsmith, J. R., & Crosby, C. (2010). Introduction to Structure-from-Motion. Geological Society of America Annual Meeting Short Course, Denver, CO. <https://kb.unavco.org>.
- Sancho Gómez-Zurdo, R., Galán Martín, D., González-Rodrigo, B., Marchamalo Sacristán, M., & Martínez Marín, R. (2021). Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno. *Informes de la Construcción*, 73(561), e379. <https://doi.org/10.3989/ic.77867>
- Souto-Vidal, M., Ortiz-Sanz, J., & Gil-Docampo, M. (2015). Implementación del levantamiento eficiente de fachadas mediante fotogrametría digital automatizada y el uso de software gratuito. *Informes de la Construcción*, 67(539), e107. <https://doi.org/10.3989/ic.14.098>
- R. del Cueto, F., Busto Zapico, M., Herrera Arenas, D., García Cortés, S., & García-Noriega Villa, C. (2021). Nuevas estrategias de digitalización dentro del megalitismo cantábrico: modelos 3d, visitas y aproximaciones virtuales del proyecto de La Cobertoria (Salas, Asturias). *Espacio Tiempo Y Forma. Serie I, Prehistoria Y Arqueología*, 14, 91–122. <https://doi.org/10.5944/etfi.14.2021.30819>
- Vico García, D. Aplicación de la fotogrametría a la documentación geométrica y difusión del patrimonio arqueológico y arquitectónico. espacio virtual interactivo.. Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Jaén, España, 2018. <https://hdl.handle.net/10953.1/14281>

## Técnicas constructivas vernáculas de la región de Tarapacá

**Estudiante:** Anwar Sabagh Bahna  
**Profesor guía:** Natalia Jorquera Silva

### Resumen

A partir de la problemática del impacto ambiental que ha tenido la forma de construir en la actualidad, se inicia una investigación que busca repensar estos procesos, abordando el tema de la arquitectura y las técnicas de construcción vernáculas. Estas formas de hacer arquitectura crean una posibilidad, sobre todo en contextos vulnerables, ya que contribuyen a combatir el déficit habitacional a través de medios de bajo costo y uso de materiales naturales disponibles en el entorno cercano, lo que ayudaría a reducir el impacto de la construcción en el medio. La presente investigación expone las diferentes técnicas vernáculas presentes en Tarapacá con sus respectivas variantes dentro del desierto chileno, para proponerlas como técnicas de suficiente calidad para la construcción de viviendas; y que además responden de forma sustentable y económica al contexto actual.

**Palabras clave:** Arquitectura vernácula, Técnicas constructivas, Materiales naturales, Tarapacá, Déficit habitacional

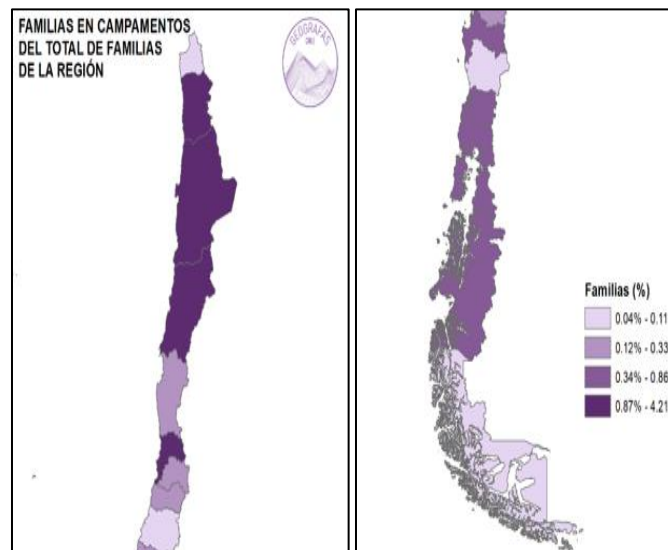


## 1. Introducción

Esta investigación está enmarcada bajo una problemática general del impacto ambiental resultante de nuestras formas de construcción en el mundo contemporáneo. Técnicas dominadas por materiales no reciclables y de altos costos de producción para el medio ambiente, como es el caso del hormigón armado. Este es uno de los materiales más usados en las grandes ciudades por sus posibilidades plásticas y estéticas, permitiendo a los arquitectos jugar con las formas del edificio casi de manera ilimitada. Sin embargo, este material representa un gran impacto al planeta tanto en su producción, como tras el envejecimiento y muerte del edificio generando la mayor parte de los residuos por parte de la actividad de la construcción en Chile (Figura 1).

<i>Residuos</i>	<i>Miles de toneladas</i>	<i>Residuos</i>	<i>Miles de toneladas</i>
Áridos	4.599	Cerámica muro	4
Cementos	653	Pizarreño	4
Ladrillos	313	Baldosa	4
Madera	28	Tubos de acero	3
Yeso	24	Zinc	2
Fierro redondo	20	Azulejos	1
Cañerías de cobre	13	Tubos de PVC	1
Parquet	9	Otros	142

**Figura 1:** Infante, J y Valderrama, C. 2019. Composición de los residuos generados de las actividades de construcción en Chile. Tabla.



**Figura 2:** Palacios, P. 2020. Familias en campamentos del total de familias de la región. Mapa gráfico en base a catastro de campamentos. (MINVU, 2019).

A la problemática del impacto de la construcción en el ambiente se le suma la problemática del déficit habitacional, que en Chile ha provocado la creación de campamentos a lo largo de todo el país. Para esta investigación se va a trabajar específicamente en la región de Tarapacá por el porcentaje de familias que viven en este contexto en la zona. En comparación a 2019, esta región presenta un aumento de familias viviendo en campamentos cerca de un 55%, esto corresponde a 8.458 familias en esta situación para el año 2021. (TECHO, 2021). (Figura 2).

El déficit habitacional nos muestra una necesidad de las personas por conseguir un bien que no pueden conseguir en el sistema actual, y que solo han podido acercarse a él por medio de la autoconstrucción. Acción que se ve dificultada por esta inaccesibilidad a los materiales modernos por su alto costo económico, lo que genera unas viviendas empobrecidas en cuanto a habitabilidad y confort. Estos problemas motivan la búsqueda de posibilidades sostenibles y económicas para producir arquitectura en la actualidad. Es aquí donde la arquitectura vernácula y sus formas de construirse tienen un rol importante.

La arquitectura vernácula se caracteriza por ser de bajo costo económico, por la utilización de materiales de la zona y por la participación de los habitantes en su construcción; alcanzando un alto entendimiento del entorno por parte de la cultura en la que se encuentra. Por lo que es una solución real a las problemáticas habitacionales y de sostenibilidad, pero que ha quedado olvidada tras la llegada de las técnicas y materiales modernos a la arquitectura. La investigación busca levantar información sobre las diferentes técnicas vernáculas presentes en la región de Tarapacá, con el propósito de servir de referente para la producción de arquitectura. Además, a través de una evaluación cualitativa, se busca considerar la posibilidad de incorporación a la construcción contemporánea de viviendas, aportando maneras más económicas y sustentables que las actuales

De lo anterior nace la **pregunta**: ¿Cómo pueden los conocimientos sobre la arquitectura vernácula y las técnicas constructivas tradicionales ser un referente para la producción de vivienda autoconstruida de la región de Tarapacá?

**Hipótesis:** Las técnicas constructivas vernáculas pueden ser un referente para la construcción sustentable de viviendas ayudando a combatir el déficit habitacional de la región. Estas técnicas pueden contribuir ya que la arquitectura vernácula tiene como principales cualidades el uso de materiales naturales disponibles en el entorno cercano, de bajo costo, económico y energético.

**Objetivo general:** Codificar las técnicas locales de construcción y la manera en la que se produce arquitectura tradicional en la región de Tarapacá, demostrando que es posible utilizarlas en la construcción hoy por su carácter económico y sustentable.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Arquitectura y técnicas vernáculas

En el presente artículo se utiliza el concepto de arquitectura vernácula como pilar base, por lo que es necesario para este, exponer sus definiciones y características de diferentes autores a lo largo de los años. Es necesario iniciar los antecedentes definiendo arquitectura vernácula ya que el concepto no es de conocimiento común.

Bernard Rudofsky es uno de los primeros autores en definir arquitectura vernácula. Según él, es aquella arquitectura anónima, espontánea, indígena o rural, como menciona en “Arquitectura sin arquitectos” (1964); donde además nos expone su cualidad autoconstruida siendo uno de los pilares fundamentales para entenderla. Este primer acercamiento para definirla nos brinda la idea de que normalmente el constructor vernáculo es parte de la comunidad e incluso puede ser el futuro habitante de la vivienda (Asquith, 2006).

*“Arquitectura vernácula” se define como el proceso de creación arquitectónica por parte del individuo, sin la necesidad de un arquitecto, lo cual conlleva un proceso meramente instintivo, resolviendo sus necesidades primordiales que son las de refugio y desarrollo de sus actividades dentro de su entorno.” Contreras, V & Contreras, R. (2017).*

Contreras explica que cuando en las diferentes culturas aún no existía el arquitecto en su posición jerárquica sobre los futuros habitantes, la misma comunidad comenzó a desarrollar la actividad constructiva bajo la necesidad de refugio. Las personas tomaban los materiales del entorno que habitaban para cubrir sus necesidades espaciales, y a través del ensayo y error lograron un gran conocimiento de los materiales y técnicas constructivas. Alcanzaron una construcción eficiente, económica, sustentable y con importante valor cultural debido a su participación en el proceso.

La sabiduría sobre la arquitectura vernácula que desarrollaron los diferentes habitantes alrededor del mundo llama la atención en la actualidad de los arquitectos en su búsqueda por formas y materiales sustentables y económicos, bajo el contexto de la crisis climática. Por lo que es nuestro rol dar visibilidad a estas técnicas olvidadas tras la llegada de la modernidad (VERSUS, 2014).

### 2.2. Técnicas Vernáculas de construcción

Se presentan técnicas vernáculas de construcción más representativas de territorios como el de Tarapacá. Estos son entornos desérticos por lo que se exponen técnicas que utilizan principalmente la tierra como material de construcción, y casos donde se utiliza vegetación presente en la región.

Según Paul Oliver (1997) en “Encyclopedia of vernacular architecture of the world”, el **adobe** es uno de los materiales más antiguos utilizados en el mundo, llegando a estar presente en todos los continentes. Este material es el mayor representante en la construcción en tierra y

su técnica consta de una mampostería de bloques uno encima de otro. Se hacen bloques con tierra, agua y materia vegetal en un molde normalmente de forma rectangular, aunque también se utilizan moldes cuadrados, cónicos y en forma de cuña.

*“Dependiendo de los recursos naturales locales, se le puede añadir a los bloques algún otro componente para mejorar sus prestaciones: fibras (usualmente paja de trigo en Chile), excrementos animales, piedras pequeñas, arena, conchitas, resinas de planta como el mucílago o “baba” de tuna, etc.” (Jorquera, N. 2022)*

La variada mezcla en base de tierra logra gran firmeza luego de su secado, en forma ya de adobe al aire libre, sin requerir cocción. El autor también indica que el adobe suele presentarse junto a otros elementos y materiales, tales como piedras para sus fundaciones, tapiales o marcos de madera

Oliver menciona que en América ya existían técnicas de construcción con tierra previas a la llegada de los españoles, pero que los conocimientos sobre construcción con adobe llegan tras la llegada de los conquistadores. A su vez los españoles recibieron los conocimientos de esta técnica desde el norte de África, 8 siglos antes del descubrimiento de América.

Siguiendo con las técnicas vernáculas con tierra Paul Oliver expone también sobre el **tapial**, presentándolo como *“pisé à terre”*. Esta es la denominación francesa para lo que en español llamamos tapial, refiriendo a su origen de tierra apisonada. La técnica del tapial consiste en comprimir tierra, agua y piedras en un molde a modo de encofrado para generar la forma. Esta técnica se realiza con moldes de mayor tamaño que los utilizados en el adobe, logrando producir grandes bloques de tierra, que apilados entre sí pueden rápidamente generar un muro. Es por sus grandes dimensiones que se menciona que la técnica se realiza *in situ* y una vez la tierra esté apisonada y seca se desmonta el encofrado para realizar el siguiente tapial.

Las formas que se mencionan en la enciclopedia para apisonar la tierra; es utilizando las manos, pies o pisones. Esta acción es la clave de la técnica ya que al comprimir la tierra en el molde se crean al poco tiempo bloques sólidos con capacidades de resistir esfuerzos de compresión sin deformarse o quebrarse.

*“...después del terremoto de 1647 el tapial dejó de emplearse en la construcción de edificios, remitiéndose a la construcción de cercos de predios agrícolas, a excepción de pocos casos.” (Jorquera, N. 2022)*

Si bien el tapial funciona muy bien a esfuerzos de compresión, como explica Natalia Jorquera en la cita anterior, su escasa resistencia sísmica ha provocado la disminución de su uso en Chile por el riesgo que simboliza para los habitantes del país.

*“Cob is a plastic building material made by mixing fibre and water with clay and aggregate taken from below the organic topsoils of the ground” (Oliver, P. 1996)*

El caso del cob según la enciclopedia se forma a través de materiales similares a las otras técnicas con tierra. Se mezclan fibras, agua, arcillas y tierra; y suele complementarse con piedras, arena, gravas y limos. La forma de la técnica es resultado del acomodo con la mano

de la mezcla, una bola sobre otra. En el caso de Inglaterra y otros países nórdicos se menciona que se construyen muros completos con esta técnica, pero que en otras partes del planeta como Chile conforma una técnica complementaria a las principales de la región.

En el caso de la **quincha** Oliver presenta la técnica como “Wattle and Daub”, refiriéndose a un tejido plano hecho con cañas, varas o mimbres, y a una posterior técnica de embadurnamiento de la mezcla de lodo o arcilla y paja. Esta técnica según Natalia Jorquera en “Patrimonio chileno construido en tierra” se clasifica dentro las técnicas mixtas, ya que se genera un volumen sólido a partir de dos principales materiales: madera y tierra.

*“Wattle is made by interweaving rods and twigs to form the solid material of fences, walls, roofs, floors and sometimes even trackways. Plastered with daub (a mixture of mud or clay, Straw and urine), wattle is, and has been, used in the building of huts and dwellings all over the world” (Oliver, P. 1996)*

Esta técnica como las demás tiene sus variaciones en cada parte del mundo en las que se desarrolla, usando la tierra y madera del territorio que se habita. En la enciclopedia nombra el sauce como árbol de donde se extrae la materia prima para la construcción, pero que esto en la realidad depende de la vegetación disponible en el medio.

El caso del **bambú** en la enciclopedia se menciona como un recurso natural de fácil manipulación, ya que requiere herramientas como el machete para su corte, para una posterior implementación a las diferentes técnicas requeridas. Este material suele utilizarse para la construcción de *huts*, que en español serían cabañas de bambú en este caso. Sin embargo, suele utilizarse en técnicas mixtas, como la quincha.

*“The bamboo huts are built using a combination of wood and bamboo. Wood is usually used for the load-carrying parts of the walls, floor and roof, but bamboo culms are also used” (Oliver, P. 1996).*

Oliver también destaca al bambú como un recurso natural, económico, de fácil acceso y fuerte; por lo que es muy común ver la utilización de este material para la construcción en territorios con presencia de este.

Paul Oliver relaciona las facilidades de construcción con el bambú con la utilización de **cactus** cardón en Chile. Es un recurso natural que crece en el altiplano en regiones del norte de Chile, Argentina y Bolivia. Menciona que es altamente utilizado por la abundante presencia de la planta en el desierto y prácticamente único recurso para construir en madera de la zona.

Los cactus cardón llegan a medir hasta 20 m de altura, 1.5 m de diámetro (Turner Bowers y Burgess, 1995) y desarrollan múltiples ramificaciones a tasas de crecimiento de 3 cm a 23 cm por año (Delgado Fernández, Garcillán y Ezcurra. 2016). Y según lo investigado por Paul Oliver, después de recolectado el cactus se corta en tablas anchas de 10-20 cm que luego se secan para mejorar sus propiedades estructurales.

*“The wood is very light in weight but once dried becomes extremely hard and resistant to rot” (Oliver, P. 1996).*

Se presenta el caso de **techos de paja** como técnica vernácula para la construcción de techumbres utilizando recursos materiales. Esta técnica se encuentra en diversos lugares del mundo, como Asia, polinesia, África Subsahariana y Latinoamérica. Paul Oliver explica que la durabilidad y calidad de estos techos dependen de las plantas y técnicas utilizadas en la zona. También nos explica la importancia de mantener estas estructuras secas, para no permitir que animales, hongos u otros organismos sean atraídos por la paja. Oliver clasifica la construcción de techumbres en tres técnicas principales. La primera es a través de la utilización de tallos rígidos, como es el caso de las cañas; la segunda utiliza tallos flexibles, y la tercera usa hojas o tejidos gruesos de fibras.

### **2.3. Autoconstrucción**

Una de las consecuencias del déficit habitacional de la región ha sido la creciente autoconstrucción de los habitantes que salen de las vías legales para conseguir una vivienda propia. Esta situación genera un contexto muy similar a lo que ocurre en las comunidades donde encontramos arquitectura vernácula.

El escenario en el que los pobladores se encuentran al construir sus viviendas, si bien no se acerca en ámbitos materiales, presenta una similitud de relación social con el espacio. Cuando se construye con técnicas vernáculas se observa un apego por parte de las personas al lugar, transgrediendo la percepción de la vivienda como objeto material y llevándolo a una posición relevante para el desarrollo de las personas, sociedades y culturas.

Algo muy similar ocurre con los pobladores de campamentos según lo expuesto por Castillo (2014) en “Competencias de los pobladores”. En donde se muestra la importancia de que la vivienda sea autoconstruida, permitiéndoles una unión al espacio habitado, además de una economización de precios. Los casos presentados por María José Castillo permiten argumentar la importancia de la participación en la construcción de sus futuros habitantes. Por lo que a la hora de trabajar como arquitectos tanto con esos casos más modernos, como con arquitectura vernácula se deben procurar dar espacio para los habitantes a participar de la construcción de su casa. Debemos limitarnos como profesionales a guiar el proceso más que a entregar un producto de arquitectura completo. Al involucrar a los futuros pobladores en la construcción se obtendrá el beneficio del apego al lugar, la conexión con su entorno y cuidado del inmueble.

### **2.4. Déficit habitacional**

En Chile el déficit habitacional ha ido en aumento en los últimos años. Esta problemática es abordada por esta investigación ya que plantea un desafío de iniciar una búsqueda para combatir la escasez de vivienda. La región de Tarapacá ha tenido un aumento de cerca del 55% en número de familias viviendo en campamentos, comparando la información levantada

en 2019 hasta los datos entregados por TECHO en 2021. Se duplica la cantidad de personas en esta situación, siendo este contexto una consecuencia del déficit habitacional que se vive en el norte de nuestro país.

El caso de Tarapacá ocurre principalmente por un aumento en la cantidad de personas que migran a la ciudad de Iquique, principal centro urbano de la región. Según los datos entregados por el mismo catastro de TECHO en 2021, la región de Tarapacá es una de las que mayor porcentaje de familias migrantes recibe, alcanzando un 39,43% de familias, superando el promedio nacional. Este aumento de población sumado a una deficiencia de viviendas en Iquique provoca un desborde de la población a asentamientos y ciudades cercanas. Este es el caso de Alto Hospicio, comuna de Iquique que se comporta como apéndice de la ciudad y que ha crecido por la falta de viviendas en la urbe.

### 3. Métodos

#### 3.1. Etapa 1

Para lograr reconocer las técnicas vernáculas de construcción presentes en la actualidad en la región de Tarapacá, fue necesario realizar una serie de acciones para obtener un contacto directo con los casos. Se toma esta decisión debido a la escasa presencia de referentes en la literatura sobre los casos específicos de Tarapacá.

Es por lo anterior que el principal método para la investigación fue la **visita a terreno**, a modo de observación directa para la identificación de los diferentes casos de arquitectura vernácula presentes en la región. Se visitó la ciudad de Iquique sirviendo como el punto de partida de las diferentes visitas a las localidades dentro del desierto de la región de Tarapacá.

Fue esencial para la investigación en terreno haber obtenido conocimientos previos a aquella acción. Fueron valiosos para la comprensión de lo observado en las visitas a terreno los conocimientos adquiridos en los cursos de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, específicamente los **cursos electivos** de “Técnicas vernáculas de construcción” y el “Taller práctico de experimentación de materiales”. Cursos impartidos por la profesora Natalia Jorquera y Patricio Árias respectivamente.

Para la presente investigación se complementaron los conocimientos adquiridos en los cursos nombrados anteriormente con **bibliografía** sobre técnicas vernáculas, con la intención de ejecutar la visita a terreno correctamente y en su máximo potencial. Se revisaron principalmente los textos: Salinas, J. 2009; Cárdenas, S. 2021; Jorquera, N. 2022; y Oliver, P. 1997. De aquella manera, con la información obtenida de la bibliografía y los cursos electivos se efectuó la visita a terreno desde una visión con mayores conocimientos de lo observado; logrando un nivel de entendimiento de los procesos y las técnicas acorde a los requeridos para la investigación.

Se planificaron diferentes actividades para realizar en el viaje que permitieron una mayor comprensión de los casos en el lugar, además de acciones de registro y levantamiento de los casos observados. Estas son: la creación de fotografías, extracción de muestras, realización de entrevistas a habitantes y maestros vernáculos, escritura de una bitácora de lo observado, mapeo de las ubicaciones visitadas y medición de piezas de la técnica. (Figura 3). Estas técnicas si bien son distintas todas apuntan a levantar información sobre las técnicas vernáculas, complementándose entre sí para generar una idea completa de los casos y arquitectura vernácula de la región.



**Figura 3:** Elaboración propia. Sept, 2022. Acciones realizadas en visita a terreno de la región de Tarapacá. Fotografías.

### 3.2. Etapa 2

Las **fotografías** permiten el registro de los casos de estudio visitados y observados lo más fiel a la realidad posible para exponer directamente lo que se vio. Esta actividad genera una observación activa del medio durante la visita a terreno, permitiendo la detención sobre el objeto de estudio y el entorno que lo condiciona. Además, al ser una actividad continua durante el viaje se observa en las fotografías el cambio del paisaje según se avanza en el desierto, logrando localizar los casos encontrados en su entorno específico en la posterior revisión de las imágenes.

La toma de **muestras** de materiales de las construcciones sirve como registro complementario de las demás acciones realizadas, y que permite volver a revisar trozos de los materiales utilizados en los casos de estudio, logrando diferenciar las particularidades de



cada tierra (Figura 4). Observar y sentir la presencia de sales, arcilla, piedras, agua, material orgánico, entre otros en la tierra utilizada para la técnica. Esta acción dio paso a un contacto con la técnica y material de manera distinta. Al tocar y observar directamente el objeto de estudio se evidenciaron de mejor manera los recursos naturales utilizados. Como fue el caso de la determinación de presencia de sales en la tierra a través de pruebas sensoriales gustativas.



**Figura 4:** Elaboración propia. Nov, 2022. Muestras recopiladas en terreno de construcciones vernáculas encontradas. Fotografía.

Se realizaron **entrevistas** en busca de un mayor entendimiento de la técnica y profundización sobre esta. Esto permite comprender los procesos de construcción de las técnicas o de dónde se sacaban los materiales para construir. Además de comprender por qué se utilizaba la técnica allí o explicar la presencia de materiales que no se encontraban en el entorno inmediato. Por lo tanto, esta acción permitió obtener información no visible de las técnicas, complementando el estudio autónomo de los casos con los conocimientos de las personas locales.

Las entrevistas se realizaron utilizando un cuestionario (Anexo 1) y que, si bien se tenía el listado presente, este sirvió como guía dentro de una conversación fluida con las personas. Se lograron realizar 4 entrevistas, 2 a maestros constructores vernáculos y 2 a habitantes comunes de la región. Uno de los maestros constructores vernáculos era habitante de La Tirana y otro de Mocha, en donde también se logró dialogar informalmente con más habitantes de la localidad. Por el lado de los habitantes comunes se tuvo la oportunidad de entrevistar a una persona originaria de Mamiña y otra habitante de Iquique.

A medida que avanzaba la visita a terreno se escribía paralelamente una bitácora que dejara escrito información vital que no era fotografiable, como es el caso de las entrevistas o interacciones que permitían profundizar el entendimiento. Se apuntaban observaciones

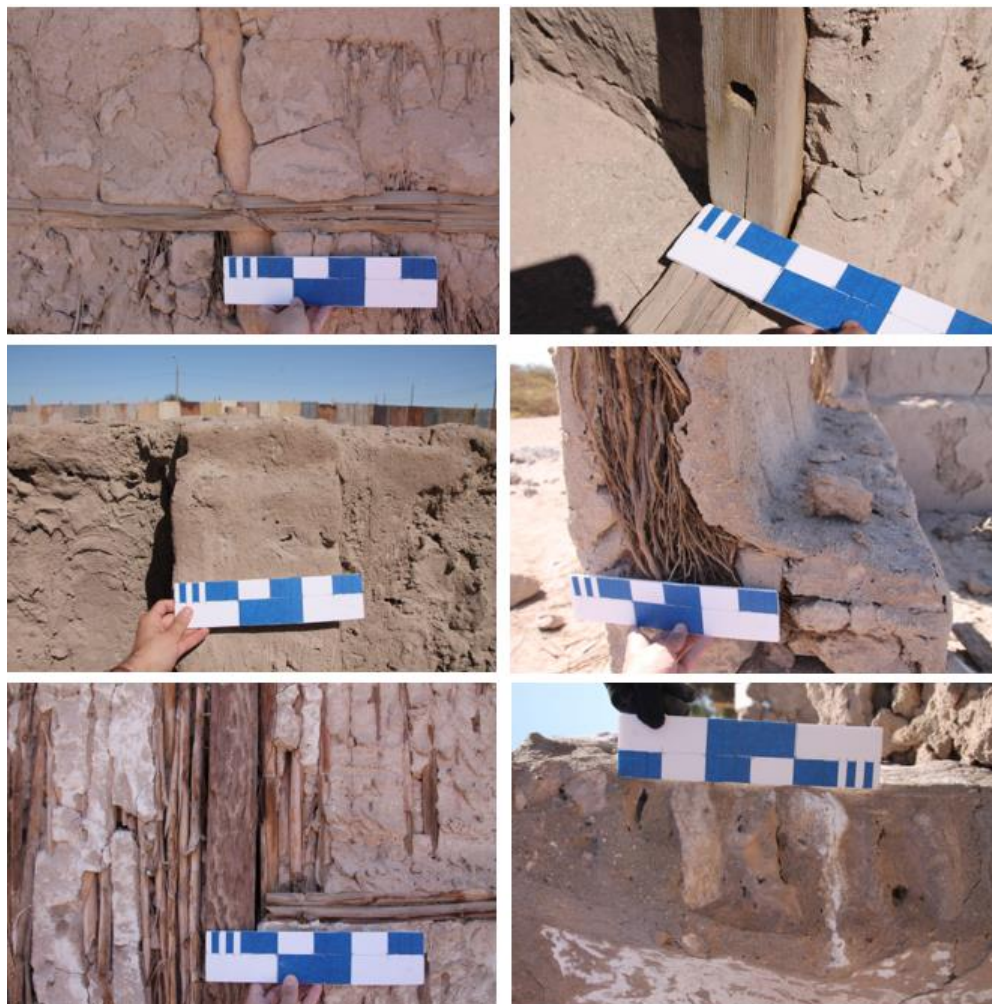
sobre los materiales, técnicas, paisaje, fotografías, muestras, lugares y entrevistas; para dejar registro de lo que no podía expresarse por las otras vías de documentación.

También es profundamente relevante para la investigación haber realizado un **mapeo** de los casos visitados. De esta manera a medida que se encontraba una técnica vernácula se registraba la ubicación donde se encontró, permitiendo desarrollar un análisis más profundo sobre la relación con su entorno una vez visitado. Generando un registro espacial de presencia de técnicas y recursos naturales en el desierto de Tarapacá. Lo que permite asociar la ubicación de cada caso con su forma y existencia en el lugar. En el viaje a terreno se visitaron las localidades de La Tirana, Calamina, La Huayca, Matilla, Pica, Huara, San Lorenzo de Tarapacá y Mocha (Figura 5). Lugares en donde se encontraron de diversas formas técnicas vernáculas de construcción, y que gracias a la acción del mapeo lograron ubicarse geográficamente junto a las descripciones de sus paisajes y técnicas vernáculas encontradas.



**Figura 5:** Elaboración propia. Sept, 2022. Mapa de recorridos del viaje a terreno.

Por último, se tomaron **medidas** de piezas importantes de las diferentes construcciones. Esto para una mejor representación a la hora de compartir la información, además de permitir generar comparaciones entre cada uno. Obteniendo medidas de los diferentes adobes presentes en la región o de cada perfil de madera utilizado para las quinchas, permitiendo no solo una comparación entre las diferentes técnicas, sino también dentro de las variaciones presentes de cada una en Tarapacá (Figura 6).



**Figura 6:** Elaboración propia. Sept, 2022. Medición de construcciones vernáculas del desierto de Tarapacá. Fotografías.

### 3.3. Etapa 3

Posterior al viaje de investigación se inicia una etapa de **ordenamiento y análisis** de la información recopilada. En donde se crea el mapa de técnicas vernáculas y recursos naturales, con sus ubicaciones respectivas permitiendo una lectura de las construcciones respecto a su entorno y paisaje. Dando paso a lecturas en relación a los recursos naturales presentes en las zonas donde se encontraron cada técnica de construcción. Además, se desarrollan **fichas de cada técnica** en donde se profundiza en sus cualidades específicas en la región de Tarapacá, clasificando cada una de las técnicas principales encontradas en las localidades. Esta acción se realiza a través de dibujos, fotografías y descripciones de la técnica específica.

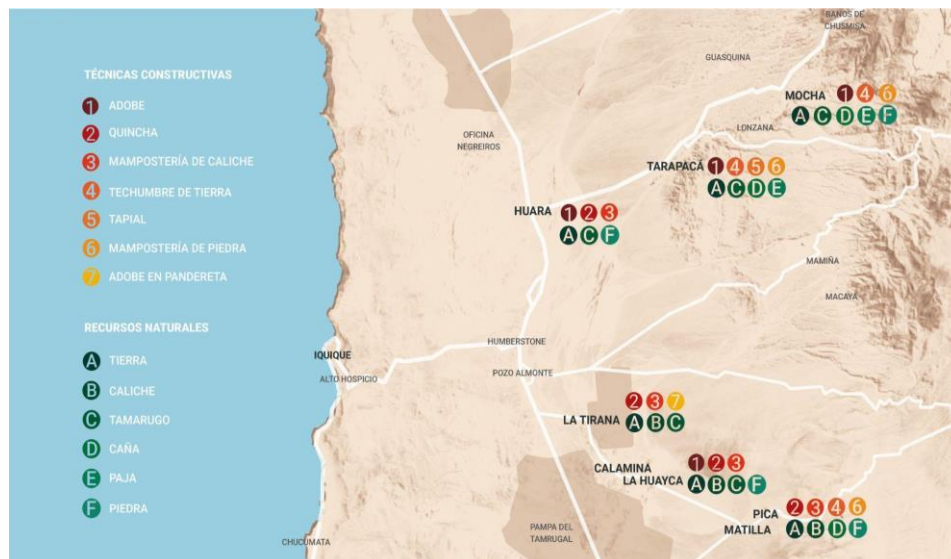
A partir de la información recopilada de las técnicas vernáculas presentes en la región de Tarapacá se realiza una **evaluación cualitativa** de cada una y en comparación entre sí. De esta manera se busca evaluar la posibilidad de incorporación a la construcción

contemporánea de viviendas de las técnicas vernáculas, aportando maneras más económicas y sustentables que las actuales. A través de una tabla se evalúan cualitativamente las diferentes técnicas vernáculas en cuanto a distancia y disponibilidad del recurso, rapidez de construcción, facilidad de construcción, confort térmico, resistencia sísmica y mantención. De aquella manera se logra encontrar las posibilidades de incorporación de las técnicas a la producción de vivienda actual, logrando identificar el caso más pertinente para el caso de Tarapacá.

#### 4. Resultados

Para la presente investigación se levantaron diversas técnicas vernáculas del desierto de Tarapacá. Se puede evidenciar la presencia de técnicas constructivas vernáculas directamente relacionadas al entorno, paisaje y recursos naturales presentes en la región. La riqueza de la arquitectura vernácula presente en el desierto de Tarapacá es su diversidad como respuesta a las condiciones del medio específico y las necesidades de los habitantes. Ya que, si bien se logra clasificar las diferentes técnicas constructivas, existe una diferenciación dentro de una misma técnica según el lugar en donde se desarrolle; por lo tanto, de los recursos disponibles y de las necesidades de las personas.

Para el entendimiento de la relación entre el lugar y las técnicas vernáculas presentes se realizó un mapa en donde se marcaron las ubicaciones de las técnicas en las distintas localidades y la presencia de los recursos naturales. (Figura 7). A continuación, se procedió a la caracterización de las diversas técnicas encontradas, mediante las fichas y una descripción, que se mostrará a continuación.



**Figura 7:** Elaboración propia. Sept, 2022. Mapa de ubicaciones de técnicas constructivas y recursos naturales de la región de Tarapacá. Mapa.

#### 4.1. Técnicas vernáculas de construcción presentes en Tarapacá



### ADOBE

**Materiales:**

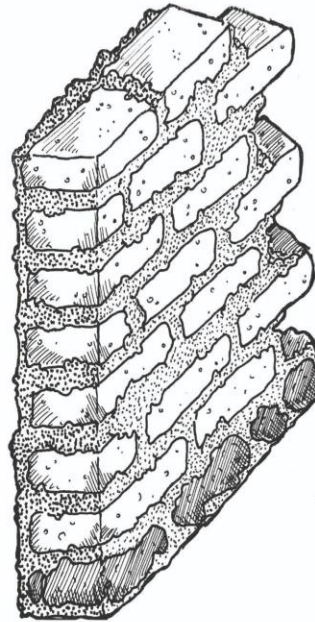
Tierra  
Paja  
Agua  
Piedras

**Herramientas utilizadas:**

Manos  
Moldes de madera  
Pala

Requiere mantención anual.

\*En el caso de Mocha se encontró la utilización de piedras como primeras capas a modo de fundaciones y primer contacto con el suelo.



Dibujo en base a caso de Mocha  
(Fuente: Elaboración propia)



Caso de Mocha



Caso de San Lorenzo de Tarapacá



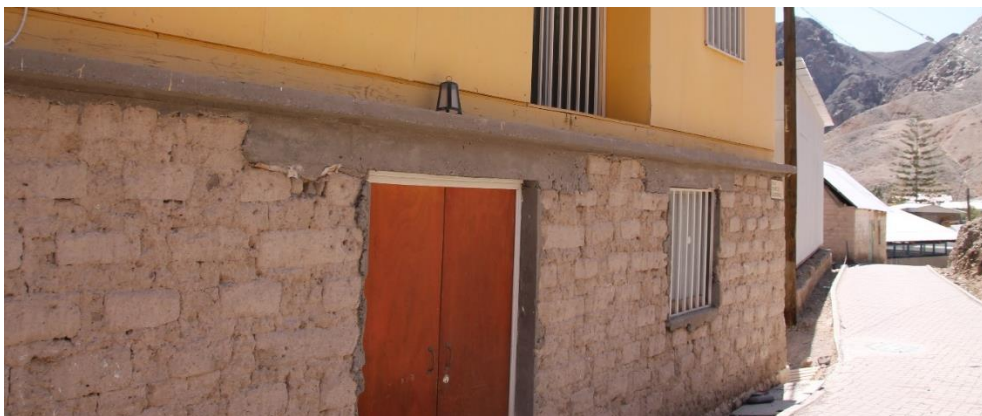
Caso de Mocha

El **adobe** es una técnica que a pesar de resistir solo a esfuerzos de compresión es vastamente utilizada en la zona por la disponibilidad del material y por ser económico. La utilización de este material permitió cubrir las necesidades de refugio y vivienda de muchos habitantes de la región, pero su escasa resistencia a la tracción ha traído problemas en nuestro contexto de país sísmico (Figura 8).



**Figura 8:** Elaboración propia. Sept, 2022. Falla estructural en un muro de adobe de Mocha después del sismo de 2005. Fotografía.

Mocha es una de las localidades donde más se encuentran registros de la construcción con adobe. Sin embargo, después del sismo sufrido en la región el 2005 muchas de las construcciones que utilizaban esta técnica se vieron afectadas. Se dejó de utilizar como estructura principal a la hora de las reconstrucciones. Se utiliza en muros exteriores por sus propiedades de aislación, o se construye con otros materiales directamente sobre los muros de adobe antiguo. (Figura 9)



**Figura 9:** Elaboración propia. Sept, 2022. Vivienda de adobe reconstruida con materiales modernos. Fotografía.

En los casos de San Lorenzo de Tarapacá y Mocha se ve una fuerte relación hasta la actualidad entre la construcción con adobe y los cultivos. A continuación, se explica el origen de los recursos naturales utilizados en Mocha para la construcción en adobe.

