

Escuela Técnica Superior de Arquitectura - Grado en Fundamentos de la Arquitectura

ANÁLISIS DE MATERIALES SOSTENIBLES, CICLO DE VIDA Y SU APLICACIÓN EN CONSTRUCCIÓN

Alicia Albir Ribera

Tutores: Carlos Lerma Elvira y Ángeles Mas Tomás

2020-2021



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

ÍNDICE

Resumen.....	3
1.INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Motivación.....	6
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Metodología.....	7
2.CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	9
2.1 Definición.....	10
2.2 Principios.....	12
2.3 Necesidad.....	14
2.4 ODS relacionados.....	15
2.5 Arquitectura de referencia.....	17
3.ANÁLISIS MATERIALES SOSTENIBLES.....	23
3.1 Productos procedentes de procesos naturales.....	26
3.1.1...HEMPCRETE.....	27
3.1.2.BIOCEMENTO.....	34
3.1.3.....ROOTMAN.....	37
3.1.4.....MYCELIUM.....	41
3.2 Productos procedentes de reciclaje de residuos.....	45
3.2.1.....GEOSILEX.....	45
3.2.2.....RESYSTA.....	50
3.2.3.....POSIDONIA.....	54
3.2.4LADRILLOS DE PLÁSTICO.....	58
4.COMPARATIVO DEL CICLO DE VIDA.....	63
5.APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.....	81
5.1 Alternativas al hormigón o el cemento.....	82
5.2 Alternativas a los revestimientos actuales.....	90
5.3 Alternativa a los aislantes térmicos actuales.....	95
5.4 Propuesta de aplicación.....	100
6.CONCLUSIONES.....	103
7.BIBLIOGRAFÍA.....	107
8.ANEXOS.....	113
8.1 Figuras.....	114
8.2 Fichas técnicas.....	117

Resumen

El Trabajo Final de Grado aborda la investigación de diferentes materiales existentes hoy en día que provienen de la idea de economía circular, el reciclaje tanto de residuos orgánicos como plásticos, para darles uso en el ámbito de la construcción.

Se analizan sus diferentes formas de aplicación en el proceso constructivo, así como el ciclo de vida de estos materiales y los beneficios que su uso podría acarrear para el medioambiente. Se estudia el proceso constructivo y ejemplos de las diferentes aplicaciones que se les ha dado hasta ahora en la edificación, con el fin de mostrar alternativas a los materiales de construcción habituales para acercarnos a la idea de arquitectura sostenible.

Palabras clave

Materiales sostenibles, sostenibilidad, construcción, ciclo de vida, reciclaje.

Abstract

The Final Degree Project addresses the investigation of different materials that exist today and come from the idea of circular economy, the recycling of both organic and plastic waste, to use them in the construction field.

Its different forms of application in the construction process are analyzed, as well as the life cycle of these materials and the benefits that their use could bring to the environment. The construction process and examples of the different applications that have been given to them so far in the building are studied, in order to show alternatives to the usual construction materials to get closer to the idea of sustainable architecture.

Keywords

Sustainable materials, sustainability, construction, life cycle, recycling.

1.INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El motivo por el que se ha decidido investigar sobre materiales alternativos a los tradicionalmente empleados en la construcción es el afán por conocer de qué modo se puede continuar avanzado en este sector sin aumentar el impacto negativo que hoy en día se produce en el planeta. La metodología y los productos empleados hasta favorecen al deterioro del medioambiente y la solución no debería ser cesar la actividad sino adaptarla a favor de la conservación del medio.

Se pretende profundizar en la idea de reconvertir el sector de la construcción para que este no sea una gran fuente de contaminación como lo ha sido siempre y por desgracia sigue siendo. Asumiendo que esta industria abarca una amplia variedad de sectores comerciales, desde las empresas productoras de materiales, suministradoras de energía o agua hasta transportistas, esta investigación se centra en el ámbito de los materiales que se emplean en las edificaciones, observando cómo afecta la elección de un material en la huella de carbono total de un edificio y estudiando que alternativas existen para reducir en esta fase el impacto ambiental.

El análisis se basa en investigar sobre las materias primas de estos productos, así como el proceso de fabricación, las fases que forman parte de su ciclo de vida, las propiedades técnicas y la posibilidad de aplicación como alternativas a los materiales más utilizados en el panorama actual. Comparando las diferentes fases de la su vida útil para sintetizar los puntos en los que se tiene mayor y menor impacto ambiental.

Cabe destacar que la búsqueda de formas sostenibles de construir es un aspecto de vital importancia dado el panorama de emergencia climática en el que nos encontramos actualmente, por ello los profesionales que forman parte del sector deben conocer los avances que se están realizando en este ámbito con el fin de aplicarlos siempre que sea posible. Por consiguiente, este trabajo comenta tanto las características técnicas como las diferentes aplicaciones posibles y casos en los que ya se han empleado para que sirvan de ejemplo.

1.2 Objetivos

El presente Trabajo Final de Grado tiene como objetivo principal realizar el análisis de una selección de materiales que existen actualmente en el mercado de la construcción con la definición de materiales sostenibles, para dar a conocer sus prestaciones, el motivo por el que son calificados como sostenibles o ecológicos y qué pueden ofrecer al sector de la edificación.

En este análisis se pretende aprender sobre diferentes materiales, mediante el estudio de sus propiedades técnicas, la metodología que se emplea para su producción como material de construcción y las diferentes fases que conforman su ciclo de vida, así como la capacidad de reutilización o reciclaje y sus posibles usos.

Con el fin de conocer nuevas alternativas que pueden reducir la huella ambiental que generan las obras arquitectónicas, se investiga sobre el impacto ambiental de los materiales más utilizados actualmente y se analiza en profundidad los materiales sostenibles elegidos para obtener conocimiento de sus características, viabilidad y nivel de sostenibilidad.

Se aspira a obtener una amplia información sobre los diferentes materiales analizados que sirva como incentivo para su aplicación y conceda un conocimiento básico de las fases que forman parte de su ciclo de vida y puntos donde se podría seguir indagando para conseguir que tengan un impacto nulo o hasta positivo en el medio ambiente.

1.3 Metodología

La metodología llevada a cabo para la realización de este trabajo de análisis ha consistido en un estudio previo de la situación actual del sector de la construcción en cuanto a sostenibilidad e impacto generado en medio ambiente junto con una consulta a las fuentes bibliográficas de autores que hasta ahora han investigado sobre este tema y propuesto posibles opciones para mitigar la huella de carbono que se genera anualmente e introducir en esta industria el concepto de economía circular.

Asimismo, se ha realizado una investigación sobre los diferentes materiales existentes en el mercado construcción que tiene un impacto ambiental igual a cero y favorecen a la conservación del medio ambiente por diferentes motivos. De los materiales encontrados se ha realizado una selección de 8 para analizarlos en profundidad.

Durante el proceso de análisis se observa que estos materiales sostenibles se pueden diferenciar en dos grupos basándose en la obtención de la materia prima que se emplea en su producción. De modo que se decide agrupar en dos grupos, por un lado, los materiales que provienen de fuentes o procesos naturales y por otro lado los que transforman residuos en materiales aptos para la edificación.

Las fuentes empleadas para el análisis han sido las diferentes empresas que han patentado y comercializan estos materiales junto con la consulta a diferentes trabajos de investigación que previamente han analizado las propiedades de ciertos productos naturales o residuos y como se podrían aplicar en la construcción.

