

# 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.

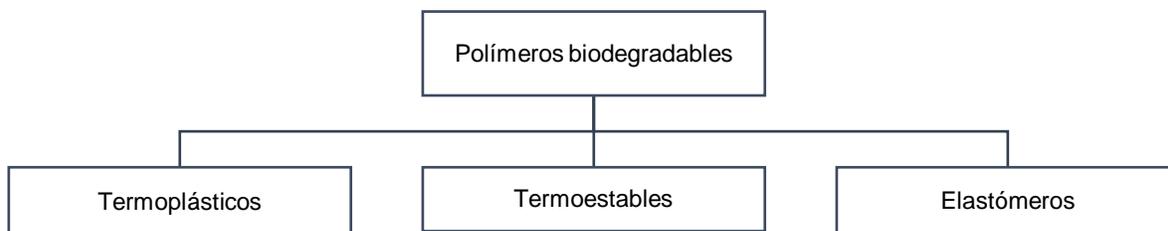


Fig 1. Clasificación de polímeros biodegradables según su comportamiento térmico.

**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 su 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.



Figura 2. Pabellón ArboSkin. ITKE, 2013.



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 envoltente 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:

- 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

(Knippers et. al, 2011)

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 tres 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.

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 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).

**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 (fig 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.

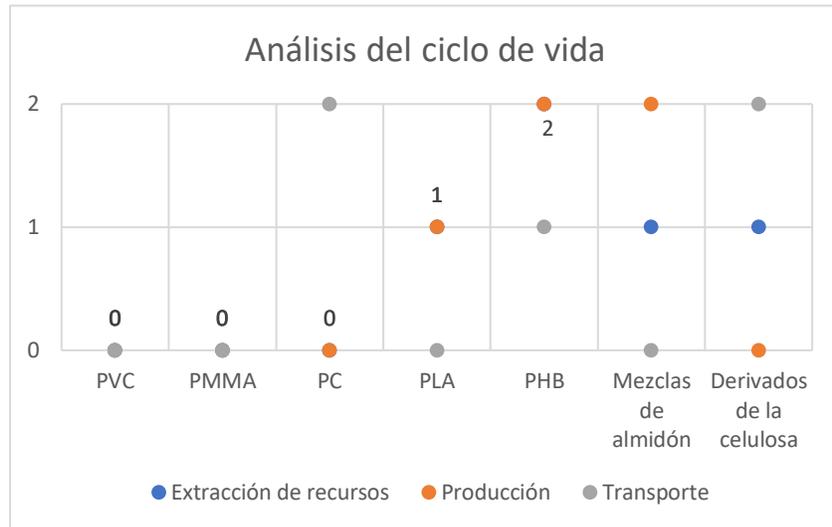


Fig 4. Gráfico de Análisis del ciclo de vida de los materiales. Nota: los datos indicados con números se superponen.