*“... la tierra se saca de la misma chacra de acá donde se cultiva”, “la paja es pa’ la consistencia, pero ya no se cultiva acá trigo.”* (Maestro constructor vernáculo de Mocha, 2022)

Si bien se ha dejado de cultivar trigo en esta localidad, se expone la relación entre la actividad agrícola y constructiva. No es casualidad que en los lugares que se ven grandes cultivos, se vea un gran desarrollo de la técnica. (Figura 10 y Figura 11) Tanto en el caso de Tarapacá como en Mocha se alcanza un desarrollo de agricultura mayor que en otras localidades de la región debido a su posición territorial, en donde se ubican los pueblos en las tierras regadas por la quebrada de Tarapacá. (Figura 12)

La construcción con esta técnica involucra a un grupo de los habitantes de la localidad, en donde se ayudan entre sí para poder construir. Se realiza la mezcla de tierra, paja, piedras pequeñas y agua; para luego ser moldeados en los moldes y posteriormente secados al aire libre. Cada bloque de adobe tiene las dimensiones aproximadas de 10 x 14 x 25 cm.



**Figura 10:** Elaboración propia. Sept, 2022. Cultivos en terrazas de Mocha. Fotografía.



**Figura 11:** Elaboración propia. Sept, 2022. Cultivos de Tarapacá. Fotografía.



**Figura 12:** Elaboración propia. Sept, 2022. Quebrada de Tarapacá y vista de Mocha. Fotografía.



# 2

## QUINCHA

**Materiales:**

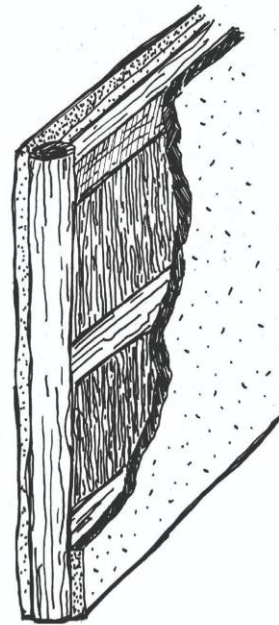
Madera de Tamarugo  
Caña  
Ramas  
Tierra  
Agua  
Piedras

**Herramientas utilizadas:**

Manos  
Machete

Requiere mantención anual del recubrimiento de tierra.

\*En el caso de La Tirana al recubrimiento se le incorporaba cartón y papel dejados en remojo en barriles de agua durante semanas y huevo.



Dibujo en base a caso de La Tirana  
(Fuente: Elaboración propia)



Caso de La Tirana



Caso de La Huayca



Caso de Pica

La **quincha** se presenta en la región como una técnica constructiva a partir de un marco de madera y cañas al que se añade un entretejido de ramas y raíces. Esta permite la posterior incorporación de la tierra, que en La Tirana se ve reforzada con huevo y por una previa mezcla de cartón mojado en el tejido de ramas.

*“Se deja cartón y papel en un barril con agua, semanas; lleva tiempo de preparación. Quedan las fibras húmedas y se incorporan también al muro.”* (Maestro constructor vernáculo de La Tirana, 2022)

Esta técnica vernácula se ubica específicamente en las localidades cercanas a la Pampa del Tamarugal. Esto debido a que frente a la presencia de materiales vegetales las personas prefieren el uso de este recurso por sobre técnicas que solo utilizan la tierra. La pampa del tamarugal como se ve en el mapa (Figura 7) influye directamente a las localidades de La

Tirana, Calamina y La Huayca; donde justamente existe un fuerte desarrollo de la quincha. Por lo anterior, es que los habitantes utilizaron la madera de Tamarugo para armar los marcos de madera, además de sus ramas para el tejido interior. La incorporación de cañas por su parte se ve condicionada a su presencia en el territorio. Crece mayoritariamente en Pica, debido a la cocha de pica. Estas son aguas subterráneas que emergen en el desierto generando un oasis rodeado de vegetación, y por lo tanto promoviendo el asentamiento humano desde un inicio en el lugar. (Figura 13)

Por lo anterior, a medida que nos acercamos a Pica hay más utilización de caña en la quincha. En la Tirana, por ejemplo, se encuentra caña traída desde allí, según lo mencionado por el maestro constructor vernáculo entrevistado.

El caso de la tierra que se utiliza para la quincha se diferencia por la presencia de sales debido a la presencia de caliche en la Pampa del Tamarugal. Por esto es que se puede observar en la capa de tierra de la quincha un color blanquecino y piedras de pequeño tamaño que componen el suelo de la zona.



**Figura 13:** Elaboración propia. Sept, 2022. Oasis de Pica. Fotografía.

# 3

## MAMPOSTERÍA DE CALICHE

**Materiales:**

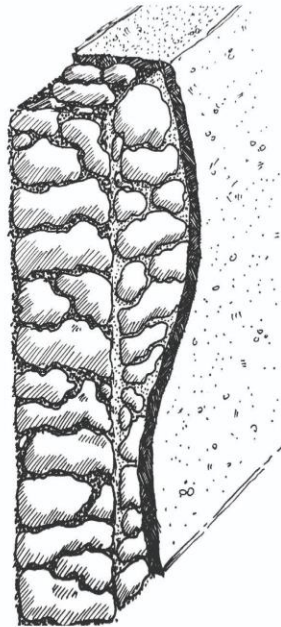
Rocas de caliche  
Agua  
Tierra  
Piedra

**Herramientas utilizadas:**

Manos  
Pala

Requiere mantención anual.

\*En el caso de La Huayca se recubre el muro con una capa de tierra, paja y piedras que proteja el material estructural de la humedad exterior.



Dibujo en base a caso de La Huayca  
(Fuente: Elaboración propia)



Caso de La Huayca



Caso de La Huayca



Caso de Huara

La **mampostería de caliche** es un caso especial de la región debido a la extensa presencia del recurso natural en el territorio (Figura 14). Este lo encontramos desde la Tirana hasta el sur de la región y hacia el este en extensión hasta Pica. Debido a eso podemos encontrar la técnica en las localidades de esa ruta, además de presentarse en Huara por movimiento del material desde la Pampa del Tamarugal hacia allá.

El caliche es una roca sedimentaria con presencia de sales minerales y arena, puede presentarse también junto a limos, arcillas o grava. Este material se usa en la construcción de muros en la región debido a sus facilidades de trabajo y a la gran disponibilidad de este tipo de suelo. Las rocas pueden moldearse y pegarse entre sí fácilmente utilizando agua por su alto porcentaje de sales (Figura 15). Una vez levantado el muro de caliche, y unido al mojarlos haciendo reaccionar las sales, se incorpora un recubrimiento de tierra que proteja y sirva de primer contacto ante la humedad.



**Figura 14:** Elaboración propia. Sept, 2022. Paisaje de la Pampa del Tamarugal y sus suelos de costras de caliche. Fotografía.



**Figura 15:** Elaboración propia. Sept, 2022. Presencia de caliche en la tierra. Fotografía.

# 4

## TECHUMBRE DE TIERRA

### Materiales:

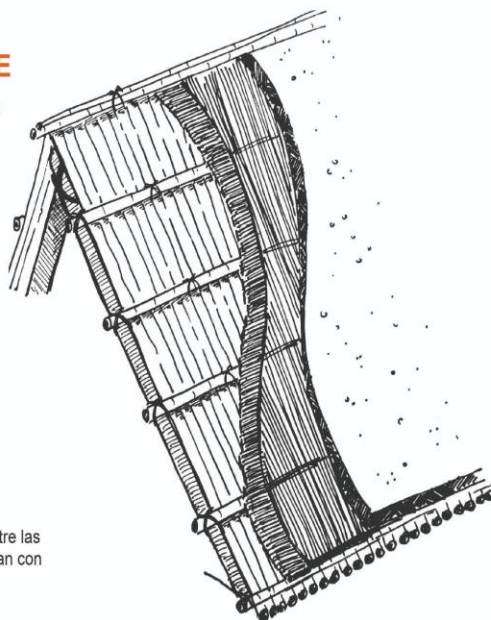
Madera de Tamarugo  
Caña  
Paja  
Tierra  
Piedras

### Herramientas utilizadas:

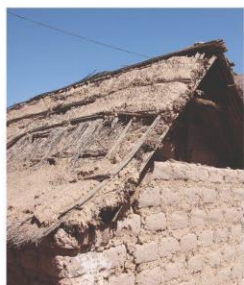
Manos  
Machete

Requiere mantención después de la temporada de lluvias.

\*En el caso de Mocha las uniones entre las piezas de madera y caña se realizaban con cuerdas de cuero.



Dibujo en base a caso de Mocha  
(Fuente: Elaboración propia)



Caso de Mocha



Caso de Matilla



Caso de san Lorenzo de Tarapacá

Las **techumbres de tierra** son otro caso especial de la zona, en donde podremos ver estrategias también utilizadas en la quincha. Estas estructuras son creadas a partir de un entretrejido de piezas de madera de tamarugo y caña, en donde posteriormente se ponen encima dos capas de paja en los dos sentidos. De esa manera se crea una capa impermeable para la posterior incorporación de la capa de tierra que termina de cubrir el techo y proteger el interior. En el caso de Mocha las cañas son extraídas del tallo del choclo y la tierra se extrae directamente de la chacra donde cultivan, siendo la misma tierra que se utiliza en la localidad para la construcción con adobe.

En la región existen dos variantes de esta técnica; una es la presente en las iglesias de San Lorenzo de Tarapacá y Matilla, y la otra es la técnica presente en Tarapacá y Mocha. En donde podemos observar su utilización en viviendas.

# 5

## TAPIAL

**Materiales:**

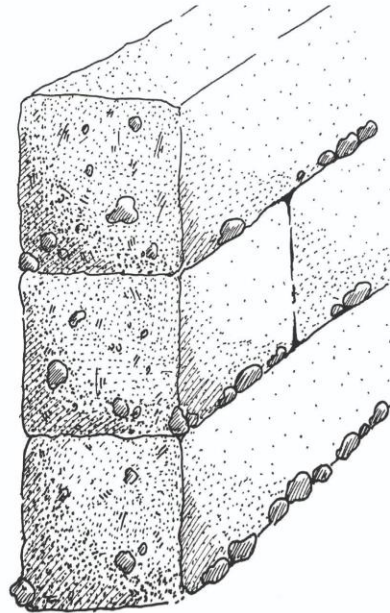
Tierra  
Agua  
Piedras

**Herramientas utilizadas:**

Manos  
Encofrado  
Pisón  
Pala

Requiere mantención anual.

\*En el caso de San Lorenzo de Tarapacá se incorporan piedras en la base del encofrado para que sirvan como base estructural de cada tapial.



Dibujo en base a caso de San Lorenzo de Tarapacá  
(Fuente: Elaboración propia)



Caso de San Lorenzo de Tarapacá



Caso de San Lorenzo de Tarapacá



Caso de San Lorenzo de Tarapacá

Los **tapiales** encontrados en Tarapacá presentan una gran utilización de piedras y rocas de diferentes tamaños, tanto por fuera como decoración, como por dentro del gran bloque. Estas últimas se incorporaron durante el apisonado, brindando una diversidad de áridos gruesos y finos. La incorporación de piedras permite también una construcción más veloz y ágil, debido a que el apisonado demora menos tiempo, alcanzado la altura del encofrado en menos tiempo. El caso de tapial presente en Tarapacá también presenta material vegetal probablemente por el uso de tierra de los cultivos, aumentando la riqueza material de la técnica. (Figura 16)

Si bien es una técnica vernácula con tierra de gran resistencia a la compresión, requiere un trabajo arduo y con gran colaboración en comunidad. De los lugares visitados, el tapial se encuentra presente en la actualidad solo en San Lorenzo de Tarapacá.



**Figura 16:** Elaboración propia. Sept, 2022. Detalle material del Tapial. Fotografía.

**6**

## MAMPOSTERÍA DE PIEDRA

**Materiales:**  
Piedra  
Tierra  
Agua

**Herramientas utilizadas:**  
Manos  
Pala

Requiere mantención anual.

\*En el caso de mocha esta técnica lleva un recubrimiento de tierra, pero por lo general se deja la piedra al descubierto.



Dibujo en base a caso de Mocha  
(Fuente: Elaboración propia)



Caso de San Lorenzo de Tarapacá



Caso de Mocha



Caso de Matilla

La **mampostería de piedra** consiste en la construcción de muros a través de apilar piedras una encima de otra y uniéndolas con tierra. Es una estrategia que se encuentra principalmente en las localidades ubicadas en la quebrada de Tarapacá y en Matilla. Lugares ubicados en entornos rocosos y montañosos que permiten la presencia de rocas. Es un material macizo que posibilita la creación de muros pesados, por lo que es usual encontrar esta técnica junto a muros de adobe. De esta manera se logra un equilibrio dejando las pesadas piedras en la base del muro y los adobes, que son más livianos que estas otras, por sobre la base de piedra.



## ADOBE EN PANDERETA

### Materiales:

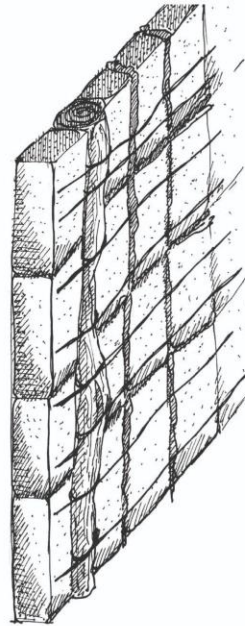
Tierra  
Paja  
Agua  
Piedras  
Madera de Tamarugo  
Alambre

### Herramientas utilizadas:

Manos  
Moldes de madera  
Pala  
Machete

Requiere mantención anual.

\*En el caso de La Tirana la manera de unir los bloques de adobe es a través de alambres, que en otros casos de Chile se reemplazan por listones de madera o ramas.



Dibujo en base a caso de La Tirana  
(Fuente: Elaboración propia)



Caso de La Tirana



Caso de La Tirana



Caso de La Tirana

La técnica del **adobe en pandereta** consiste en la creación de un tabique de madera, en el caso de Tarapacá de Tamarugo, y que luego se cierra con mampostería de adobe. Como se refiere el nombre la colocación de los adobes es de manera vertical y sin pegarlos realmente entre sí. La tierra presente entre bloques o en el encuentro con la madera sirve más bien



para cubrir espacios vacíos que para pegar los elementos. En el caso de Tarapacá se utiliza alambre para unir los bloques de adobe al marco de madera, como se observó en La Tirana.

Se utilizan los bloques de adobe de una forma completamente diferente a la tradicional y al conectarse entre sí principalmente por el alambre la resistencia sísmica de la técnica es muy baja, porque puede fácilmente desmoronarse. Sin embargo, la construcción de la técnica es rápida y sencilla para los habitantes que la utilizan, por lo que esta técnica constructiva con adobe logra repetirse en Chile a pesar de la condición sísmica del territorio.

En Tarapacá se encuentra el único caso encontrado de esta técnica. Esta se encuentra en La Tirana, ya que debido a su ubicación dentro de la pampa del tamarugal se presenta como recurso de construcción la madera de Tamarugo.

#### **4.2. Evaluación cualitativa**

A continuación, se expone una evaluación cualitativa de las distintas técnicas vernáculas encontradas evaluadas según su rendimiento y cualidades en seis aspectos por medio de una tabla. Las variables presentes responden a evaluar la incorporación de las técnicas vernáculas a la construcción contemporánea.

Los parámetros se asocian a valores y necesidades de las construcciones, de los cuales el parámetro de distancia del recurso se asocia a la huella de carbono de la técnica; la rapidez y facilidad de construcción se asocia a la factibilidad de desarrollar la técnica; el confort térmico se asocia a la habitabilidad generada por la técnica; y la resistencia sísmica y mantención se asocian a la preservación de la construcción.

En la tabla 1 se grafica la evaluación cualitativa realizada, en donde los símbolos muestran que tan bien responde al parámetro como técnica constructiva y en comparación a las demás.

A partir de la tabla 1 se logran identificar de manera cualitativa los factores más importantes para la implementación de las técnicas vernáculas presentes en Tarapacá. Esta evaluación entrega como resultado la importancia de la utilización de la madera en la construcción en Chile debido a su aporte frente a riesgo sísmico. Esa es la razón por la que se encuentra la utilización de este recurso en las localidades donde está disponible. Que según lo revisado en la Figura 7 es de fácil acceso en gran parte de la región. Hacia el noreste de Iquique se puede encontrar debido a la presencia de árboles de Tamarugo principalmente entre la vegetación que crece gracias a la quebrada de Tarapacá. Y en el caso del sureste de la capital regional encontramos una amplia presencia de Tamarugos por la reconocida Pampa del Tamarugal.

Si bien lo anterior entrega una lectura frente a la presencia de madera para la construcción de viviendas se debe enmarcar bajo el concepto de construcción a baja escala propia de la arquitectura vernácula. Por lo que existen suficientes recursos para una construcción moderada de viviendas, pero no de manera explosiva como se ha desarrollado la construcción moderna en zonas urbanas.

**Tabla 1:** Elaboración propia. Nov, 2022. Evaluación cualitativa de las técnicas vernáculas de la región de Tarapacá.

	Distancia del recurso	Rapidez de construcción	Facilidad de construcción	Confort térmico	Resistencia sísmica	Mantenión
1. Adobe	✓	–	–	✓	✗	–
2. Quincha	✓	✓	✓	–	–	–
3. Mampostería de Caliche	–	✓	–	–	✗	✗
4. Techumbre de tierra	✓	✓	✓	–	–	✗
5. Tapial	✓	✓	–	✓	✗	–
6. Mampostería de piedra	–	–	–	–	✗	–
7. Adobe en pandereta	✓	–	✓	–	✗	✗

Como lectura final se identifica a la quincha como la técnica más pertinente para la construcción vernácula en la región de manera general. Es una técnica que por la utilización de piezas de madera en los marcos estructurales puede resistir a esfuerzos de tracción de mejor manera que las otras presentes en la región. Además, la utilización de este recurso es factible en gran parte del territorio cercano por el área que abarca el Tamarugo en la región. Por otro lado, el cerramiento de la estructura utilizando raíces y tierra principalmente, logra un buen confort térmico al interior de la vivienda.

Si bien las otras técnicas responden de buena manera al entorno inmediato y paisaje donde se encuentran, la condición sísmica de Chile es demasiado grande como para no considerarla. Por lo tanto, como las otras técnicas como el adobe y otras mamposterías son bastante más débiles frente a estos esfuerzos, se recomienda utilizarlos en menor medida. Así mismo se debe priorizar la utilización de piezas de madera y caña en la construcción por su mejor respuesta a la tracción en las técnicas encontradas en la región.

## **5. Conclusiones**

La investigación presentada logra aportar al conocimiento académico desde la entrega de información codificada sobre las técnicas de construcción vernácula de la región de Tarapacá en su estado actual. Los conocimientos almacenados alrededor de las construcciones encontradas apoyan a solucionar el diálogo sobre cómo construir de manera sustentable, que se está teniendo bajo la problemática del impacto ambiental de la producción arquitectura moderna. Por lo que el trabajo de levantar y codificar las técnicas vernáculas utilizadas en nuestro país aporta posibilidades de construcción sustentables, incorporando los conocimientos tradicionales de los habitantes del territorio. La incorporación de estos conocimientos a la literatura académica también permite otorgar opciones a los arquitectos para el desarrollo de arquitectura más económica. Este factor toma gran importancia en Chile debido al déficit habitacional que se está viviendo en el país, y que al incorporar estas técnicas a los conocimientos académicos puede ayudar a solucionar esta problemática. Además, al mostrar las posibilidades de la arquitectura vernácula, se abre también el diálogo frente a las posibilidades de la autoconstrucción y el desarrollo de viviendas para las personas con una vivienda de baja calidad en la actualidad debido al déficit habitacional.

La riqueza y diversidad de la arquitectura de Tarapacá permitió centrar la investigación en la codificación de las técnicas encontradas. De igual manera se efectúa una bajada a su incorporación a la construcción actual, a través de una evaluación de las diferentes técnicas que podría dar paso a futuras investigaciones. Se podrá desarrollar documentos que logren profundizar en la futura incorporación de las técnicas presentes en el norte, para las viviendas que se desarrollen efectivamente en entornos cercanos a los recursos que entrega el desierto. Así como la evaluación del confort térmico de las técnicas vernáculas presentadas. O incluso medir la huella de carbono y sustentabilidad que presentan estas formas de construcción.

Las técnicas vernáculas de construcción son una variable importante a considerar para pensar en el futuro de la arquitectura. Entregando otra manera de diseñar de manera sustentable, utilizando materiales que se encuentran olvidados por la modernidad y usando conocimientos presentes en las comunidades que aún practican estas tradiciones. Se otorga esperanza para diseñar el futuro de la arquitectura de una manera económica y sustentable, buscando dejar de hacer arquitectura que contraste con el paisaje, si no que sea parte de él.

## **Agradecimientos**

Se agradece el aporte recibido por parte de la familia que brindó hospedaje en la ciudad de Iquique para poder desarrollar las visitas a terreno en la región de Tarapacá. Mención especial a María Gabriela Obaid y a Andrés Bacian por acompañar y guiar las visitas a las localidades de la región. Además, agradecer la participación de los y las habitantes de las localidades de La Tirana y Mocha.

## Referencias

- . (1972). *Vivienda y cultura*. Gustavo Gili: Barcelona
- . (1997). “The Future of the Vernacular”. *Understanding Ordinary Landscapes*. Yale University Press.
- Asquith, Lindsay. (2006). “Lessons from the Vernacular: Integrated Approaches and New Methods for Housing Research”, en *Vernacular Architecture in the Twenty-First Century: Theory, Education and Practice*, 128-144.
- Cárdenas, Santiago. (2021). *Quincha Liviana como alternativa Estatal para la mitigación del déficit habitacional cualitativo*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- Castillo, María José. (2014). Competencias de los pobladores. Potencial de la innovación para la política habitacional chilena. *Revista invi*. Nº81. p. 79-112.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2010). *Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile*. 1-64, Departamento de Comunicaciones CONAMA, Santiago-Chile
- Contreras, V & Contreras, R. (2017). Algunas reflexiones sobre la “Arquitectura Vernácula”. *Cuadernos de Arquitectura*. nº7. p. 67-71
- Correia, Mariana. (Abr, 2014). *Lessons From: Vernacular Heritage To Sustainable Architecture. VERSUS* (p. 5-71)
- Cromley, Elizabeth & Thomas Cartes. (2005). *Invitation to Vernacular Architecture: A Guide to the Study of Ordinary Buildings and Landscapes*. The University of Tennessee Press.
- Gómez, J. (ago 2010). *Vivienda efímera urbana: ¿arquitectura vernácula?* DEARQ. Nº7. p. 136-143
- Infante, Josefina y Valderrama, Claudia. (Oct, 2019). Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). *Scielo. Revista Tecnológica*. Vol.30 nº.5. (p. 25-36) Recuperado de: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642019000500025&lang=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500025&lang=pt)
- Jackson, John Brinckerhoff. (1984). *Discovering the Vernacular Landscape*. Yale University Press.
- Jorquera, Natalia. (2022). *Las técnicas de tierra presentes en el patrimonio chileno. Patrimonio chileno construido en tierra*. p. 58-89.
- Oliver, Paul. (1997). *Materials and Building Resources. Encyclopedia of vernacular architecture of the world*. vol. 1. p. 193-278.

Palacios, P. 2020. Familias en campamentos del total de familias de la región. Mapa gráfico en base a catastro de campamentos. (MINVU, 2019). Recuperado de:

<https://www.ciperchile.cl/2020/03/26/viviendas-hacinadas-y-campamentos-dos-rostros-de-la-desigualdad-frente-al-covid-19/>

Rapoport, Amos. (1988). "Spontaneous Settlements as Vernacular Design", en Spontaneous Shelter: International Perspectives and Prospects. Patton, 57-77. Philadelphia: Temple University Press.

Rudofsky, Bernard. (1964). Architecture without architects. Museum Of Modern Art, New York

Salinas, Javiera. (2009). Arquitectura del desierto: revalorización de arquitectura autóctona del Norte de Chile desde un análisis climático. Escuela de Arquitectura y Diseño, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

TECHO. (Mar, 2021). Catastro Nacional de Campamentos 2020-2021. Recuperado de:

[https://ceschile.org/wp-content/uploads/2020/11/Informe%20Ejecutivo\\_Catastro%20Campamentos%202020-2021.pdf](https://ceschile.org/wp-content/uploads/2020/11/Informe%20Ejecutivo_Catastro%20Campamentos%202020-2021.pdf)

## **Estrategias de diseño para el traslado y reutilización de construcciones en zonas extremas desérticas.**

**Estudiante:** Pamela Sarai Salas Arriagada.

**Profesor guía:** Cristian Eduardo Muñoz Díaz.

### **Resumen**

Una gran mayoría de las construcciones ubicadas en zonas extremas desérticas utilizadas en el rubro de la minería, se encuentran en desuso debido a las nuevas y mejoradas tecnologías impulsadas para sobrevivir en sitios de climas extremos, compleja topografía, difícil accesibilidad, etc. La industria de la minería ha hecho uso de la construcción modular en sus instalaciones habitables, sin embargo, no ha existido una intención, necesidad o exigencia de desmontar, trasladarlas y rehabilitarlas para un nuevo uso. Ante esta problemática, la siguiente investigación desplegará criterios de diseño desde la perspectiva técnica constructiva que permitan el montaje/desmontaje y traslado de las instalaciones ubicadas en zonas extremas desérticas, los que fueron sometidos a una ponderación según grado de importancia y se utilizaron para comparar sistemas constructivos, siendo el sistema neumático el que fue seleccionado como el más ventajoso a la hora de ser transportado.

**Palabras claves:** Construcciones en zonas extremas, reutilización, traslado.

## 1. Introducción

Las construcciones deben adaptarse a una serie de factores según el emplazamiento en el que se encuentren, es por esto que, la dificultad aumenta una vez que se emplazan en zonas extremas debido a su compleja geografía, distancia respecto de la urbanización, y en algunos casos, la altura sobre el nivel del mar. Asimismo, las condiciones climáticas son duras y cambiantes, las cuales influyen directamente en la planificación, gestión y ejecución de obra (ACHS, s.f.). Además, se debe tener en consideración el difícil acceso a estos lugares, debido al déficit de caminos adecuados para acceder con maquinarias, lo que entra en juego a la hora de pensar en las estrategias constructivas de estas instalaciones (Sarvut, 2018).

Chile es uno de los países reconocidos por su producción en la minería, siendo calificado como el primer país productor de cobre con un 28,5% de la producción mundial (SERNAGEOMIN, 2021). A raíz de esto, la producción de tecnologías pensadas en la extracción de materias primas es mayor, por lo que también han avanzado las construcciones dirigidas para quienes desempeñan esta labor (ECOSAN, 2017).

Una gran parte de las instalaciones mineras habitables se concentran en terrenos alejados de las ciudades, principalmente en zonas extremas desérticas, ubicadas en gran altura respecto al nivel del mar, con fenómenos de calor extremo, en donde las temperaturas tienden a ser altas de día y muy bajas de noche, además presentan bajos niveles de precipitaciones y nubosidad por lo que la radiación es intensa (Salinas, 2009). Es por lo anterior que se requiere entregar una estructura que proporcione confort, un alto estándar de calidad y seguridad; además de ser realizadas en el menor tiempo posible y contar con mano de obra calificada. En consecuencia, las empresas constructoras proveedoras del material, se han inclinado por utilizar la construcción modular, de esta forma pueden levantarse edificios de carácter temporal dedicados a los especialistas de la minería (Suplemento MATERIALES Y PROCESOS, 2019). Las empresas mineras cada cierto tiempo cambian de lugar de trabajo según proyecto, debido a esto, al terminar la vida útil de las construcciones habitables, se opta por una nueva edificación que cumpla con las exigencias de la nueva empresa instalada, por esta razón, una gran mayoría de estas construcciones quedan en desuso (Correa, 2019).

Bajo esta problemática, existe un aumento en el volumen de los materiales desperdiciados por la construcción, creando un impacto energético innecesario, un desperdicio del esfuerzo utilizado en el proceso de armado y por sobre todo, produce un aumento en la contaminación del medio ambiente, lo que afectará a la futura humanidad. Es por esto que la legislación tanto nacional como mundial, presiona para que exista conciencia de los criterios ecológicos y sustentables (Kronenburg, 2007).

En consecuencia del problema planteado, uno de los pasos más importantes es encontrar las variables que predominan en los modelos constructivos que serán observados, las que permitan la planificación del montaje/desmontaje y traslado de estos. A partir de la perspectiva medioambiental se plantea la pregunta ¿Cuáles son los aspectos relevantes de la definición del sistema técnico constructivo que permita el traslado y reutilización de las

edificaciones en zonas extremas?. Para responder a esta pregunta, se consideró desarrollar una metodología que permitiera definir que variables son significativas en zonas extremas desérticas y llevarlas a una comparación de sistemas constructivos que pudiesen ser utilizados en este contexto.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Construcciones en zonas extremas

Desde los comienzos, los seres humanos han buscado elementos en el entorno que satisfagan sus necesidades, como la vestimenta, el abrigo y la protección. Es así como instaló un sistema llamado refugio, que le permitió adaptarse al ambiente. El humano puede desarrollarse física, mental y moralmente en determinadas condiciones, es por esto que, desarrolla estrategias de adaptación para las circunstancias del lugar de emplazamiento. (Valencia, 2020). El sistema de adaptación puede demostrarse cuando se observan las variadas formas en las que están construidas las viviendas hechas por diversos grupos étnicos, pero establecidos en zonas climáticas/topográficas similares (Figura 1).



Figura 1: Maneras de construcción como respuesta al clima y entorno. Fuente: Valencia, 2020.

Las construcciones ubicadas en zonas extremas tienen la particularidad de enfrentar aspectos que el territorio les impone, es por esto que, las obras emplazadas en estos terrenos se consideran “sin límites” lo que pretende demostrar que estas instalaciones pueden ser emplazadas en cualquier sitio. Estos territorios son reconocidos por sus duras condiciones climáticas, su geografía, la poca accesibilidad, la posible escasez de agua y la poca o incluso nula vegetación de estos terrenos (Aguirre, 2004). Estos factores entran en juego al momento de diseñar las construcciones actuales ya que requieren de tecnologías e ingenierías que puedan acompañar al concepto “lugar-condiciones-objeto” (Sarvut, 2018). Generalmente, estas edificaciones son de rápido montaje y de dimensiones reducidas; su traslado puede ser por módulos o piezas que luego son unidas cuando llegan al emplazamiento definitivo (Serrano, 2013).

El hombre ha desarrollado tecnologías para dejar su huella en nuevos territorios en los que se ha asentado, tanto que hoy parece que no existe lugar en el planeta que no haya sido descubierto por el humano y sus comunidades. Actualmente es posible producir las condiciones necesarias para la vida humana y para la preservación de ecosistemas. Asimismo, se pueden establecer conexiones entre las zonas extremas de difícil acceso y el continente o ciudad más cercana a esta.



## 2.2. Sistemas constructivos reutilizables

Los sistemas constructivos reutilizables son aquellos que tienen la posibilidad de desmontarse y volverse a montar con el objetivo de que los componentes o materiales puedan ser reciclados no necesariamente al finalizar el ciclo de vida de estos, sino en muchas ocasiones sucede al terminar el ciclo de un edificio (Maccarini, 2011). Los materiales de construcción son limitados, y la energía empleada en su uso es dispersa, por lo que como solución a esto, se diseña pensando construir de forma desmontable/reutilizable/desplegable (Ross, 2016).

Actualmente, los materiales de construcción pueden ser reciclados en cierta medida, pero en primer lugar deben ser utilizados para luego transformarse en nuevas piezas para nuevos edificios. (Boyle, 2011). Según Lillo (2010), existen algunos principios acerca de la reutilización con el objetivo de fomentar este recurso.

Principio de economía	Principio de reprogramación	Principio de temporalidad
Existe la posibilidad de movilización de menos recursos, lo que podría presentar una ventaja económica.	Se asegura si es posible reutilizar cualquier construcción independiente de la función que se le otorgará, siempre y cuando esta cumpla con algunos principios similares.	Las obras no se encuentran totalmente acabadas, sino en proceso. Cualquier construcción puede estar en constante modificación lo que podría negar su destrucción

De igual manera, estos se refieren, también, a un sistema global del edificio que realiza un flujo de reutilización cíclico, esto se produce a través del proceso de diseño, fabricación, construcción, mantenimiento, desmontaje y almacenamiento. Así mismo, el reciclaje de los componentes estructurales requiere de una energía externa tanto para la demolición, el transporte y los ajustes, lo que podría generar una menor carga medioambiental. (Fujita, 2012).

## 2.3. Sistemas técnicos constructivos

Según Carrió (2005), el sistema constructivo es un conjunto de componentes que forman un edificio u organización funcional, los cuales le fueron otorgado un propósito en común, ya sea estructural, cerramiento, acondicionamiento o expresión. El sistema es un conjunto articulado construido a partir de unidades, las que a su vez son también construidas por determinados materiales.

Todos estos componentes requieren de un diseño, por lo que se necesita conocer sus exigencias funcionales y someterlos a las acciones que podrían sufrir. También debe considerarse las posibilidades del material tanto en cualidades y vulnerabilidad.

De igual modo, el sistema constructivo incluye las soluciones tecnológicas las cuales representan la base analítica para la construcción, todo con el objetivo de cumplir con la

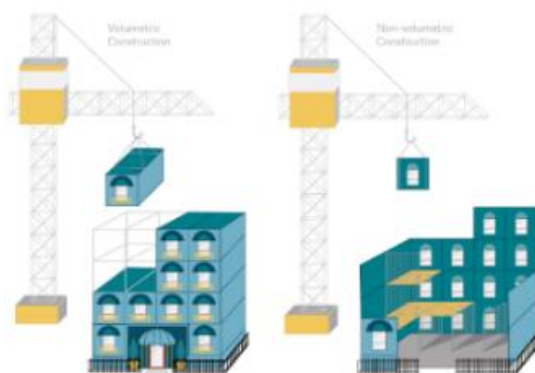
relación tecnología/rendimiento. Por ejemplo, las estructuras de carga, los cierres verticales, cierres superiores, accesorios externos, particiones, techos falsos, etc. (Civiero, 2012).

Asimismo, existe la constante evolución de la industrialización de los procesos de construcción y con esto, una mayor exigencia en cuanto a la calidad del proyecto, lo cual conlleva un control sobre las características de los materiales y componentes utilizados, como también en el rendimiento estructural y medioambiental de las edificaciones. (Tavares, Costa y Varum, 2014).

## 2.4. Construcciones modulares

El diseño modular es un sistema de construcción que se caracteriza por desarrollar sus componentes en fábrica, ser transportada y montada en el emplazamiento definitivo del proyecto. (Saggaff, 2017).

La construcción modular se enfoca principalmente en industrializar la obra gruesa incorporando las instalaciones, los procesos de carpintería, acabados, divisiones de espacios interiores, superficies, etc.; es decir, se crea un contenedor en la obra. Esta funciona desde el planteamiento de la división de un edificio a partir de módulos que se encuentran completamente terminados en planta, los cuales buscan ser de fácil conexión a la infraestructura. (Richard, 2017.) Este tipo de sistema puede ser constituido por una unidad tridimensional o componentes no volumétricos (Figura 2).



**Figura 2:** Diferencia entre unidad tridimensional y componente no volumétrico. Fuente: The American Institute of Architects, s.f.

Las unidades tridimensionales son construcciones rígidas que pueden trabajar de forma aislada o en conjunto, estas se unen al llegar a su destino y forman la estructura del edificio; cada unidad puede encontrarse configurada a partir de uno o más módulos. La mayor parte de estas estructuras se encuentran acabadas en fábricas, entregando los servicios, revestimientos y acabados interiores, lo que permite que su construcción sea finalizada por una mano de obra no especializada. (Venables, Barlow y Gann, 2004).

Esta unidad, es de las aplicaciones más completas en cuanto a estrategias y tecnologías que el sistema industrializado ofrece, ya que la producción en fábrica es llevada al máximo lo que permite un mayor control dentro del proceso (Richard, 2004).

Por otro lado, los componentes no volumétricos son aquellos que la prefabricación sólo contempla elementos de construcción o “sub-ensamblajes”; los que, al llegar a su destino, deben ser conectados por una mano de obra especializada. Generalmente, son elementos estructurales, secciones de fachadas, paneles de muros, tablonos de suelo, estructuras de techo, etc. (The American Institute of Architects, s.f.). Estos tienen una secuencia constructiva desde dentro hacia afuera, ya que se conforman por planos y se van ajustando como cajas. (Smith, 2016).

## **2.5. Traslado de construcciones modulares**

Una vez terminadas las fases de diseño y de producción de los elementos, las estructuras modulares requieren de transporte a la obra para su montaje, lo que pasa a ser un proceso relevante a la hora de llevar a cabo el proyecto, e igualmente es su mayor dificultad, ya que se requieren procedimientos precisos de planificación, toma de decisiones y tecnologías que acompañen el proceso. (Yi, Wang, y Zhang, 2019).

El sistema constructivo tiene una gran incidencia en su transporte, sobre todo influye en la cantidad de unidades que se movilizarán en cada viaje, ya que está la posibilidad de generar roturas o deformaciones de algunos elementos si no se planifica esta fase. Por otro lado, existe la distancia entre la fábrica y el taller lo que condiciona el tipo de transporte y el tiempo empleado en este. (Carrió, 2005). Asimismo, el traslado de las estructuras modulares debe apreciar los diferentes tamaños y cantidad de estas, los cuales vienen condicionados por:

- Tipo de construcción.
- Las normas pertinentes que restringen el tamaño de las estructuras y/o materiales.
- Las dimensiones (anchos, largos y alturas) de la construcción.