Para finalizar, como resultado del análisis se han confeccionado unas tablas que resumen el ciclo de vida de los 8 materiales y se comparan los resultados para observar en que puntos del proceso en general se tiene un impacto ambiental o se generan residuos que no sé qué reutilizar. Todo esto para obtener una visión global de las consecuencias del uso de estos materiales y su posible aplicación como alternativa sostenible a los materiales más empleados hasta la fecha.

2.CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

2.1 Definición

La relación entre construcción y medioambiente ha sido un tema recurrente desde que el ser humano empezó a investigar sobre las técnicas constructivas y a instaurar leyes para la arquitectura. El arquitecto romano Marcus Vitruvius Pollio, al conjugar los tres principios de la edificación en su tratado “De architectura” alrededor del año 15 a.C., ya hizo mención al impacto medioambiental al referirse a la funcionalidad de la arquitectura (“Principios de Vitruvio | Arkiplus” n.d.).

Sin embargo, a medida que las técnicas constructivas fueron avanzando, la preocupación por el impacto ambiental se iba disipando y, con la llegada de la revolución industrial, la idea de que la industria y el medio ambiente son totalmente opuestos se llegó a instaurar y hasta aceptar como algo inevitable. “Estamos acostumbrados a pensar que la industria y el medio ambiente siempre están en conflicto, porque los métodos convencionales de extracción, fabricación y desecho son destructivos para el entorno natural (...) es inevitablemente destructiva”(McDonough 2005).

Aunque, con el paso del tiempo, empezaron a surgir asociaciones preocupadas por la protección del medio ambiente, no fue hasta 1987 que se planteó la idea de implantar cambios a nivel mundial para conseguir un “desarrollo sostenible”, utilizando por primera vez de forma oficial este término en la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo.

“Lo que se necesita ahora es una nueva era de crecimiento económico, un crecimiento que sea poderoso a la par que sostenible social y medioambientalmente. (...) Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias.(...) limitaciones que imponen a las recursos del medio ambiente el estado actual de la tecnología y de la organización social y la capacidad de la biosfera de absorber los efectos de las actividades humanas”(Brundtland 1987).

Surgen de este modo las primeras ideas relacionadas con la sostenibilidad tratando, no solo el ámbito medioambiental sino también el económico y el social. De modo que, a largo del tiempo, han surgido varias definiciones sobre el mismo concepto, pero con diferentes aspectos de base según el sector. Así se señala en revistas de ecología y medio ambiente como Ecosistemas (Artaraz Miñón 2001):

- Sostener los recursos naturales (Carpenter, 1991).
Lograr la sostenibilidad de todos los recursos: capital humano, capital físico, recursos ambientales, recursos agotables (Bojo et al., 1990).
- Aquella que utiliza productos renovables o financia la puesta en marcha de un proyecto que asegure tanto la producción renovable de un bien substitutivo del consumido, como la absorción de residuos generados sin daño para los ecosistemas (Naredo, 1990)

Son muchos los expertos hasta la actualidad que basándose en la idea de desarrollo sostenible que introdujo La Comisión Brundtland en 1987 han indagado en el concepto de “sostenibilidad”, entendiendo que para que sea posible es necesario un cambio en el sistema de producción actual. Autores como Brian Edwards hablan sobre la sostenibilidad como “la nueva vanguardia de la ciencia, la base de tecnologías y proyectos innovadores, el

paradigma más reciente de la equidad social y la lente a través de la cual las empresas comienzan a ver su futuro.” Él mismo es su libro Guía básica de la Sostenibilidad amplia los campos en los que imponer este concepto “la sostenibilidad es un concepto que abarca el diseño de bajo consumo energético y la ecología,(...) es el camino que nos llevará a una arquitectura más rica, más sensible al medio ambiente y más humana” (Edwards 2004).

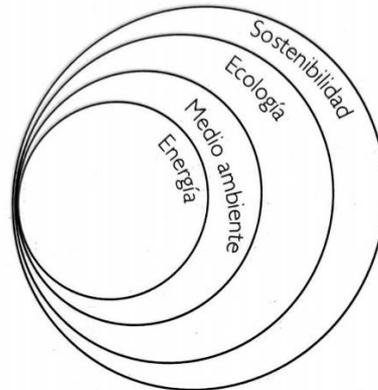


Figura 1: : Ampliación del concepto de sostenibilidad(Edwards 2004)

En cuanto al ámbito de la construcción, no se puede entender la idea de desarrollo sostenible sin implantar el término construcción sostenible, dado que el avance en la construcción es una causa y al mismo tiempo consecuencia del crecimiento económico de un lugar.

Se indican a continuación las definiciones básicas de “construir” y de “sostenible” encontradas en la RAE:

Construir: “Hacer algo utilizando los elementos adecuados”./ “Hacer de nueva planta una obra de arquitectura o ingeniería, un monumento o en general cualquier obra pública” (Real Academia Española 2020).

Sostenible “Que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente”. (Real Academia Española 2020).

Analizando las definiciones de ambos términos se puede entender el significado de construcción sostenible como la idea de mejorar la aplicación de los recursos necesarios para crear edificaciones con buenas calidades sin dañar el medio natural ni agotar los recursos que este nos ofrece. Dicho de otro modo, “la Construcción Sostenible se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales causados por los procesos de construcción, uso y derribo de los edificios y por el ambiente urbanizado (Lanting, 1996).

Ahora bien, son muchos los profesionales de este campo que ya se han interesado por la aplicación de este concepto en la materia y han evolucionado la idea dotándole de distintos nombres.

- La arquitectura verde o sustentable de Norman Foster: "redescubrir cuál es la relación entre los edificios y la naturaleza, teniendo en cuenta que la energía no es algo que sea ilimitado" (Belén Palanco 2010)

- La arquitectura ecológica de Luis de Garrido: “aquella que satisface las necesidades de sus ocupantes, en cualquier momento y lugar, en perfecto equilibrio con el ecosistema natural, y sin alterarlo de forma significativa. Por lo tanto, la arquitectura sostenible implica un compromiso honesto con el desarrollo humano y la estabilidad social, utilizando estrategias arquitectónicas con el fin de optimizar los recursos y materiales; disminuir el consumo energético; promover la energía renovable; reducir al máximo los residuos y las emisiones; reducir al máximo el mantenimiento, la funcionalidad y el precio de los edificios; y mejorar la calidad de la vida de sus ocupantes”(Garrido 2017)

Diferente terminología y varias maneras de expresarlo, pero con la misma finalidad, implantar cambios para encaminar uno de los sectores actualmente más contaminantes hacia un futuro en el que su desarrollo y la conservación de la naturaleza vayan de la mano.

2.2 Principios

Desde el momento en que se empezó a hablar de incorporar una mentalidad sostenible en la sociedad apareció el movimiento de las tres “R”; Reducir, Reutilizar y Reciclar, el cual presenta beneficios ambientales para reducir residuos y concienciar a la sociedad, pero también genera nuevas fuentes contaminantes en el proceso de reciclaje, como se explica en el libro “Cradle to cradle” al hablar de “lo menos malo” (McDonough 2005). A pesar de ello, las 3 erres han servido siempre como cimiento para establecer los principios de todo movimiento relacionado con la reducción del impacto medioambiental.

De este modo, para que el concepto de construcción sostenible sea una realidad se han ido establecido una serie de principios, en base a los cuales trabajar. (Lanting, 1996).