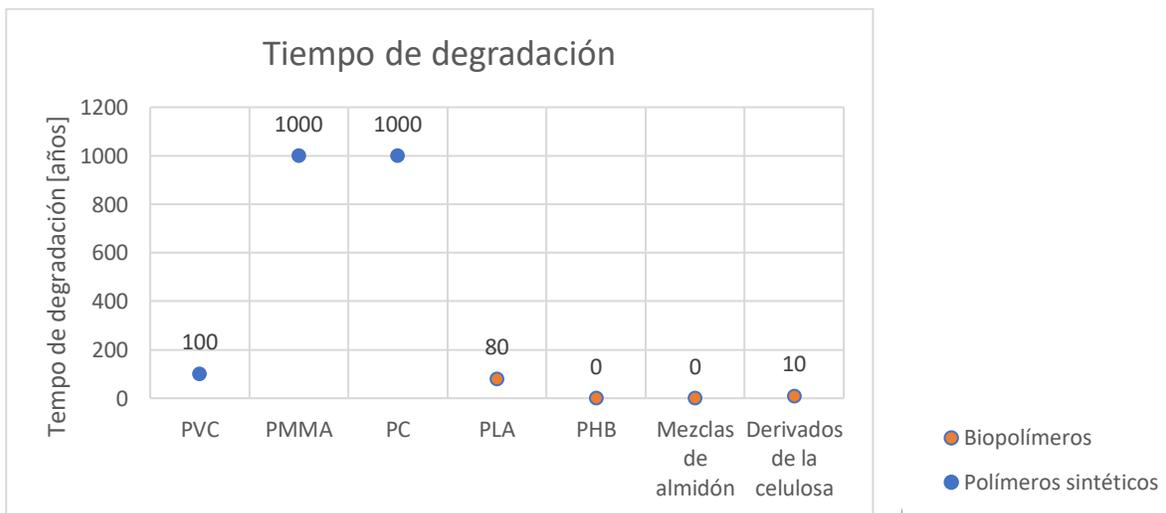


Fig 5. Gráfico de tiempo de degradación de los materiales.

## 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 el 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.)

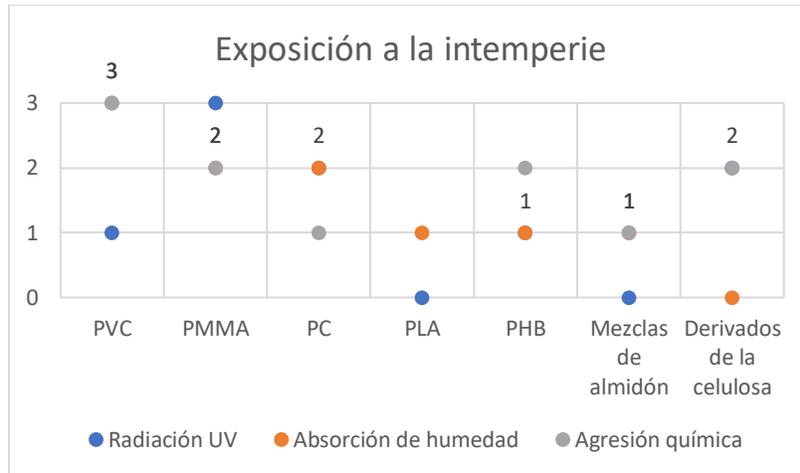


Fig 6. Gráfico de Exposición a la intemperie. Nota: los datos indicados con números se superponen.

## 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.

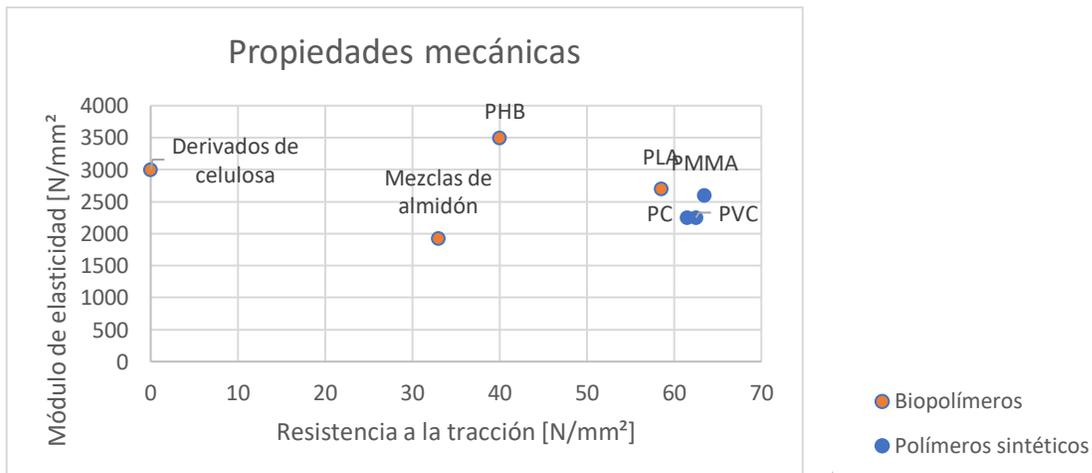


Fig 7. Gráfico de Módulo de elasticidad vs Resistencia a la tracción.