## **3. Métodos**

A partir de lo tratado anteriormente, esta investigación se dedicó a encontrar una metodología que tuviera la finalidad de proponer un tipo de sistema constructivo que pudiera ser empleado dentro del contexto desértico, el cual pudiera dar la posibilidad de ser reutilizado, transportado y cumpliera con un estándar técnico semejante a la construcción modular.

Es por esto que, existe el propósito el determinar las variables que deben cumplir los sistemas técnicos constructivos de las edificaciones ubicadas en zonas extremas desérticas, las que permitan su traslado y reutilización para evitar el desperdicio de recursos, y reducir la contaminación por construcción. Para concretar este trabajo, se hará uso de material

bibliográfico con el fin de definir una pauta de evaluación y comparación para distinguir las variables que posibiliten el objetivo.

	<b>Tareas</b>
<b>Etapas 1</b> Revisión del estado del arte	<b>Revisión de fuentes secundarias acerca de los sistemas constructivos de edificaciones actuales de despliegue y retiro rápido, y su posibilidad de traslación ubicadas en zonas extremas.</b> Con el objetivo de analizar las características del sistema técnico constructivo reutilizable, se realizó una revisión bibliográfica tanto nacional como internacional produciendo un estado del arte, lo que permite aludir los proyectos más recientes caracterizados por su despliegue y retiro rápido.
<b>Etapas 2</b> Elaboración de una lista que incluya una serie de variables de los sistemas constructivos.	<b>Caracterización de las condicionantes climáticas, topográficas, normativas y tecnológicas de las zonas desérticas de Chile.</b> Con el objetivo de establecer las condiciones del entorno geográfico, normativo y climático para las construcciones en zonas extremas desérticas, se realizó a partir de una revisión bibliográfica nacional (tanto de fuentes secundarias como documentos oficiales) una caracterización de las condicionantes instauradas en las construcciones ubicadas en zona desértica. Esto con el fin de encontrar variables y requerimientos para estas construcciones. <b>Describir y agrupar los sistemas constructivos.</b> A partir de los proyectos investigados en la revisión bibliográfica del estado del arte, se agrupó por tipo de sistema constructivo y fueron definidos de forma descriptiva a partir de revisión bibliográfica internacional y/o nacional.
<b>Etapas 3</b> Elaboración de un cuadro comparativo entre las variables de los sistemas constructivos	<b>Diseño de la pauta de evaluación y ponderación.</b> Con el objetivo de determinar mediante un cuadro comparativo, cuáles son las variables más relevantes del sistema técnico constructivo que podrían posibilitar el traslado y reutilización de las estructuras, se diseñó e hizo uso de una pauta de evaluación calibrada a partir de la revisión bibliográfica de proyectos destacables que tienen la posibilidad de ser montados/desmontados y trasladados. <b>Validación de la pauta de evaluación:</b> A partir de correcciones empleadas por profesore/as y arquitecto/as, las variables fueron validadas para que estas puedan ser manejadas con otros sistemas constructivos y comprendidas por el lector. <b>Se otorgarán puntajes a cada variable.</b> Con respecto a las variables investigadas a partir de los sistemas constructivos estudiados, se establecieron puntajes según su relevancia dentro de la reutilización y traslado de las construcciones. Los parámetros de la pauta fueron medidos y justificados a partir de los ejemplos investigados. <b>Comparación de porcentajes.</b> Se realizó una comparación entre las ponderaciones otorgadas a las variables, con el fin de identificar y discriminar cuáles son las que juegan con mayor medida la capacidad de reutilización y traslado.

## **4. Resultados**

### **4.1. Estado del arte**

Existen variados y complejos requisitos funcionales respecto a algunos edificios, es por ello que, a lo largo de los años, han surgido distintas formas de habitar las cuales exigen que las construcciones sean flexibles en cuanto a necesidades, tanto por razones ecológicas (en relación al ciclo de vida), económicas, sociales y culturales. Este tipo de arquitectura necesita las habilidades de un diseñador para beneficiar las variables relacionadas al funcionamiento del edificio y para permitir su desplazamiento de manera que cumplan correctamente sus funciones.

Se llevó a cabo una investigación acerca de los actuales sistemas constructivos desplegados, reutilizables y flexibles, en la que se discutió acerca de las ventajas y falencias de este tipo de construcciones, los cuales tienen el objetivo de ser reciclables y modificables. Se analizaron las mayores tendencias respecto a la construcción temporal y sus características que los transformaban en una arquitectura flexible, independiente del terreno de emplazamiento. Esta investigación revela que los edificios móviles son muy comunes y que siempre lo han sido, e incluso el tamaño y diseño de estos sigue avanzando, por lo que puede ser emplazado en lugares con una sensibilidad medioambiental y proporcionar el mismo confort que un edificio permanente.

#### **Sistemas constructivos**

A partir de los sistemas constructivos investigados, se agruparon los distintos sistemas constructivos a contar del texto “Sistemas de estructuras” de Henio Engel (2006), el cual clasifica estructuras a partir de la forma de transmisión de las cargas, los tipos de fuerzas internas y sus características; éstas se pueden clasificar como adaptación de fuerza (forma activa), subdivisión de las fuerzas (vector activo), dispersión de las fuerzas (superficie activa), etc. Una mayor profundidad de la siguiente investigación se encontrará en el Anexo 1.

<b>Forma Activa</b>
<p>Tenso-estructura: Las tenso-estructuras están compuestas por membranas, barras y cables rígidos. Si se actúa sobre los cables, es posible modificar y optimizar la forma de la estructura, e incluso se puede obtener un sistema desplegable (Basso, 2012). Algunos ejemplos investigados son la construcción <i>Assembly Tent Bodo Rasch</i> (1997) y el <i>AT&amp;T Global Olympic Village</i>. (Véase Anexo 2).</p>
<p>Neumática: Las estructuras tipo neumático son aquellas que están formadas por elementos a los que se les otorgan determinadas funciones y aplicaciones una vez alcanzado la forma geométrica del elemento. Dependiendo de la presión del aire, se puede controlar la densidad y el tamaño del refugio (Häuplik-Meusburger &amp; Petrova, 2013). Algunos ejemplos investigados son el <i>Unipart Structure</i>, (2006) y el <i>Salón Airtecture</i> (1999). (Véase Anexo 2).</p> <p>Baja presión: El volumen hinchado constituye el espacio habitable. Alta presión: El volumen hinchado no es el espacio habitable.</p>
<p>Tienda de campaña: Las tiendas de campaña pueden desplegarse en un corto periodo de tiempo, en cualquier parte del mundo. Generalmente, estos edificios móviles, portátiles, desmontables y modulares se emplazan en lugares remotos y la mayoría de las veces en condiciones extremas. Las tiendas de campaña son los edificios móviles más comunes y arquetípicos, pero el constante avance de la tecnología e innovaciones de materiales, han ampliado su potencial (Krunenburg, 2007). Se investigaron ejemplos de la comercializadora <i>Weatherhaven</i>, tales como el <i>Serie 8</i> y el <i>Deployed Logix</i>. (Véase Anexo 2).</p>

<b>Vector activo</b>
<p>Clicable: El sistema constructivo clicable trata elementos mutuamente soportados, los cuales están dispuestos en circuitos cerrados creando módulos MSE, también conocidos como marcos recíprocos. Para generar estructuras espaciales más grandes, estos pueden conectarse entre sí y generar ese requerimiento (Basso, 2012). La parte plegable de la estructura se encuentra en los rombos formados por “cadenas”. (Puertas del Río, 1990). Esta estructura no se somete a tensiones por lo que debe ser inestable. Para este sistema constructivo se investigó el edificio <i>Olympic Arch</i> (2002). (Véase Anexo 2).</p>
<p>Tijera: El sistema constructivo tijera son estructuras metálicas las cuales están formadas por un conjunto de barras unidas a partir de articulaciones, las que permiten que este sistema sea transformable. Al principio la estructura se encuentra cerrada, plegada y con unas dimensiones reducidas a las que alcanza en el momento del despliegue. Esto es permitido debido a que la barras cuentan con una articulación en sus dos extremos y un nudo en el intermedio, lo que posibilita el giro de estas sin su separación (Crespo, 2017). Se investigaron algunos ejemplos de este sistema constructivo como el <i>Pabellón transportable para exposiciones</i> (1964) y el <i>Nii Juinti</i> (2014). (Véase Anexo 2).</p>

<b>Superficie activa</b>
<p>Núcleo: El sistema de núcleo incluye un ritmo organizativo que permite adaptarse al lugar o a los requerimientos del edificio (Boyle, D. 2011). Este sistema tiene la característica de incluir la corriente principal de la construcción (la rapidez) pero sustituyendo el uso “desechables” a “reciclable” (Wang, G. &amp; Chen, G. 2021, diciembre). Para este sistema se investigaron el <i>Mobile Exhibition Pavilion</i> (2009) y el <i>Mobile Expandable Container Configuration MECC, Weatherhaven</i>. (Véase Anexo 2).</p>
<p>Origami: El sistema origami es una superficie lineal la cual está desarrollada a partir de placas triangulares o cuadradas que permiten el despliegue a través de bisagras cilíndricas (Curletto, &amp; Gambarotta, 2016). Se investigaron los ejemplos <i>Deployable Emergency Shelter</i> (2020) y el <i>ReCover</i>. (Véase Anexo 2).</p>

## **4.2. Variables.**

Se desplegarán variables que la Norma Chilena de Construcción exige para las zonas desérticas de Chile, específicamente para las regiones incluidas dentro de la zona climática habitacional del Norte Desértico. Así mismo, se describirán las actuales condicionantes climáticas desérticas de Chile. Igualmente, en forma de comparación con los anteriores sistemas constructivos mencionados y descritos, se describirá la tecnología de los actuales campamentos habitables mineros.

### **Normativa Chilena de Construcción.**

Según la NCh1079, la zona desértica de Chile, se ubica en el Norte Desértico (ND). Esta zona posee algunas características climáticas generales, en donde hay poca presencia de precipitaciones y se caracteriza por la fuerte sensación de calor. Las construcciones ubicadas dentro de esta área deben cumplir con una serie de requisitos según esta zona climática como su pendiente, orientación de muros, etc. Además, se recomiendan transmitancias térmicas mínimas para los materiales a ocupar en esta zona.

Por otra parte, la NCh 431 entrega la distribución y magnitud de la carga básica de nieve que se puede depositar sobre una construcción. Todas las construcciones también deben cumplir con una serie de condiciones que la Normativa exige, independiente de su lugar o zona de emplazamiento. La NCh 1537 presenta las cargas permanentes, cargas de suelo y la presión hidrostática que debe cumplir una construcción. Esta norma también se especifica en las cargas de uso de piso y cargas de uso de techo que una construcción debe cumplir. Igualmente, la NCh 433, explica el diseño sísmico que debe cumplir un edificio para la protección de sus habitantes y evitar el colapso de la construcción.

### **Normas para instalaciones mineras habitables.**

Las instalaciones mineras habitables debiesen contar con algunos requerimientos dados por diferentes decretos enfocados en la habitabilidad de establecimientos de trabajos. Unos de ellos es el Decreto 132 Reglamento de Seguridad Minera del cual se toma como referencia el artículo 61, 70 y 394, los cuales tratan la ventilación, desechos, seguridad, confort, etc. Así mismo, del Decreto 594 Condiciones Sanitarias y Ambientales básicas en los lugares de trabajo, se trabajará con los artículos 9, 28 y 29, los cuales se enfocan en las condiciones que debiese cumplir el lugar de trabajo, si es obligatorio el pernoctar de los trabajadores o consumir alimentos. El decreto anterior hace referencia a la búsqueda de las condiciones de habitabilidad mínima dispuestas por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), de la cual se considerarán los requerimientos establecidos para los locales habitables.

Como anteriormente fue mencionado, las principales opciones en la construcción de edificios habitables mineros son la modular, sin embargo, también combinan algunos sistemas para emplear distintas ventajas: (Correa, 2019)

	<b>Sistema técnico constructivo actual</b>
<b>Almacenamiento y transportabilidad</b>	No ahorra espacio. Además de hacer uso de una gran cantidad de transporte.
<b>Mano de obra</b>	Se requiere más mano de obra, ya que la estructura requiere más tiempo de fijación.
<b>Tiempos de prefabricación</b>	Se arman como una unidad ya que es un sistema repetitivo y en serie, por lo que el tiempo empleado en su instalación es largo.
<b>Reciclable y Reutilizable</b>	Tiene la posibilidad de ser reutilizado, pero su traslado y reparación es costoso.
<b>Espacialidad-Flexibilidad</b>	Posee la misma espacialidad interior y no provee flexibilidad de cambios. Además, cuenta con una estructura rígida de crecimiento.

### 4.3. Pauta de evaluación

A continuación, se realizará una pauta de evaluación de los sistemas constructivos investigados, los cuales fueron seleccionados según el análisis a la Normativa Chilena de Construcción y la Normativa de instalaciones mineras habitables (Figura 3).

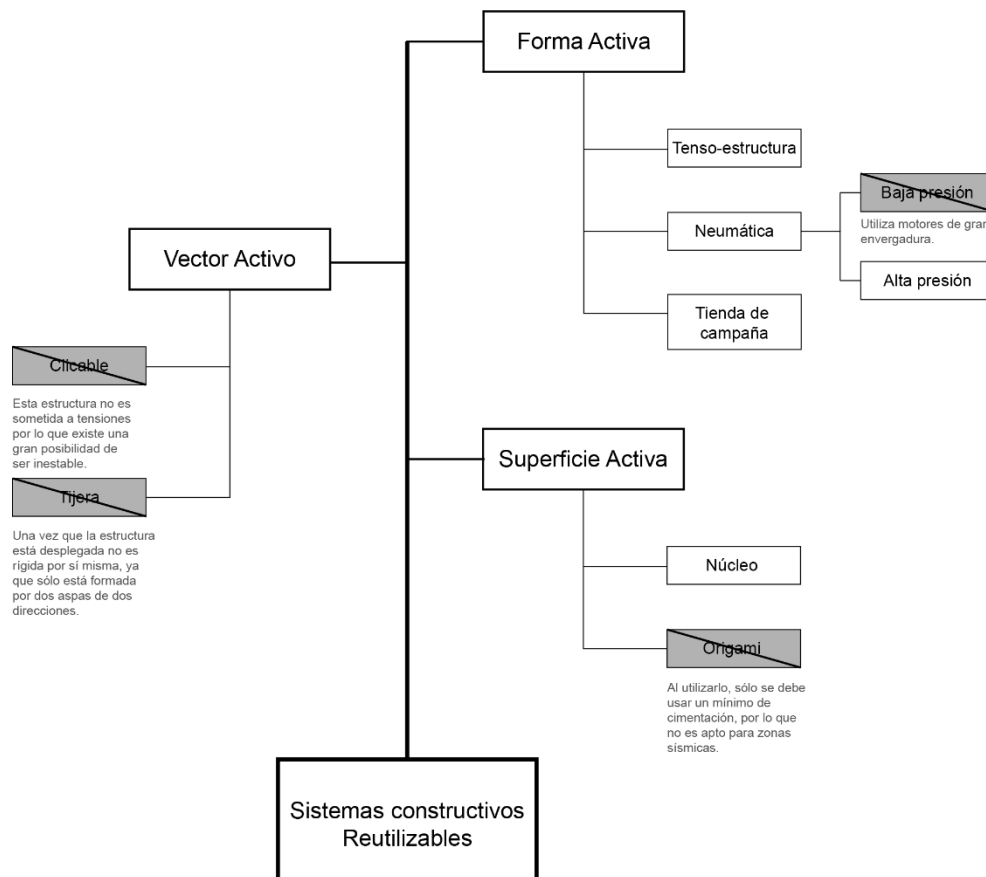


Figura 3: Árbol de sistemas constructivos. Fuente: Elaboración propia, 2022.



Ahora bien, los sistemas escogidos serán evaluados a partir de variables encontradas dentro los sistemas constructivos estudiados, las cuales permiten su reutilización a partir del transporte (Tabla 2). Estas serán ponderadas según el grado de importancia (cantidad de veces mencionadas por autores) dentro de la investigación y requerimiento.

### Rúbrica

- **Transportabilidad:** Según Van Gassel (2013), Boeri, Giglio (2020) Hauplik.Meusburger y Petrova (2013) respaldan la variable de transportabilidad como una de las principales características que debiese cumplir una estructura desmontable y reutilizable a partir de la facilidad de esta misma. El sistema constructivo puede ser transportado por vehículos permitidos según la exigencia de transporte y los más utilizados para el desplazamiento de estructuras en la zona extrema desértica de Chile. Camiones pluma, permite transportar hasta 12m de longitud debido a las implementaciones al momento del montaje y grúa. Camiones  $\frac{3}{4}$ , permite transportar hasta 14,5m lo que corresponde al máximo largo de la rampa. Ambos camiones le permiten movilizar las estructuras con una altura máxima de 3m, por otro lado, las dimensiones de ancho se rigen por exigencias de vialidad. (Véase anexo 3).
- **Ligereza para transporte:** Boeri y Giglio (2020) enumeran algunas de los principales requisitos que un edificio debiese cumplir para la reutilización de este el cual debe tener un alto nivel de ligereza para facilitar el transporte de las estructuras. El sistema constructivo está dentro del rango de peso máximo que puede soportar el transportarse a partir de los tipos de camiones estudiados anteriormente. Camiones pluma, este transporte permite hasta 15 toneladas añadiendo de 4 a 8 toneladas según grúa. Camiones  $\frac{3}{4}$ , este transporte permite trasladar componentes de hasta 28 toneladas.
- **Mínima ayuda de mano de obra:** Van Gassel (2013), Boeri, Giglio (2020), Hauplik.Meusburger y Petrova (2013) hacen referencia a la ligereza que debe tener la estructura para ser manipulada por la mano de obra al hacer uso de recursos laborales como herramientas, andamios y sistemas de accesibilidad para montar el edificio, con la finalidad de hacer más fácil su montaje. Según la Dirección del Trabajo, la mano de obra puede manipular, manualmente, componentes de hasta 25 kilos.
- **Durabilidad:** Según Van Gassel (2013), Curletto, Gambarotta (2016), Boeri, Giglio (2020) y Fujita (2012) las estructuras reutilizables necesitan garantizar la durabilidad de estos en el caso de ser reinstalada en un futuro, cuidando el desgaste de las conexiones prolongando la vida útil de edificio.
- **Facilidad de montaje:** Boeri y Giglio (2020) definen un sistema reutilizable aquellos que garantizan un montaje y desmontaje rápido permitiendo que estos puedan ser trasladados de un lado a otro en un corto periodo de tiempo.
- **Grado de libertad de colapso:** Según Curletto, Gambarotta (2016), Hauplik.Meusburger y Petrova (2013) el sistema constructivo reutilizable debe tener un grado de libertad de colapso el cual es necesario para el despliegue y plegado de la estructura.

Cada variable será puntuada desde el número 1 hasta el 3, variando el significado de cada puntaje según ítem. Así mismo, serán ponderadas por el grado de importancia, es decir, los aspectos que más se repetían fueron considerados los más destacados (Tabla 1).

**Tabla 1:** Puntajes

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Transportabilidad x2	Debe utilizar una gran cantidad de vehículos	Utiliza una cantidad de vehículos media	Utiliza una pequeña cantidad de los vehículos permitidos.
Ligereza para transporte x1,5	Estructura pesada	Estructura con un peso medio	Estructura liviana
Mínima ayuda de mano de obra x0,5	Estructura pesada para mano de obra.	Estructura dentro de la mitad superior del rango	Estructura dentro de la mitad inferior del rango.
Durabilidad x2	No tiene gran durabilidad	Durabilidad media	Larga durabilidad
Facilidad de montaje x0,5	Montaje en un largo periodo de tiempo	Montaje dentro del límite del periodo de tiempo	Montaje inmediato.
Grado de libertad de colapso x1,5	No es un sistema colapsable	Cuenta con poco grado de libertad de colapso	Fácil colapso

La rúbrica fue validada por el especialista Andrés Sierra, arquitecto de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Pauta de evaluación**

	<b>Tienda de campaña</b>	<b>Neumática</b>	<b>Tenso-estructura</b>	<b>Núcleo</b>
Transportabilidad	6	6	4	2
Ligereza para transporte	4,5	4,5	3	3
Mínima ayuda de mano de obra	1,5	1,5	1	0,5
Durabilidad	4	4	6	6
Facilidad de montaje	1	1,5	0,5	1,5
Grado de libertad de colapso	3	4,5	1,5	1,5
Total	20	22	16	15,5

A partir de los resultados de la pauta, el sistema neumático es el sistema que posee mayor cantidad de puntos requeridos para ser utilizada como una estructura reutilizable dentro del

contexto de zona extrema desértica de Chile. Este sistema presenta varias ventajas que pudiesen ser aprovechadas tales como el cumplir con la ligereza y la flexibilidad que se necesita para ser vuelto a usar una considerada cantidad de veces. Este cuenta con un grado de durabilidad ya que en su mayoría se encuentran contruidos por tejidos de nylon herméticos, los que, con un especial cuidado, podrían durar hasta 20 años (DUOL, 2019). Aun así, el hecho de ser una estructura inflada por aire, ésta está condicionada por el motor con el que debe ser inflada, sin embargo, existen dos tipos de sistemas, el de baja presión y el de alta presión, siendo este último el que cuenta con una menor necesidad de un gran motor.

Por otra parte, el sistema núcleo fue el sistema que cuenta con menos puntos ya que es un sistema que requiere una gran cantidad de vehículos para ser movilizado al poder encontrarse adosado a otros varios módulos tridimensionales. Asimismo, este cuenta con una baja flexibilidad y libertad de colapso al ser un sistema cerrado, igualmente este cuenta con poco grado de manejabilidad para la mano de obra, por lo que llega al lugar de emplazamiento tal cual como salió de fábrica. Sin embargo, no se desprecia la ventaja de ser lo suficientemente resistente para ser utilizado repetidamente.

## **5. Conclusiones**

A partir de la investigación planteada, se concluye que las estructuras reutilizables y trasladables deben contar con una serie de aspectos que permitan estos atributos, aun así, existen algunos más relevantes a la hora de proyectar junto a un sistema constructivo. Estas variables son mayormente asociadas a su transporte y la forma de unión de sus componentes, las cuales están relacionadas al mínimo desgaste de los elementos para poder ser reciclados y utilizados nuevamente el mismo contexto desértico. En este sentido, una de las variables consideradas más importantes es la transportabilidad de la estructura y su condición de durabilidad.

En cuanto a la clasificación de los sistemas, estos son relativamente nuevos dentro de la arquitectura, los cuales cuentan con actuales tecnologías de desarme y despliegue, aún así una parte de estos no pudo ser utilizada dentro de la pauta ya que no contaba con cualidades que la normativa chilena exige; sin embargo, si estos son moderadamente modificados, podrían ser utilizados de igual forma. Los sistemas llevados a la pauta fueron considerados ya que contaban con la mínima exigencia, por lo que también podrían ser modificados a la hora de ser utilizados.

Al momento de elaborar el estado del arte, se encontraron dificultades con respecto a la investigación de estructuras asociadas a la reutilización, ya que, aunque es una exigencia mundial, una limitada cantidad de investigadores desarrollan sistemas constructivos reutilizables, e incluso una gran mayoría de los sistemas desplegados son también efímeros, por ende, no cuentan con la posibilidad de ser utilizados nuevamente.

La pauta de evaluación fue compuesta a partir de conceptos relevantes mencionados en distintos textos, la cual podría ser utilizada dentro de cualquier otro contexto, siempre y

cuando se considere la normativa exigida para otros climas y emplazamientos. La rúbrica fue desarrollada para cumplir con una conciencia ecológica a partir de las variables de reutilización y desplazamiento.

La investigación se encuentra exclusivamente vinculada a las factibilidades de transporte para su reutilización en zonas extremas desérticas de Chile, es por esto que no se despliega un juicio integrado respecto a la espacialidad, economía, cultura, entre otros, sin embargo, es un paso para que a futuro estas variables puedan incluirse para alcanzar el máximo diseño sostenible.

## Agradecimientos

Se manifiesta el aprecio por contribuir en esta investigación a Francis Pfenniger, docente y arquitecto de la Universidad de Chile; Andrés Sierra, arquitecto de la Pontificia Universidad Católica de Chile; y por último Paula Orta, arquitecta de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

## Referencias

- Asociación Chilena de Seguridad. (s.f.). Los Riesgos del Trabajo en la Alta Montaña.  
[https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/los-riesgos-del-trabajo-en-la-alta-monta%C3%B1a.pdf?sfvrsn=bd4d4578\\_0](https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/los-riesgos-del-trabajo-en-la-alta-monta%C3%B1a.pdf?sfvrsn=bd4d4578_0)
- Atarer, F., Korkmaz, K. & Kiper, G. (2013, 20 septiembre). Design of Reconfigurable Deployable Structure. Proceedings of the First Conference Transformables 2013.  
[https://www.researchgate.net/publication/257536960\\_Design\\_of\\_Reconfigurable\\_Deployable\\_Structure](https://www.researchgate.net/publication/257536960_Design_of_Reconfigurable_Deployable_Structure)
- Basso, P. (2012, 11 septiembre). Deployable Structures. Advances in Science and Technology.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ast.83.122>
- Boeri, A., & Giglio, F. (2020). Emergency driven innovation : low tech buildings and circular design (1st ed. 2020.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-55969-4>
- Boyle, D. (2011). "Reusable Building Systems". Architecture Theses. 71.  
<https://docs.rwu.edu/archthese/71>
- Campamentos mineros, arquitectura e ingeniería. (2018). Suplemento MATERIALES Y PROCESOS, 123.  
[https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/campamentos\\_mineros\\_2018](https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/campamentos_mineros_2018)
- Carrió, J.M. (2005). La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización. Informes De La Construcción, 57, 37-54.

- Civiero, P. (2012). Sistemi costruttivi industrializzati per l'edilizia residenziale: il sistema CCCabita/Industrialised constructive systems for residential buildings: the CCCabita system. *Techne*, 4, 355-365.
- Construcción en zonas extremas. (2014). *Construcción Minera*, 7.  
[https://issuu.com/construccionminera/docs/construccionminera\\_7](https://issuu.com/construccionminera/docs/construccionminera_7)
- Construcciones modulares y condiciones inhóspitas. (2017, 19 enero). *Ecosan Chile*. Recuperado 25 de abril de 2022, de: <https://ecosanchile.cl/novedades-construcciones-modulares-y-condiciones-inhospitas-5.html>
- Correa, E. (2019). /Entrevistado por Ignacio Pérez Testart. Módulos adaptables para la industria y el trabajador minero. Un nuevo espacio para prefabricado adaptable al ciclo minero y sus necesidades programáticas viables.
- Correa, E. (2019). /Entrevistado por Juan José Correa. Del componente al campamento. Replanteamiento del modelo de prefabricación industrializada para Alojamientos mineros flexibles.
- Correa, J. (2019). Del componente al campamento. Replanteamiento del modelo de prefabricación industrializada para Alojamientos mineros flexibles. [Título profesional de Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile] Repositorio Académico de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Costo de la Estructura Neumática. (2019, 4 julio). *DUOL*. <https://duol.eu/es/noticias1/costo-de-la-estructura-neumatica>
- Crespo, I. (2017). Desmontabilidad y rigidez: estructuras desplegadas y espaciales fijas. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, *E.T.S.I. Aeronáuticos (UPM)* [antigua denominación].
- Curletto, G. & Gambarotta, L. (2016, septiembre). Design of a composed Origami-inspired deployable shelter: modeling and technological issues. *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2016*.
- Decreto 132 de 2022 [Ministerio de Minería] Reglamento de Seguridad Minera.
- Decreto 594 de 2019 [Ministerio de Salud] Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.
- Desarrollo de campamentos mineros incorpora visión arquitectónica. (2019). *Suplemento MATERIALES Y PROCESOS*, 130.  
[https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/suplemento\\_campamentos\\_mineros\\_2019](https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/suplemento_campamentos_mineros_2019)
- Design for Modular Construction. (s.f.) The American Institute of Architects.
- Engel, H. (2001). *Sistemas de Estructuras*; con un prólogo de Ralph Rapson (1a. ed.) Barcelona.

- Fujita, M. (2012). Reuse System of Building Steel Structures - Structural Performance of Reusable Members and Practical Examples. *Key Engineering Materials*, 517(), 513–521.
- Garcés, Eugenio. (2003). Las ciudades del cobre: Del campamento de montaña al hotel minero como variaciones de la company town. *EURE (Santiago)*, 29(88), 131-148.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612003008800006>
- Häuplik-Meusburger, S. & Petrova, P. (2013). *MASH : deployable emergency shelter on Mars ; design studio 2012/13*. Amsterdam University Press.
- Instituto Naci Aguirre, Max. (2004). Una arquitectura de la negatividad: La modernidad de la arquitectura de las salitreras. *ARQ (Santiago)*, (57), 61-63.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962004005700016>
- Instituto Nacional de Normalización. (2008) *Arquitectura y construcción - Zonificación climática habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*. (NCh 1079).
- Instituto Nacional de Normalización. (2008) *Diseño estructural- Cargas permanentes y cargas de uso*. (NCh 1537).
- Instituto Nacional de Normalización. (2009) *Diseño sísmico de edificios*. (NCh 433).
- Kronenburg. (2007). *Flexible : arquitectura que integra el cambio*. Blume.
- Lillo Navarro, M. (2010). Reciclaje de infraestructuras obsoletas. *ARCHÉ*. (4-5) 341-348.
- Liu, Z., Gu, Z., Bai, Y. y Zhong, N. (2018) 'Intermodal transportation of modular structure units', *World Review of Intermodal Transportation Research*, Vol. 7, No. 2, pp.99–123.
- M. Delfani, R. Ibrahim, M. Y. M. Raschid (2016). Towards designing modular of industrialized building systems. *J. Teknol.* 78 (5).
- Maccarini, L. H. (2011). El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos. [Tesis doctoral en Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Académico de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. *Ordenanza General de Urbanismo y Construcción*.
- Montajes en Obra. (2016). *Construcción Minera*, 20.  
[https://issuu.com/construccionminera/docs/construccionminera\\_20](https://issuu.com/construccionminera/docs/construccionminera_20)
- NYS ITS. (2011). *NYS Project Management Guidebook*, New York State Office, Information Technology Services.  
<http://www.cio.ny.gov/pmmp/guidebook2/SystemConstruction.pdf>
- onal de Normalización. (2010) *Diseño estructural- Cargas de Nieve*. (NCh 431).

- Pérez Testar, I. (2019). Módulos adaptables para la industria y el trabajador minero. Un nuevo espacio para prefabricado adaptable al ciclo minero y sus necesidades programáticas viables. [Título profesional de Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile] Repositorio Académico de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Pfenniger, F. (s. f.). Arquitectura y construcciones en zonas de climas extremos. Arquitectura en Acero. Recuperado 7 de mayo de 2022, de <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/arquitectura-y-construcciones-en-zonas-de>
- Puertas del Río, L. (1990). ESTRUCTURAS ESPACIALES DESMONTABLES Y DESPLEGABLES . Informes de la Construcción, 42(409).
- Richard, r. B. (2004) Industrialized building systems for housing the 'palette' of options, International Journal for Housing Science and Its Applications, 28(1), pp. 1-7.
- Rosenfeld, Y., & Logcher, R. D. (1988). New Concepts for Deployable-Collapsible Structures. International Journal of Space Structures, 3(1), 20-32. <https://doi.org/10.1177/026635118800300103>
- Ross, B. E., Chen, D. A., Conejos, S., & Khademi, A. (2016). Enabling adaptable buildings: Results of a preliminary expert survey. Procedia Engineering, 145, 420-427.
- Ruiz Paniagua, C. A. (2015). Re-uso adaptativo de espacios arquitectónicos como respuesta al deterioro urbano en el Centro de Tuxtla Gutiérrez [Licenciatura en Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas]. Issu. [https://issuu.com/carlosarmandoruizpaniagua/docs/reuso\\_adaptativo\\_de\\_espacios\\_arquit](https://issuu.com/carlosarmandoruizpaniagua/docs/reuso_adaptativo_de_espacios_arquit)
- Saggaff, A. (2017) "Industrialized building system -an innovative construction method", MATEC Web of Conference, Vol. 101, 2017, pp.1-6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710105001>
- Salinas, J. (2009). Arquitectura del desierto: revalorización de arquitectura autóctona del Norte de Chile desde un análisis climático. [Título de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. Repositorio Académico de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Sarvut, T. (2018). Constructive basis for the development of the extreme zones of Siberia and the Russian arctic. International Journal of Engineering & Technology, 7 (2.13), 75-78.
- Sebestyén, G. (1980). System in construction. In: Proceedings of 8Q Congress of CIB, Building Research World Wide. Oslo, CIB/Norwegian Building Research Institute, vol. 1b, pp. 773-776
- Serrano Rodríguez, P. (2013). Ingeniería y Arquitectura Extrema. El Desafío de la interdisciplinariedad en la Ingeniería y su Impacto en la Formación Profesional.

Recuperado el 7 de abril de 2022, de: [http://www.sochedi.cl/wp-content/uploads/2017/12/SOCHEDI2017\\_paper\\_35.pdf](http://www.sochedi.cl/wp-content/uploads/2017/12/SOCHEDI2017_paper_35.pdf)

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2021). Anuario de la Minería de Chile 2020.

Recuperado el 23 de abril de 2022, de:

[https://www.sernageomin.cl/pdf/anuario\\_de\\_la\\_Mineria\\_de\\_Chile\\_2020\\_290621.pdf](https://www.sernageomin.cl/pdf/anuario_de_la_Mineria_de_Chile_2020_290621.pdf)

Šljivić, A., Miljanović, S. & Zlatar, M. (2021). A new classification of deployable structures. E3S Web of Conferences, 244, 05016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124405016>

Smith, R. E. (2016). Off-Site and Modular Construction Explained. Whole Building Design Guide.

Recuperado 2 de marzo de 2022, de <https://www.wbdg.org/resources/site-and-modular-construction-explained>

Tavares A, Costa A, Varum H (2014) Construction system. In: Tavares A, D'Ayala D, Costa A, Varum H (eds) Structural rehabilitation of old buildings. Springer, Berlin, pp 1–36.

Valencia, A. (2020). Buscando un refugio en la naturaleza: estrategias en climas extremos. [Proyecto Fin de Carrera], E.T.S. Arquitectura (UPM).

Van Gassel, F. (2003). "Experiences with the Design and Production. of an Industrial, Flexible and Demountable (IFD) Building System". 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). Eindhoven (Netherlands), Technische Universiteit Eindhoven: p.209-214

Venables, T., Barlow, J., y Gann, D. (2004). Manufacturing excellence: UK capacity in offsite manufacturing: Innovation Studies Centre. Recuperado el 3 de mayo de 2022, de: [https://www.researchgate.net/publication/259557894\\_Manufacturing\\_excellence\\_UK\\_capacity\\_in\\_offsite\\_manufacturing/citations](https://www.researchgate.net/publication/259557894_Manufacturing_excellence_UK_capacity_in_offsite_manufacturing/citations)

Wang, G. & Chen, G. (2021, diciembre). Lego architecture: Research on a temporary building design method for post-disaster emergency. *Frontiers of Architectural Research*, 10(4), 758-770. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.08.001>

Yi, W., Wang, S., y Zhang, A. (2019). Optimal transportation planning for prefabricated products in construction. *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 1-12.



# Potencialidad en Tensoestructuras con Sistema de Cables como estructura de soporte para el crecimiento de plantas trepadoras y su desarrollo en cubiertas vegetales

**Estudiante:** Diego Alejandro Torres Diaz.

**Profesor guía:** Carla Cortés H.

## Resumen

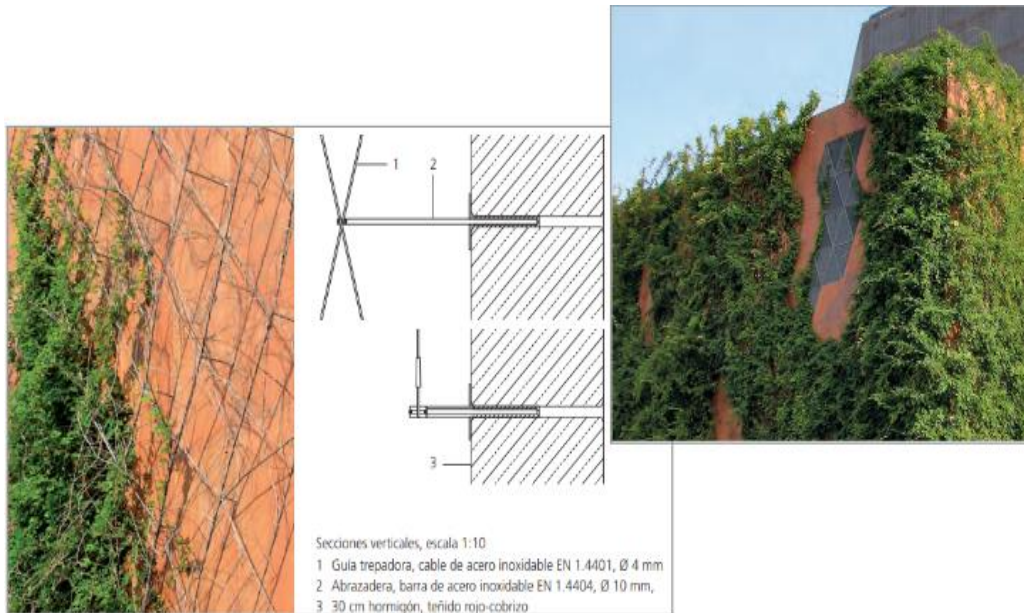
La ciudad es uno de los factores que más contribuye al cambio climático (ONU-Hábitat), debido a esto la preocupación por mitigar y ampliar la búsqueda de soluciones arquitectónicas que construyan ciudades sostenibles se vuelven más importantes a la hora de repensar las formas en que construimos las ciudades modernas. La utilización de fachadas verdes en la construcción de las ciudades, surge como propuesta para contrarrestar estos efectos. Estas construcciones no son capaces de formar un lugar, pero en función de las tensoestructuras de cables en conjunto con plantas trepadoras, podrían construir un nuevo espacio verde en la ciudad. Es así como surge la pregunta: ¿Cuál es la potencialidad de las tensoestructuras con sistema de cables tensados como estructura de soporte para el crecimiento de plantas trepadoras y su desarrollo en cubiertas vegetales?, desarrollando una investigación para demostrar si es posible o no que este sistema pueda generar cubiertas vegetales.