- Conservación de recursos.
- Reutilización de recursos.
- Utilización de recursos Reciclables y Renovables en la construcción.
- Consideraciones respecto a la gestión del ciclo de vida de las materias primas utilizadas, con la correspondiente prevención de residuos y de emisiones.
- Reducción en la utilización de la energía.
- Incremento de la calidad, tanto en lo que atiende a materiales, como a edificaciones y ambiente urbanizado.
- Protección del Medio Ambiente.
- Creación de un ambiente saludable y no tóxico en los edificios

Estos principios, al profundizar más allá del concepto global de construcción y llegar a la elección de los materiales constructivos, se pueden aplicar pensando en los efectos medioambientales a lo largo de todo su ciclo de vida, como se expone en Libro Verde sobre Política de Productos Integrada que elaboró la Comisión de las Comunidades Europeas en 2001, “el término Política de Productos Integrada, tiene como objetivo reducir los efectos ambientales de los productos durante su ciclo de vida. Se considera el ciclo vital del producto completo, desde su extracción hasta la gestión final del residuo cuando su vida termina.”(Artaraz Miñón 2001). Idea en la se basa este Trabajo Final de Grado para el análisis de los materiales estudiados.

Por lo tanto, se podría afirmar que una de las bases de la construcción sostenible es la correcta elección de los materiales, para lo cual se debe analizar el impacto ambiental que estos pueden generar. Aunque se deben considerar múltiples factores, una de las técnicas que se suele utilizar para ello es el concepto de “energía incorporada” que según (Edwards 2004). Se podría definir como: “El concepto de energía incorporada sirve para poner en evidencia los altos costes energéticos que entraña el transporte de materiales voluminosos (como piedra, áridos, ladrillos u hormigón) y el procesamiento de algunos materiales ligeros muy empleados (como aluminio). Tres principios importantes pueden derivarse del concepto energía incorporada:

1. Aprovechamiento local de los materiales pesados. (...)
2. Aprovechamiento global de los materiales ligeros. (...)
3. Potencial de reciclaje. (...)

Esta concienciación sobre la elección de los materiales, teniendo en cuenta su ciclo de vida, se extiende no solo a la forma en la que se obtiene y se procesa el material sino también a sus posibilidades de reutilización.

El arquitecto (Garrido 2017). con su concepto de naturalezas artificiales indaga en este aspecto con el fin de que “El proceso de extracción-reparación-sustitución podrá alargar al infinito (...) llegará un momento en que un componente estará tan degradado que no sirva de utilidad (...) necesitara ser reciclado y convertirse en otro”.

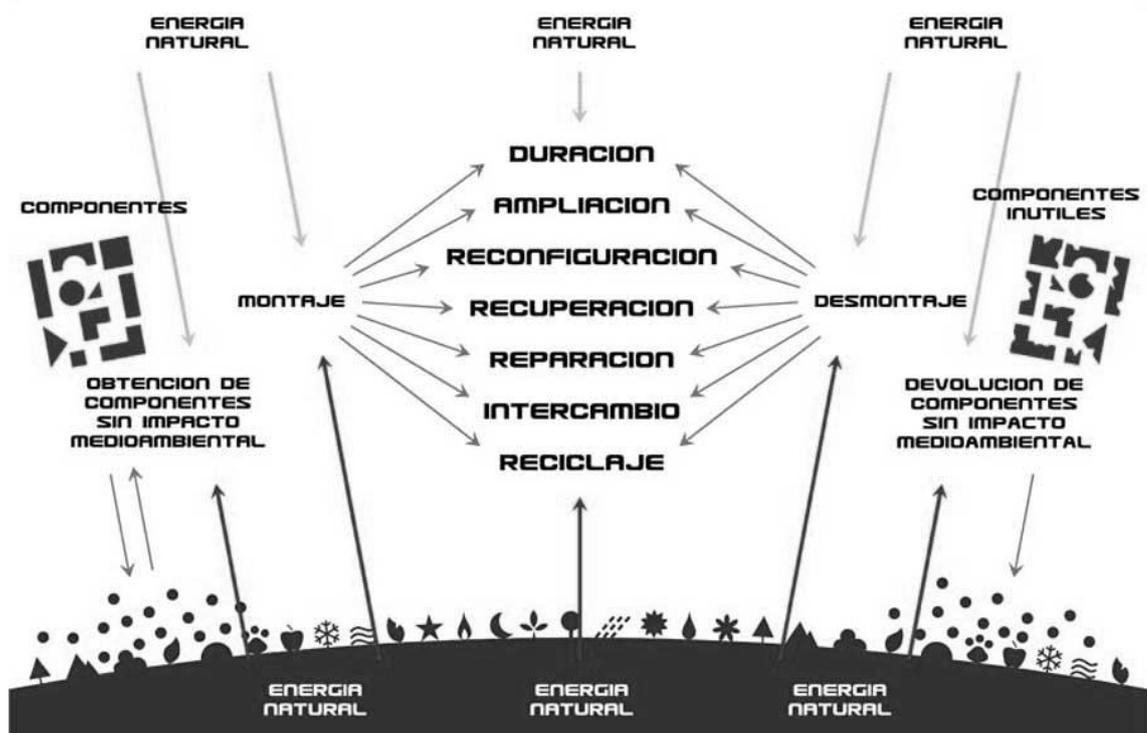


Figura 2: Esquema idea “naturalezas artificiales”(University College Dublin 2007)(Garrido 2017)

2.3 Necesidad

El calentamiento global y la emergencia climática que estamos viviendo es un hecho que hoy en día es imposible negar, “está alterando las economías nacionales y afectando a distintas vidas. Los sistemas meteorológicos están cambiando, los niveles del mar están subiendo y los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos.”, como informa la ONU en un artículo sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible, además datos como que en 2019 se alcanzó el record de niveles de dióxido de carbón en la atmosfera pone aún más de manifiesto la necesidad urgente de imponer cambios encaminados hacia el concepto de sostenibilidad.

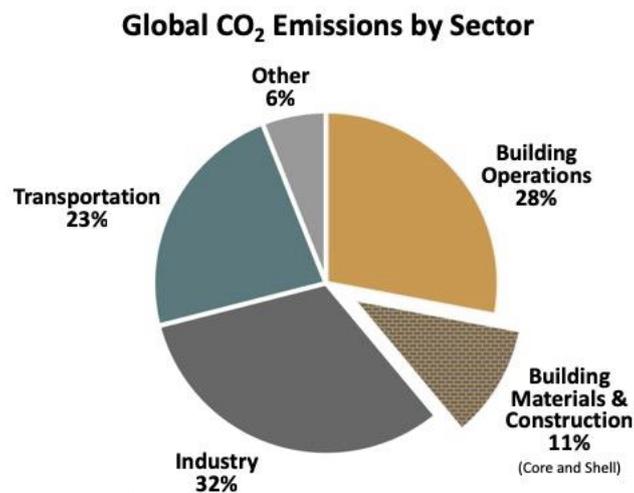


Figura 3: Porcentajes de emisiones de CO₂ por sectores (Global Alliance for Buildings and Construction 2018)

Si se realiza un breve estudio sobre el impacto ambiental del sector de la construcción se llega fácilmente a la conclusión de que se trata de una gran fuente de contaminación y desechos:

“El sector de la construcción es el que consume el 50 % de los recursos mundiales y la generación de energía y residuos de los edificios son los encargados de emitir más CO₂ a la atmósfera” (Clapers Vivares 2018).