#### 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.

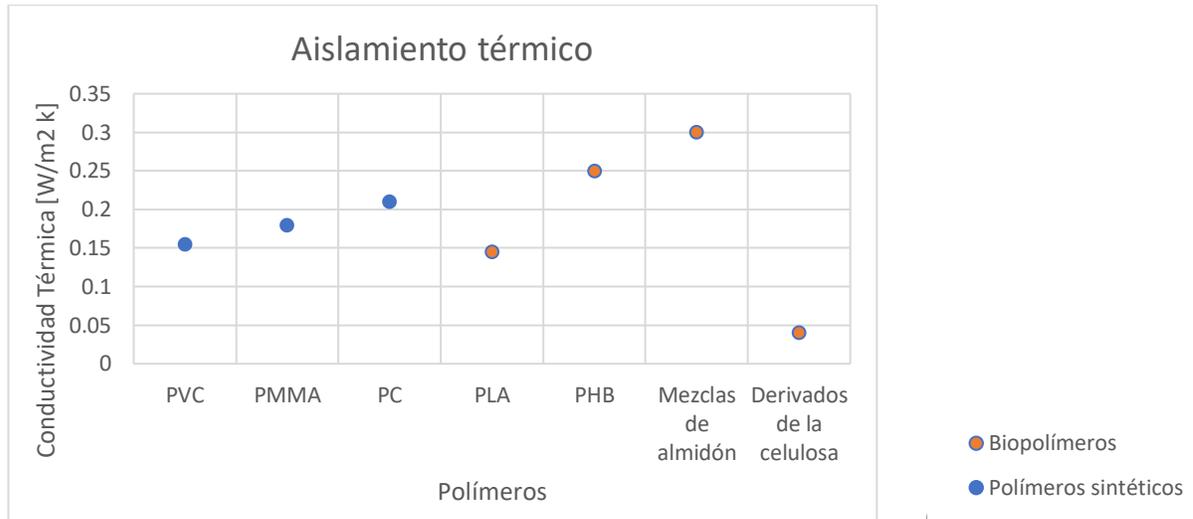


Fig 8. Gráfico de Aislamiento térmico

## 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.

## Anexos

Tipo de polímero	LCA (Extracción de los recursos, Producción, Transporte)	Tiempo de degradación	Exposición a la intemperie (Radiación UV, Absorción humedad, Agresión química)	Resistencia a la tracción [N/mm <sup>2</sup> ]	Módulo elástico [N/mm <sup>2</sup> ]	Conductividad térmica [W/(mk)]
<b>Polímeros sintéticos</b>						
PVC (Policloruro de vinilo)	0, 0, 0	100 – 1000 años	1,3, 3	50 - 75	1000 - 3500	0.14 – 0.17
PMMA (Polimetilmetacrilato)	0, 0, 0	+1000 años	3, 2, 2	50 - 77	1600 - 3600	0.18
PC (Policarbonato)	0, 0, 2	1000 años	2, 2, 1	56 - 67	2100 - 2400	0.21
<b>Biopolímeros</b>						
PLA (Ácido poliláctico)	1, 1, 0	80 años	0, 1, -	47 - 70	2700	0.13 – 0.16
PHB (Polihidroxibutirato)	2, 2, 1	Meses a años, variable	1, 1, 2	40	3500	0.25
Mezclas de almidón	1, 2, 0	Meses a años, variable	0, 1, 1	10 - 56	1600 – 2250	0.3
Derivados de la celulosa	1, 0, 2	1 – 10 años	2, 3, 2	No hay información	1000 - 5000	0.04