**Palabras clave:** Tensoestructura de Cables, Cubierta vegetal, Plantas Trepadoras.

## 1. Introducción

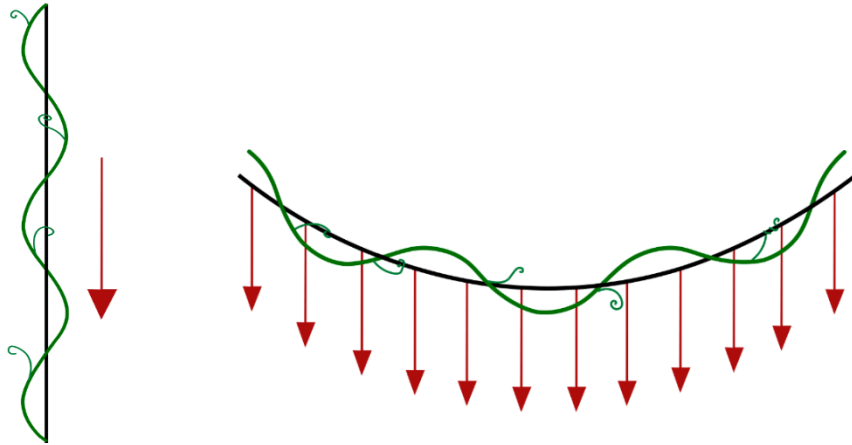
Las ciudades son uno de los factores que más contribuyen al cambio climático. De acuerdo con ONU-Hábitat, las ciudades consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, abarcan menos del 2% de la superficie de la Tierra. Las Islas de calor urbano (ICU), concepto que se refiere a las alteraciones climáticas que causa la urbanización, como es el incremento térmico en las ciudades en comparación con su periferia (Moreno-García, 1997). Siendo este uno de los grandes desafíos que enfrentan las ciudades actuales, habitando una amenaza significativa para el futuro del ecosistema y las ciudades. Según el estudio de Islas de calor urbana en el área metropolitana de Santiago de Chile, de Sarricolea P. y Vide J. en el 2014, muestra en su síntesis de datos sobre los mapas estandarizados, “como las islas de calor tiende a localizar el máximo térmico en las comunas de Santiago, Providencia, Las Condes, Ñuñoa y Vitacura, conformando un núcleo cálido asociado a la mayor densidad construida”(p. 10).

En función de lo anterior, una solución arquitectónica que aporta y ayuda a cambiar estos problemas actuales de la ciudad moderna es la utilización de fachadas vegetales adosadas y/o integradas desde el inicio de la edificación. Desarrollando en uno de sus sistemas constructivos fachadas verdes soportadas por cables verticales u horizontales en los edificios. Estos sistemas son y se abren como una solución para mitigar los efectos de las islas de calor y la posibilidad de llevar el verde a la escala de las personas (figura 1).



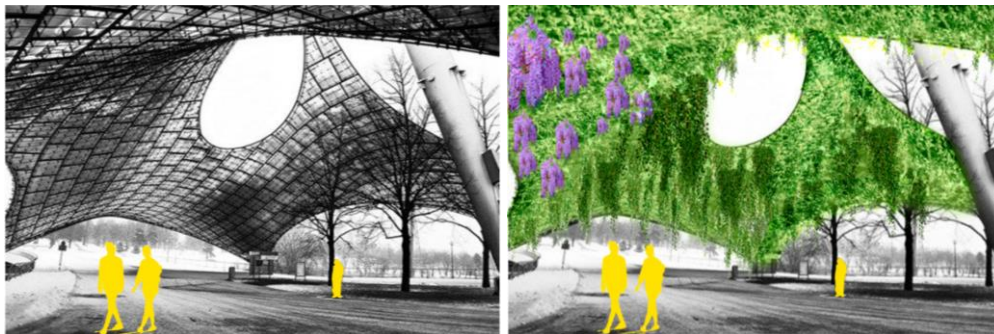
**Figura 1:** Rahola Vidal - Electrical substation, Barcelona 2007. Ejemplo de Fachada de Jardín Vertical por sistema de cables verticales con acero Inoxidable. (Jardines Verticales en Acero Inoxidable, pag. 9, Serie Construcción, Vol-16).

Observando estos sistemas de fachadas verdes soportadas por cables, cumplen cuando el cable en vertical resiste a la carga de la planta y a su peso propio, dado que están trabajando en el mismo sentido de la fuerza de gravedad (figura 2). Pero siendo el caso de querer desarrollar una cubierta vegetal con este mismo sistema, el cable en horizontal resistiendo al peso de la planta y a su peso propio se deformaría, ya que no hay otro elemento que contrarreste la deformación (figura 3).



**Izq. Figura 2:** Esquema de cables verticales en función de la fuerza de gravedad (Elaboración Propia).  
**Der. Figura 3 :** Esquema de cables horizontales en función de la fuerza de gravedad (Elaboración Propia).

Aunque esté sistemas de fachada verde soportada por cables verticales o horizontales, son tensados, en rigor no son una tensoestructura. Las tensoestructuras deben cumplir con dos condiciones para serlo: tener doble curvatura y pretensión al mismo tiempo. En esta investigación se presenta como hipótesis que una tensoestructuras a base de cables puede ser el soporte de plantas trepadoras para generar cubiertas vegetales, presentando la posibilidad de un nuevo tipo de espacialidad para la arquitectura, creando áreas verdes dentro de la ciudad e innovando en su desarrollo (figura 4).



**Figura 4:** Recreación de recubrimiento vegetal en una Tensoestructura de Cables (Elaboración Propia)

## 2. Antecedentes

### 2.1. Elementos de una Tensoestructura

Los elementos constructivos de las tensoestructuras se dividen en dos grandes grupos: cables y membranas. Los cables son elementos lineales capaces de soportar cargas externas con el solo desarrollo de fuerzas axiales de tracción. Las membranas son elementos de superficie que equilibran los esfuerzos externos, desarrollando tensiones de tracción y de corte, tangenciales a la superficie. La distinción entre estos dos grupos no está claramente delimitada: las redes de cables, por ejemplo, tienen un comportamiento general muy similar a las estructuras de membrana. Por otra parte, el tejido de la membrana puede ser entendida como una red de cable de malla muy fina. Cables y membranas pueden presentarse juntos, generando la creación de estructuras tensionadas de tipo mixto (Oliveira Pauletti, R. 2011).

### 2.2. Tensoestructuras con cables

En el diseño de una tensoestructura se puede utilizar solo cables y se consideran como material flexible que conforma la estructura tensada. Los cables, principalmente de acero, son los que conforman las bases estructurales en la construcción de tensoestructuras. El cable de acero es un elemento estructural simple, que está compuesto de un conjunto de elementos que transmiten fuerzas, movimientos y energía entre dos puntos, de una manera predeterminada para lograr un fin deseado (Tigo & Vinicio Carranza, 2011).

### 2.3. Materialidad

El material más usado en la fabricación de los cables estructurales es el acero debido a sus propiedades mecánicas favorables. Los materiales alternativos son el poliéster, fibras de vidrio o de carbono (Kevlar).

### 2.4. Composición general de un cable

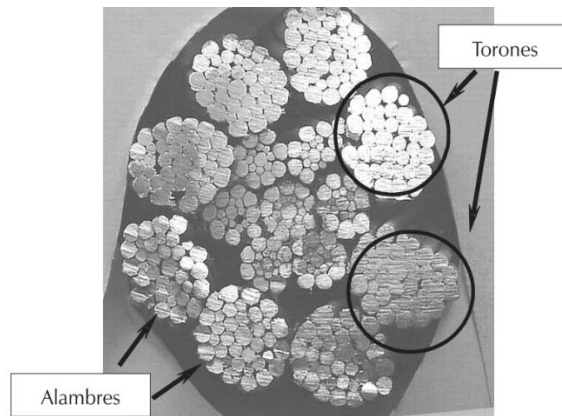
Los cables consisten de un entramado de alambres individuales que forman torones, los cuales a su vez se entrelazan para dar el cuerpo total del cable (*figura 5*).

### 2.5. Clasificación de algunos de los modos de falla en cables

- *Fractura por fatiga*: Los alambres se van fracturando progresivamente en la medida en que se carga y descarga el cable durante su vida útil, progresando esta situación hasta que los alambres remanentes fallan de manera súbita. Sin embargo, se considera que en su conjunto el cable falla por fatiga.
- *Desgaste del cable*: Los cables en movimiento son susceptibles de desgastarse como consecuencia de su paso por tambores o poleas, pero además pueden experimentar

roces con otros elementos o abrasión con partículas, desencadenando una pérdida progresiva del material de los alambres.

- *Corrosión*: La corrosión, al igual que el desgaste, lleva a la pérdida de material superficial de los alambres del cable, disminuyendo su resistencia a tracción y a fatiga.
- *Deformación*: Cuando sobre los cables se aplican cargas para las cuales no están diseñados, tales como de aplastamiento, momentos torsores o flectores excesivos, se generan sobre los alambres deformaciones permanentes que lo inutilizan, ya que en estas zonas deformadas disminuye su resistencia a tracción y su resistencia a fatiga (Chaplin, C.R., 1998).



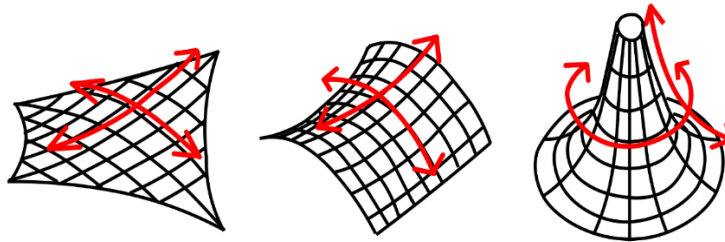
**Figura 5:** Configuración de un cable. (Caracterización de modos de falla típicos en cables de transmisión mecánica, Investig. vol.27, 2007).

## 2.6. El Proceso de diseño y análisis de estructuras Tensoestructuradas tradicionalmente

El comportamiento estructural de estos elementos trabajando en conjunto es esencialmente no lineal, en la mayoría de los casos invalidando el uso de soluciones analíticas (de Oliveira Pauletti, 2011). El diseño de las tensoestructuras eludía las dificultades asociadas al tratamiento analítico por medio de modelos físicos, sin embargo, los modelos físicos proporcionan poca información sobre los esfuerzos a los que la estructura está sometida, por lo que han sido sustituidos por el diseño asistido por computadora, combinando análisis estructurales y gráficos por computadora. El proceso computacional, para encontrar la forma, aborda la cuestión de cuál es la configuración geométrica detallada de una superficie cuyos límites de claro están dados y se asume una pretensión satisfactoria (Lewis, 2013). En cuanto a los métodos de búsqueda de la forma, una alternativa para evitar los problemas asociados al análisis no lineal, viene dada por el Método de las Densidades de Fuerza (MDF) o en sus siglas en inglés FDM (Force Density Method) propuesta originalmente en el contexto de las estructuras de cable (Linkwitz & Scheck, 1971), (Gründig et al., 2000). El MDF también se usa ampliamente para determinar la forma de las membranas, mediante la sustitución de las superficies continuas por redes de cables equivalentes. Este sistema se aplica a modelos de tensoestructuras tanto de membranas como de cables, siendo en mismo análisis para ambos.

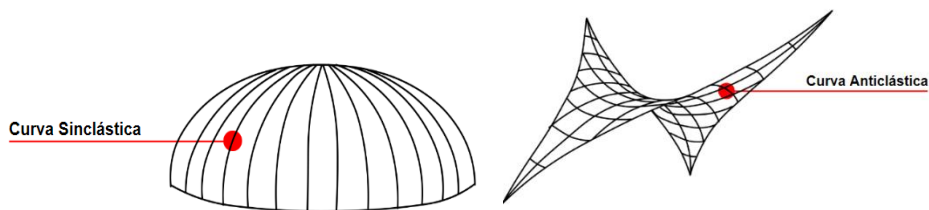
## 2.7. Fundamentos Tecnológicos

Las tensoestructuras son sistemas tensados que funcionan a partir de esfuerzos de **tracción** generando formas con **doble curvatura** (figura 3), las cuales no resisten de buena manera un esfuerzo de compresión, esto además de la forma va relacionado con el tipo de materialidad que se utiliza en su construcción. La membrana actúa distinto a otros materiales de construcción, ya que no tiene espesor y puede lograr distintas formas flexibles a partir de estas curvaturas anticlásticas (figura 4), lo que quiere decir que en cualquiera de los puntos que se le ejerza presión de manera perpendicular a la superficie existirán dos curvas entrecruzadas en sentidos opuestos una de la otra para contrarrestar la fuerza aplicada y así estabilizar la estructura completa, es decir, “En una superficie anticlástica de doble curvatura la suma de la curvatura positiva y negativa es cero. Así, las membranas de doble curvatura son resistentes a cargas externas por su forma, no por su masa. Esto es lo que permite abarcar grandes áreas con una cantidad mínima de material.” (Mollaert, 2009).



**Figura 3:** Formas en doble curvatura anticlástica. (Elaboración Propia)

Al mismo tiempo existen las curvas denominadas sinclásticas (figura 4) la que se forman a partir de dos curvas, pero que esta vez se disponen en el mismo sentido, la forma de cómo son tensadas es a partir de presión de aire ejerciendo fuerzas perpendiculares hacia afuera, estirando la membrana o film dejándola traccionada por presión del aire, funcionando por la diferencia de presión que habrá entre ambos lados de la membrana. Es por esto que las membranas tensadas de doble curvatura, ya sean anticlásticas o sinclásticas, son resistentes a cargas externas debido a su forma y además son capaces de abarcar grandes luces con una cantidad mínima de material. Es importante destacar que una tensoestructura de cables solo podrá tener curvas anticlásticas, propia de las estructuras traccionadas, ya que las tensoestructuras con curvatura sinclástica son propias de las neumáticas o inflables.



**Figura 4:** Curvas de las tensoestructuras, Anticlásticas y Sinclásticas (Elaboración Propia).

## 2.8. Sistemas Vegetales Verticales en la Arquitectura

Los sistemas vegetales verticales son una innovadora técnica constructiva para la integración arquitectónica de la vegetación en los edificios y su entorno urbano. La creciente preocupación por los problemas que afectan al medio ambiente, ha provocado un mayor interés por una arquitectura responsable, que responda mejor a las condiciones medioambientales y que demande un menor consumo energético. Una envolvente con estas características actuaría como un aislamiento orgánico; protegiendo del sobrecalentamiento los espacios, produciendo brisas frescas alrededor de las edificaciones y propiciando una ventilación natural.

## 2.9. Plantas Trepadoras y Enredaderas

Las plantas trepadoras son aquellas que en algún momento de su desarrollo se vuelven inestables y requieren de un soporte externo para crecer. Cuando las plantas trepadoras no encuentran un soporte apropiado, usualmente se ven perjudicadas en su crecimiento o reproducción. De acuerdo al modo de trepado las plantas trepadoras se pueden dividir en: enredaderas y lianas, plantas que trepan con raíces adventicias y sustancias adhesivas, plantas con zarcillos, plantas con ganchos y espinas y plantas apoyantes (modificado de Putz y Holbrook 1991; Isnard y Silk 2009) (figura 5).



**Figura 5:** Ejemplo de modo de trepado de plantas trepadoras (Elaboración Propia).

Las plantas trepadoras también pueden tener una serie de inconvenientes que podrían poner en riesgo la estructura y el bienestar del lugar al cual se aferran. Daños a la pintura y/o recubrimiento por la humedad, insectos y plagas, si el muro tiene roturas y/o agujeros, las raíces podrían crecer por ellos contribuyendo a un eventual deterioro, en caso de que la planta muera y se seque puede causar incendios o favorecerlos. Separarlas con los sistemas actuales como por ejemplo el green wall o sistema de cables verticales ayuda entonces a evitar dichas repercusiones.

### 3. Métodos

Para comenzar el trabajo de investigación se considera como un diseño de investigación correlacional, definiendo dos variables: **tensoestructuras de cables** y las **plantas trepadoras**, obteniendo un análisis bibliográfico y otro de observación en terreno, para determinar si es posible una tensoestructura de cables con una cubierta vegetal. Señalando que la investigación será de tipo transversal, de tipo *analítica* a manera de determinar: ¿Cuál es la potencialidad de las tensoestructuras con sistema de cables como estructura de soporte para el crecimiento de plantas trepadoras y su desarrollo en cubiertas vegetales?. El enfoque de la investigación es cuantitativo basándose en la realización y observación de datos de dos variables ya dichas anteriormente.

La segunda técnica de investigación es la observación del segundo objeto de estudio, “plantas trepadoras”, en base a bibliografía y su posible integración en un diseño de tensoestructura. El análisis de campo estableció un acercamiento a estructuras rígidas, como por ejemplo en parques que cuenten ya con plantas trepadoras incorporadas a este tipo de estructuras. Además, casos particulares como viviendas y/o recintos privados de los cuales plantas trepadoras aporten con datos distinguibles para la investigación.

A la hora de hablar de posibles contras que dificultaron el desarrollo de la investigación, fue al momento de la identificación de la especie de **planta trepadora** que mejor se adaptara a una tensoestructura de cables tensados. Por esto se utilizaron las siguientes restricciones que dieron inicio a la investigación.

#### 3.1. Selección del territorio

El estudio abarca una investigación de campo en las ciudades de Talca y Santiago. Comentando que en estos dos lugares se pudo acceder y observar de forma presencial a especies de plantas trepadoras.

#### 3.2. Selección de Plantas Trepadoras

Como los jardines verticales existen ya en la naturaleza es necesario antes de diseñar un sistema para su crecimiento, revisar aquellas especies que efectivamente crecen de manera vertical. Hacer esta revisión, significa optar por aquellas especies trepadoras con características que puedan expresarse en función de una tensoestructura de cables. El sistema de muros verdes, emplea plantas trepadoras, las que se dividen en plantas autoportantes de tipo adhesivo y plantas que necesitan una estructura de soporte como enredaderas y trepadoras.

Con base en la bibliografía de plantas trepadoras, tanto chilenas como introducidas, se realizó una selección de plantas que sobrepasan los dos metros de crecimiento lineal. Para posteriormente establecer criterios de selección que ayudarían a escoger las plantas que



mejor se adaptarán a una tensoestructura, según sus características y avistamientos en terreno. En base a estos datos se hicieron dos tablas anexas al final de este artículo.

Los criterios de selección para la especificación de la segunda tabla fueron los siguientes:

- Largo de crecimiento, mayor o igual a diez metros.
- Mayores avistamientos en las ciudades de Talca y Santiago.

En base a estas tablas se analizaron las dos especies con mayor crecimiento y mayores avistamientos comprendidos en las ciudades de Talca y Santiago.

#### 4. Resultados

La intención de conocer, comprender y abrir una investigación de campo, respecto a plantas trepadoras, fue para conocer sus principales características a la hora de integrarlas a un diseño de tensoestructura. Abordando distintos puntos como por ejemplo, el largo de crecimiento, entendiendo que para el momento de proyectar una tensoestructura de cables tensados, entender desde la misma planta como esta crecerá sobre la tensoestructura.

Con base en una búsqueda bibliográfica se llevó a cabo una tabla de especies trepadoras con una exigencia mínima de crecimiento mayor a dos metros. La investigación de campo se extiende sobre veintidós lugares, en las ciudades de Talca y Santiago. De lo cual se hace un catastro respectivo sobre las plantas de mayor largo de crecimiento y sus avistamientos en terreno.

Durante la investigación se encontraron plantas trepadoras creciendo en sistemas rígidos (Muros o estructuras de acero) como también en sistemas de fachadas vegetales por medio de cables verticales y horizontales. Por ejemplo, durante la investigación se observó que plantas trepadoras subían por: pilares de madera, enrejados de acero y metal, vigas de acero, muros de hormigón y revestimientos, cables de acero y cables recubiertos. Donde plantas trepadoras, independiente del objeto por el que trepan, lograban recubrir estructuras mediante sus órganos trepadores.

Durante la investigación de campo se encontraron diez especies distintas de plantas trepadoras, por lo que la investigación se centró en las especies de mayor avistamiento en terreno. Las especies con mayor avistamiento fueron: **A) Wisteria Sinensis** y **B) Ampelopsis quinquefolia** con un total de siete avistamientos por cada especie. Estas dos especies en general cumplen con características de crecimiento abundante y largas en estructuras observadas. Por lo que se ahondó más en su investigación.

##### 4.1. Wisteria Sinensis:

- **Datos Técnicos:** Nombre común: Glicinia, Glicina, Flor de la pluma. Origen: China y Japón. Arbusto caducifolio, trepador y robusto, puede llegar a vivir más de 100 años. Flores de color violeta o malva de 2,5 cm agrupadas en grandes racimos colgantes de

15-20 cm de largo muy vistosos. Planta de clima templado, puede llegar a soportar temperaturas altas de climas cálidos, pero en verano la planta sufrirá y puede necesitar de mayores atenciones.

- **Observaciones de campo:** Se encontró un avistamiento en particular en Talca, sobre una propiedad privada en la población Brilla del Sol, donde la planta trepadora *Wisteria Sinensis* alcanzaba un máximo total de veintiocho metros de largo, recubriendo el borde exterior de la vivienda. Este ejemplo fue el de mayor extensión. Esta planta, a diferencia de las demás encontradas en terreno, es de crecimiento abundante de su follaje y de desarrollo robusto de sus lianas con tallos leñosos.

#### 4.2. *Ampelopsis quinquefolia*:

- **Datos Técnicos:** Nombre común: Parra de la virgen. Origen: México y Norteamérica. Planta trepadora de hoja caduca y de crecimiento muy rápido. Característica ornamental: Llamativo follaje, que en otoño adquiere un color naranja a rojo muy llamativo. Especialmente indicada para el recubrimiento de muros y edificios. Planta adaptable a diversos climas y temperaturas.
- **Observaciones de campo:** Se observó sobre la fachada del IP Santo Tomás de San Joaquín, sujeta a una estructura a base de pilares de acero y malla de acero galvanizada. En este ejemplo, la planta crece y trepa por los zarcillos, que son el segundo órgano trepador y no por los discos adherentes, que son el órgano trepador principal de esta especie. Los zarcillos son órganos delgados y volubles que se enroscan en un soporte para sostener a la planta. La fachada de cuarenta y dos metros cuadrados tiene diecisiete plantas trepadoras en su primer piso para cubrir su totalidad.

Nota: Con respecto a la investigación a profundidad sobre estas dos plantas, se logró realizar una ficha técnica de estas dos especies dispuestas en el anexo de este artículo a modo de rescatar las características propias de la planta y el acercamiento a generar una cubierta vegetal.

Una vez analizado el campo de plantas trepadoras y sus características se describe el comportamiento con la estructura a la cual estas plantas se adhieren. Si bien las plantas trepadoras crecen independientemente del sistema del cual se sostienen, algunos de los ejemplos vistos en la investigación tendían a ceder por la nueva carga a enfrentarse (su peso propio más el peso de la planta trepadora), además de un deterioro de la estructura soportante producto de la planta trepadora observado en algunos ejemplos.

Se seleccionaron dos casos particulares, según las dos plantas trepadoras más avistadas en terreno, para la profundización de su investigación:

En el recinto de la Pontificia Universidad Católica de Chile - Campus San Joaquín, con una fachada a base de sistemas de pilares y cables horizontales, crece la planta ***Wisteria Sinensis***. El cable pasa por una perforación en el pilar, pero producto de la fuerza de crecimiento de la planta se observa una falla por desgaste del cable y una fractura por fatiga

(figura 6), producto de la acción de roce entre la unión del pilar y el cable, en consecuencia de la fuerza de la planta que deforma el cable horizontal. También se observó que a medida que esta iba creciendo helicoidalmente por la estructura tendían a deformar los cables. Además, frente al nuevo esfuerzo en la estructura se generó flexión del pilar desde donde se fija el sistema de cables horizontales (figura 7).

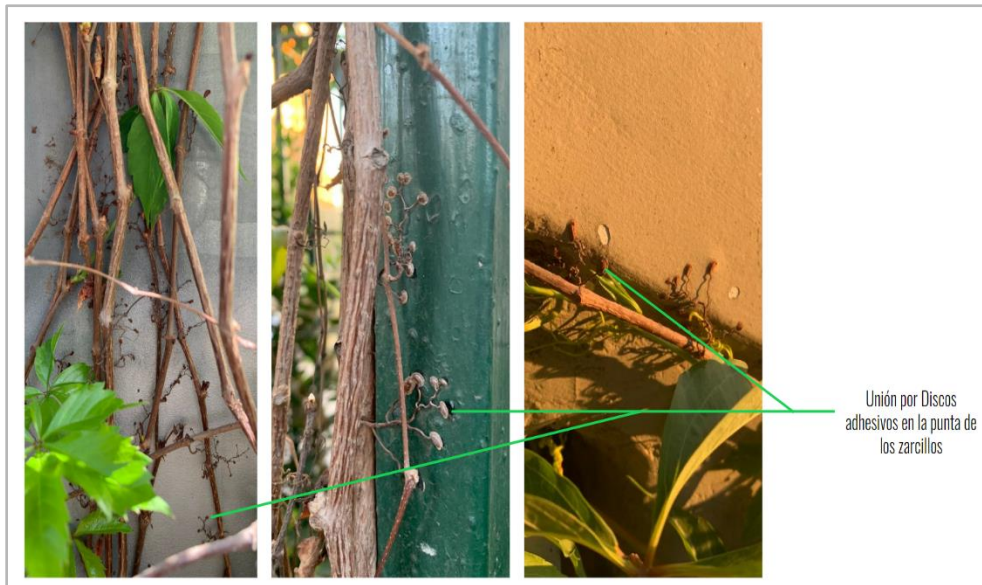


**Figura 6:** Falla del cable horizontal producto de la planta trepadora Wisteria Sinensis.



**Figura 7:** Flexión de pilar producto de la carga de la planta trepadora Wisteria Sinensis.

El otro caso es el de la planta **Ampelopsis quinquefolia**. En el acercamiento a sus órganos adherentes vemos como al sujetarse a una superficie mediante los discos adhesivos, en la punta de sus zarcillos tendían a desprenderse con facilidad del recubrimiento de la estructura, como por ejemplo en el crecimiento sobre paredes pintadas donde la pintura queda pegada en sus discos adherentes. Es así como se muestra en la *figura 8*, expuesta en tres situaciones distintas.



**Figura 8:** Ejemplo de Ampelopsis quinquefolia y desprendimiento de discos adherentes.

En el recinto de la Universidad de Talca, con una fachada de sistema de pilares y cables horizontales, se puede observar que la planta Ampelopsis quinquefolia creaba un nuevo peso en la estructura, no calculado, lo cual provocó una deformación en las uniones de los cables horizontales llegando a una falla de la unión del cable en horizontal, como se muestra en las imágenes de la *figura 9*. En esta estructura otra particularidad no observada anteriormente, es como la planta crece por entremedio de la unión de la estructura. Evidenciando como la planta es capaz de crecer entre estas pequeñas aberturas del sistema (*figura 10*).



**Figura 9:** Falla unión estructural, fachada vegetal Universidad de Talca.



**Figura 10:** Crecimiento de planta entre la unión de la estructura.

Durante la investigación nos encontramos que plantas trepadoras crecen en su mayoría sobre estructuras rígidas y planas. Pero al momento de integrar plantas trepadoras a un sistema de cables en tensoestructura implicaría un crecimiento de la planta por medio de una malla en doble curvatura anticlástica. Se observó en el parque Juan XXIII (Santiago) el crecimiento de la *Wisteria Sinensis* y *Vitis vinifera* en una estructura rígida de barras de acero que cuenta con doble curvatura sobre la cúpula central del parque (*figura 11*).



**Figura 11:** Foto tomada el año 2012, antes de la poda de especies en la estructura. Autora de la foto: Alejandra Paz Flores.

## 5. Conclusiones

Una planta trepadora sí podría crecer en una tensoestructura de cables tensados con una superficie de malla en doble curvatura anticlástica. Dado que independiente de la curva, pendiente y/o superficie, esta tiende a crecer sobre ella, como hemos observado a lo largo de la investigación. Un ejemplo de ello sería en las plantas *Wisteria sinensis* y *Vitis vinifera*, observado en la figura 11 creciendo en una cúpula rígida de barras de acero en doble curvatura sinclástica, donde los elementos que la componen son rígidos. Pero considerando que esta curva no es propia de las tensoestructuras de cables.

Un factor considerable a la hora de planificar una tensoestructura de cables y la integración de una cubierta vegetal, es el peso de la planta y su fuerza de crecimiento. A medida que tienen un crecimiento, constantemente incorporan un nuevo esfuerzo a la estructura. Por ello, algunas estructuras presentaron fallas observadas en las *figuras 6,7,9 y 10*. Los cables no tienen resistencia a la compresión, ante cualquier carga no calculada este podría fallar en el sistema, por ende, la fuerza y el peso de la planta deben calcularse para no deformar la estructura ante las nuevas cargas.

Otro factor importante es que las plantas al enroscarse generan una gran fuerza hacia dentro que las sostiene, estas generan una fuerza extra sobre la estructura, refiriéndonos al caso de la *figura 6* donde el cable termina fallando. La falla que presenta es debido a la fuerza perpendicular que se le aplica al cable justo antes de acercarse al pilar producido por la planta, fallando por la geometría y la esbeltez del cable. Si esto pasara en un sistema de cables en tensoestructura, otro cable contrapuesto a este ayudaría a contrarrestar la fuerza, distribuyendo la fuerza por la estructura, equilibrando el sistema. En consecuencia, no solo la planta se apoya en la estructura como soporte, esta crecerá y se envolverá en ella, afectando la pretensión de una tensoestructura de cables, ya que esta afecta directamente la geometría de la estructura portante producto de la fuerza que viene de la planta. También es importante considerar que el follaje de la planta generará una superficie y ante esto se deben considerar las sobrecargas establecidas en la normativa estructural como lo son la nieve, lluvia y viento sobre la estructura.

Para finalizar el uso de plantas trepadoras en una cubierta vegetal pueden ser una contribución para las acciones de aumentar las áreas verdes dentro de la ciudad. Los sistemas de fachadas verdes soportados por cables verticales funcionan bien, pero en el caso de instalar este sistema en horizontal como en una cubierta vegetal, esta presentaría fallas como en los sistemas vistos anteriormente. Por lo que una tensoestructura de cables podría corregir estas fallas dado la geometría propia de su construcción (una malla con dos cables contrapuestos) generando este tipo de cubiertas vegetales con curvas anticlásticas. Asimismo, conociendo las características propias de la planta trepadora a implementar al momento de diseñar esta estructura.

## Referencias

- Espejo, É., & Martínez, J. C. (2007). Caracterización de modos de falla típicos en cables de transmisión mecánica. *Ingeniería e Investigación*, 27(1), 77-83.
- L. Basset (2011). "ESTRUCTURAS FORMADAS POR CABLES". Universidad Politécnica de Valencia.
- Songel J. M. (2005). "Frei Otto y el Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart: una experiencia de metodología, investigación y sistematización en la búsqueda de la forma resistente". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.  
<https://es.scribd.com/document/381995611/Juan-Maria-Sangel-Gonzalez-Frei-Otto-y-el-Instituto-de-Estructuras-Ligeras-de-Stuttgart-pdf> (Url).
- "Guía de Campo Plantas Trepadoras, Epífitas y Parásitas Nativas de Chile". A. Marticoronea et al.(2010). Quinta Guía de la Serie Biodiversidad de CORMA.  
[https://issuu.com/chilebosque/docs/marticorena\\_alarcon\\_abello\\_atala.2010.plantas\\_rep](https://issuu.com/chilebosque/docs/marticorena_alarcon_abello_atala.2010.plantas_rep) (Url).
- "Catálogo técnico necker". Necker soluciones en acero inoxidable.  
<https://necker.wienecke.cl/wp-content/uploads/2015/09/catalogo-tecnico-necker.pdf> (Url).
- Guía técnica de arquitectura textil permanente. Mehler Technologies . VALMEX®structure. Primera edición (2009). <https://fdocuments.ec/document/guia-tecnica-de-arquitectura-textil-permanente.html?page=1> (Url).
- Info Jardín, página web. Datos sobre la planta Wisteria Sinensis y Ampelopsis veitchii.  
<https://fichas.infojardin.com/trepadoras/wisteria-sinensis-glicinia-glicina.htm> <https://fichas.infojardin.com/trepadoras/parthenocissus-tricuspidata-ampelopsis-veitchii-parra-virgen.htm> (Url).
- Navarro Portilla, J. (2013). Trabajo final de máster en edificación "LOS JARDINES VERTICALES EN LA EDIFICACIÓN" Repositorio Institucional – Universidad Politécnica de Valencia.
- Organización de las Naciones Unidas, acción por el clima. Datos sobre Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático. <https://www.un.org/es/climate-change/climate-solutions/cities-pollution> (Url).
- Pedroza E.et al (2015). "Tenso-estructuras de cubierta". Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. CULCyT//Mayo-Agosto. 74-75.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7129030.pdf> (Url).
- Santomauro R. et al (2014). "Tensoestructuras desde Uruguay - Tensile Structures from Uruguay"
- Sarricolea P. y Vide J. (2014). "El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de

Componentes Principales”. Revista de geografía Norte Grande. Número 57.

<https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n57/art09.pdf> (Url).

The European Stainless Steel, Development Association. “Jardines Verticales en Acero Inoxidable”. Serie Construcción, Vol-16. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/VertGardens\\_SP.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/VertGardens_SP.pdf) (Url).



## **Sobre el uso de Impresión 3D en la reparación de lesiones constructivas en viviendas sociales.**

**Estudiante:** Sofía Vega Raviola

**Profesor guía:** Pedro Soza

### **Resumen**

Esta investigación, propone la reparación de patologías producto de lesiones mecánicas en conjuntos de viviendas sociales colectivas. Específicamente, el trabajo se enfoca en el análisis de casos de lesiones en núcleos de circulaciones verticales y horizontales. El diseño del estudio contempló el levantamiento de las patologías usando fotogrametría, para posteriormente crear un modelo digital de las lesiones, y a partir de dicho modelo, generar con impresión 3D una pieza fidedigna a la realidad, que pudiese usarse para reparar las lesiones detectadas.

El objetivo de esta investigación fue comprobar la factibilidad de llevar adelante este tipo de desarrollo, así como conocer el estado de madurez tecnológico para implementar el uso masivo de estas tecnologías en la generación de un sistema automatizado de reparación de viviendas sociales. Finalmente, se modeló el flujo de trabajo explorado a modo de contribución metodológica para el desarrollo de futuras investigaciones en el área.

**Palabras clave:** Impresión 3D, déficit cualitativo de viviendas, lesiones mecánicas

## 1. Introducción

Este trabajo se enfoca en la posibilidad de reparar lesiones mecánicas usando tecnología de impresión 3D. Ello en el contexto de que la presencia de lesiones mecánicas es una de las mayores problemáticas que posee Chile frente a su problema de déficit habitacional, particularmente en su arista cualitativa. Al respecto, la Cámara Chilena de Construcción menciona que al año 2022, existen grosso modo, un millón 450 mil viviendas con alto deterioro cualitativo producto de lesiones mecánicas (CChC, 2022), las que se pueden agrupar en tres categorías, déficit de ampliación, déficit de servicios básicos y déficit de mejoramiento de material y de conservación. Este último grupo se caracteriza porque las viviendas que están en el presentan materialidad recuperable y/o estado de conservación malo.

Esta investigación se focaliza en este grupo, e indaga específicamente el uso de nuevas tecnologías existentes en la industria AEC que puedan emplearse en el mejoramiento de las lesiones mecánicas detectadas en estas viviendas. Para ello también se analizará el origen de dichas lesiones, comúnmente producidas por la sobrecarga de algún elemento de la edificación, debido a fuerzas externas o internas, provocándose así, grietas o desprendimiento de material (Broto, 2005)

Por otro lado, el uso de la tecnología de impresión 3D en hormigón se ha expandido enormemente en los últimos años, produciendo una serie de ventajas dentro de la industria AEC y un gran potencial de desarrollo para la arquitectura en concreto, caracterizada por una libertad para la creación de geometrías diferentes, consumo reducido de material, automatización y una cadena de construcción mas corta (Breseghello, 2022). Por lo mismo, en esta investigación se hipotetiza que esta tecnología, al poseer esta serie de ventajas, podría ser de gran utilidad si se implementara en la reparación de viviendas de hormigón armado.