“La industria de la construcción y demolición es el sector que más volumen de residuos genera, siendo responsable de la producción de más de 1 tonelada de residuos por habitante cada año” (Alejandro Monroy Bobadilla 2018).

“En el total de la economía, la industria y la construcción suponen el 57,6 % de todos los residuos generados según la cuenta de los residuos 2016”(Instituto Nacional de estadística 2019).



Figura 4: Principales indicadores sobre residuos (Instituto nacional de Estadística 2016)

Todos estos datos dan a entender que la acción para detener el cambio climático implica actuar en el sector de la edificación implantando urgentemente principios de la construcción sostenible, entre los cuales está la implantación de nuevos materiales que no dañen al medio ambiente.

Por lo tanto, se puede prever que noticias actuales como “el acuerdo provisional sobre la ley de clima europeo que establece una nueva trayectoria de reducción de emisiones de CO₂ mucho más estricta para alcanzar la neutralidad climática en 2050 y reducir “al menos un 55 %” las emisiones de gases con efecto invernadero para 2030”, publicada en diversos medios de comunicación el 21 de abril de 2021, van a marcar un punto de inflexión en la arquitectura.

Hecho el cual ya había sido previsto en múltiples estudios. “El fantasma de los impactos del cambio climático y otras amenazas medioambientales clama por una nueva arquitectura, una arquitectura ecológica” (K. Ching 2016), en el Programa Horizonte 2020 como parte de la estrategia Europea 2020 “Concerning climate action, it can be anticipated that it will determine the future actions on the construction sector.” (Pacheco-Torgal 2014) y como se analiza a continuación, la necesidad de implantar una construcción sostenible, unido al uso de nuevos materiales, también forma parte de la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible de la ONU.

2.4 ODS relacionados

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible buscan incorporar cambios en el sistema de vida actual para conseguir un futuro más sostenible, tanto desde el punto de vista medioambiental como social. En ambos aspectos, el área de la construcción juega un papel importante como hemos podido analizar con los datos anteriores.

Esto quiere decir que, tanto el proceso de producción como la aplicación en obra y la posible reutilización, o no, de los diferentes materiales de construcción afecta de manera directa al medioambiente y por tanto el concepto de construcción sostenible y la investigación de materiales que generen el menor impacto está vinculado a diversos ODS.

ODS 3. Salud y bienestar y ODS 6. Agua limpia y saneamiento

En primer lugar, los objetivos 3 y 6 tratan de reducir la contaminación tanto del agua como del aire y del suelo para evitar las muertes producidas por productos químicos y disminuir el porcentaje de aguas contaminadas para facilitar su reutilización. De modo que, como un alto porcentaje de los productos químicos causantes de esta contaminación proviene de los polvos, emisiones y desechos procedentes de la producción de materiales que comúnmente se utilizan en la edificación, el hecho de indagar en la aplicación de nuevos materiales con diferentes procesos de fabricación para generar menos residuos y ser así más respetuosos con la salud y el medioambiente, está directamente relacionada con estos objetivos.

ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico y ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras

En cuanto a los objetivos 8 y 9, cuyas metas buscan el desarrollo de actividades productivas que generen empleo, innoven y reconviertan la industria para que sea más sostenible y amable con el medioambiente, están igualmente ligados con la creación de materiales sostenibles, ya que se trata de una nueva industria que está surgiendo también en países en vías de desarrollo que optan por reutilizar los materiales que ya poseen o los residuos que generan de otras actividades para darles un nuevo uso que hasta el momento no se había planteado.

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles

Asimismo, la búsqueda de alternativas en la construcción para reducir el impacto negativo en el medioambiente está ligado de manera intrínseca con la idea de arquitectura sostenible planteada en el objetivo 11. Dado que el uso en la edificación de materiales que no contaminen el espacio natural, ni durante su fabricación ni en su aplicación y además permitan su reutilización, abre puertas para que las ciudades continúen creciendo mientras se reduce la contaminación y los residuos.

ODS 12. Producción y consumo responsable

Desde el punto de vista del objetivo 12, la incorporación de la idea de economía circular en la construcción, al utilizar materiales procedentes del reciclado de otros, hace que se pueda realizar una gestión ecológica de los desechos generados, consiguiendo así una producción más responsable y desvinculando el crecimiento económico con la degradación ambiental.

ODS 13. Acción por el clima y .ODS 15 Vida de ecosistemas terrestre

De igual modo, la reducción del uso de agentes contaminantes en la producción y durante el ciclo de vida de los materiales constructivos ayuda a reducir las emisiones de CO₂, tal y como se busca con el objetivo 13, que propone la sustitución de combustibles fósiles por soluciones sostenibles, como es el caso de los materiales a analizar en este trabajo. Además, como consecuencia de este cambio el ecosistema se ve afectado de manera positiva no solo parando su destrucción si no que planteando soluciones que con el tiempo pueden rehabilitar los daños causados, haciendo posible el objetivo 15.

2.5 Arquitectura de referencia

Gracias a que cada vez se está teniendo más conciencia del papel que tiene la construcción en el deterioro del medioambiente y la urgencia por el cambio, son muchas las personas que en la actualidad estudian nuevas técnicas y materiales sostenibles para poder implantarlas en este ámbito.

A continuación, se muestran algunos profesionales que nos sirven de referencia para conocer diferentes maneras de enlazar el concepto “sostenibilidad” a la construcción.

- Luis de Garrido y su Arquitectura Ecológica

Mediante el uso de la tecnológica su idea es la de implantar un nuevo paradigma ecológico en arquitectura y para ello ha introducido el término “arquitectura ecológica” que se basa en los siguientes pilares básicos para lograr que sus obras tengan “un alto nivel ecológico”, tal y como explica en su libro “Manual de Arquitectura Ecológica Avanzada”:

1. Optimización de recursos. Naturales y artificiales.
2. Disminución del consumo energético.
3. Fomento de fuentes energéticas naturales.
4. Disminución de residuos y emisiones.
5. Aumento de la calidad de vida de los ocupantes de los edificios.
6. Disminución del mantenimiento y coste de los edificios.

Además, para poder instaurar de forma clara estos principios en su actividad profesional, Luis de Garrido ha identificado a lo largo de su carrera profesional lo que él denomina “los 39 indicadores ecológicos (...) se pueden utilizar tanto para evaluar el nivel ecológico de un determinado edificio, como para lograr una metodología general de diseño de una arquitectura con el máximo nivel ecológico posible.”(Garrido 2017). Estos indicadores al surgir de los principios ya explicados, tienen en cuenta tanto los recursos y la energía necesaria para levantar un edificio (material, transporte proceso de construcción) como los residuos que se generan.

“La vivienda tiene el “mayor nivel ecológico” para el entorno en el cual está construida y es autosuficiente en agua, energía y alimentos, con consumo energético cero. La vivienda es desmontable y reubicable, ya que está construida a base de componentes arquitectónicos que pueden ser recuperados, reparados, y reutilizados” (Garrido 2017).