Dicha hipótesis se apoya en diversos estudios que han investigado el uso de la impresión 3D, dentro de la industria de la construcción (Breseghello, 2022), así como en investigaciones académicas produciendo y analizando en su mayoría piezas por separado, como muros, fundaciones, columnas, losas y techos (García-Alvarado, 2021). El uso de impresión 3D también se ha implementado en grandes proyectos que demuestran el potencial de desarrollo que esta tecnología tiene a gran escala. A modo de ejemplo comúnmente se cita el caso de Winsun, una compañía de arquitectura China que construyo satisfactoriamente un conjunto de viviendas de 200m<sup>2</sup> en Shanghái (Yuhong, 2014) demostrándose así que esta tecnología es capaz de aplicarse en para grandes proyectos.

Esto deja en evidencia que, si bien el uso de la impresión 3D ha tenido un gran recorrido plagado de avances y pruebas en la creación de piezas por separado e incluso en su implementación en grandes proyectos de construcción de vivienda, su uso no se ha considerado – hasta donde sabemos – como tecnología de reparación de lesiones en elementos de hormigón o concreto. Esta carencia genera gran motivación y oportunidad para

experimentar e investigar el uso de esta tecnología en la reparación de elementos y piezas existentes.

Es importante considerar que el uso de esta tecnología, pese a permitir y facilitar los avances antes mencionados, también conlleva desventajas. Entre ellas están el tiempo necesario para imprimir una pieza, ya que, el material se oxida y se seca, y las limitaciones de tamaño debido a la escala que poseen las máquinas, lo que incide el tamaño máximo de las piezas a imprimir (Peng Wu, 2019). Así, este trabajo busca dilucidar si ¿es factible capturar información de la realidad para crear una pieza que funcione como reemplazo de una lesión mecánica? El objetivo principal planteado es estudiar y proponer un flujo de trabajo que considere y relacione diferentes tecnologías empleadas en reparar elementos y piezas arquitectónicas afectadas por lesiones mecánicas. Para ello esta investigación se focalizará en un caso real, el edificio “El buque” en la comuna de Pedro Aguirre Cerda, donde se evaluarán y seleccionarán algunas de las muchas lesiones mecánicas existentes en el espacio común y público del conjunto, específicamente en los núcleos de circulaciones vertical y horizontal.



**Imagen 1.** Resumen motivación. Fuente: Elaboración propia.

## 2. Antecedentes

A continuación, se presentan los antecedentes que fundamentan esta investigación, separados en 4 secciones, las problemáticas de las viviendas sociales, las lesiones dentro de las viviendas, el uso de la impresión 3D y sus detalles, y finalmente detalles operativos relevantes respecto del uso de los programas que se usaran para llevar a cabo la investigación.

### 2.1. Viviendas sociales

Para comenzar el estudio es crucial entender la definición de déficit habitacional. El informe de la Fundación Vivienda en el 2018 define el déficit como “ la cantidad de viviendas que faltan para dar satisfacción a las necesidades de una determinada población (Fundación Vivienda, 2018), y a su vez indica que el déficit se puede separar en dos categorías principales, déficit cualitativo y cuantitativo como muestran las tablas 1 y 2 a continuación(Fundación Vivienda, 2018).

**Tabla 1.** Déficit Cuantitativo. Fuente: Fundación Vivienda 2018.

Déficit	MINVU	CChC
<b>Déficit Cuantitativo</b>	<p>Considera:</p> <p>(a) Viviendas irreuperables, que son el hogar principal residentes en viviendas irreuperables según índice de calidad global de la vivienda (que el tipo de vivienda o materialidad en muros, piso o techo sea irreuperable).</p> <p>(b) Hogares allegados (allegamiento externo); Hogares adicionales al hogar encuestado según lo reportado por el hogar principal interno y que presenten hacinamiento medio o crítico.</p> <p>(c) Allegamiento interno; núcleos familiares adicionales al principal en hogares con allegamiento interno y que presenten hacinamiento medio o crítico.</p> <p>Un hogar se considera con déficit si presenta uno de los requerimientos mencionados; es excluyente.</p>	<p>Para la metodología de la CChC el símil de “déficit cuantitativo” son los RHA, más en esta estimación solo considera allegamiento externo e interno.</p> <p>Considera:</p> <p>(a) Hogares allegados (allegamiento externo); Hogares adicionales al hogar encuestado según lo reportado por el hogar principal interno y que presenten hacinamiento medio o crítico.</p> <p>(b) Allegamiento interno; núcleos adicionales al núcleo principal del hogar en hogares con allegamiento interno y que presenten hacinamiento medio o crítico.</p> <p>NOTA: Un cálculo importante que se realiza en la estimación de la CChC, es estimar una “tasa natural de allegamiento”, la cual tiene como función aproximar la proporción de población allegada que “elige” compartir el hogar con otro núcleo, independientemente de sus recursos económicos.</p>

**Tabla 2.** Déficit Cualitativo. Fuente: Fundación Vivienda 2018.

<b>Déficit Cualitativo</b>	<p>Considera:</p> <p>(a) Déficit de ampliación; hogares principales que presentan hacinamiento medio, alto o crítico y que no tienen allegamiento interno (excluidas viviendas irreuperables).</p> <p>(b) Déficit de servicios básicos; hogares principales que presentan saneamiento deficitario (excluidas viviendas irreuperables).</p> <p>(c) Déficit de mejoramiento material y conservación; hogares principales que presenten materialidad recuperable y/o estado de conservación malo (excluidas viviendas irreuperables).</p> <p>Un hogar puede presentar los tres requerimientos, no son excluyentes.</p>	<p>Para la metodología de la CChC el símil de “déficit cualitativo” son los RHD, más en esta estimación se abordan aquellas viviendas irreuperables (el MINVU las incluye dentro de su “déficit cuantitativo”).</p> <p>Considera:</p> <p>(a) El total de estos requerimientos se construye sobre la base de dos criterios: un Índice de Materialidad y el Tipo de Vivienda. Cada uno de estos discernimientos contiene la información necesaria para contabilizar si se necesita una nueva vivienda o no.</p> <p>(b) Viviendas irreuperables, que son hogares que reside en viviendas deficitarias en materialidad, es decir, se definirá a una vivienda como deficitaria si el estado de los muros es “malo” según el índice de materialidad, aun cuando el techo y/o el piso tengan calificación de “bueno” o “aceptable”.</p> <p>(c) Según el tipo de recinto habitacional, esta podrá clasificarse como “semipermanentes” (mediagua, choza, vivienda precaria, etc.). Por lo tanto, una vivienda semipermanente sumará un nuevo requerimiento habitacional.</p>
----------------------------	---	---

Posteriormente, en el 2020 y 2021 la ONG Un Techo para Chile hizo notar como repercutía el problema del déficit habitacional, indicando que su aparición correspondía un síntoma de un problema aun mayor, el cual es la falta de acceso a una vivienda adecuada para la población más vulnerable (TECHO, 2021). Esta organización indicaba así que la precariedad habitacional es una de las razones por las cuales las personas optan por vivir en campamentos. Debido a esto, señalan que no solo hay que enfocarse en los campamentos, sino que además hay que trabajar en cómo las personas llegan a la decisión final de conformar un campamento.

Por otro lado, uno de los estudios presentados por la Cámara Chilena de Construcción menciona que existen cerca de un millón 450 mil viviendas con alto deterioro, señalando también la importancia de enfocarse en el mejoramiento de viviendas para atenuar dicho problema, y que este no se convierta en algo aún más deficitario (CChC, 2022)

## 2.2. Caracterización de Lesiones

Para entender cómo se dividen los tipos de viviendas y como se distribuyen las viviendas recuperables, durante el año 2019, la Cámara Chilena de la Construcción hizo otro estudio, llamado Balance de Vivienda y Entorno Urbano, el cual detalló los requerimientos habitacionales por deterioro. Con este trabajo, se creó un índice de materialidad de viviendas, lo que permitió clasificarlas acorde a dicho índice. En él las viviendas de hormigón armado se clasificaron de buenas.

**Tabla 3.** Clasificación de los componentes de las viviendas de acuerdo a su material de construcción. Fuente: CChC 2019.

CLASIFICACIÓN	MURO	TECHO	PISO
Bueno (B)	Hormigón armado; Albañilería (bloque cemento, piedra o ladrillo); Tabique forrado por ambas caras (madera, lata, u otro).	Tejas o tejuela (arcilla, metálica, cemento, madera, asfáltica); Losa hormigón; Planchas metálicas (zinc, cobre, etc.) o fibrocemento (pizarreño).	Parquet, madera, piso flotante o similar; Cerámica, flexit o similar; Alfombra o cubrepiso; Baldosa de cemento; Radier.
Aceptable (A)	Adobe, barro, quincha, pirca u otro artesanal tradicional; Tabique sin forro interior (madera u otro).	Paja, coirón, totora o caña.	Enchapado de cemento.
Malo (M)	Materiales precarios o de desecho o cualquier material si la conservación es mala.	Fonolita o plancha de fieltro embreado; Materiales precarios o de desecho; Sin cubierta en el techo; Cualquier material si la conservación es mala.	Tierra o cualquier material si la conservación es mala.

Posteriormente, y teniendo en cuenta esta clasificación, se generó una segunda tabla con el índice de materialidad que considera el estado de las estructuras:

**Tabla 4.** Conformación del índice de materialidad de la vivienda según la clasificación conjunta de sus componentes. Fuente: CChC 2019.

ÍNDICE DE MATERIALIDAD	MURO	TECHO	PISO
Bueno	B	B	B o A
Aceptable	A B	B o A A	B o A B o A
Recuperable	B o A B o A B o A	B o A M M	M B o A M
Deficitaria	M	B o A o M	B o A o M

Esta clasificación, mostrada en la tabla 4, servirá como punto inicial para clasificar la calidad de las estructuras particulares en posibles casos de estudio, así como el que estas cumplan con el requisito de ser una vivienda “recuperable” (CChC, 2019)

En el grupo de las viviendas recuperables, se ubican las viviendas que posean lesiones mecánicas, o sea, que debido a un esfuerzo mecánico externo se producen fisuras, grietas o desprendimiento de material (Broto, 2005)

Finalmente, también se considera el Manual de refuerzos y reparaciones del MINVU como referencia válida para caracterizar patologías y lesiones mecánicas, dado que este manual especifica los pasos necesarios para reemplazar un volumen de hormigón tradicional, una pieza o elemento nuevo. Específicamente se consideran los pasos de preparación de superficie, procedimiento de vaciado, compactación y finalmente el curado del hormigón (MINVU, 2018)

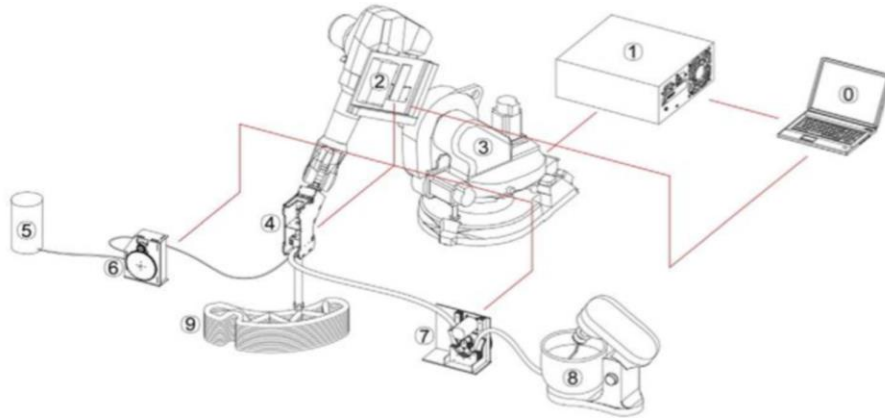
### **2.3. Impresión 3D**

La impresión 3D se desarrolló a partir de 1980, pero solo recientemente ha logrado ganar reconocimiento como una tecnología útil en la industria de la construcción.

La impresión propiamente tal consiste en un proceso de extrusión mediante la adición de una serie de capas bidimensionales, las que se generan a partir de un cordón de hormigón, u otra mezcla cementaria inyectada por la impresora. Estas capas son formadas primero virtualmente, y al ser extrusionadas se materializan en elementos y piezas reales (Teizer, 2016). Para ello previamente es necesario desarrollar diseños tridimensionales de lo que se requiere imprimir, usualmente modelos 3D. Estos modelos posteriormente deben convertirse a código G, que es el código utilizado por las impresoras 3D. En dicho código se especifica la ruta que seguirá el cabezal de impresión, y producto de ello estas capas serán formadas a través de la extrusión del material. El material, impulsado por una bomba, es expulsado mediante una boquilla, la que determinará directamente la capacidad de impresión, forma y fluidez de la mezcla (Shakor, 2019).

El proceso de generación computacional y posterior impresión 3D consta de los siguientes pasos:

1. Comando del sistema: El cual generará el código que se introduce al robot.
2. Controlador del robot: Comando que controla al robot.
3. Controlador de la impresión: comando que controla la impresión.
4. Brazo robótico: Encargado de realizar los movimientos según el código ingresado.
5. Cabezal de impresión: es el cual permite imprimir objetos en impresión 3D.
6. Agente acelerador de hormigón: Aditivo que se le agrega a la mezcla para acelerar su fraguado.
7. Bomba peristáltica para agente acelerador: bombea la mezcla.
8. Bomba peristáltica para premezcla: dispositivo hidráulico que transporta la mezcla.
9. Objeto impreso

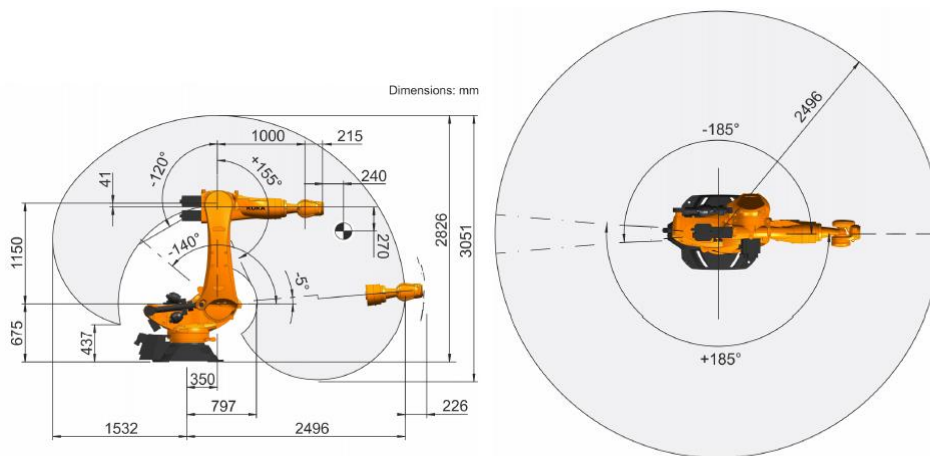


**Imagen 2:** Componentes sistema de impresión 3D. Fuente: Large-Scale 3D Printing: The Way Forward.

La fabricación de elementos en impresión 3D ofrecen varias ventajas, tales como: el control computacional de las secciones y el corto tiempo de producción al imprimir piezas en 3D previamente diseñadas (teizer, 2016)

Por otro lado, además de poseer ventajas, posee desafíos a mejorar, como el uso de enfierraduras o barras de refuerzo dentro del uso de los elementos impresos, algo muy relevante en la creación de la piezas y elementos críticos en viviendas sociales, considerando la realidad sísmica nacional, Es por esto que la importancia de la búsqueda de las incorporaciones de filamentos al hormigón para que sea reforzado es un gran desafío aún (Doyle, 2019).

Otra de las limitaciones que posee la impresión 3D en hormigón, es el tiempo máximo para imprimir una pieza, ya que el material se oxida y seca, y las limitaciones de tamaño debido a las dimensiones de las impresoras 3D (Wu, 2016). A modo de ejemplo, la impresora KUKA KR120 – 250, robot industrial de 6 ejes de libertad, posee un área de trabajo que alcanza los 2,4 mts, el que se detalla en la imagen 2.



**Imagen 3.** Área de trabajo KUKA 120 R2500 pro. Fuente: www.kuka.com

Con miras a comprender las formas básicas posibles que se pueden crear con esta tecnología, los investigadores han estudiado los distintos proyectos desarrollados con ella, buscando determinar las características estructurales. Entre ellos, Alvarado (2021) ha propuesto la categorización que presenta la tabla 5.

**Tabla 5.** Características del edificio. Fuente: Alvarado, 2021.

<b>Características</b>	<b>Alternativas</b>
Elementos impresos	Fundaciones Pisos Muros y columnas Losas Techos
Arreglo de Filamentos	Único Paralelo, vacío Paralelo, con grilla Paralelo, lleno Otro
Refuerzos	No reforzado Barras horizontales Barras verticales con relleno Refuerzo concentrado
Aperturas	Sin aperturas Vertical Horizontal Cuadrado Otro
Techo	Sin techo Inclinado (Hormigón, madera, metal) Plano (Hormigón, madera, metal) Impreso, plano Impreso, echado Impreso, curvo
Geometría	Solo líneas rectas Esquinas redondeadas Tramos curvos Completamente curvado 3D curvo

Esta caracterización permite identificar desde el inicio la creación de secciones como las losas y muros. Estos dos tipos de elementos se encontraron en todos los casos estudiado.



## 2.4. Programas utilizados en el desarrollo de la investigación

En el desarrollo de esta investigación se usaron, primariamente 2 programas. El primero de ellos se utilizó para capturar y transferir información, y el segundo para corregir el modelo y preparar el archivo de impresión 3D. Este software incorporó además el uso de plugins especializados.

### Agisoft

Agisoft es un software que se utiliza para hacer fotogrametrías a través de la generación de modelos geométricos tridimensionales, los que son creados a partir de imágenes digitales aéreas. Los algoritmos de Agisoft están optimizados para generar una malla geométrica a partir de una nube densa de puntos, la que resulta del análisis espacial de las imágenes – fotografías – introducidas a la aplicación. Los modelos geométricos que genera Agisoft son modelos poligonales editables.

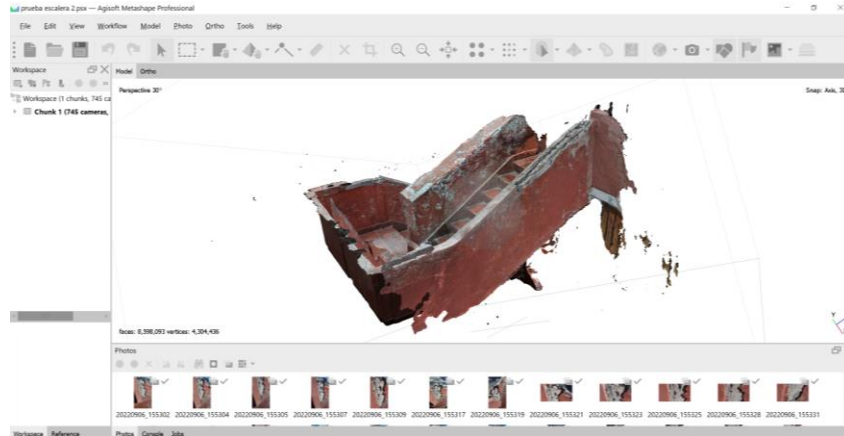


Imagen 4. Agisoft. Fuente: Elaboración propia.

### Rhinoceros

Este programa, comúnmente utilizado en la modelación 3D de formas libres, ofrece la precisión necesaria para el diseño de piezas y prototipos de cualquier producto. Rhinoceros permite además la creación y edición de puntos, curvas, superficies, sólidos y mallas (Rhinoceros, 2022). Por otro lado, el programa, puede aumentar significativamente sus capacidades con el uso de plugins. En el desarrollo de esta investigación se considera el uso de Grasshopper, interfaz gráfica de programación visual, y KUKA|prc es uno de ellos, que permite la configuración, control e integración directa con un robot KUKA en un entorno paramétrico. Así, KUKA|prc es capaz de generar una simulación del recorrido del brazo robótico KUKA, para asegurar que no existan colisiones o puntos inalcanzables en el área de impresión, permitiendo así corregir de manera anticipada o inmediata los problemas presentados en un entorno de simulación, antes de imprimir la pieza definitiva. Además, KUKA|prc posee una biblioteca de los modelos de robot impresores 3D, facilitando así la posterior elección del robot con el que se trabajará (Robots in Architecture, 2022)

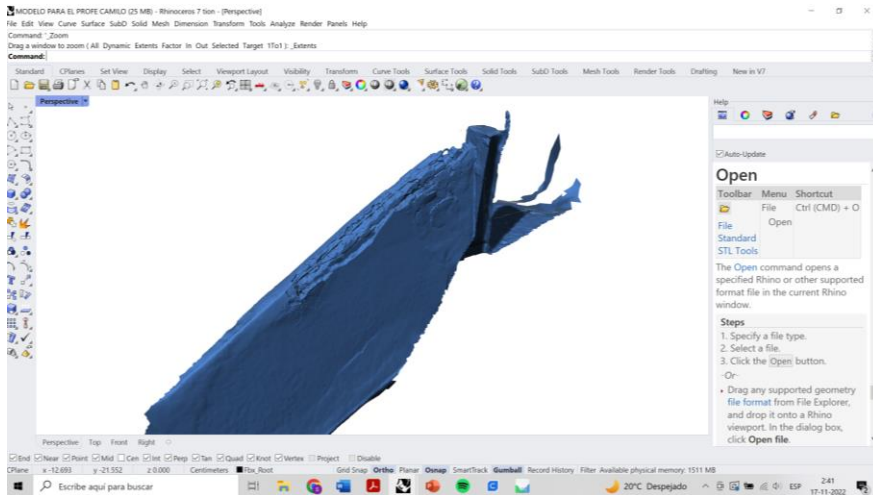


Imagen 5. Programa Rhinoceros. Fuente: Elaboración propia.

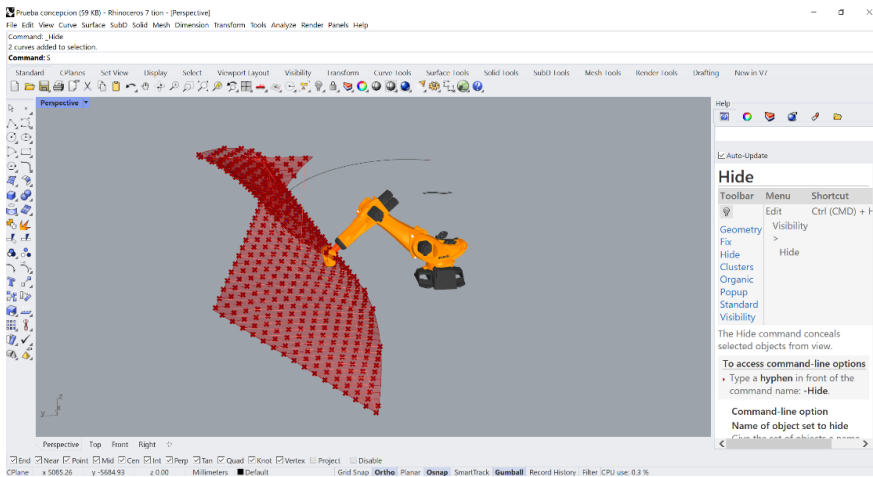


Imagen 6. Programa Rhinoceros con Plugin KUKA|prc. Fuente: Elaboración propia,

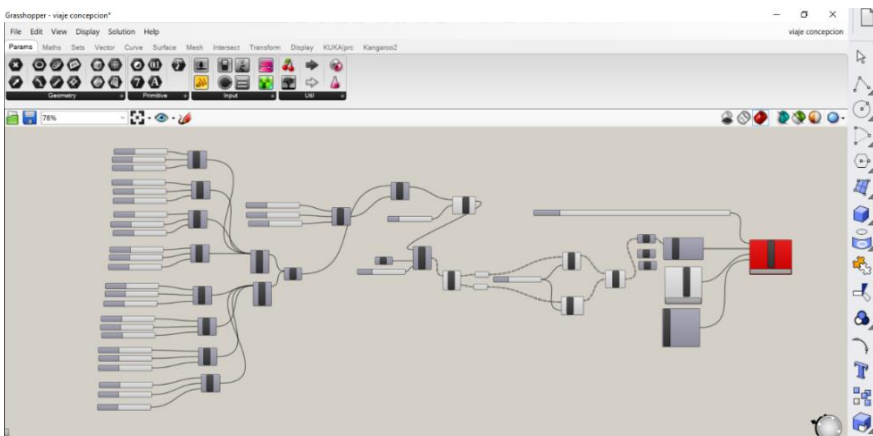


Imagen 7. Desarrollo de algoritmo de diseño y programación de robot para impresión 3d en Grassgopper. Fuente: Elaboración propia en base a workshop?

### 3. Métodos

El diseño de la investigación consta de 7 pasos los cuales se presentarán a continuación:



**Imagen 8.** Pasos metodología. Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1. Elección caso de estudio

Se optó por estudiar la copropiedad de “El buque”, ubicado en Av. Carlos Valdovinos 1640, en la comuna de Pedro Aguirre Cerda, debido a que poseía patologías ad-hoc a las lesiones mecánicas definidas como caso de estudio en esta investigación. La estructura del edificio “El buque” es de hormigón armado y presenta desprendimiento de hormigón y enfierraduras a la vista en el área de la circulación horizontal y vertical. Se eligieron estas áreas debido a que son mas accesibles para hacer el levantamiento y análisis general. Las imágenes 10, 11 y 12, muestran los daños en elementos de hormigón en las áreas seleccionadas.



**Imagen 9.** El buque. Fuente: Kamila Maldonado.

#### 3.2. Realización de entrevistas desestructuradas

Como segundo paso se consideró hacer entrevistas para cada etapa en la que se necesitaran validar con expertos el desarrollo de las distintas etapas de la investigación.

Primero se tuvo la reunión con la profesora Elizabeth Ávalos ya que ella es experta en la térmica de viviendas sociales. Posteriormente se consideraron reuniones con profesores expertos en el área de la construcción, Francis Pfenniger, Verónica Veas y Mauricio Loyola. Por otro lado, se contactó con el arquitecto Diego Ramírez, que se dedica a hacer fotogrametrías y levantamientos con escáner laser 3D. Finalmente, también se consideraron

reuniones con profesores expertos en modelamiento 3D e impresión digital, Camilo Guerreo para el conocimiento de Rhinoceros y Grasshopper y Paula Ulloa de la Universidad del Bío Bío para impresión 3D, Rhinoceros, Grasshopper y KUKA prc.

### 3.3. Evaluación y levantamiento de lesiones – casos de estudio

Se completaron 3 diferentes visitas al edificio en estudio para la captura de imágenes con miras a la creación de fotogrametrías. La primera visita se enfocó en el conocimiento principal de las lesiones que existan dentro de la copropiedad. En este proceso se obtienen las primeras fotos y la selección de las 3 lesiones mecánicas que se usarían dentro del estudio.

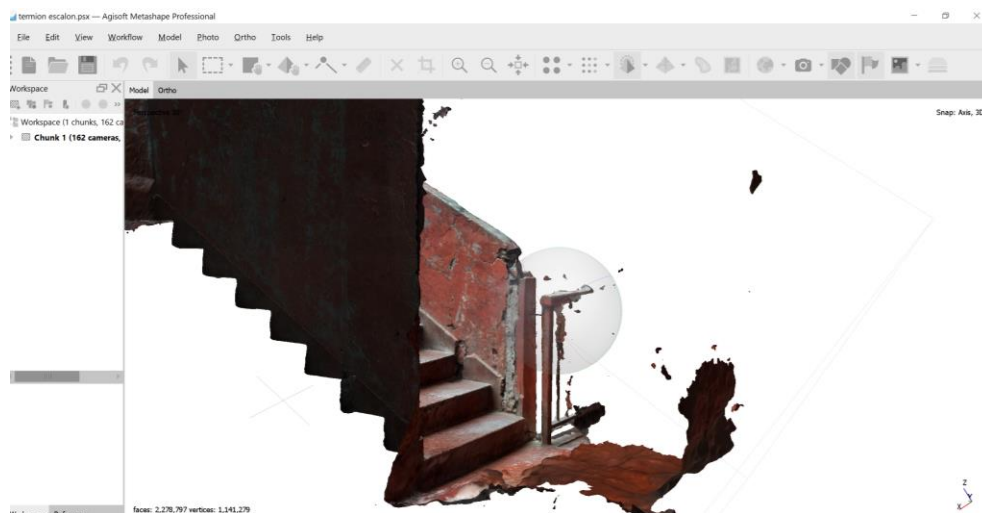


**De izq. a der. Imagen 10.** Caso 1. **Imagen 11.** Caso 2 **Imagen 12.** Caso 3. Fuente: Elaboración propia

Las 2 visitas siguientes permitieron capturar más imágenes y mejorar el desarrollo de las fotogrametrías. Durante este tiempo, se concretó la reunión con Diego Ramírez, obteniendo así una guía en el proceso de levantamiento fotogramétrico y calibración con el software Agisoft.

### 3.4. Desarrollo de fotogrametrías

Durante la segunda visita al edificio “El buque” se tomaron aproximadamente entre 70 y 80 fotografías para procesar cada lesión en Agisoft. Tras hacer el primer levantamiento, debido a la falta de precisión de algunas fotos, para del proceso se tuvo que repetir, debido a errores e inconsistencias dentro de las primeras fotogrametrías. Durante la tercera visita se completo una nueva ronda de fotos para cada caso de lesiones y así un resultado más fidedigno tras procesar las imágenes en el programa.



**Imagen 13.** Malla poligonal texturizada ya procesada en Agisoft. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se desarrollaron varios intentos para crear un sólido a partir de la malla generada en Agisoft. La malla poligonal generada en Agisoft era solo una superficie y no un sólido. Esta malla posteriormente fue exportada a Rhinoceros para comenzar a explorar formas de crear un volumen cerrado, que pudiese emplearse para impresión 3D. Este proceso no se culminó con éxito, por lo que se buscó ayuda mediante entrevistas con profesoras expertos en modelamiento 3D e impresión 3D.

### 3.5. Visitas técnicas

Para conocer de primera fuente cómo funciona una impresora 3D con hormigón se completaron 2 visitas técnicas, la primera al centro CYTED de la Universidad del Bío Bío en Concepción y la segunda a la oficina de arquitectura y diseño gt2P, donde el profesor y arquitecto Sebastián Rozas, académico de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, es uno de los socios fundadores.

#### Visita técnica a la Universidad del Bío Bío

Se realizó un viaje de 3 días a la Universidad del Bío Bío, Concepción, para ver in situ cómo opera y se imprime un modelo 3D en hormigón. Además, se realizó un workshop para familiarizarse con el uso del Plugin KUKA prc y la preparación del código para el robot KUKA.

También participamos del proceso de preparación y alimentación de la mezcla de hormigón de alimenta la bomba del brazo robótico. El proceso se puede resumir de la siguiente manera: en primer lugar, luego de que el operador del robot reciba el código para la pieza que se imprimirá, este debe hacer aproximadamente 5 pruebas de testear el código, se hace que el robot ejecute la rutina completa sin la bomba de hormigón, esto para asegurarse que el código viene sin errores, que las piezas no chocarán entre si, y asegurarse de que el robot pueda concretar todos los movimientos requeridos para hormigonar la pieza que en particular se le está pidiendo.



**Imagen 14.** Kuka. Fuente: Pedro Soza.

En paralelo, se comienza la creación de la mezcla, la cual ha sido definida según la cantidad de porcentajes que requiere de arena fina, arena gruesa, cemento, cal, aditivos y agua, anotados todos en una planilla de cálculo.

En este punto se pueden ver también algunas desventajas que posee esta tecnología, la rapidez con la que se tiene que crear la mezcla, debido a que esta se endurece rápidamente, por lo que fácilmente tapa la manguera de bombeo, y los problemas que pueden existir de hardware y software. En la visita técnica, al momento de probar un código para imprimir una pieza, el robot detuvo su accionar y la impresión no pudo llegar correctamente a su fin.

#### **Visita oficina de gt2P, Arquitecto Sebastián Rozas**

En segundo lugar, y a una escala mas pequeña, se concretó la visita a la oficina gt2P, con el Arquitecto Sebastián Rozas, donde se pudo ver la experimentación que existe detrás de la creación de piezas y diseños nuevos con impresión 3D, ya sea en impresoras que imprimen

con filamento PLA, hormigón o arcilla. Aquí también se pudo ver otras problemáticas que posee la impresión 3D, el problema que generan las burbujas que quedan dentro de la mezcla y el problema de que al momento de imprimir son mecanismos diferentes, por un lado está la boquilla que se mueve a través de ejes con respecto a un código de coordenadas y por otro lado la bomba que alimenta el extrusor, que solo se dedica a extruir el material, sin ser capaz de retraerlo, para detenerse o para ir de un lugar a otro en el proceso de impresión sin expulsar el material, debido a esto se generan problemas al momento de imprimir, los cuales deben ir siendo solucionados en la marcha y a través de experimentación. A modo de ejemplo en el caso de la impresora que se tenía de arcilla, al extrusor se le tuvo que agregar una pieza que, al terminar el recorrido de impresión, inmediatamente tape el extrusor, para que se detenga la salida de material y este no estropee la pieza.

### 3.6. Creación de maquetas de prueba

Para comprobar, a nivel conceptual, la factibilidad de la creación de piezas y su posterior unión a la estructura inicial se crearon 3 maquetas, con el fin de poder analizar en cada caso como irían las amarras y enfierraduras, así como el tamaño de las piezas con respecto a su sección. Este ejercicio sirve también para hacer una cubicación aproximada del material para imprimir las piezas en una impresora 3D de hormigón como el robot KUKA usado en el centro CYTEC de la Universidad del Bío Bío.

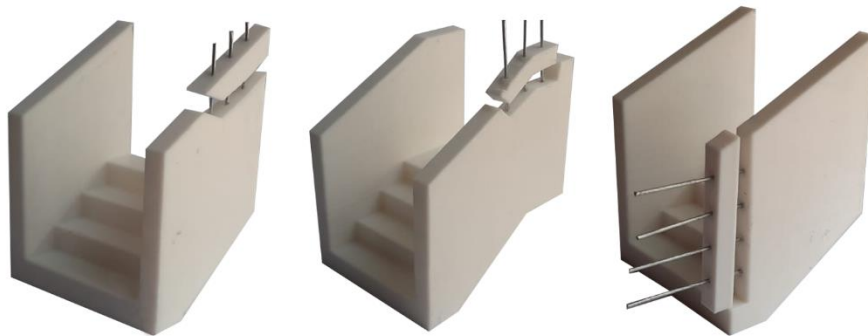


Imagen 15. Caso 1 Imagen 16. Caso 2. Imagen 17. Caso 3 Fuente: Elaboración propia.

### 3.7. Modelación del flujo de trabajo

Para completar el flujo de trabajo, en primera instancia se propuso la creación del molde negativo al sólido generado a partir de la malla exportada por el proceso de fotogrametría y por otro lado existía el interrogativo como iba a ser la mezcla que se considerase dentro del flujo de trabajo, teniendo en consideración que este debería de poseer enfierradura y esto es un problema aun dentro de la tecnología de la impresión 3D.

En este punto se concretaron tres diferentes reuniones para resolver estas dudas, por un lado, con el profesor Mauricio Loyola, para analizar la solución final de como la pieza impresa

en 3D se podría anclar a la estructura dañada posterior a su regularización, y definir lesiones mecánicas autosoportantes, o sea, que no fuesen lesiones estructurales. Esto debido a la complejidad que requeriría la reparación de piezas estructurales. Por otro lado, se llegó a la decisión de considerar la pieza hecha con filamentos que funcionaran dentro de la mezcla a modo de enfierradura, y anclar la pieza a través de enfierraduras que irían unidas a la estructura dañada y a la pieza creada previamente con perforaciones para esta pueda encajarse y unirse con mortero aditivo.

Por otro lado, se conversó con la profesora Verónica Veas para revisar el proceso de reparación de elementos en hormigón armado, así como el procedimiento previo a la reparación. Finalmente, con la profesora Paula Ulloa, se estudiaron alternativas para generar una solución final al modelamiento de la pieza de vaciado, o molde negativo y completar así el proceso de trabajo de inicio a fin, propuesto en esta investigación. Como decisión final se tomó que, para completar el diseño de la pieza, se debe modelar la pieza faltante de la lesión sobre la malla creada en el software de fotogrametría.

#### 4. Resultados

A continuación, se presenta el resultado de este trabajo, sintetizado en un diagrama de flujo que retrata la metodología desarrollada para capturar y resolver lesiones mecánicas en construcciones de hormigón armado y repararlas usando impresión 3D. A continuación, se explicará cada etapa y como esta se desarrolla dentro del flujo de trabajo.

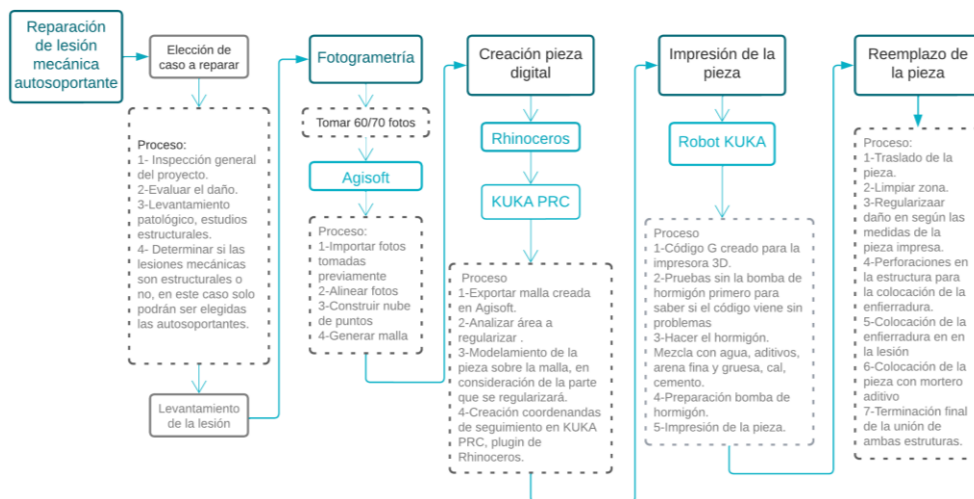


Imagen 18. Flujo de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del flujo de trabajo se contemplaron 5 pasos importantes:



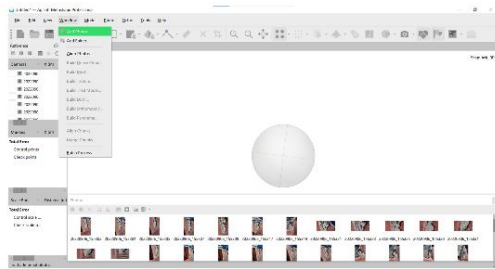
#### **4.1. Selección caso a reparar**

Tras elegir un caso con las problemáticas de hormigón armado, con lesiones mecánicas autosoportantes en hormigón armado, comienza la primera fase de evaluación, la cual consta de cuatro pasos: inspección general del proyecto, evaluación del daño, levantamiento patológico, y estudios estructurales determinando si las lesiones son estructurales o no.

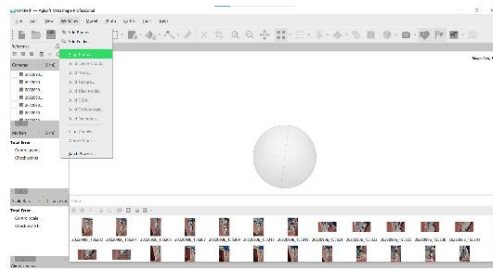
#### **4.2. Desarrollo fotogrametrías**

Posteriormente, para completar la evaluación del caso a reparar se deben completar el levantamiento fotogramétrico de las lesiones seleccionadas. Para esto, en terreno, se debe colocar una marca que indique medidas. En este estudio se utilizó una cinta de papel con medidas cada 10 cm. Esto se realiza para posteriormente escalar la fotogrametría.

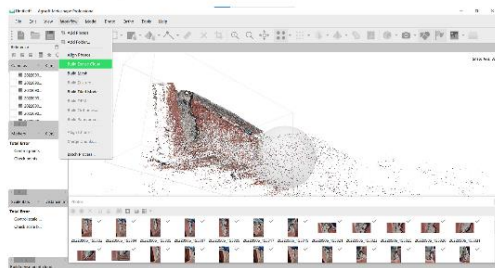
Como se puede ver en la imagen 19, el proceso de construcción de las fotogrametrías consta de 9 pasos. En primer lugar, se deben importar las fotos previamente tomadas en terreno. En segundo lugar, se deben alinear las fotos. En tercer lugar, se debe construir una nube densa de puntos. En cuarto lugar, se crea la malla poligonal. Si bien tras ejecutar este proceso la malla poligonal ya está cerrada, ella no tiene escala ni medida alguna, es por esto que en el paso 5 se ajustan las unidades de medida en metros, para posteriormente en el paso 6 añadir dos marcadores y con ellos se crea una barra de escala en el paso 7. En octavo lugar, se añade la distancia que existe en la realidad entre las líneas dentro del marcador. Finalmente, en noveno lugar, se debe exportar la malla a un archivo 3dm para que sea posible abrir en Rhinoceros.



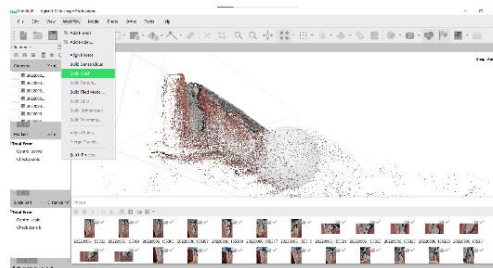
Paso 1: Importar fotos.



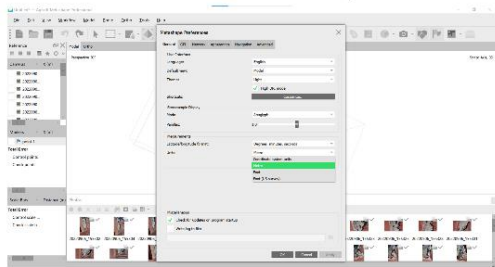
Paso 2: Alinear fotos.



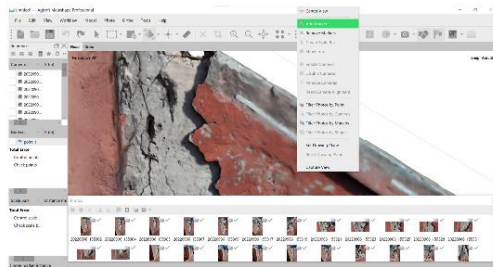
Paso 3: Construir nube densa de puntos.



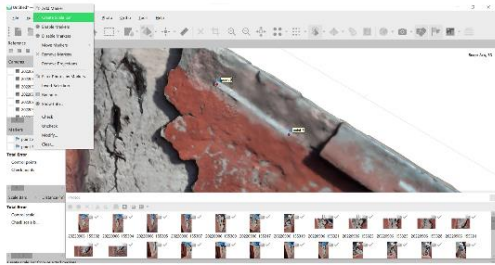
Paso 4: Construir malla.



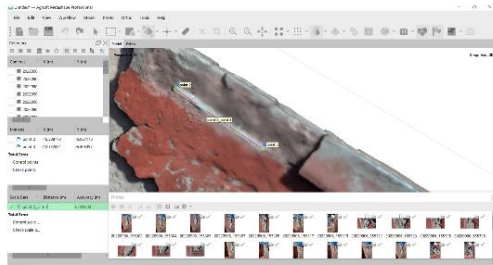
Paso 5: Unidades en metros.



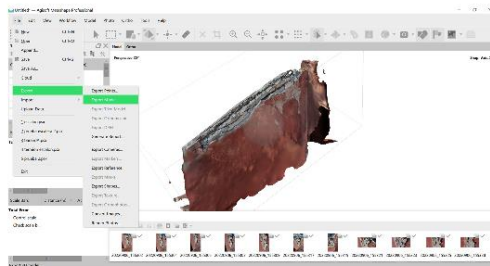
Paso 6: Añadir 2 marcadores.



Paso 7: Crear barra de escala.



Paso 8: Poner distancia entre los 2 puntos.



Paso 9: Exportar modelo a archivo 3dm.

Imagen 19. Proceso fotogrametría. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Creación de la pieza

Tras haber creado la malla poligonal en Agisoft, esta se exporta a Rhinoceros. En el modelo poligonal se debe analizar área a regularizar. Posteriormente, se debe hacer el modelamiento de la pieza sobre la malla, en consideración de la parte que se regularizará. Para que la pieza se conecte a la estructura se deben incluir perforaciones en la pieza a imprimir, las que después también deberán hacerse en el área a reparar para asegurar la unión final. Finalmente, con el plugin KUKAprc se debe crear la rutina de coordenadas de impresión que seguirá el robot de impresión.

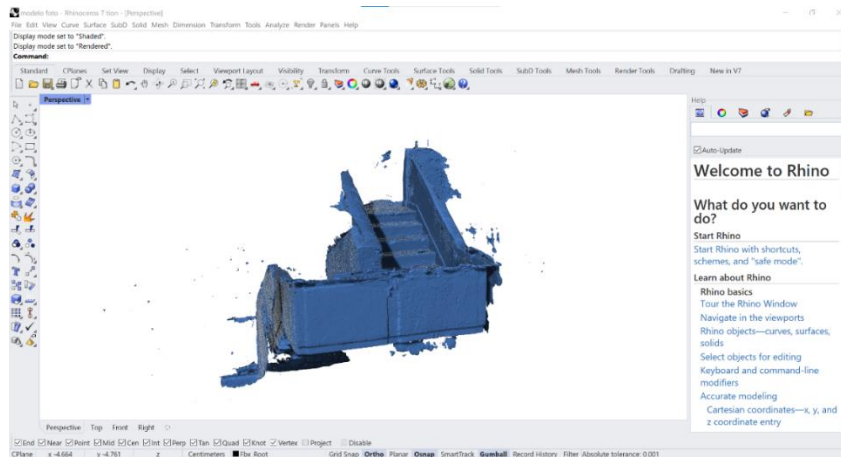


Imagen 20. Modelado de la pieza. Fuente: Elaboración propia.

### 4.4. Impresión de la pieza.

- Con el modelo 3D se genera el código de impresión, y con este código se procede a la impresión de la pieza.

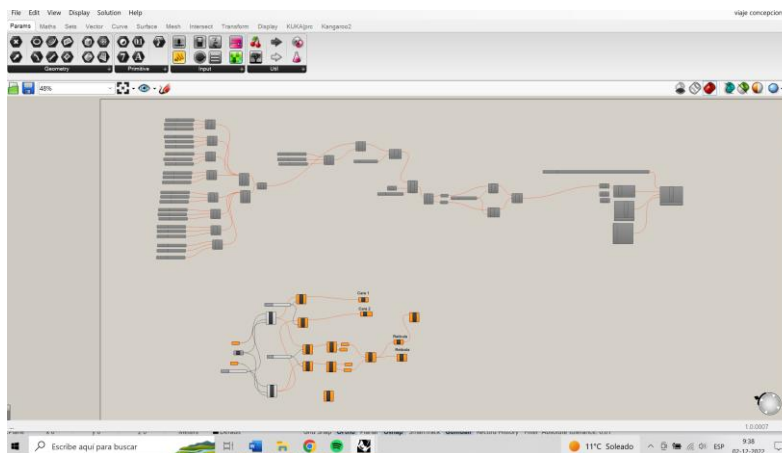
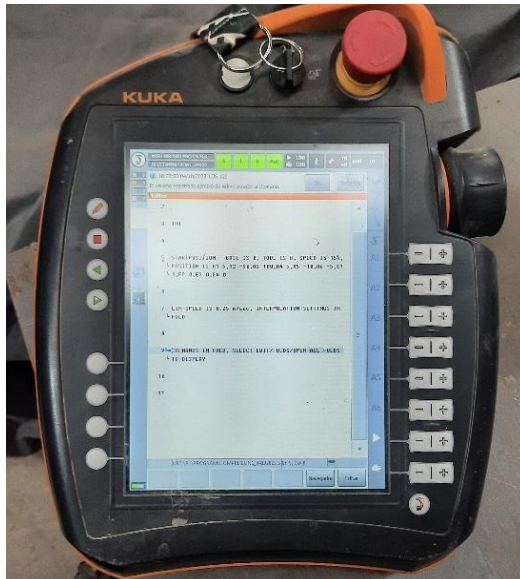


Imagen 21. Ejemplo de trabajo en Grasshopper creado en viaje a Concepción. Fuente: elaboración propia.

Para confirmar que el código no tenga fallas, errores o tenga movimientos que el robot no pueda completar se deben hacer una serie de pruebas sin la bomba de hormigón conectada. Esto a través de un operador que controla robot a través de un comando como el de la imagen 22.



**Imagen 22.** Comando KUKA. Fuente: elaboración propia.

En paralelo a este proceso, se hace la mezcla de hormigón, que lleva agua, aditivos, arena fina, arena gruesa, cal, cemento. Luego esta mezcla se debe introducir a la bomba de hormigón, que mediante una manguera extruirá el material a presión.



**Imagen 23.** Bomba hormigón. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la bomba se conecta al brazo robótico y a la boquilla de impresión adosada al cabezal del brazo, para que este puede comenzar a imprimir la pieza.



**Imagen 24.** Impresión en proceso. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.5. Reemplazo de la pieza**

Para completar la reparación, se debe limpiar la zona a reparar, regularizar el daño en base a la pieza creada previamente, perforar la zona para la posterior colocación de las enfierraduras, traslado de la pieza impresa al lugar de la reparación, colocación de la enfierradura, colocación de la pieza con mortero aditivo y finalmente la terminación final uniendo ambas estructuras para que trabajen de manera conjunta.

A modo de discusión de resultados, en primera instancia existieron diversas problemáticas a lo largo del desarrollo de este estudio. En primer lugar, se tomó como decisión analizar 1 caso con 3 lesiones diferentes dentro del mismo edificio. Esto fue beneficioso debido a que se hizo el levantamiento fotográfico dentro del mismo proyecto, lo que facilitó la rapidez de la toma de imágenes y la evaluación de las lesiones.

En cuanto a la fotogrametría no estuvo considerado más de 1 visita para la toma de fotos, pero debido a la falta de información de fotos, se tuvo que concretar una segunda visita de toma de fotos, atrasando el proceso de trabajo. La situación más compleja en el total del flujo de trabajo fue el cierre de la malla, ya que en un principio se buscó crear un objeto "sólido" en Rhinoceros. Ello fue descartado tras reuniones con profesores expertos, debido a

la complejidad y densidad que posee la malla exportada desde Agisoft. Por ello finalmente se tomó la decisión de modelar sobre dicha malla la pieza a reparar.

En cuanto a oportunidades a futuro, se puede considerar la creación de plantillas al momento de modelar la pieza en Rhinoceros, o sea, regularizar el daño en primera instancia en el proceso de modelado 3D, para posteriormente en terreno constatar con certeza la situación empleando, por ejemplo, una plantilla para cortar y regularizar la lesión. Por otro lado, también se puede considerar la creación de un catálogo de lesiones para la posterior agilización de lesiones similares.

Por otro lado, debido a que el robot no puede imprimir dos piezas por separado, debido a que la bomba no es capaz de reabsorber material, en un futuro se vislumbra que con este problema solucionado podría agilizarse el flujo de trabajo imprimiendo varias piezas al mismo tiempo, pero aun así cuidando siempre la capacidad máxima de mezcla que puede contener la bomba de inyección de material. Otra oportunidad de desarrollo es la investigación y experimentación con distintos tipos de boquillas a utilizar al momento de imprimir la pieza, ya que estas determinan las medidas que posee el cordón impreso. Por ejemplo, el robot KUKA usado en la Universidad del Bio Bío extruye un cordón de 1cm por 4cm, lo cual delimita la precisión posible de alcanzar. Con una boquilla más pequeña las medidas del cordón extruido serían diferentes.

Finalmente, no se puede obviar que un problema presentado fue la falta de conocimientos avanzados de técnicas de modelamiento con Rhinoceros, o alguna otra herramienta de modelación 3D, para lograr generar un molde negativo de la malla, lo cual, de poder concretarse en un futuro, entregaría más fidelidad a la pieza creada y exactitud al modelo de flujo de trabajo propuesto.

## **5. Conclusiones**

En conclusión, luego de haber analizado exhaustivamente la lógica secuencial necesaria para la elaboración de un flujo de trabajo para impresión de elementos y piezas en 3D, destinadas a la reparación de lesiones mecánicas existentes en edificios, y basado en el uso intensivo de herramientas digitales como Agisoft, Rhinoceros, Grasshopper y KUKA prc, y robot de impresión en hormigón 3D, se puede afirmar que es factible generar un flujo de trabajo que relacione las tecnologías mencionadas anteriormente.

El desarrollo de esta investigación permite adquirir conocimiento sobre el proceso de creación de fotogrametrías y como usar estas dentro de un flujo de reparación, para evaluación de lesiones y levantamiento casos de estudio, también se crearon y exportaron mallas poligonales desde Agisoft a Rhinoceros, resolviendo los problemas que aparecieron en este proceso, y encontrando una solución para la creación de la pieza final, la cual fue modelar sobre la malla poligonal, usándola de referencia. También se logró completar y comprender el flujo de trabajo que posee la etapa de la impresión 3D. Al respecto, las visitas

técnicas fueron fundamentales para comprender el uso de todas las herramientas digitales que demandó la creación de la propuesta del flujo de trabajo.

Por otro lado, se detectan posibles mejoras al modelo del flujo de trabajo propuesto, desde la agilización de la creación de piezas, logrando sacar la pieza en negativo de la malla exacta, la creación de plantillas en base a la regularización de la malla poligonal, hecha previamente en el modelo 3D, el mejoramiento tecnológico de la capacidad de la impresora 3D de hormigón de imprimir más de 1 pieza con miras a agilizar tiempos, y la experimentación de tamaños de boquillas y cordones. Todo esto podría conllevar a futuros caminos vinculados a esta investigación con miras a optimizar el flujo de trabajo propuesto, mejorado cada etapa a la luz de sus desafíos respectivos.

Finalmente, se considera una contribución inicial la utilización de estas tecnologías para la reparación de lesiones mecánicas autosoportantes dentro de viviendas sociales de hormigón armado, ya que como se mencionó a lo largo de la investigación, no se encuentra gran información de piezas por separado impresas que hayan sido utilizadas para la reparación de edificaciones existentes, siendo esta una gran oportunidad dentro del área de desarrollo tecnológico, una oportunidad para seguir investigando como este proceso, apenas aquí esbozado, podría enriquecerse con la exploración de más líneas de trabajo.

## **Agradecimientos**

Agradezco especialmente a los profesores de la escuela que me apoyaron durante este proceso, Verónica Veas, Mauricio Loyola y Camilo Guerrero. Por otro lado, a la profesora Paula Ulloa y al estudiante Tomas Acuña Vásquez de la Universidad del Bío Bío por su apoyo durante el viaje y consultas. Finalmente, a la Universidad del Bío Bío, por abrir sus puertas al centro CYTED.

## **Referencias**

Al Jassmi H, N. F. (2018). Large-Scale 3D Printing: The Way Forward.

Architecture, A. f. (2022). Association fot Robots in Architecture. Obtenido de <https://www.robotsinarchitecture.org/kuka-prc>

Breseghele L. R. N. (2022). Enhanced Design and Process Control for Robotic 3D Concrete Printing.

Broto, E. d. (2005). Enciclopedia Broto de patologías de la construcción. .

CASEN. (2019). Región Metropolitana de Santiago encuesta CASEN 2017: Resultados vivienda y entorno Seremi de Desarrollo Social Metropolitano.

CChC. (2019). Balance de Vivienda y Entorno Urbano Anexo 2.

- CChC. (2019). Balance de Vivienda y Entorno Urbano.
- CChC. (2022). CCHC REALIZÓ PRIMER ENCUENTRO NACIONAL DS27-DS255 EN TEMUCO CON FOCO EN MEJORAR EL DÉFICIT CUALITATIVO DE VIVIENDAS. Obtenido de <https://cchc.cl/comunicaciones/noticias/cchc-realizo-primer-encuentro-nacional-ds27-ds255-en-temuco-con-foco-en-mejorar-el-deficit-cualitativo-de-viviendas>
- Doyle, S. E. L. (2019). Dissolvable 3D printed formwork.
- Fundación Vivienda. (2018). Déficit Habitacional cuantitativo.
- García-Alvarado, R. (2021). 'Architectural Evaluation of 3D-Printed Buildings' .
- García-Alvarado, R. G. M.-O.-P. (2021). Architectural Evaluation of 3D-Printed Buildings.
- KUKA. (2022). KUKA 120 R2500 pro. Obtenido de [www.kuka.com](http://www.kuka.com)
- Metashape. (2021). <https://www.agisoft.com/>
- MINVU. (2018). Manual de Reparaciones y Refuerzos Estructurales.
- Peng Wu, J. W. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction.
- Rhinoceros. (2022). rhino3d. Obtenido de <https://www.rhino3d.com/es/features/>
- S&p. (2019). Patologías en edificaciones: cuáles son las más frecuentes y cómo se originan. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/patologias-edificaciones/>
- Shakor, P. S. N. (2019). A Study into the Effect of Different Nozzles Shapes and Fibre-Reinforcement in 3D Printed Mortar.
- Shirowzhan, F. T. (2020). Criteria development for sustainable construction manufacturing in Construction Industry 4.0: Theoretical and laboratory investigations.
- TECHO. (2021). Catastro Nacional de Campamentos 2020-2021 INFORME EJECUTIVO.
- Teizer, J A. B. (2016). Large Scale 3D Printing of Complex Geometric Shapes in.
- Yuhong, L. F. (2014 ). Study on the Status Quo and Problems of 3D Printed Buildings in.



# **Análisis y evaluación de las posibilidades de una máquina Router CNC de tres ejes para la fabricación de uniones carpinteras patrimoniales**

**Estudiante:** Katalina Genoveva Zambrano García

**Profesor guía:** Felipe López Taverne

## **Resumen**

Las tecnologías más avanzadas de mecanizado robótico nos permiten desarrollar la mayoría de las uniones carpinteras, con el objetivo de optimizar su elaboración y que éstas no desaparezcan a lo largo del tiempo. Sin embargo, se alejan de ser una alternativa de construcción asequible para quienes buscan implementar una herramienta de control computarizado en su oficio. Es por esto, que en esta investigación se analizan y evalúan las posibilidades de una máquina de fresado CNC de tres ejes para delimitar su alcance geométrico en relación a la fabricación de uniones carpinteras y deslumbrar el sistema como una oportunidad accesible para el oficio carpintero. Finalmente, mediante prototipos, se distingue la cantidad de uniones posibles a elaborar con una máquina de fresado CNC de tres ejes, los criterios de fabricación y las diferencias en las tolerancias de ingreso a utilizar según dos variables principales: el tipo de madera y el tipo de encuentro.

**Palabras clave:** Fabricación digital, Uniones carpinteras, Carpintería de armar, Máquinas CNC, Oficios.

## 1. Introducción

La madera como material constructivo en Chile está presente desde los primeros asentamientos en el territorio, dado al abundante acceso al material que se mantiene hasta el día de hoy. Asimismo, se fueron desarrollando diversas técnicas constructivas que optimizaron su uso en pos de la construcción arquitectónica. (Borrás, 2010) Sin duda, la madera se trabaja en base a uniones, como dice Böhme y Ansaldo (2019): Se pueden distinguir tres clases de unión para el encuentro de los miembros de un entramado de madera según el medio de transmisión de los esfuerzos: mecánica, carpintera y su combinación.

La carpintería de armar, oficio que trabaja la madera tallada, evidencia una paulatina desaparición dado a diversos factores, uno de ellos mencionados en la siguiente cita; donde el tiempo y la manufactura, juegan un rol sumamente importante ya que suponen una barrera en su uso constructivo en la actualidad.

*“Situación de desplazamiento y olvido, en la cual el tiempo funciona como un factor clave al confeccionar una unión carpintera tradicional.” (Verdugo Bascuñán, 2020, p. 5)*

El estudio Reconstrucción robotizada del patrimonio arquitectónico chileno en madera, consolidan la factibilidad de desarrollar las uniones carpinteras mediante la fabricación digital parametrizada y robots industriales como una alternativa flexible, rápida y con baja tasa de errores en su manufactura. (González Böhme et al., 2017)

No obstante, su acceso es limitado en términos de costo y, además, este tipo de maquinaria no es usual en la industria de la construcción ni menos en la carpintería de armar. (González Böhme et al., 2017) Por esto mismo, se ve como una alternativa la implementación de una maquinaria más sencilla que pueda fabricar las uniones carpinteras como una máquina de fresado CNC de tres ejes, las cuales ya se han masificado en otros oficios como por ejemplo mobiliarios de fabricación local.

Bajo la misma línea, existe una iniciativa de democratizar el acceso a estas máquinas CNC, uno de esos ejemplos es el emprendimiento llamado Fácil CNC, donde sus máquinas de fresado son diseñadas y fabricadas en Chile con 80% de materia prima nacional. (FácilCNC, 2022) Cabe mencionar, que se encuentran fresadoras CNC desde tres ejes hasta los seis ejes; a medida que se aumenta el número de ejes, se pueden controlar más dimensiones en relación con la pieza, pero también hay que tomar en consideración que el aumento de ejes va de la mano con el alza del precio. (Garrigues, 2022)

Las máquinas de fresado CNC de tres ejes que poseen las herramientas mínimas para poder fabricar una cantidad determinada de uniones carpinteras factibles, se contempló como una oportunidad asequible que apoya al oficio carpintero y facilita el desarrollo de las uniones logrando un buen nivel de manufactura.

Dado a lo anterior, esta investigación determinó cuál es la cantidad aproximada de uniones carpinteras posibles de fabricar mediante una máquina de fresado CNC de tres ejes y se

comprendió desde sus restricciones, qué cambios son necesarios ya sea en la máquina o en la geometría de las uniones, para desarrollar la mayor cantidad de uniones carpinteras patrimoniales posibles.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Uniones carpinteras patrimoniales**

El arte carpintero o carpintería de armar, es un trabajo que contempla técnicas de gran complejidad, dado a que exige una precisión única y largas horas de trabajo al momento de fabricar una unión carpintera, y que, para un buen desarrollo del ensamble es fundamental una mano de obra calificada. (Verdugo Bascuñán, 2020)

Sin embargo, en la actualidad el saber-hacer carpintero y las uniones carpinteras, están paulatinamente desapareciendo a partir del olvido de la cultura tradicional de armar. Verdugo (2020) en su trabajo de Uniones carpinteras: Tradición técnica y cultura de un oficio, identifica aspectos tanto culturales como técnicos como los causantes de la pérdida de este oficio, y al mismo tiempo, poner en valor y reactivar la carpintería de armar.

La técnica y geometría de las uniones carpinteras desarrolladas en Chile ha sido profundamente estudiada y documentada, principalmente en Valparaíso y Chiloé, lugares donde se concentran y se busca conservar el patrimonio de las uniones. Además, el levantamiento de estas uniones facilita un orden en términos de clasificación y criterios para fabricar de manera rigurosa y metódica cada unión carpintera. (González Böhme & Maino Ansaldo, 2019)

### **2.2. Valor cultural y casos de restauración**

Es pertinente destacar que el valor no está solo en la arquitectura, sino más bien en la técnica rudimentaria del saber propio y su identidad, que se forma en compañía de la abundancia de la madera, la cual permite la construcción de diversos artefactos esenciales, versátiles y presentes dentro de lo cotidiano en la cultura chilena. El patrimonio inmaterial relacionado a la carpintería es abundante en la zona sur de Chile, como la carpintería de ribera tradicional en la Región de Los Lagos que construye embarcaciones de madera mediante técnicas manuales aprendidas de generación en generación. (SNPC, 2020)

Por otro lado, se reconoce un constante desarrollo en la elaboración de los elementos debido a la creciente innovación tecnológica. Esto no quita que entre ambas se puedan complementar, la tecnología y los oficios tradicionales, de modo que se genere un equilibrio entre lo tradicional y la era computarizada para reforzar la conservación de estas técnicas constructivas y culturales. (Roldán Tonioni, 2015)

Parte del patrimonio de la humanidad son las Iglesias de Chiloé, consideradas dentro del Consejo de Monumentos Nacionales, las cuales fueron producto del mestizaje entre los

jesuitas y chilotes gracias a la Misión Circular empleada en la zona por el grupo religioso jesuita. La UNESCO declaró a 16 de estas Iglesias de Chiloé como SPM (Sistema de Patrimonio Cultural y Museos), las cuales fueron evaluadas tanto en su valor cultural como en el ámbito integral del edificio. Esta última revisión, es primordial para definir cuáles requieren de medidas de restauración para conservar lo más posible la originalidad del modelo. (CMN, 2014)

Uno de los casos de restauración fue la Iglesia de San Francisco de Castro, en la que se trabajó por tres etapas: primeramente, se ejecutó una limpieza exhaustiva de insectos alojados en las secciones de madera de las naves, en segundo lugar, se reemplazaron diversas piezas deterioradas que provocaban el desaplome de las torres, las cuales contaban con diferentes tipologías de uniones que se documentaron y reprodujeron de forma exacta en cada pieza y finalmente, una intervención de pinturas de color característicos de la iglesia dado al desgaste que presentaban las superficies exteriores. (Berg Costa, 2007)

Además de las Iglesias de Chiloé, existen los Galpones del Lago Llanquihue, que cuenta con diversos casos que son necesarios de atender y valorizar histórica y arquitectónicamente. La técnica constructiva de los galpones fue traída en su mayoría por alemanes desde 1846, levantando estas estructuras para almacenar paja y resguardar a sus animales del frío. (Webmaster, 2015)

*“El proceso es como armar un rompecabezas: al haber sido contruidos sin pernos ni clavos, sólo por medio del ensamblaje, se enumeran las maderas y vigas, se desmontan, y luego se vuelven a armar en otro lugar.” (Pérez Barros, 2015)*

Dado a su característica desarmable, varios de estos galpones se reciclan o reutilizan, rescatando elementos estructurales o interiores como cerchas y puertas que luego daban origen a proyectos nuevos o a la restauración del mismo.

### **2.3. Incorporación tecnológica al oficio**

La incorporación tecnológica al oficio desprende principalmente dos variables, una de ellas es el uso de la tecnología como una herramienta que facilite la fabricación de un determinado elemento, sin perder de vista la fabricación en detalle del artefacto que aporta el saber propio de un obrero calificado, y, por otro lado, el uso de la tecnología como una herramienta de producción en masa, utilizado por industrias con el fin de automatizar el proceso de elaboración. (González Böhme et al., 2017)

Entendiendo estas dos formas de elaboración, se distingue un factor en común, que es la accesibilidad. Para un obrero que fabrica un artefacto a nivel local con respecto a una tecnología compleja, como un robot industrial, el acceso es mínimo o casi irreal. Sin embargo, una empresa o una institución académica podría introducir robots industriales.

En el caso de la carpintería o el trabajo en madera, la técnica va en constante evolución, que se denomina Industria 4.0 en estructuras de madera, la cual opera con tecnologías inteligentes a fin de explorar mayores posibilidades geométricas de construcción y de

producción avanzada. Esto en relación a que actualmente la mayoría de las estructuras en madera se fabrican con maquinarias CNC, produciendo uniones diseñadas para el montaje manual, lo cual habla de una adaptación en el desarrollo de fabricación de las uniones en la construcción. (Eversmann, 2019)

#### **2.4. Adaptación de la geometría**

Inicialmente, debemos comprender lo que implica la práctica del diseño, en otras palabras, problematizar el enfoque del diseño antes de definir una metodología de investigación, un proceso en el que el problema y la solución surgen juntos. De modo que, al diseñar un proceso de fabricación se parametricen límites que ordenen los datos y faciliten su futura relación a modo reflexivo entre lo práctico y lo teórico. (Frankel & Racine, 2010)

*“El diseño es tanto una disciplina de creación como un marco integrado de reflexión e investigación. Esto significa que la investigación del diseño busca explicaciones además de resultados inmediatos.” (Friedman, 2000, p. 20)*

En definitiva, es entender la importancia de las relaciones entre la acción y el procedimiento de manera sincrónica; considerando el diseño y la fabricación de uniones carpinteras, se pone en vista su elaboración a partir de herramientas digitales mecanizadas. Estos sistemas podrían contar con limitaciones a la hora de construir una unión, las cuales se deberán identificar a modo de centrar la atención en la geometría de las uniones, en el caso de que no se puedan fabricar, para optimizar el ensamble de las respectivas uniones.

En el estudio Tsugite: Interactive Design and Fabrication of Wood Joints por Larsson et al., (2020) se llevó a cabo un sistema que facilita la creación de juntas personalizadas mediante una interfaz de modelado, en la que se identificaron diversas restricciones en la máquina de fresado CNC de tres ejes que decidieron utilizar dado a su asequibilidad. Detectaron dos limitaciones importantes que estudiaron para obtener posibles soluciones y llegar a la medida más correcta.

Mayencourt & Mueller (2017) en su estudio desarrollan la optimización topológica en vigas de madera, mediante un proceso de fresado sustractivo CNC y un algoritmo de optimización, con el objetivo de reducir la cantidad de uso del material hasta un 50% de su peso original y hacer más eficiente su sistema. Sin duda, estas iniciativas son un gran aporte para fomentar un tipo de trabajo similar de optimización en otros elementos estructurales o constructivos como, por ejemplo, incorporar a los carpinteros de armar o de ribera en la industria 4.0

### **3. Métodos**

#### **3.1. Objetivo**

La investigación busca evaluar las posibilidades geométricas de la máquina de fresado CNC de tres ejes para la fabricación de uniones carpinteras patrimoniales, y a su vez, determinar cuáles son las dificultades o restricciones transferibles al momento de utilizar este tipo de mecanizado.

Para esto, se debió subdividir el proceso en tres etapas dado a que hubo una adquisición de conocimientos de manera progresiva: una teórica, otra de inmersión previa y finalmente, la distinción de una variable a experimentar: la tolerancia de ingreso.

#### **3.2. Revisión metodológica y elaboración de categorizaciones**

La primera etapa requirió un trabajo a nivel teórico, con lectura de investigaciones aplicadas para contemplar y analizar los sistemas metodológicos empleados para desarrollar un estudio práctico. Dentro de este marco, se utilizaron como referencia investigaciones respecto al diseño con Frankel & Racine (2010) y la fabricación digital de uniones en madera con González Böhme et al. (2017) y también estudiado por Larsson et al. (2020).

Por otro lado, se abstrajo documentación respecto a uniones carpinteras patrimoniales de Valparaíso documentado por González Böhme y Maino Ansaldo (2019) y de Chiloé por Verdugo Bascuñán (2020), donde se clasificaron las ya preexistentes y se seleccionó un set de uniones a fabricar como prototipos.

Finalmente se elaboró una categorización de cinco máquinas Router CNC de tres ejes manufacturadas en Chile, con el objetivo de compararlas a partir de su accesibilidad en costo y sus características más fundamentales para la fabricación de uniones carpinteras. Esto consideró un trabajo de cotización a distintos agentes comerciales a fin de evaluar y presentar distintas opciones.

#### **3.3. Inmersión previa**

Entendiendo el trabajo experimental que requiere la investigación, se hizo una primera aproximación a una máquina Router CNC de tres ejes para entender a grandes rasgos su funcionamiento. Por un criterio de accesibilidad se utilizó una Router CNC, de marca Techno CNC modelo LC Series 4896, que se encuentra disponible en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo en la Universidad de Chile.



**Figura 1:** Router CNC LC Series 4896. Fuente: Elaboración propia.

La Router CNC LC Series 4896 opera mediante la interfaz Techno CNC entre el programa Rhinoceros 5 y el plugin RhinoCAM MILL 2014. Por esto, se comenzó a elaborar modelos digitales con distintos tipos de ensamblajes y empalmes posibles de fabricar en tres ejes, para verificar la factibilidad de su fabricación en consideración de los procedimientos necesarios para realizar cortes en cada pieza de madera.

Con el objetivo de familiarizarse con la madera, se llevó a cabo una inspección de maderas, esto para luego seleccionar las más adecuadas y adaptarlas a las características necesarias para fabricar piezas carpinteras. A partir de esto, se evidenció un desconocimiento práctico en la fabricación de piezas de madera estandarizadas, por lo que se realizó una capacitación dentro del taller de prototipos disponible en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

Estandarizadas las piezas de madera, se seleccionó una unión carpintera según el nivel de representación y uso habitual en las estructuras de madera patrimoniales, el ensamblaje cola de milano, con el fin de observar y sistematizar el proceso de elaboración de una pieza carpintera con la Router CNC a partir de su programación digital desde el computador hacia la máquina. En este ejercicio se jerarquizaron los hallazgos más pertinentes respecto a la configuración y calibración de la máquina al momento de fabricar un ensamblaje. La configuración consistió en cuatro pasos fundamentales:



**Figura 2:** Configuración y calibración de las uniones en la máquina Router CNC LC Series 4896.

Fuente: Elaboración propia.

- **Stock:** En el Box Stock se visualizó el estado del dibujo para verificar si son correctas las dimensiones pre-definidas y se creó un volumen teórico con las dimensiones seleccionadas: largo, ancho y alto.
- **Align:** Con el Align Stock se definió desde qué superficie comienza a ejecutarse el corte en el eje Z, que en este caso es desde arriba (Top), y la alineación del volumen en el eje XY en el centro (Center). Sin embargo, la alineación en el eje XY podría ubicarse en cualquier posición dado a que el dibujo no tiende a moverse por las dimensiones exactas establecidas en el Box Stock. Luego en el Set World C.S se seleccionó el volumen creado anteriormente en el Box Stock, la superficie cero en la altura más alta en Z y la posición cero desde donde se trabaja el corte de la unión, esta depende de la orientación establecida en el dibujo.
- **Machining Operations 2 Axis:** La mayoría de los cortes a ejecutar son perimetrales (Profiling) y de extracción interior de material (Pocketing). En esta sección se configuró la geometría de la unión, la fresa a utilizar, la dirección de corte, la profundidad de corte total que se puede definir por capas, las medidas de seguridad (Clearance plane) y las velocidades del motor con la herramienta. Finalizado el procedimiento, se generó la forma de corte y se creó un archivo.
- **Techno CNC Interface:** El archivo se subió a la interface, el cual se pre-procesa para obtener el tiempo que toma en fabricarse el corte, y luego se comenzó a trasladar la fresa hacia el punto de coordenadas cero, definido en el segundo paso Set World C.S, y finalmente se conforman todas las coordenadas en (0,0,0) para darle paso a la Router a cortar.