Tenemos algunas de sus obras arquitectónicas como ejemplo de aplicación de estos indicadores en el proceso de diseño y construcción:



Figura 5: Cubic Eco-Housing (2017)



Figura 6: Carolina Eco-House (2015)



Figura 7: Nadal Eco-House (2015)

- Nader Khalili y la arquitectura de la tierra:

Este arquitecto nos muestra otra forma de hacer arquitectura sostenible basándose en técnicas tradicionales mediante el uso de la tierra. “La tierra es el material más ecológico, abundante y duradero que existe y además ¡está por todas partes! Mil millones de personas en el mundo carecen de hogar o sus casas son débiles y se derrumba. Con mi sistema esto no ocurre” (Nader Khalili 1991)-

Conocido por su sistema de Casa de cerámica y la técnica de Superadobe, su trabajo trata de crear una arquitectura sostenible y asequible para todos utilizando los cuatro elementos básicos de la naturaleza: tierra, aire, agua y fuego (Domoterra 2012).

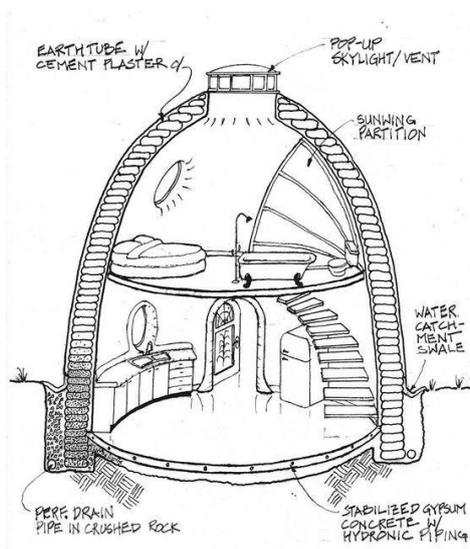


Figura 8: Esquema de idea (Domoterra 2012).



Figura 9: : Proceso de construcción técnica Superadobe



Figura 10: Ejemplo de arquitectura de la tierra

- Simón Vélez y la Arquitectura en Bambú

Un claro ejemplo de que no es necesario el uso de múltiples materiales con un largo proceso de producción para construir cualquier tipo de edificio. "Mi propuesta como arquitecto es hacer una arquitectura un poquito más vegetariana, no tanto concreto, pero tampoco totalmente vegetariana. Hay que tener una dieta equilibrada entre minerales y vegetales, y estamos demasitados minerales con la arquitectura" (Simón Vélez 1986)

Su obra está basada en el uso de la Guadua "una planta nativa de los bosques andinos de Colombia de muy rápido crecimiento, que se adapta a una amplia variedad de climas (...). Su cultivo y procesamiento es ecológicamente sostenible y es una de las mejores plantas en absorber el dióxido de carbono de la atmósfera", la cual usa como elemento estructural en todos los edificios residenciales y comerciales que ha construido en más de 11 países(José Tomás Franco 2013).



Figura 11: Catedral sin religión (2009)



Figura 12: Pabellón ZERI (2000)

)

- Amateur Architecture Studio y el reciclaje de materiales

En este caso la aplicación del concepto construcción sostenible se basa en la reutilización de desechos producidos por el mismo sector, este despacho “busca construir puentes entre el pasado y el presente, trabajando con materiales reciclados y conocimientos tradicionales”.

Se trata de un ejemplo de aplicación directa del concepto de las tres R (Reducir, Reutilizar y Reciclar) en la arquitectura que ,además de ayudar a reducir la cantidad de residuos generados en la construcción, “nos enseña que, a través de la reutilización de materiales tradicionales, es posible construir una nueva relación no solo con el medio ambiente, sino con la tradición constructiva local y la historia del lugar”(Scarlett Miao 2020).



Figura 13: Escombros fruto de la demolición de aldeas (Miao 2020)



Figura 14: Museo de Historia de Ningbo (2007)

Tras analizar estos ejemplos de diferentes formas de impulsar el cambio de una arquitectura contaminante a una arquitectura sostenible, se puede apreciar que la elección de los materiales es fundamental a la hora de reducir el impacto ambiental que tendrá un edificio en el medio natural, por ello estos autores sirven de referencia para indagar en las opciones de materiales sostenibles que existen hoy en día en el sector de la construcción y qué uso se está haciendo de ellos.

3. ANÁLISIS MATERIALES SOSTENIBLES

Existen diferentes factores a tener en cuenta a la hora de elegir qué material se va a emplear en cada parte de una obra arquitectónica. Partiendo de la función que va a desempeñar, estructural, aislante o estética, se buscan ciertas propiedades mecánicas de resistencia mínimas, propiedades térmicas o acabados y texturas. Hasta ahora los materiales, que podríamos denominar "tradicionales" como el hormigón o la madera, han sido utilizados por cumplir con esas necesidades o propiedades sin tener en cuenta el factor ambiental o la huella de carbono que la producción y aplicación de ello suponía al planeta pero debido al cambio climático y a la contaminación real existente en el medio natural donde habitamos, se está empezando a incluir el factor medioambiental de los materiales como punto a tener en cuenta en la elección.

Es por ello que la búsqueda de alternativas sostenibles que otorguen propiedades similares a los materiales tradicionales, pero con un factor ambiental positivo están en auge, en este trabajo se analizan una serie de materiales calificados como sostenibles que se comercializan como alternativas a los materiales más utilizados hoy en día.

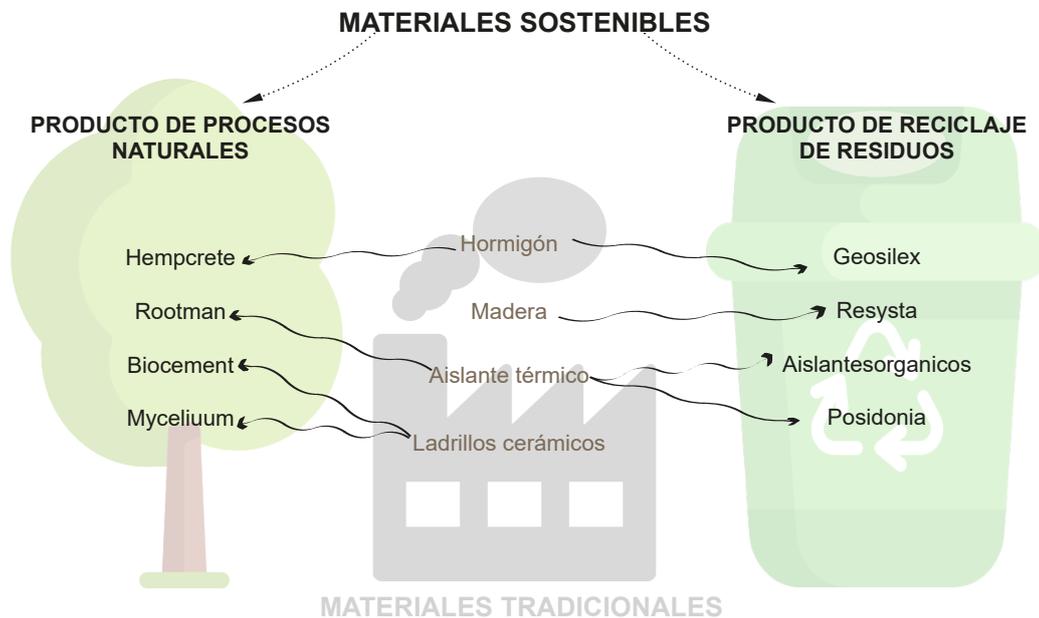


Figura 15 Esquema materiales a analizar (fuente propia)