### 3.4. Criterios de fabricación de uniones

Es necesario tener en cuenta el corte máximo de profundidad dado por las fresas disponibles y por la altura del puente de la máquina. En el estudio, las fresas disponibles en el taller alcanzaban un corte hasta de 65 mm lo cual permitió y limitó cortar secciones de 2"x3" a 2"x6", siendo el espesor de las piezas de aproximadamente 40-50 mm. Con esos datos ya definidos, se estableció el largo de las piezas acorde a dos zonas: una donde se trabajaría el corte de la unión y otra donde se ubicarían las respectivas perforaciones para fijar las maderas con tornillos al tablero de MDF ubicado sobre la superficie de trabajo de la máquina.

Claro lo anterior, se dibuja un rectángulo teórico en 2D en el programa Rhinoceros considerando las medidas pre-establecidas para contemplar el área total de cada pieza a trabajar. Las dimensiones del rectángulo fueron de 65 mm de ancho y 230 mm de largo, este último considera las dos zonas mencionadas anteriormente, una para la unión y otra para las perforaciones. Al elaborar la geometría de cada unión, se modificó sus esquinas interiores dado a que la morfología de la fresa no permite hacer ángulos rectos. La fabricación de uniones carpinteras a partir de un mecanizado de control computarizado distingue una serie de condicionantes o restricciones que se deben tomar en cuenta posterior a la hora de fabricar los prototipos. Es por esto, que se realizó un cuadro que ordena estas variables y



señala las que son transferibles para cualquier persona o las que son condicionantes propias.

**Tabla 1:** Criterios de fabricación de uniones carpinteras. Fuente: Elaboración propia.

Condicionantes   Restricciones	Criterios de fabricación	Herramientas	Condicionante propia o transferible
Movilidad de la máquina en tres ejes: X, Y y Z	Uniones posibles de fabricar en tres ejes	Máquina Router CNC y software de modelado	Transferible
Restricción en la fabricación de ángulos rectos por la morfología de la fresa	Adaptación de las esquinas interiores rectas a curvas	Geometría determinada por su diámetro	Transferible
Disponibilidad de fresas con corte máximo de profundidad de 65 mm	Maderas con dimensiones entre 2"x3" a 2"x6"	Fresas de diámetro 9.4 mm y 12.7 mm	Propia
Fijación de los listones a la superficie de trabajo mediante tornillos y un tablero	Definir una zona para las perforaciones dentro del listón de madera	Taladro, broca de 4 mm, punta phillips y tornillos de 60 mm	Propia
Distinguir si la unión trabaja el contacto y fricción	Se requiere considerar una tolerancia de ingreso	Máquina Router CNC y software de modelado	Transferible
Uso temporal de las herramientas y de la máquina según disponibilidad	Horarios determinados por la FAU mediante solicitud de horas de trabajo en la Router CNC y de herramientas anexas	Facilitadas por los laboratorios de la facultad (prensas, taladro, máquinas de corte, etc..)	Propia

### 3.5. Variable experimental

La primera prueba de fabricación de un ensamble arrojó una serie de interrogantes y observaciones al momento de configurar el archivo y en el proceso de corte. Éstas fueron fundamentales a la hora de determinar el foco de la investigación aplicada. Acorde a las anotaciones del primer prototipo, se repitió la fabricación del ensamble hasta obtener cinco variantes del mismo en distintas medidas. El número de variantes se definió respecto a la forma resultante a la hora de efectuar el encuentro, por lo tanto, el resultado solo se podía visualizar al momento de estar las dos piezas listas físicamente y unir las entre sí. Cada

variante poseía fallas y afirmaciones, las cuales se utilizaron de manera complementaria para lograr el resultado final más óptimo.

En los cinco prototipos se observó de manera predominante una variable y desde ese hallazgo se definió el eje central de experimentación: la tolerancia de ingreso. Utilizando como base los resultados finales de los primeros cuatro prototipos, se desencadenó una serie de fabricación de uniones para testear en distinta medida los tipos de encuentro: ensamble y empalme. Estas fabricaciones de diversas uniones según su tipo de encuentro fueron a modo de comprobar datos numéricos en torno a la tolerancia de ingreso y contemplar si esta debía ser modificada conforme a otras variables tales como el tipo de madera, la dirección de la fibra, el tipo de encuentro y el estado de la madera.

La mayoría de los prototipos se trabajaron con pino radiata seco dado a que su venta es predominante y asequible dentro de Santiago. Sin embargo, se gestionó el envío de maderas chilotas para probar los distintos tipos de madera y adicionalmente, considerar que el uso y elaboración de las uniones carpinteras se concentra en la zona sur con maderas nativas. También es necesario mencionar que el estado exacto de las maderas era desconocido dado a que su obtención fue a través de aserraderos, lugares de recolección habitual de madera para un carpintero chilote, y no mediante venta con datos técnicos, por lo tanto, las observaciones obtenidas en este estudio son de carácter aproximado y no regularizado.



**Figura 3:** Variables a estudiar en torno a la tolerancia de ingreso. Fuente: Elaboración propia.

## 4. Resultados

### 4.1. Categorización

Existen uniones que físicamente trabajan una o dos variables de manera simultánea, que son: el contacto y la fricción. Estas variables se dan según si las piezas se posan una sobre la otra (contacto) o si las piezas al intersectarse producen roce entre sus caras (fricción). En el caso de que la unión cuente con ambas, se debió considerar una tolerancia de ingreso, dado a que cuando la madera se somete a corte, ésta desprende una textura astillosa que no permite el paso de las piezas entre sí.

En base a lo anterior, se abstraigo la información ya documentada de uniones carpinteras de Valparaíso por Böhme & Ansaldo (2019) y Chiloé por Verdugo (2020), donde se clasificaron respecto a si se podían fabricar en tres ejes y se seleccionaron las cuatro más representativas en términos de su tipo de encuentro, uso estructural, los esfuerzos que trabajan y si poseen contacto y fricción.

**Tabla 2:** Uniones seleccionadas para elaborar prototipos. Fuente: Elaboración propia.

Uniones Seleccionadas	Tipo de encuentro	Secciones aproximadas	Contacto y fricción	Uso estructural	Esfuerzos
Media madera en cruz oblicua	Ensamble oblicuo	2"x3" ~ 2"x4"	Sí	Sistemas arriostrados	Compresión y tracción
Media cola de milano	Ensamble perpendicular	2"x4" ~ 2"x6"	Sí	Envigado de piso y de cielo	Tracción
Rayo de júpiter	Empalme continuo	2"x4" ~ 2"x8"	Sí	Extensión de vigas	Compresión, tracción y flexión
Caja y espiga unilateral	Ensamble de esquina	2"x4" ~ 4"x4"	Sí	Elementos verticales	Compresión

La categorización se hizo con todas las uniones documentadas en los textos señalados anteriormente, el trabajo completo se puede encontrar al final del documento en el anexo número 1. De este mismo, se recogieron datos en relación a la fabricación de uniones carpinteras patrimoniales. Los criterios que determinaron la factibilidad de fabricación en tres ejes fue en base al ingreso de la unión en una sola dirección con dos piezas, ya sea desde el canto, cara o testa del listón de madera; y también, por la restricción de ángulos rectos o ángulos que no sean posibles de alcanzar por la Router CNC LC Series 4896. Como, por ejemplo, se modificaron las esquinas interiores en cada una de las piezas del ensamble media cola de milano y empalme rayo de júpiter a esquinas curvas para poder fabricarlas; en el caso de la caja y espiga unilateral, se modificaron solo las esquinas interiores de una pieza, la caja, para el ingreso de la otra: la espiga.



**Figura 4:** Ensamble media madera en cruz oblicua. Fuente: Elaboración propia.



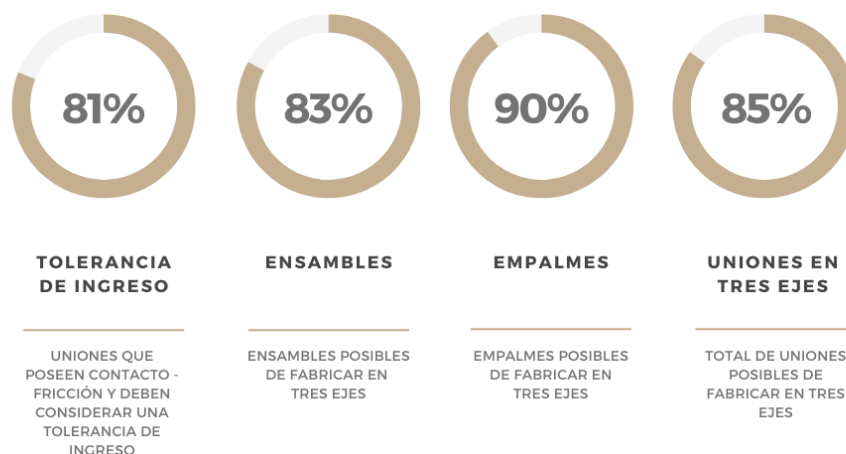
**Figura 5:** Ensamble media cola de milano. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6:** Empalme rayo de júpiter. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 7:** Ensamble caja y espiga unilateral. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 8:** Variables en relación a la fabricación de uniones en tres ejes. Fuente: Elaboración propia.

Al mismo tiempo, se elaboró una categorización de cinco mecanizados Router CNC de tres ejes donde la búsqueda se reduce a maquinarias fabricadas en Chile, ya que conseguir máquinas importadas requiere más trabajo en su inversión y acceso; además, se contempla la viabilidad de inversión por medio de un agente que trabaje a nivel local, como un carpintero que desee implementar manufactura avanzada a su oficina. Los elementos a considerar en la categorización se dieron a partir de las necesidades que se fueron identificando a medida que se manipulaba la Router CNC LC Series 4896, exceptuando el precio que es por criterios de accesibilidad.

**Tabla 3:** Categorización máquinas Router CNC elaboradas en Chile. Fuente: Elaboración propia.

Equipo Router CNC	Valor	Área de trabajo (X, Y y Z)	Tipo de mesa	Profundidad máxima de corte	Potencia del motor	Altura puente	Tipo de estructura	Grado de transporte (peso – dimensión)	Uso
La artesana ECUT	\$3.116.523	600x900x105 mm	Ranura T-Slot	50 mm	1,5 KW	105 mm	Sobremesa de acero	Compacta 120 kg Trasladable	Local
FácilCNC M-120	\$5.990.000	1200x1200x110 mm	No tiene (tablero)	100 mm	2,2 KW	110 mm	Perfiles de acero	Amplia 130 kg Estacionaria	Industrial
Router CNC LD Cimech 3D	\$2.589.990	1000x1000x70 mm	Ranura V-Slot tipo C	50 mm	3,36V 2,8A	70 mm	Perfiles de aluminio	Compacta 78,3 kg Trasladable	Local
Router CNC TodoCortes	\$3.990.000	600x900x200 mm	Ranura T-Slot	50 mm	3,2 KW	200 mm	Perfiles de acero	Compacta - Estacionaria	Semi-industrial
Router ER-1325 ECUT	\$8.782.216	1300x2500x200 mm	Ranura T-Slot	100 mm	3,2 KW	200 mm	Hierro fundido y perfiles de acero	Amplia 1300 kg Estacionaria	Industrial

Las relaciones que se identificaron fueron principalmente en torno a la profundidad máxima de corte, que va subordinada según la potencia del motor, la altura del puente y la fresa a utilizar, que, en ese mismo orden, sería una relación de velocidad, movilidad máxima en el eje Z y la herramienta de corte. Desde el punto de vista del material, la madera posee una cierta rigidez que somete a la fresa a una determinada exigencia cuando realiza cortes, por lo que idealmente se deberían utilizar fresas no menores de 10 mm aproximadamente, esto también para evitar riesgos de rotura de la herramienta. En cuanto al largo de la fresa, el criterio se establece de acuerdo al espesor de la madera seleccionada.

Por otro lado, se consideró el grado de transporte que está condicionado por el tipo de estructura y su materialidad empleada que, generalmente, tienden a ser estructuras metálicas que brindan estabilidad y un peso más liviano. También se contempló el formato de la máquina en sus dimensiones, ya que esto en conjunto del peso, indican el nivel de dificultad de transportar la máquina; esto claro, en vista de emplear o situar la máquina en dos escenarios distintos: de forma estacionaria en un taller o movilizarla constantemente a terreno.

El tipo de mesa y su área de trabajo establecieron criterios respecto a la forma en que se fijan los elementos a trabajar dentro de la superficie, esto es más restrictivo a la hora de trabajar tableros, pero con listones de madera no supone mayor problema dado a que se trabajan pequeñas secciones. Sin embargo, la dificultad podría estar en listones de madera muy largos en máquinas compactas con áreas de trabajo que no puedan sostener el total, para ello habría que seleccionar máquinas de dimensiones amplias o construir otros soportes para sostener el largo total del listón, como por ejemplo una mesa. En esta investigación se hicieron prototipos a una escala de muestra y la forma de fijación fue perforando las maderas y atornillando las piezas a una mesa de sacrificio, utilizando un tablero de MDF clavado sobre la mesa.

## **4.2. Prototipos**

La primera prueba de fabricación de uniones, un ensamble cola de milano en una dirección de fibra, distinguió errores respecto a su tolerancia de ingreso ya que se utilizó una tolerancia de 2 mm y al momento de encajar ambas piezas quedaba demasiada holgura y no cumplía su función de manera correcta (Figura 9). En un segundo intento se corrige la tolerancia a 0.3 mm, sin embargo, las curvaturas interiores no concordaban con el diámetro de la fresa de 9.4 mm que se empleó debido a que en el dibujo eran más estrechas y se tomó como referencia una fresa de 6.4 mm aproximadamente, el ingreso se fuerza y el conjunto se vuelve indesarmable (Figura 11.1). En la tercera y cuarta prueba se fabricaron dos uniones con distintas tolerancias una con 0.5 mm y luego de ver el resultado de la primera, otra con 0.2 mm, ya que en la primera se distinguió un desarme fácil entre ambas piezas por su holgura (Figura 10). En cambio, la unión fabricada con tolerancia de ingreso de 0.2 mm opuso más resistencia al desarme y solo se deslizaba 1 mm en el sentido en respuesta a la tracción que es normal en el tipo de unión cola de milano (Figura 12). Por último, se fabrica una quinta unión con 0.1 mm de tolerancia y las piezas no ingresan (Figura 11.2)



**Figura 9:** Ensamble cola de milano prototipo 2 mm | Desplazamiento a tracción de 15 mm.



**Figura 10:** Ensamble cola de milano prototipo 0.5 mm | Desplazamiento a tracción de 3 mm.



**Figura 11:** 1. Ensamble cola de milano prototipo 0.3 mm curvaturas interiores estrechas |  
2. Ensamble cola de milano prototipo 0.1 mm no ingresa. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 12:** Ensamble cola de milano prototipo 0.2 mm ingreso eficaz | Desplazamiento a tracción de 1 mm.

Dado al resultado final, se planteó comprobar la tolerancia de ingreso de 0.2 mm en otras morfologías, para verificar si funcionaba esta tolerancia en otros modelos o si era necesario modificarla según su tipo de encuentro: ensamble o empalme.

Se probó en los ensambles quijera y en media madera en cruz, dado a que los dos contaban con gran contacto y fricción entre las caras de cada pieza (Figura 13 y 14). El resultado fue eficaz y se comprobó que la tolerancia 0.2 mm es aplicable en uniones de tres ejes con las características mencionadas anteriormente. Por otro lado, se analizaron dos empalmes que son el pico de flauta y el rayo de júpiter donde a ambos se les aplicó tolerancia de ingreso 0 dado a que solo trabajaban el contacto (Figura 15 y 16), el resultado del empalme pico de flauta fue concordante a la teoría, sin embargo, con el rayo de júpiter todas sus caras no lograban encontrarse de manera correcta y se generaba un leve desplazamiento entre las piezas. Dado a este hallazgo, se fabricaron dos rayos de júpiter uno con tolerancia 0.1 mm y otro con tolerancia 0.2 mm y en el último el calce fue eficiente (Figura 17).



**Figura 13:** Empalme quijera prototipo tolerancia 0.2 mm.



**Figura 14:** Empalme media madera en cruz prototipo tolerancia 0.2 mm.



**Figura 15:** Empalme pico de flauta prototipo tolerancia 0 mm. }





**Figura 16:** Empalme rayo de júpiter prototipo tolerancia 0 mm | Desfase en las caras y piezas.



**Figura 17:** Empalme rayo de júpiter prototipo tolerancia 0.2 mm | Contacto y fricción eficaz.

Por otro lado, se hicieron pruebas a nivel geométrico de dos ensambles dado a que poseían mayor complejidad en la morfología de ensamblaje y en su fabricación más allá de la tolerancia de ingreso. Estos fueron el ensamble caja y espiga unilateral donde se desarrollaron una serie de espigas en torno a una caja; y el ensamble media madera en cruz oblicua donde el trabajo se enfocó en hallar la distancia angulada correcta.

La caja poseía dimensiones en su ancho, largo y alto (X, Y y Z) de 32.9 mm, 40 mm y 25 mm, por lo que en la serie de espigas se distinguieron diferencias milimétricas entre una y otra. En el caso de la espiga uno y tres hubo diferencias en sus largos por 1 mm, que en la primera no permitió el ingreso de la espiga y en la tercera la espiga quedaba con holgura. Desde la espiga uno a la cuatro se tomaron en consideración las diferencias y se llegó a la espiga número cinco con buen ingreso y oposición al desarme (Tabla 5 y figuras siguientes)

**Tabla 4:** Prototipos tolerancia de ingreso en pino radiata seco. Fuente: Elaboración propia.

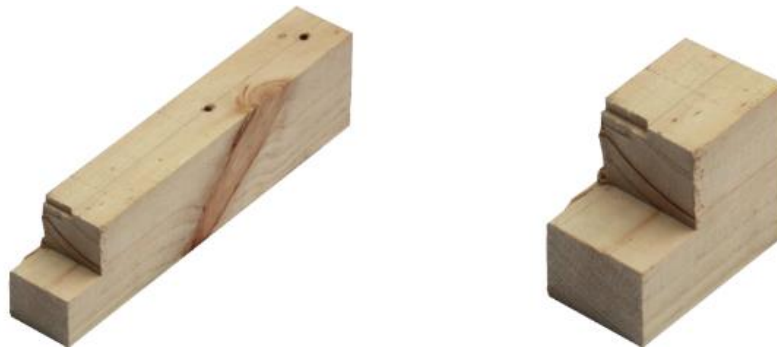
Tipo de encuentro	Dirección de la fibra	Tipo de madera	Estado de la madera	Tolerancia de ingreso 2 mm	Tolerancia de ingreso 0.5 mm	Tolerancia de ingreso 0.3 mm	Tolerancia de ingreso 0.2 mm	Tolerancia de ingreso 0.1 mm	Tolerancia de ingreso 0 mm
Ensamble cola de milano	Continúa, una dirección	Pino radiata	Seco	Holgura amplia, desplazamiento a tracción: 15 mm	Desarme fácil por la holgura, desplazamiento a tracción: 3 mm	Curvaturas estrechas, no se puede desarmar	Ingreso eficaz y oposición al desarme, desplazamiento a tracción: 1 mm	No ingresa	-
Ensamble quijera	Continúa, una dirección	Pino radiata	Seco	-	-	-	Ingreso eficaz y oposición al desarme, no hay desplazamiento	-	-
Ensamble media madera en cruz	Perpendicular dos direcciones	Pino radiata	Seco	-	-	-	Ingreso eficaz y oposición al desarme, desplazamiento de 1 mm	-	-
Empalme pico de flauta	Continúa, una dirección	Pino radiata	Seco	-	-	-	-	-	El contacto es eficaz
Empalme rayo de júpiter	Continúa, una dirección	Pino radiata	Seco	-	-	-	El contacto y fricción es eficaz	Desfase en las piezas de madera 1.5 mm	Desfase en las caras de la unión 1mm y en las piezas 3 mm
Ensamble media cola de milano	Perpendicular dos direcciones	Pino radiata	Seco	-	-	-	Ingreso eficaz pero posee un levantamiento en la otra cara de 1.5 mm	No ingresa por la tolerancia y diferencia en las curvas	-
Ensamble media cola de milano	Continúa, una dirección	Pino radiata	Seco	-	-	Ingreso eficaz y desarme ligeramente más fácil	Ingreso eficaz y oposición al desarme, posee más firmeza	-	-

**Tabla 5:** Caja y espiga unilateral, estudio de espigas en torno a una caja. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de encuentro	Dirección de la fibra	Tipo de madera	Estado de la madera	Espiga 1 (X, Y y Z)	Espiga 2 (X, Y y Z)	Espiga 3 (X, Y y Z)	Espiga 4 (X, Y y Z)	Espiga 5 (X, Y y Z)
Caja y espiga unilateral	Perpendicular, dos direcciones	Pino radiata	Seco	X: 32.5 mm Y: 41 mm Z: 25 mm No ingresa	X: 31 mm Y: 40 mm Z: 26 mm Holgura amplia	X: 32 mm Y: 39 mm Z: 25 mm Holgura amplia	X: 32.5 mm Y: 40 mm Z: 25 mm Holgura de 0.5 mm en su ancho	X: 33 mm Y: 40 mm Z: 25 mm Ingreso eficaz



**Figura 18:** Dimensiones (X Y y Z) de la pieza caja del ensamble caja y espiga.



**Figura 19:** Detalle espiga 1 | No ingresa a la caja.



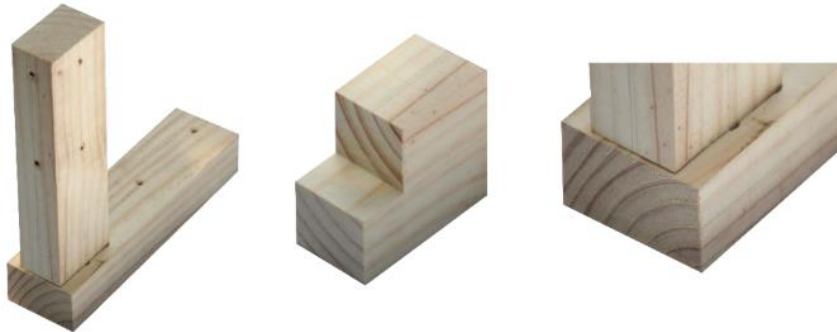
**Figura 20:** Ensamble caja y espiga unilateral | Detalle espiga 2 | Detalle ensamblaje.



**Figura 21:** Ensamble caja y espiga unilateral | Detalle espiga 3 | Detalle ensamblaje.



**Figura 22:** Ensamble caja y espiga unilateral | Detalle espiga 4 | Detalle ensamblaje.



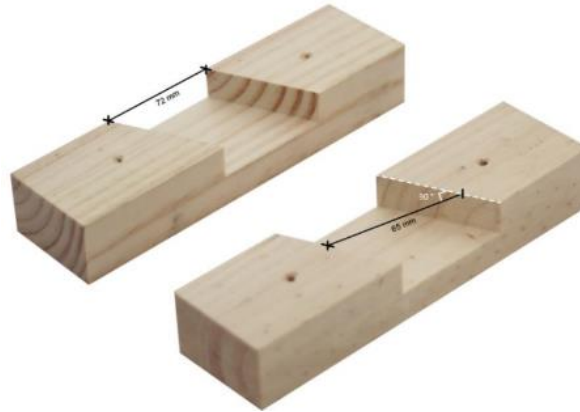
**Figura 23:** Ensamble caja y espiga unilateral | Detalle espiga 5 | Detalle ensamblaje.

Cabe mencionar que en esta serie de espigas se definió un sentido distinto de corte en la espiga respecto a su dirección en el eje Z, ya que requirió fijar la pieza desde la superficie del canto y no desde la cara como se hizo en la mayoría de los prototipos realizados en esta investigación. Esto porque en el caso de aplicarse el corte en el sentido de la cara, habría contemplado una curvatura interior y no el ángulo recto que se buscaba obtener para el buen funcionamiento del conjunto.

**Tabla 6:** Media madera en cruz oblicua, estudio de la distancia angulada. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de encuentro	Dirección de la fibra	Tipo de madera	Estado de la madera	Media madera 1 distancias	Media madera 2 distancias	Media madera 3 distancias
Media madera en cruz oblicua	Oblicua, dos direcciones	Pino radiata	Seco	Distancia ancho: 65 mm Distancia ángulo: 59 mm No ingresa	Distancia ancho: 70 mm Distancia ángulo: 63 mm No ingresa	Distancia ancho: 72 mm Distancia ángulo: 65 mm Ingreso eficaz

Para el segundo ensamble, media madera en cruz oblicua, se requirió considerar la distancia de manera perpendicular al ángulo para que el ingreso fuera eficaz, lo cual se deslumbra en el primer caso donde la distancia se toma de manera paralela al ancho y el ingreso no es posible.



**Figura 24:** Esquema de distancias en su ancho y de forma perpendicular al ángulo.

**Tabla 7:** Prototipos tolerancia de ingreso con madera nativa en diferentes estados.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de encuentro	Dirección de la fibra	Tipo de madera	Estado de la madera	Tolerancia de ingreso 0.2 mm	Tolerancia de ingreso 0.1 mm	Tolerancia de ingreso 0 mm
Ensamble media cola de milano	Continúa, una dirección	Canelo	Semi-húmedo	Holgura amplia, desplazamiento a tracción: 2 mm	Holgura amplia, desplazamiento a tracción: 3 mm	-
Ensamble media cola de milano	Continúa, una dirección	Mañío	Seco	-	Ingreso eficaz y oposición al desarme, no hay desplazamiento	Ingreso eficaz y mayor oposición al desarme, no hay desplazamiento
Ensamble media cola de milano	Continúa, una dirección	Coigüe	Húmedo	-	Ingreso eficaz, desplazamiento a tracción: 2 mm	Ingreso eficaz, desplazamiento a tracción: 1 mm



**Figura 25:** Ensamble media cola de milano prototipo en canelo con tolerancia 0.2 mm.



**Figura 26:** Ensamble media cola de milano prototipo en canelo con tolerancia 0.1 mm.



**Figura 27:** Ensamble media cola de milano prototipo en mañío con tolerancia 0.1 mm.



**Figura 28:** Ensamble media cola de milano prototipo en mañío con tolerancia 0 mm.



**Figura 29:** Ensamble media cola de milano prototipo en coigüe con tolerancia 0.1 mm.

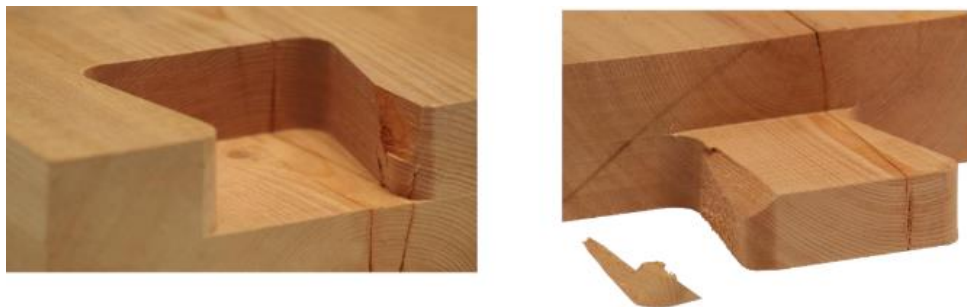


**Figura 30:** Ensamble media cola de milano prototipo en coigüe con tolerancia 0 mm.

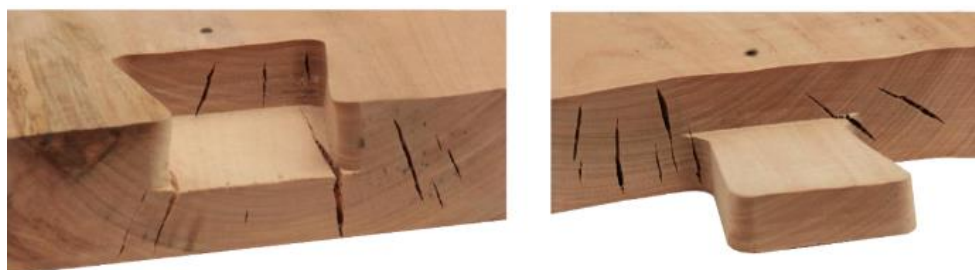
Las maderas en estado húmedo y semi-húmedo contemplaron deformaciones al pasar de los días respecto a su albura y vellosidades producidas por el corte. El canelo comenzó a secarse y aumentó el tamaño de las grietas de su albura y en el caso del coigüe con tolerancia 0, las piezas ingresaban solo hasta la mitad por las vellosidades, pero estas se comprimieron al perder agua en su composición y permitieron el ingreso completo del ensamblaje, pero con una holgura que está en constante crecimiento dado al estado húmedo de la madera en proceso de secado.



**Figura 31:** Detalle rotura y crecimiento de las grietas de la albura en el canelo semi-húmedo}



**Figura 32:** Detalle desprendimiento de fragmentos en el maño seco.



**Figura 33:** Detalle de las grietas en el coigüe húmedo en proceso de secado.

Fuente: Elaboración propia.

## 5. Conclusiones

La investigación en términos generales comprobó que se puede fabricar la mayoría de uniones carpinteras patrimoniales en una Router CNC de tres ejes, en la cual se evaluaron distintas geometrías y condiciones en el material que comprendieron tres hallazgos importantes en relación a la máquina y la fabricación de uniones:

Las máquinas Router CNC de tres ejes no restringen el uso de diferentes estados en la madera, lo cual facilita la obtención de cualquier tipo de madera independiente de su estado ya que no es necesario un requerimiento específico de su condición; al testear maderas nativas en Chiloé también nos indica que las máquinas Router CNC de tres ejes si se podrían integrar al oficio carpintero chilote. Es necesario mencionar y tener en consideración que las maderas en estado húmedo y semi-húmedo corren el riesgo de deformación y que, por consecuencia, se modifican las dimensiones y estructura de la unión.

Los cambios geométricos en las uniones apuntan fundamentalmente en la incapacidad de la máquina de fabricar ángulos rectos interiores que se reemplazan por curvas que distinguen un cambio en la geometría de la unión, pero en menor medida. La reproducción de la mayoría de las uniones es sencilla, ya que principalmente las uniones involucran la intersección entre dos piezas donde el tiempo de fabricación con la máquina, no requiere largas horas de



trabajo; en geometrías simples toma entre 5 a 10 minutos por pieza y las más complejas entre 15 a 30 minutos por pieza aproximadamente.

La tolerancia de ingreso fluctúa principalmente entre dos variables: el tipo de madera y el tipo de encuentro; en el caso de las maderas nativas, éstas tienden a requerir entre 0.1 mm y 0 mm de tolerancia de ingreso en los ensambles, contrario al pino radiata que generalmente requiere un mínimo de 0.1 mm y un máximo de 0.3 mm según la morfología del ensamble, ciertamente se distinguen mejores resultados aplicando 0.2 mm de tolerancia en la mayoría de los ensambles, pero depende del caso. También existen uniones particulares que en pino radiata no requieren tolerancia de ingreso dado a su disposición geométrica, como la media madera en cruz oblicua y la caja y espiga unilateral. Respecto a los empalmes que al trabajar solo el contacto no suelen necesitar tolerancia de ingreso, aunque si hay excepciones como el rayo de Júpiter.

Finalmente, se destaca que los oficios tradicionales integrados a la manufactura avanzada contemplan grandes oportunidades de crecimiento e incentivo en su aplicación habitual que, puede fomentarse desde el uso local hasta la industria 4.0 de manera asequible y promisorio. Por otro lado, se visualizan futuras investigaciones experimentando con diferentes tipos de madera, encuentros o analizar el comportamiento estructural de las uniones en respuesta a diversos esfuerzos como la compresión, tracción o flexión.

## Agradecimientos

Quiero agradecer especialmente a Carlos Muñoz Técnico Mecánico del Laboratorio CNC en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile por su guía en el desarrollo de los prototipos en esta investigación y a Jaime López guía turístico de The Ancud y Costa Pacífico por la gestión y envío de las maderas nativas de Chiloé.

## Referencias

- Berg Costa, L. (2007). Restoration in Chiloé (Chile): The Church of Castro. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 20(1), 126-141.
- Borrás, X. (2010, octubre 20). Desde la choza hasta la arquitectura de vanguardia del siglo XXI: Breve historia de la madera como material de construcción [Industria de la madera]. Interempresas. <https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-de-construccion.html>
- CMN. (2014, mayo 31). Iglesias de Chiloé [Institucional]. Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. <https://www.monumentos.gob.cl/patrimonio-mundial/lista-actual/iglesias-chiloe>
- Eversmann, P. (2019). Concepts for Timber Joints in Robotic Building Processes Introduction: Computational Development of Timber Structures and Joining Techniques. En M. Hudert

- & S. Pfeiffer (Eds.), *Rethinking Wood Future Dimensions of Timber Assembly* (p. 296). Birkhauser.  
[https://www.researchgate.net/publication/334479738\\_Concepts\\_for\\_Timber\\_Joints\\_in\\_Robotic\\_Building\\_Processes\\_Introduction\\_Computational\\_Development\\_of\\_Timber\\_Structures\\_and\\_Joining\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/334479738_Concepts_for_Timber_Joints_in_Robotic_Building_Processes_Introduction_Computational_Development_of_Timber_Structures_and_Joining_Techniques)
- FácilCNC. (2022). Sobre Nosotros [Empresa]. <https://facilcnc.jumpseller.com/>
- Frankel, L., & Racine, M. (2010, julio 7). The Complex Field of Research: For Design, through Design, and about Design. Design and Complexity - DRS International Conference 2010, Montreal, Canada. <https://dl.designresearchsociety.org/drs-conference-papers/drs2010/researchpapers/43>
- Friedman, K. (2000). Creating design knowledge: From research into practice. 114212 bytes. <https://hdl.handle.net/2134/1360>
- Garrigues. (2022, abril 3). ¿Para qué sirve una fresadora de metal? [Empresa]. Mecanizados Garrigues. <https://www.mecanizadosgarrigues.es/blog/para-que-sirve-una-fresadora-de-metal/>
- González Böhme, L. F., & Maino Ansaldo, S. (2019). Uniones carpinteras de Valparaíso: La geometría de ensamblajes y empalmes. RIL EDITORES.
- González Böhme, L. F., Quitral Zapata, F. J., Maino Ansaldo, S., & Hurtado Saldías, M. (2017). Reconstrucción robotizada del patrimonio arquitectónico chileno en madera. *Blucher Design Proceedings*, 236-241. <https://doi.org/10.5151/sigradi2017-038>
- Larsson, M., Yoshida, H., Umetani, N., & Igarashi, T. (2020). Tsugite: Interactive Design and Fabrication of Wood Joints. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 317-327. <https://doi.org/10.1145/3379337.3415899>
- Mayencourt, P., & Mueller, C. (2017). Structural Optimization and Digital Fabrication of Timber Beams. *IABSE Conference, Bath 2017: Creativity and Collaboration – Instilling Imagination and Innovation in Structural Design*, 153-154. <https://doi.org/10.2749/222137817821232856>
- Pérez Barros, M. J. (2015, septiembre 16). Patrimonio sureño. ED. <https://www.ed.cl/estilo-de-vida/articulos/patrimonio-sureno/>
- Roldán Tonioni, A. (2015). Los oficios tradicionales en la modernidad. *Revista Perspectivas: Notas sobre intervención y acción social*, 22. <https://doi.org/10.29344/07171714.22.448>
- SNPC. (2020, abril 14). Aprobado ingreso de Carpintería de Ribera Tradicional de Los Lagos al Inventario de Patrimonio Cultural Inmaterial [Institucional]. Servicio Nacional del Patrimonio Cultural. <https://www.patrimoniocultural.gob.cl/noticias/aprobado-ingreso-de-carpinteria-de-ribera-tradicional-de-los-lagos-al-inventario-de>

Verdugo Bascuñán, V. (2020). Uniones carpinteras: Tradición, técnica y cultura de un oficio [Seminario de Investigación]. Universidad de Chile, FAU.

Webmaster. (2015, mayo 29). El MNBA valoriza la arquitectura sureña. El Guillatún.  
<https://www.elguillatun.cl/noticias/el-mnba-valoriza-la-arquitectura-surena>

# **Evolución técnico-constructivo de la vivienda rural Aymara. Observaciones del caso de Codpa en la región de Arica y Parinacota**

**Estudiante:** Paula Fustos Aray

**Profesor guía:** David Cortez

## **Resumen**

A lo largo del país se desarrollaron distintas culturas que practicaron técnicas constructivas con los recursos que tenían disponibles en el territorio donde se encontraban. Sin embargo, hoy existe escasa documentación sobre la evolución constructiva de las viviendas tradicionales de determinadas localidades considerando que una cultura constructiva es diferente a otra según el lugar donde se sitúan, los recursos disponibles y los cambios que van experimentando en el tiempo. Esta investigación tiene como objetivo revelar la evolución técnico-constructivo de las viviendas de Codpa con la finalidad de entregar información que pueda contribuir en la conservación de esta cultura constructiva en el futuro. Se escoge esta localidad ubicada en la comuna de Camarones en la región de Arica y Parinacota debido a su proximidad a núcleos urbanos y al control que ejerce sobre los demás poblados de la precordillera lo que podría dar cuenta de aspectos posiblemente comunes en la aplicación de otras técnicas contemporáneas.

Para esto se realizaron una serie de actividades de forma simultánea como la recopilación de antecedentes de Codpa, visitas a terreno, registro fotográfico y entrevistas a actores relevantes del estudio, consulta al censo, etcétera, permitiendo elaborar distintos materiales de trabajo como líneas de tiempo de distintos aspectos, un catastro georreferenciado de las 65 viviendas muestreadas y su clasificación a través de tablas de distintos materiales y técnicas constructivas empleadas. De esta manera se obtuvieron los resultados de los

conocimientos de las variables que influyen y han influido históricamente en el desarrollo de las técnicas constructivas de las viviendas del lugar, cuáles han sido las técnicas que presentan las viviendas hoy en Codpa, es decir, el estado actual de la vivienda y las técnicas que han evolucionado para finalmente a través de una línea de tiempo revelar la evolución tecnológica de las viviendas de la localidad.