En cuanto a materiales que cumplan la función de aislante térmico, en la industria de la construcción actual existen diferentes materiales que se emplean como tal y se aplican dependiendo de las características de la obra, los más comunes son lana de vidrio, lana de roca, poliestireno expandido, poliestireno extruido y poliuretano (Tabla 1). Todo ellos dan buenos resultados por sus propiedades térmicas y acústicas, pero por desgracia su producción supone una fuente de contaminación a la atmósfera importante, como se puede observar en la Tabla 2 que muestra una comparativa de emisiones de CO₂ basada en una unidad de referencia (1m²) de los diferentes tipos de aislantes más utilizados en la actualidad (París Viviana 2014). Si bien es cierto que poco a poco se está introduciendo la aplicación de nuevos materiales aislante más sostenibles como el vidrio celular, la celulosa o el lino, los cuales están incluidos en el catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación del (IVE 2015)

Nombre del material aislante		Origen	Conductividad (λ) W/(m.K)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable ¹	Precio aproximado €/m ²	Formato	Necesidad de protección en la instalación	Coste energético de producción MJ/kg ²	Contenido de producto reciclado (0-3) ³	Biodegradable ⁴
	Lana de roca (SW)	Mineral	0,03 - 0,05	1	NO	<5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 25	1	No
	Lana de vidrio (GW)	Mineral	0,03 - 0,05	1 - 1,3	NO	<5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 50	2	No
	Poliestireno expandido (EPS)	Sintético	0,029 - 0,053	20 - 40	SI	<5	Panel y a granel	No	75 - 125	1	No
	Poliestireno extruido (XPS)	Sintético	0,025 - 0,04	100 - 220	SI	<15	Panel	Guantes	75 - 125	1	No
	Poliuretano o Polisocianurato (PUR)	Sintético	0,025 - 0,040	60 - 150	SI	<10	Panel y espuma	Ojos, sistema respiratorio y piel	70 - 125	1	No

Tabla 1: Fragmento 1 de la tabla de propiedades de los materiales aislantes más comunes en la edificación. (IVE 2015)

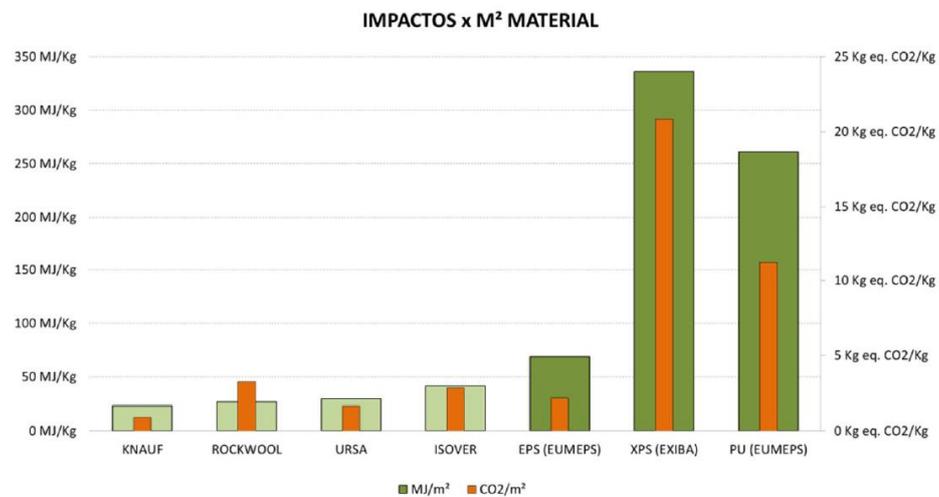


Tabla 2: Gráfica comparativa emisiones CO₂ de los aislantes más utilizados en la construcción (París Viviana 2014)

Por otro lado, los ladrillos cerámicos convencionales son una fuente de contaminación debido no solo a los materiales que se necesitan para su producción sino por la energía que se requiere durante fabricación. “De los dos mil millones de toneladas de emisiones de CO₂ creadas cada año por la producción de cemento, la mitad provienen de combustibles fósiles quemados como fuente de energía para los hornos. La energía utilizada para hornear una tonelada de cemento podría abastecer a un hogar estadounidense promedio durante más de un mes “(Krieg 2021)

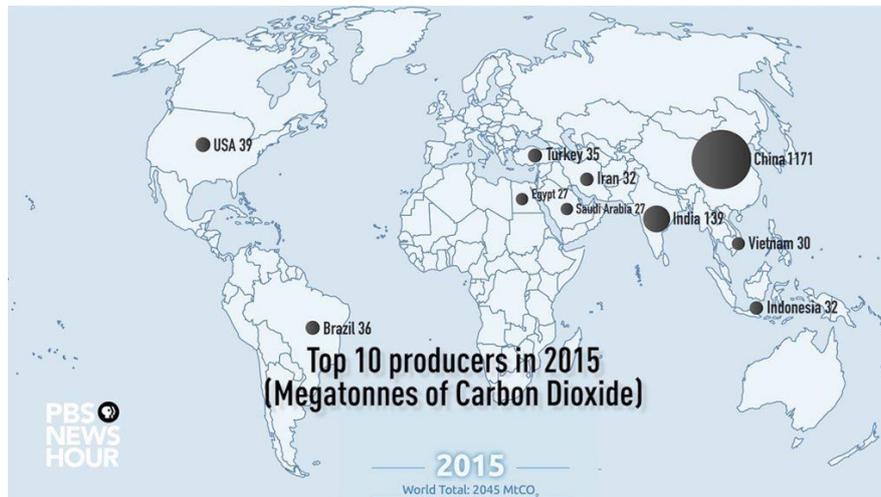


Figura 16: Los 10 principales productores de emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el cemento en 2015 (en megatoneladas de CO₂ (Akpan and Ehrichs 2017)

Por ello, en la búsqueda de una alternativa sostenible a los ladrillos cerámicos es clave cambiar el proceso de producción por un método con menor consumo de energía y que funcione con una fuente de energía renovable. Por consiguiente, los investigadores de este campo buscan un material que sirva de materia prima para la producción de ladrillos, que no necesite de un proceso de fabricación tan contaminante pero que otorgue las propiedades necesarias para su aplicación en la construcción

3.1 Productos procedentes de procesos naturales

En la búsqueda de alternativas sostenibles existe una rama de investigaciones que se basan en utilizar procesos naturales o fuentes totalmente naturales para la producción de materiales aplicables en la construcción, la idea principal de estos estudios se podría decir que consiste en observar los procesos que tienen lugar en la naturaleza y adaptarlos para que sirvan en la fabricación de materiales constructivos.

Estos materiales se conocen como “bioproductos” o “biomateriales” y se definen como “material funcional que ha sido diseñado y construido a partir de una materia prima biológica, tales como plantas, algas, bacterias, hongos, asociaciones simbióticas mutualistas de microorganismos o biopolímeros microbianos”(Feijóo-Vivas et al. 2021). En algunos estudios se habla de dos tipos de compuestos dentro de estos bioproductos (Feijóo-Vivas et al. 2021), por un lado los existen los materiales “bio.basados” cuya composición es mayoritariamente una materia biológica sin utilizar aditivos artificiales, y por otro lado están los “bio-fabricados”, los cuales son productos de procesos biológicos que llevan a cabo organismos vivos. A continuación, se analizan algunos ejemplos de ambos tipos.