Los resultados muestran que la vivienda mas representativa de Codpa hoy es aquella que presenta zócalos de piedra, muros de adobe restaurados en ayuda a la Fundación Altiplano, techumbre de vigas de madera dimensionada, cubierta de zinc y dinteles de madera visibles en ventanas y puertas. En relación a las viviendas nuevas la mayoría utiliza sobrecimiento de hormigón, albañilería de bloques de cemento, techumbre de vigas de madera dimensionada y cubierta de zinc. Incluso, la mitad de las viviendas nuevas ha incorporado elementos tradicionales en el cerramiento de la fachada. En cuanto a la respuesta de los sistemas constructivos tradicionales se infiere que han respondido de forma eficiente a los movimientos sísmicos sufridos y al paso del tiempo debido a que de las viviendas que presentan encuentros de muros de adobe solo escasas viviendas incorporan refuerzos en las esquinas. Sin embargo, en relación a la techumbre tradicional de paja (*Stipa ichu*) y barro, la mayoría ha sido reemplazada por zinc, respondiendo así a parte de la hipótesis. Asimismo, se identifican seis etapas tecnológicas en las viviendas del poblado caracterizando cada una de ellas en relación a las variables históricas encontradas.

Finalmente, esta investigación permite aportar en los estudios sobre las distintas culturas constructivas de nuestro país y da paso a continuar investigando para poder plantear lineamientos adecuados para la conservación de su legado histórico. También a inspirarnos del carácter sustentable de la arquitectura vernácula para desarrollar la arquitectura de hoy y del futuro.

## **Evaluación de la Incorporación de Inmótica y Domótica en Edificios Residenciales**

**Estudiante:** Gabriel Latorre C.

**Profesor guía:** Mirtha Pallares T.

### **Resumen**

La investigación evalúa la incorporación de inmótica y domótica en edificios de departamentos desde el área de la tecnología, debido al confort y el ahorro que podrían generar estos sistemas a mediano y largo plazo en sus habitantes, al mismo tiempo de contribuir al medio ambiente al disminuir la contaminación durante la operación del proyecto. Como objetivo, se investiga sobre el impacto de estos sistemas de inteligencia en las edificaciones residenciales frente al sistema tradicional, desde los costos, seguridad y beneficios que aportan en el confort de los habitantes. Como pregunta de investigación: ¿Es factible y viable la incorporación de la inmótica y domótica en edificios residenciales en Chile y cuál es el aporte para los usuarios? E hipótesis a esta pregunta: La incorporación de inmótica y domótica en edificios de departamentos presenta a largo plazo mayores beneficios frente a un sistema tradicional debido a los grandes ahorros económicos y beneficios en el confort que estos sistemas brindan a sus usuarios.

Como metodología de la investigación, se realiza un análisis y levantamiento de información de la implementación de estos sistemas en Chile a la mano de entrevistas a dos gerentes de empresas domóticas y a un subgerente inmobiliario, con el fin de comprender cuando, como y por qué implementan tanto inmótica como domótica en edificios residenciales en el país. Añadido a esto, se realiza un levantamiento de casos en Santiago de Chile que dispongan tanto de Inmótica como de Domótica, agrupados y ubicados según valores UF y características propias del proyecto que luego se utilizan como supuestos al evaluar

económicamente la implementación de estas tecnologías. Por otro lado, se evalúan los beneficios que brindan estos sistemas (privados y sociales) por medio de una búsqueda bibliográfica y una encuesta abierta a habitantes de Santiago de Chile que dispongan de dispositivos inteligentes en su vivienda. Por último, se realiza una evaluación económica con el fin de evaluar la factibilidad y rentabilidad económica de la implementación de la inmótica y domótica en edificios de departamentos en Chile.

Como resultados de la investigación, los sistemas de Inmótica y Domótica presentan grandes beneficios y ventajas frente al sistema tradicional principalmente por brindar ahorros económicos tras utilizar la energía y agua de forma eficiente al mismo tiempo de contribuir al Medio Ambiente disminuyendo la emisión de CO<sub>2</sub> y uso eficiente de los recursos. Por otro lado, actualmente en Chile, tanto la inmótica como la domótica en la aplicación residencial está en pleno desarrollo, el cual presenta problemas en su instalación y operación, al no concebir esas tecnologías desde un principio junto al diseño arquitectónico, imposibilita la instalación de estas tecnologías de forma ideal, cableada, sin desconexiones y sin problemas en su operación. Por último, se destaca que los proyectos, tanto de Inmótica como Domótica son recomendables de instalar e implementar en edificios residenciales de departamentos actualmente en nuestro país, sin embargo, en considerable que, a mayor inversión en estas tecnologías, existe una mayor rentabilidad (Van) y menor tiempo de recuperación (PR) o pay-back frente a la inversión. Al mismo tiempo, es importante mencionar que actualmente en Chile, en el caso de la domótica, tiene un público objetivo de venta, mayoritariamente joven, es considerables también el valor de los departamentos, la localización y capacidad de pago de los futuros habitantes por implementar estas tecnologías en su vivienda.

Como conclusión, las tecnologías Inmótica y Domótica presentan tras su implementación mayores beneficios frente a una edificación tradicional, por lo cual son recomendables de instalar e invertir en estas tecnologías en Chile. Con respecto a la aplicación residencial, la combinatoria de ambas tecnologías dentro de una edificación de departamentos, presenta ahorros combinados tanto para la comunidad (gastos comunes) como para la vivienda de forma unitaria (gastos eléctricos, agua), al mismo tiempo de brindar diversos beneficios sociales en los habitantes, tales como la comodidad, seguridad, ahorro del tiempo, beneficios en la salud, productividad, entre otros. Con respecto al desarrollo de la Inmótica y Domótica en Chile, ambas tecnologías deben ser evaluadas y estudiadas en relación a su desarrollo de forma internacional, ya que estas tecnologías si bien están implementadas de forma extensiva en diversas edificaciones, ambas tecnologías siguen en desarrollo con respecto a los dispositivos necesarios para su implementación y conexión entre ellos, buscando siempre generar una mayor eficiencia y comodidad tanto para su instalación como para facilitar la operación del proyecto.

**Palabras clave:** Aplicación Residencial, Inmótica y Domótica, Smart-Building, Smart-Homes.





# **Espacio Virtual Digital: Herramientas para la participación del arquitecto en su diseño y desarrollo**

**Estudiante:** Carolina Mora Uribe  
**Profesor guía:** Camilo Guerrero del Río

## **Resumen**

La creciente adopción de herramientas digitales que anteriormente solo se veían en escenarios de otras disciplinas, y que no necesariamente están destinadas a la arquitectura, ha multiplicado su implementación en los últimos años. Frente a esta situación, son más los arquitectos que buscan participar en el desarrollo del espacio virtual digital, sin embargo, a pesar de que este medio se ve prometedor a futuro, no todas las escuelas han considerado hacer uso de herramientas que permitan al arquitecto acercarse hacia nuevas prácticas de este, ya que la enseñanza de herramientas digitales ha sido focalizada hacia sí misma, y la mayoría de las veces, con fines constructivos.

Entendiendo que el avance tecnológico condiciona distintas formas de trabajo y abre nuevos campos no vistos con anterioridad, se intentarán abordar los conceptos relacionados a estas nuevas formas de hacer y de entender la arquitectura, apostando a las nuevas oportunidades del entorno virtual digital. Lo anterior tomando como base que, la arquitectura no debe necesariamente adoptar cada una de las nuevas técnicas y herramientas digitales, pero aún así es importante considerar que se crean demandas continuamente más exigentes que involucran el desarrollo de diseños, tipologías, o experimentos que no siempre pueden hacerse con softwares tradicionales.

Primero se hará una recopilación de información relacionada al marco teórico sobre el surgimiento de herramientas digitales y como han sido incorporadas para el desarrollo de la arquitectura digital. También, se mostrarán casos de cómo el conocimiento de nuevas herramientas abre el campo más allá de lo convencional, para luego ver ejemplos de escuelas que implementaron herramientas digitales no convencionales.

Segundo, el desarrollo comenzará por un análisis de mayas curriculares nacionales para una recopilación de softwares enseñados en la formación del arquitecto y con ello seleccionar los más implementados, para así saber desde cuando comenzaron a enseñarse y cuando fue su última actualización; seguido de una recopilación de situaciones donde arquitectos son requeridos para el diseño y desarrollo del espacio virtual digital, también de los que optaron por un trabajo relacionado a este medio y usen herramientas digitales no convencionales para desarrollar sus proyectos, lo anterior a través de artículos web, noticias o charlas.

Además, se hará una recopilación de herramientas digitales más utilizadas y así analizar cuáles tienen el potencial de ser implementadas en la enseñanza profesional según sus diversas posibilidades creativas y disciplinares, para esto, se harán búsquedas de encuestas, artículos, o casos de estudio nacionales o internacionales, que muestren cuáles son las herramientas no convencionales más adoptadas por arquitectos u oficinas.

Finalmente, se seleccionarán herramientas que permitan realizar experimentos relacionados al espacio virtual digital y que no suelen realizarse con herramientas convencionales, para así implementarlas en una propuesta de maya curricular con enfoque digital para la carrera de arquitectura, esto para impulsar al arquitecto a adaptarse a la situación actual.

En general, las herramientas digitales no convencionales más utilizadas en arquitectura están relacionadas con el patrimonio y turismo, la simulación y la cultura, con los videojuegos, la animación y el cine. Esto se debe a las amplias posibilidades que las herramientas de tales campos nos ofrecen, además, como gran parte de ellas son compatibles con algunos programas más convencionales en la disciplina, podría decirse que el paso de una herramienta a otra es fluido. Entre las más destacadas estarían Unreal Engine y Blender, programas de código abierto, que poseen su propio motor de renderizado en tiempo real, diferentes herramientas de modelado, combinación de texturas las cuales pueden simular rebotes de luz, editor de video, entre otras.

El papel del arquitecto se encuentra en un proceso de cambio debido al surgimiento de nuevas tecnologías, hay todo un campo en el sector digital que no sólo pertenecen a la arquitectura, también a otras disciplinas, y estos entornos igualmente precisan de profesionales que los desarrollen. Para esto, como se ha visto a lo largo de este informe, arquitectos y alumnos que tienen un gran interés por esta situación, han adoptado herramientas digitales que no necesariamente fueron creadas para la arquitectura, cambiando sus métodos y flujo de trabajo con tal de ser partícipe de un mundo laboral en el que cada vez éstas están más presentes. Sin embargo, hay algunas complicaciones para los que quieren aprender otros softwares no convencionales, por lo general, los alumnos al salir de la universidad toman cursos que tienen un costo elevado, considerando que son estudiantes entre 24-25 años, por ende, la mayoría acaban aprendiendo por su cuenta a base de tutoriales en línea. Es crucial considerar que es un momento en el que la arquitectura está comenzando a relacionarse con otras disciplinas y ya no sólo está centrada en sí misma, surge un proceso híbrido que involucra utilizar métodos de otras áreas para la arquitectura y viceversa, de modo que un proyecto pasa a ser un resultado colaborativo.

**Palabras clave:** Herramientas digitales, Espacio virtual digital, Formación profesional, Arquitectura, Interdisciplina

Electivos	Contenidos
Unreal Engine	* Técnicas de modelado 3D * Configuración del entorno * Recorrido virtual
Diseño Computacional	* Rhino * Grasshopper * Revit
Herramientas digitales	* Fotogrametría * Blender * Animación

**Figura 1:** Propuesta de electivos para la línea digital que formarán al “Arquitecto Digital”. Elaboración propia

## **La acústica del micelio en función del aporte de distintos sustratos: cartón, aserrín y avena.**

**Estudiante:** Salomé Antonia Marcel Cruzat

**Profesora guía:** Mirtha Pallares T.

### **Resumen**

Una necesidad latente en la arquitectura es hallar alternativas sostenibles a las opciones actuales de absorbentes acústicos, los cuales se caracterizan por ser costosos y poco sustentables. En la búsqueda de dichas alternativas surge el biomaterial micelio, para el cual la literatura ya ha sido capaz de reconocer diversas propiedades físicas, mecánicas y acústicas. Sin perjuicio de lo anterior, hay un amplio desconocimiento respecto de cómo las variables que afectan el crecimiento del hongo (cepa, sustrato, método de cultivo, etc.) influyen en las características del producto final. En vista de aquello, este trabajo tiene por objetivo investigar cómo distintos sustratos, cartón, aserrín y avena, alteran las capacidades acústicas del micelio (*Pleurotus Ostreatus*), en función de su densidad (condicionada por el espesor de las muestras).

Inicialmente, se definió una estrategia de crecimiento del micelio. Esta consistió en elegir los sustratos, a partir de una revisión bibliográfica, y establecer los procedimientos para llevar a cabo el cultivo del hongo de forma casera, teniendo como referente al Manual de Biofabricación con hongos del Laboratorio FADEU. Una vez hecho lo anterior, y con apoyo del FabLab de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile, se cultivó el biomaterial para generar las muestras a evaluar (30, 50 y 70 mm. de espesor). Dichas muestras son evaluadas en un tubo de Kundt proporcionado por la Universidad, bajo la tutela de la profesora Carla Badani, quien instruyó todo el proceso. Los resultados permitieron confeccionar una base de datos que posteriormente sería analizada siguiendo modelos de regresión lineales en Stata, un software orientado al trabajo estadístico. Para esta etapa en particular, se generan

muestras sin micelio, con el fin de comparar los resultados con aquellas muestras que sí tenían presencia del biomaterial.

De esta investigación se desprenden 4 resultados principales. En primer lugar, se logró crear una metodología de desarrollo del micelio con una alta tasa de éxito: Se pudieron generar 6 de las 9 muestras que se presupuestaban, todas ellas en base a cartón y aserrín, fallando únicamente en aquellas muestras de avena, por la dificultad de mantener un pH adecuado para su crecimiento. En segundo lugar, se compararon las muestras confeccionadas con resultados de absorbentes de uso comercial, teniendo las primeras un desempeño superior en las bajas frecuencias, y similar en las altas frecuencias. En tercer lugar, englobando todas las muestras evaluadas, se constató que el aserrín de 70mm. contó con un NRC (Noise Reduction Coefficient) de 0.88, mayor que cualquier otro absorbente observado en esta investigación. En cuarto lugar, se comprobó y cuantificó, a través del modelo de regresiones, que el micelio aumenta, en promedio, 0.13 puntos (en una escala de 0 a 1) del coeficiente de absorción acústica, en comparación con las muestras sin micelio.

Con los productos obtenidos en la investigación, se colabora a rellenar, en parte, distintos vacíos de conocimiento detectados en la literatura relacionada al estudio del micelio. En particular, se aportó con la fabricación de un manual ilustrado para el cultivo casero del micelio. Además, se expuso que la elección del sustrato importa para efectos de las características acústicas que adquiere el absorbente en base a micelio. Y, se cuantifica (paramétricamente) por primera vez, hasta donde se tiene conocimiento, el impacto del micelio en el coeficiente de absorción acústica.

**Palabras clave:** Biomaterial, Micelio, Absorción acústica, Cultivo casero, Sustratos

Fgfd

# **Estudio de factibilidad técnica de viviendas de emergencia prefabricadas como un recurso público en zonas de catástrofes en Chile**

**Estudiante:** Camila Alejandra Melendes Pino

**Profesor guía:** José Ignacio Torres

## **Resumen**

Uno de los problemas más apremiantes que se debe solucionar luego de una catástrofe, es relativo al alojamiento seguro para la población afectada. En esta etapa de supervivencia la solución tradicional utilizada es la carpa de lona, casa de campaña, mediagua, etc. Sin embargo, no es un método que satisfaga las necesidades de los habitantes frente a esta situación, pues estas soluciones son temporales, no constituyen una solución aceptable para períodos relativamente largos.

Post catástrofe hay un gran déficit al momento de entregar una vivienda digna, ya que no poseen buenas condiciones de habitabilidad que contribuyan al desarrollo de un asentamiento resiliente. Por lo tanto, el propósito de la investigación es analizar algunos sistemas de emergencias e impulsar una nueva gestión capaz de solventar y anticipar el diseño en un país que periódicamente es víctima de catástrofes naturales, cuya respuesta a los tiempos de transición es la prefabricación optimizada en talleres y el montaje en obra. Como objetivo principal se plantea entregar alternativas arquitectónicas a las viviendas de emergencia en situación de catástrofe para optimizar su funcionamiento ante una urgencia.

A partir de la problemática previamente planteada, el estudio se enfocará en evaluar la factibilidad de las viviendas de emergencia, se sitúa preferentemente en un enfoque evaluativo cuyo principal propósito es analizar el mérito y coste de una práctica específica y

ayudar en la toma de decisiones determinadas, cuyo análisis se llevará a cabo a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica, entre tesis y material relacionado con la problemática, para establecer una relación causa – efecto – actuación.

En consecuencia, la problemática en Chile es no haber planteado una solución acorde a las necesidades de los habitantes en situaciones de catástrofes naturales. Es por esto, que se deben considerar también los factores climáticos y geográficos locales, con el fin de dar una respuesta óptima acorde a cada tipología según las zonas de nuestro país, para esto se mapearon las catástrofes más importantes en el país, siguiendo una línea temporal, mostrando una mayor concentración de catástrofes en la zona norte y centro, donde la transición de una vivienda temporal y una vivienda permanente es ineficiente y morosa.

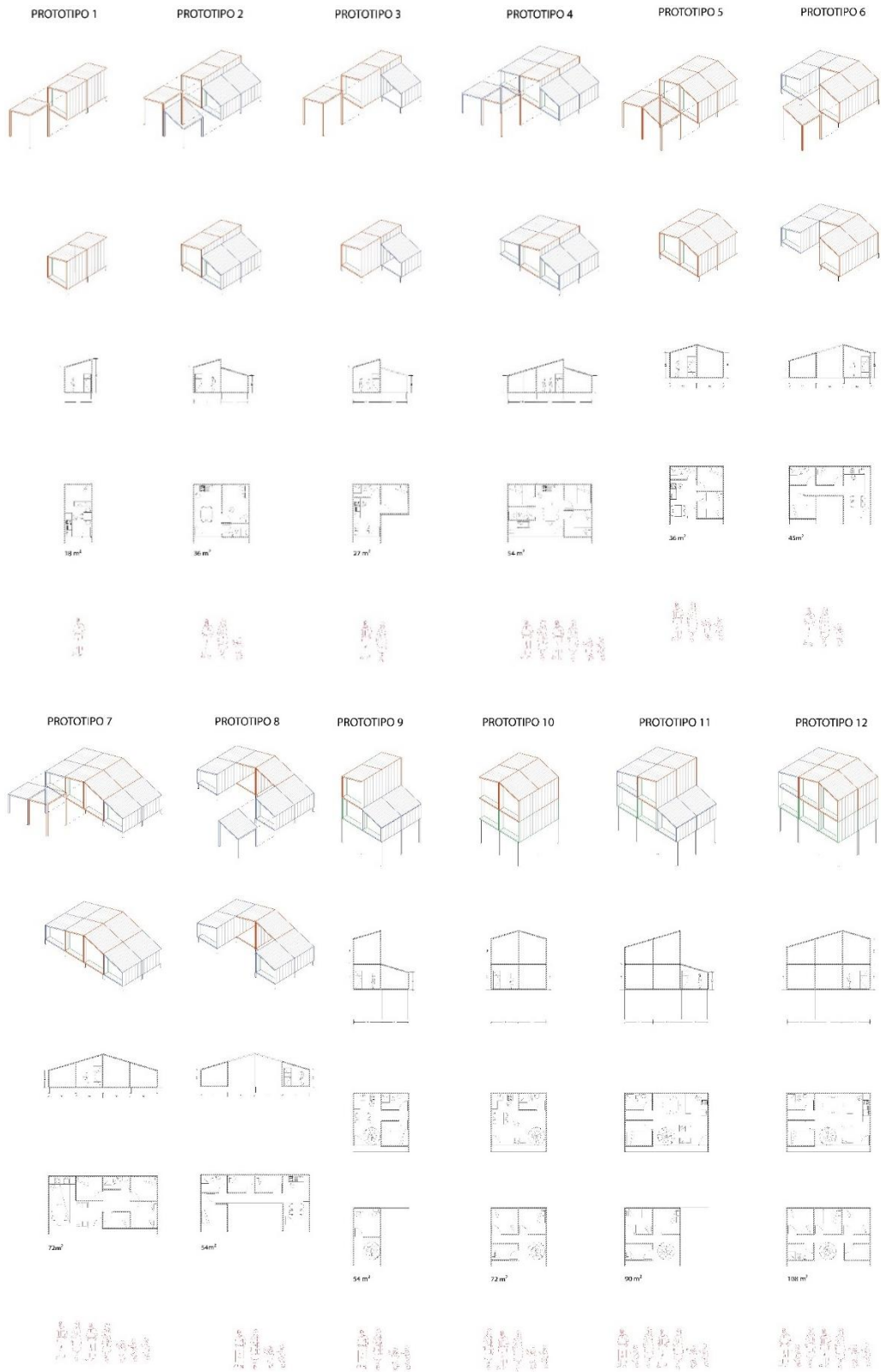
Para reducir el análisis se seleccionaron tres ciudades afectadas por todas las catástrofes en cuestión y ubicadas en distintas zonas climáticas y geográficas para lograr abarcar respuestas congruentes con los diferentes escenarios de catástrofe que se dan en el país, estas ciudades son Copiapó, Valparaíso y Concepción. Luego tomando como contexto base estas 3 ciudades se evalúa como se amplía una vivienda estándar como la “mediagua” con el paso del tiempo y luego se analizaron 4 casos de viviendas de emergencia para poder obtener una comparativa entre ellas, junto con las ventajas y desventajas de cada uno. Los casos son “Madres solteras”, “Elemental”, “Casa + Roja”, y “VED”:

Resultando que las viviendas más apropiadas y con mejores aptitudes de confort térmico, costos y montaje fueron el Caso 2 – Elemental y el Caso 4 – VED, pues ambas son de panel SIP lo que permite montar, desmontar y reutilizar con mayor facilidad el material, y además de poder incrementar su espesor de aislación según la zona térmica donde se ubique la vivienda.

En base a lo anterior se plantearon diversos prototipos a partir de 5 módulos base que son coherentes entre sí y pueden combinarse de diversas maneras de modo que permita una variación de acuerdo con lo que solicita cada zona. Para esto se tomó en cuenta que cada ciudad que se analizó tiene distintas condiciones. En el caso de Copiapó la variable más importante es la protección de la radiación solar, mientras que en Valparaíso es la manera en la que se sitúa al terreno dado que la mayoría de las viviendas se emplazan en los cerros y en el caso de Concepción se toma en consideración la integración de un corredor para proteger tanto de la lluvia como la radiación solar.

De acuerdo con lo anterior se presentan 12 prototipos base con las consideraciones mencionadas anteriormente (Figura 1)

Para concluir la investigación, las personas en una situación de Post catástrofe, ante la precariedad y vulnerabilidad se conformarán con una mediagua, aunque no otorgue un habitar digno. Sin embargo, la primera respuesta estandarizada debiera partir desde una respuesta prototipo como los que se propusieron anteriormente, brindando un mayor grado de solidez y seguridad desde un principio.



**Figura 1:** Combinaciones de módulos para viviendas de 2 pisos, axonométrica, elevación, plantas y capacidad de usuarios Fuente: Elaboración propia



## **Desarrollo Tecnológico Blando: Una clave invisibilizada para la masificación de la construcción en tierra**

**Estudiante:** Milagros Moreno Saiz

**Profesor guía:** Patricio Arias C.

### **Resumen**

La construcción es una de las industrias con mayor incidencia en la crisis climática actual, con índices de contaminación mundial del 38% de los gases efecto invernadero (GEI) y del 35% del gasto energético, y a nivel nacional del 23% de GEI.

Esta evidencia ha llevado a profesionales a lo largo del mundo a revalorizar la tierra como material de construcción, ya que se encuentra ampliamente documentado que su uso reduce los impactos climáticos, tales como: el gasto energético durante y post construcción, el uso de transporte y por lo tanto los GEI y la utilización de combustibles, los escombros y el agua.

A pesar de sus ventajas, las técnicas de construcción en tierra no son aún competitivas con respecto a otros materiales contaminantes como el hormigón, y esto se debe a la falta de desarrollo tecnológico en ellas. Se entiende que desarrollo tecnológico incluye dos grandes ámbitos: el desarrollo tecnológico duro (hardware) y el desarrollo tecnológico blando (software). El primero corresponde a los elementos tangibles y visibles del proceso de construcción, como pueden serlo herramientas, infraestructura, etc.; el segundo se refiere a los elementos intangibles e invisibles, que corresponden a métodos, herramientas y metodologías que se apoyan principalmente en el conocimiento y las habilidades de las personas, como la estructura organizacional, marketing, gestión de precios y, sobre todo, la gestión del recurso humano.

Actualmente el desarrollo de la construcción en tierra está centrado en la tecnología dura (refuerzos sísmicos, transmitancia térmica, prefabricación, etc.) por lo que el enfoque de esta investigación se pone en la tecnología blanda (TB), ya que es quien posibilita la materialización de los avances duros.

Para esto se visibilizan las técnicas de TB utilizadas en 5 procesos de construcción de conjuntos habitacionales de vivienda de interés social en tierra ya edificados. Para la elección de los casos se consideró: Su fabricación en alguna técnica constructiva de tierra (Adobe, Quincha, BTC), que contaran con validación estatal y que se ubicaran en Latinoamérica, debido a la cercanía geográfica, cultural y tecnológica con Chile, además de la pertinencia sísmica de 4 de los 5 casos.

Los casos elegidos son:

1. Vivienda Origen (Chile,2020)
2. Casa Prototipo de la Cooperativa Modesto Zeledón (Nicaragua,2020)
3. Complejo Habitacional Guyunusa (Uruguay, 2010)
4. Proyecto Casa Viva (Colombia,2008)
5. Barrio Pueblos Unidos (Nicaragua,1999)

Para la metodología de análisis se crearon 2 fichas, la primera de caracterización general de los conjuntos habitacionales (número de viviendas, ubicación, metraje, etc.) y la segunda identifica las 21 problemáticas comunes presentes en los 5 casos (formas de obtener el terreno, de validar la técnica, de financiamiento, etc.) y las soluciones que cada caso da a estas; lo que correspondería a técnicas de TB y que tienden a ser innovadoras respecto a la construcción en hormigón.

Como fuentes se utilizaron artículos, charlas, noticias, documentos ministeriales, informes y entrevistas a las y los arquitectos implicados en los casos.

Se identificaron 60 respuestas de TB diferentes, un kit de herramientas para enfrentar las problemáticas a las que un futuro proyecto de vivienda en tierra podría verse expuesto, y también 2 prototipos de modelos de gestión de TB para estos procesos, que podrían clasificarse como el modelo Cooperativo (casos 2 y 3) y el modelo Municipal (casos 4 y 5).

El primero corresponde a una forma de gestión impulsada desde los beneficiarios de la vivienda, con mayor grado de involucramiento, participación en la toma de decisiones e identificación con el resultado de parte de ellos, son procesos largos (más de 2 años) y con una producción baja (máximo 10 viviendas), donde se usa principalmente la autogestión y poca estandarización, se ubican en zonas rurales y son los casos que utilizan mayor cantidad de técnicas de innovación (28 y 25).

El segundo modelo corresponde a una gestión impulsada desde las alcaldías tras eventos traumáticos para su población (el paso de un huracán, el cierre de una fábrica que era la principal fuente laboral del sector) y en terrenos problemáticos. Este modelo moviliza los recursos económicos y humanos de las alcaldías y alrededores, involucra a los beneficiarios

en la construcción a manera de pago por la vivienda que se entregará, incorporan estandarización y son procesos cortos (1 a 2 años) con mayor producción de viviendas (104 y 300), se ubican en zonas rurales y urbanas y cuentan con menos técnicas de innovación (19 y 23) lo que refleja la mayor cantidad de recursos con los que el modelo Municipal cuenta, partiendo desde una base más estable para la gestión.

Cabe destacar que ambos modelos pueden ser mejorados utilizando las técnicas de gestión identificadas, para hacerlos más congruentes, sólidos y mejorar su resultado/producto.

La investigación concluye señalando la importancia de articular modelos de gestión que predigan los resultados de la construcción en tierra, en términos de alcance, tiempo y costos, con su debido rango de variación, para otorgar credibilidad a estos procesos, fomentar la inversión en ellos y disminuir la estigmatización de la sociedad civil, los inversores y los gestores municipales. Por otro lado, se vuelve importante encontrar modelos de gestión blanda propios de la construcción en tierra y validar y reconocer desde las políticas de vivienda la auto-construcción asistida, sobre todo en aquellos sectores donde no existe foco político ni recursos estatales destinados a suplir el déficit habitacional. Se abre la posibilidad de que una futura investigación avance en la propuesta de modelos de gestión adaptados al contexto chileno.

**Palabras clave:** Sistemas constructivos en Tierra - Tecnología Blanda -Técnicas de Innovación- Vivienda de interés social.



**Figura 1:** Vista exterior de la primera vivienda del conjunto Vivienda Origen Fuente:,País Circular,(<https://www.paiscircular.cl/ciudad/renovadas-tecnicas-de-construccion-con-tierra-y-paja-dejan-atras-el-adobe-y-ganan-terreno-en-la-edificacion-sustentable>)

## Oportunidades de la aplicación de la realidad virtual con fotografía 360° y modelos 3D

**Estudiante:** Andrea Provoste Candia

**Profesor guía:** Mauricio Loyola Vergara

### Resumen

El problema que se detecta es qué puede ofrecer la combinación de la tecnología de la fotografía 360° y el modelado 3D, en el sentido de cómo es que su aplicación puede generar un espacio que entregue una mayor cantidad de información y qué variables pueden afectar en este. Se considera importante e interesante investigar el potencial que posee la aplicación de esta tecnología desde el ámbito de la arquitectura, analizando las múltiples oportunidades que brinda de acuerdo al objetivo y área que se quiera desarrollar, permitiendo la creación de representaciones virtuales del espacio que entreguen tanta información como sea posible y, construir un entorno virtual inmersivo que aproveche las herramientas que produce la combinación de fotografías 360° con modelos 3D en la realidad virtual generando la sensación de estar dentro o ser parte de este mundo. Se vuelve interesante utilizar como caso de estudio el Hospital Clínico Veterinario Virtual de la Universidad de Chile ya que son poseedores de fotografías 360° del centro, pero se plantea la interrogante de qué hacer con ellas y cómo aprovecharlas para lograr enriquecer la experiencia virtual que ya tienen, creando un espacio de realidad virtual mucho más interactivo y atractivo para los estudiantes.

Se propone un diseño metodológico centrado en la experimentación, en donde se buscará integrar la fotografía 360° con el modelado 3D evaluando un método que permita dicha integración para identificar las posibilidades de enriquecimiento que ofrece a la inmersión de la experiencia virtual. El método mencionado, consta de insertar una fotografía 360° como entorno directo o cercano, que en este caso sería de una sala de consulta felina, en el

programa *Unreal Engine* para luego incorporarle elementos 3D modelados en *SketchUp*, con el fin de poder generar objetos que puedan ser manipulados en el espacio virtual para que así los usuarios, en este caso del Hospital Veterinario, puedan visualizar y manipular las herramientas que allí se encuentran sin necesidad de estar necesariamente en el lugar. El fin es poder determinar qué tan bueno es el resultado en relación a la facilidad y rapidez de uso y al nivel de interactividad que permite.

Tras evaluar los resultados obtenidos es posible comprobar que la implementación de fotografías 360° con el modelado 3D es un método factible a la hora de enriquecer un modelo de realidad virtual, y además, se presenta como una herramienta que ofrece nuevas oportunidades en una gran diversidad de ámbitos. Esta investigación se enfocó en la realidad virtual y en las oportunidades que esta puede ofrecer si se implementan fotografías 360° con modelado 3D a ella, dando como resultado una experiencia virtual inmersiva en la que el usuario puede interactuar con elementos que componen la escena y no solo mirarlos. Es esta interacción que se logra la que otorga beneficios y es un potencial punto de desarrollo para generar una herramienta que sirva en más áreas, no solo en la medicina veterinaria como fue el caso de estudio sino en áreas como la misma arquitectura.

Si bien este método de integración de fotografías 360° con objetos 3D para la conformación de un modelo de realidad virtual posee ciertas limitantes, abre la posibilidad de poder generar espacios virtuales de enseñanza y aprendizaje no solo en el ámbito de la veterinaria, sino que también se puede proyectar a otros rubros académicos en los que el estudiante pueda por medio de la realidad virtual conocer instalaciones y objetos que en un futuro vaya a usar realmente ya que extiende los conocimientos impartidos desde un nivel teórico a un nivel práctico también, lo que potencia su aprender llevándolo a desarrollar habilidades que de manera teórica se ven disminuidas.

Esta investigación deja en evidencia una de las maneras en que la realidad virtual puede ser usada como una herramienta en la enseñanza y formación de diferentes personas debido a que brinda una gran variedad de posibilidades de aplicación, como lo fue en este caso la conformación de un entorno virtual por medio de fotografías 360° y modelos 3D con el fin de otorgar un mayor nivel de inmersión en un espacio que busca ser de aprendizaje.

**Palabras clave:** Realidad virtual, fotografía 360, modelado 3D, interacción, inmersión



**Figura 1:** Visualización del resultado obtenido en los visores *Meta Quest 2*. Fuente: Elaboración propia.

## **Proceso de aligerado de mezclas de tierra para paneles aislantes prefabricados.**

**Estudiante:** Paulina Salazar Reinoso

**Profesor guía:** Patricio Árias

### **Resumen**

El problema de investigación nace de un contexto en el que el área de la construcción produce un impacto negativo en el ecosistema. Además de la alta huella de carbono que se produce desde el uso de materiales, transporte, maquinaria y residuos; es por ello que se elige un área investigativa en torno a un producto ecológico en construcción, abordando un proceso de aligerado en mezclas de tierra; con el fin de obtener una mejora en el trabajo de sistemas constructivos con este material. Se quiere mejorar y analizar los límites desde un punto de vista constructivo, por lo que se plantea como principal pregunta ¿Cuál sería el máximo de aligerado al que se puede llegar, sin perder la estructuración básica en secciones prefabricadas?. Planteado dos sugerentes hipótesis: "La longitud de fibra incide en la cantidad a utilizar, permitiendo mayor % de uso en paneles prefabricados a fin de obtener un panel más ligero" y "El trabajo con arcilla en estado puro mejora el comportamiento del panel, permitiendo un mayor aligerado."

Se utiliza un proceso experimental, en las que se establecen pruebas según etapas, desarrollándose en: Etapa 1: análisis de variable, donde se realizan una serie de 40 paneles evaluando las mejores condiciones en la fabricación del panel. Etapa 2: proceso de aligerado, en la cual se busca el límite de aligerado, considerando las observaciones de las variables probadas. Etapa 3: testeo mínima resistencia, en la cual se evalúan los paneles propuestos con densidades menores según los parámetros constructivos que se establecen para una

mínima manipulación, y por último la etapa 4: comportamiento de arcilla, en la que se analiza la fracción específica de la arcilla, respondiendo a la segunda hipótesis.

Como resultados se determinan mejores cualidades en paneles en base a la utilización de grano fino en fibra, estado plástico y secado pasivo, llegando a densidades de  $230 \text{ kg/m}^3$  en condiciones estables, obteniendo el rango acotado de 223 a  $230 \text{ kg/m}^3$  en la que se encuentra el límite de aligerado. Se da cuenta de la relevancia de los procesos de secados, ya que la arcilla actúa al dosificar la mezcla, además de la importancia del factor de la compresión aplicada en la fabricación del panel, siendo determinante para los resultados de aligerado. En respuesta a la hipótesis uno, si bien la longitud de fibra incide en el aligerado aporta más bien en la consistencia y estructuración del panel, comprendiendo que el aligerado depende directamente del factor de compactación, ya que a más compacto, mayor densidad. En base a la hipótesis dos, la arcilla en estado puro mejora tanto la conformación física del panel, como su densidad final, permitiendo establecer un aligerado menor que en el desarrollo de las pruebas anteriores, con la premisa de si se eliminan los componentes no útiles en mezclas de lograr mejorar las condiciones y el peso final del panel.

Finalmente con los hallazgos obtenidos se puede avanzar en una alternativa ecológica, como elemento constructivo de material natural. Teniendo otra opción de producto ecológico con el que otorgar soluciones a la vivienda, mejorando el impacto negativo de los materiales aislantes. Permitted a su vez profundizar el estudio dirigido, indagando ya sea en procesos de análisis térmicos, estandarización de mezclas, procesos de acilación de arcilla a mayor escala, o bien, en análisis en comportamientos de arcillas, permitiendo un amplio desarrollo exploratorio.

**Palabras clave:** Proceso de aligerado, Tierra, Límite, Densidad, Prefabricado.



---

*Universidad de Chile – Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Portugal 84, Santiago  
[www.fau.uchile.cl](http://www.fau.uchile.cl)*

*Documento digital preparado por el Grupo de Investigación en Tecnología de la carrera  
de Arquitectura.  
Editor: Prof. Mauricio Loyola  
Diciembre 2022*



*Bajo Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional*