3.1.1 HEMPCRETE

El primer material a analizar se trata de una alternativa al hormigón tradicional que se comercializa en el mercado de materiales de la construcción actual. Este biocompuesto consiste en resinas naturales que provienen de hojas de cáñamo, cal y agua y se comercializa con el nombre “hempcrete, u hormigón de cáñamo” (Flowertown 2020).

Lo que hace que esta sea una propuesta sostenible es que su componente principal consiste en una planta natural, el cáñamo “nombre generalizado para las variedades de alto crecimiento de la planta de cannabis sativa (...) con facilidad de cultivo y un alto margen operativo, el cultivo de esta planta crea un valor económico excelente para los agricultores y un suministro constante y sostenible de materias primas. materiales para diversas industrias, incluida la construcción”(Jami, Karade, and Singh 2019). Por ello su aplicación en la construcción no es solo favorable para el medio ambiente si no que pone el valor un sector económico que está en declive, la agricultura.



Figura 17: Planta cáñamo en la naturaleza.

Esta planta es de aplicación también para otras industrias, como la textil, de hecho, las diferentes industrias utilizan partes distintas de esta planta, según un estudio sobre la aplicación en la construcción de esta planta “las virutas de cáñamo, que se utilizan para hacer cáñamo hormigón, se derivan de la capa de cambium y por debajo. Ellos son desprovistos de las capas de epidermis y floema que se extraen para la fabricación de textiles y otros productos fibrosos como el aislamiento, (..) las navajas de cáñamo son porosas y contienen suficientes vacíos interconectados que pueden absorber grandes cantidades de agua.”(Jami, Karade, and Singh 2019)

El uso de esta planta en la mezcla de hormigón le otorga una serie de propiedades que lo hacen idóneo para sustituir al hormigón tradicional, como su ligereza, densidad, conductividad térmica y el hecho de que se consiga un material carbono negativo, lo que significa que no emite no favorece al aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera. (Jami, Karade, and Singh 2019)



Figura 18: Detalle tallo natural del cañamo

PROPIEDADES

- Adhesiva

Estas virutas de cáñamo necesitan de un aglutinante para su aplicación en la construcción adquiriendo las propiedades necesarias. Por lo que estas virutas que proviene de la fibra central de la planta se mezclan con cal o tierra junto con agua, aportando así cada material una propiedad, el cáñamo lo hace más ligero y el agregado me da consistencia y favorece la conservación. (Luque 2018)

La razón por la que se emplea la cal para este proceso es debido a su compatibilidad con el cáñamo, mayor que con el cemento, gracias a la capacidad de absorción de agua, lo que evita el fraguado de las partes internas del compuesto de cáñamo-cemento. Por lo tanto, “la investigación del hormigón de cáñamo y las aplicaciones comerciales en todo el mundo se basan en la cal hidráulica natural o en los aglutinantes comerciales producidos por muy pocos fabricantes” (Jami, Karade, and Singh 2019)

espesor de muro de fábrica de Cannabric en cm (sin o antes de revestir)	Necesidad en sacos de 35-40 kg de cal hidráulica natural por m ² de muro de fábrica de Cannabric		
	para poner Cannabric en obra sin revestir (dosis 1:4)	para poner Cannabric en obra y revestirlo en una cara con mortero de cal hidráulica natural (dosis 1:4)	para poner Cannabric en obra y revestirlo en dos caras con mortero de cal hidráulica natural (dosis 1:4)
30	0,66	0,83	1,00
14,5	0,27	0,44	0,60
10,5	0,14	0,31	0,47

Tabla 3: Proporción de cal necesaria para la mezcla (Cannabric 2019)(Cannabric 2019)

- Densidad variable

La variación de densidad es algo característico de este material sostenible y lo diferencia del hormigón tradicional que tiene una densidad media constante de 2400 ± 50 kg / m³. Esta densidad variable depende de la humedad y de la composición de la masa, estudios como (Ohmura y col. 2002) han demostrado que la forma en la que el cáñamo se dispersa por el producto influye en su densidad, por lo que, a medida que cambia la composición del material y el proceso de fabricación, también cambia su densidad (Jami, Karade, and Singh 2019). En la tabla 4 se observan los resultados del estudio.

Variation in Green Density and Compactness of various experimental mixes manufactured by Nguyen et al. (2009).

Mix	Shiv, S (kg)	Binder, B (kg) (In a m ³ of LHC)	Water, W (kg)	W/ B	B/S	Upper Compression Stress (at the end of compression step) (MPa)	Green density (kg/m ³)	Green Compactness Ratio	Compactness Ratio after 28 days of ageing
M1	215	387	213	0.55	1.80	1.10	816	0.52	0.37
M2	257	360	198		1.40	1.70		0.52	0.39
M3	320	320	176		1.00	2.60		0.53	0.40
M4	500	270	148		0.54	6.70	920	0.60	0.55
M5		204	112		0.41	6.30	816	0.54	0.50

Tabla 4: Cuadro variación de densidad hormigón de cáñamo ((Jami, Karade, and Singh 2019).

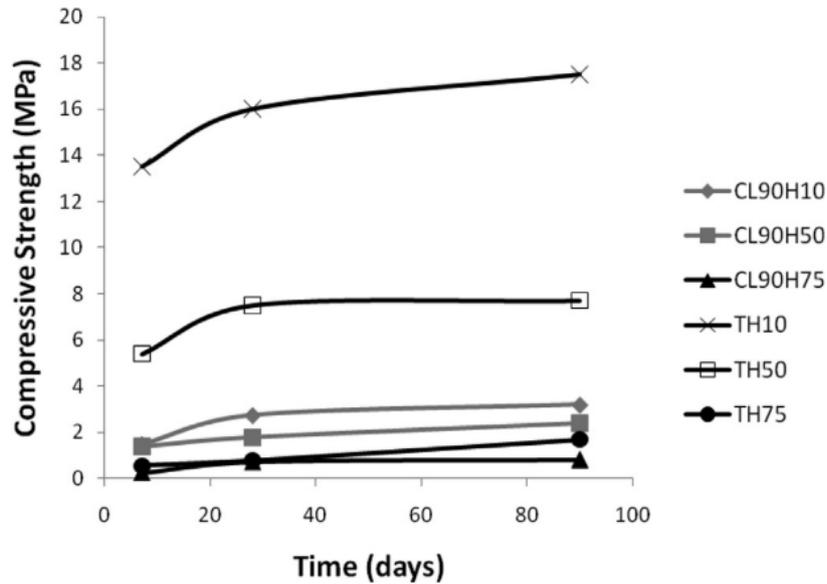
No obstante, la empresa (Cannabric 2019) que comercializa este producto en España indica en la ficha técnica de sus bloques de construcción que se ha determinado una densidad aparente aproximada tras 28 días de fraguado de 1300 kg / m³ y una densidad absoluta seca media de 1000 kg / m³.

- Resistencia a compresión

Diferentes estudios han mostrado que su rendimiento es variable, pero se puede afirmar que los sistemas comerciales de paredes de cal de cáñamo tienden a alcanzar 0.1e0.2 MPa (Sutton et al., 2011) que es alrededor de 1/20 bloques de hormigón. El hecho de que sea un material con una densidad baja y resistente al agrietamiento hace que sea una buena opción para las zonas con movimiento sísmico frecuente.

La resistencia a compresión va aumentando con el tiempo hasta que está totalmente seca la pieza, normalmente tras 90 días, Los bloques que actualmente se comercializan alcanzan a los 28 días una resistencia a compresión característica referida a la sección bruta de 1,3 N/mm² aumentando hasta 1,5 N/mm² tras 90 días, según estudios realizados por (Cannabric 2019) siguiendo la normativa UNE-EN 771-1/ 2001.

Igualmente, existen estudios como influye en el comportamiento de este material ante fuerzas de compresión el porcentaje de cal que se emplee, (Sassoni et al., 2014; Walker, 2013) en la tabla 5 recoge los resultados obtenidos por muestras con distintos porcentajes de cal y cáñamo, en esta también se ve cómo se comporta de forma lineal y elástica hasta un 10% de deformación.



(CL90H10 – 10% hemp; CL90H50 – 50% hemp; CL90H75 – 75% hemp with 90% calcic lime binder; TH10 – 10% hemp; TH50 – 50% hemp; TH75 – 75% hemp with Tradical binder) (Murphy et al., 2010).

Tabla 5: Grafica evolución de la Resistencia a compresión ((Jami, Karade, and Singh 2019)

Estos datos muestran que este tipo de hormigón tiene una baja resistencia, lo cual reduce sus uso en la construcción dado que no le permite soportar las cargas totales de un edificio, pero sí que es posible dotarle de un papel estructural menor en el edificio como aislante en un marco de doble montante evitando que los montantes se doblen o pandeen bajo condiciones de carga (Jami, Karade, and Singh 2019). Cabe señalar, que se considera que esta baja resistencia se podría aumentar significativamente mediante compactación, con lo que se consigue una mayor resistencia a la deformación antes de colapsar y fracturar la materia.

- Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas que ofrece el cáñamo es otro punto a favor de su uso en la edificación dado las pruebas realizadas en el estudio de (Magwood, 2016) muestran un rango de clasificaciones de aislamiento, desde R-1.25 por pulgada (0.22 Km² / W) a R-2.3 por pulgada (0.40 Km² / W) para mezclas de aislamiento de pared de densidad media (400 kg / m³). Esto se puede comparar con el valor R del hormigón celular, que a una densidad de 480 kg / m³ tiene el mismo valor R que el cáñamo a R-1 por pulgada (0,18 Km² / W). Con ello se observó una reducción del 45% en el consumo de energía cuando se utilizó hempcrete, en lugar de hormigón celular.

En correlación con estos datos, la empresa española (Cannabric 2019) resalta las cualidades termodinámicas de su producto señalando la transmisión térmica que se consigue aplicando este material en los cerramientos:

- Muro de carga revestida en dos caras con mortero de cal: 0,47 kcal/ h·°C·m² (0,56 W/ m²·K)
- Muro de división interior revestida en dos caras con mortero de cal: 0,83 kcal/ h·°C·m² (0,99 W/ m²·K)

Asimismo, en la Tabla 6 se muestra que las propiedades térmicas de este material son comparables a las de otros materiales aislantes reconocidos actualmente en la construcción y que sus valores no distan demasiado de los mostrados en la Tabla 1 por lo que el resultado de su aplicación como aislante es igualmente óptimo.

	Nombre del material aislante	Origen	Conductividad (λ) W/(m.K)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable ¹	Precio aproximado €/m ²	Formato	Necesidad de protección en la instalación	Coste energético de producción MJ/kg ²	Contenido de producto reciclado (0-3) ³	Biodegradable ⁴
	Perlite Expandida (EPB)	Mineral	0,040 – 0,060	3 – 8	NO	<5	Panel, rollo, espuma y a granel	Protección frente al polvo	5 – 20	0	No
	Vidrio celular (CG)	Mineral	0,035 – 0,055	Infinita	NO	<60	Panel y espuma	No	10 – 75	3	Si
	Virutas de madera (WF)	Vegetal	0,038 – 0,107	1 – 10	SI	<40	Panel, proyectado y a granel	No	5 – 25	0-2	Si
	Corcho (ICB)	Vegetal	0,034 – 0,100	5 – 30	NO	<25	Panel, rollo y a granel	No	1 – 25	0	Si
	Cáñamo (HM)	Vegetal	0,039 – 0,045	1 – 2	NO	<25	Panel, rollo, proyectado y a granel	No	1 – 40	0	Si

Tabla 6: Fragmento 2 de la tabla de propiedades de los materiales aislantes más comunes en la edificación. (IVE 2015)

Por ello (Flowertown 2020) concluyó que este material es una buena opción para el aislamiento térmico de una vivienda, mejorando su habitabilidad debido a múltiples factores, como la capacidad de mantener la temperatura interna y regular la humedad, lo cual en climas húmedos donde los edificios son susceptibles al moho, puede mejorar las condiciones de vida y de respiración de los usuarios.

En consecuencia, se puede afirmar que las capacidades térmicas de este material ya están siendo reconocidas también por el sector público, dado que instituciones como el Instituto Valenciano de la Edificación lo incluye en su Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación (IVE 2015), en el que analizan sus propiedades en comparación con otros aislantes comúnmente empleados y su modo de aplicación tanto en cubiertas como particiones interiores y fachadas.

- Propiedades acústicas

En cuanto a las propiedades acústicas (Kinnane et al., 2016). afirma en su investigación que los muros de hormigón de cáñamo absorben mejor el ruido que los muros de hormigón de cemento Portland convencionales. “Se descubrió que los muros de hormigón de cáñamo sin revocar fueron capaces de absorber entre el 40% y el 50% de la señal incidente. “De modo que las propiedades acústicas del hormigón de cáñamo son otro aspecto de este material sostenible en el que supera al hormigón tradicional.

Estos datos son confirmados también en la ficha técnica de la empresa española (Cannabric 2019), donde se informa de un aislamiento acústico al ruido aéreo de 54 dBA en muros revestidos de dos lados y de 45 dBA en muros de separación interior revestidas las dos caras.

- Comportamiento frente al fuego

Al parecer no es una propiedad bien explorada del hormigón de cáñamo, con un número limitado de estudios, pero todos afirman que cumple los requisitos mínimos necesarios para poder aplicarse en la construcción. (Jami, Karade, and Singh 2019).

Como ejemplo de ello Studio Green Pte Ltd, una de las empresas que comercializa este material, en la ficha técnica (Brody 2015) indica que tiene una resistencia al fuego de 1.5 horas siguiendo la norma BS EN 476 y la empresa Cannabric, siguiendo la normativa (UNE 23.093-81) califica al material con una resistencia > RF 120.

- Durabilidad

Para hablar de durabilidad es importante tener en cuenta que se trata de un material natural de origen vegetal por lo que el deterioro biológico es un punto débil, no obstante (Marceau y Delannoy, 2017). afirma que las hojas de cáñamo no se descomponen completamente, debido a la mineralización pero se vuelven inertes, menos porosas y quebradizas. A pesar de ello, las empresas como Cannabric certifican que su resistencia es creciente y con una larga vida útil.

Entre factores que afectan a la durabilidad algunos estudios advierten que se trata de un compuesto con poca resistencia a la congelación y descongelación, lo cual no solo reduce su resistencia a compresión (Jami, Karade, and Singh 2019) sino también afecta a la vida útil del material. En cuanto a la resistencia a sales, estudios han mostrado que “tenían buena resistencia a la exposición a la sal de cloruro de sodio dado que los poros dilatados no eran adecuados para que tuviera lugar la cristalización;” Jami, Karade, and Singh 2019)

- Factor ambiental

Se dice que este material es carbón negativo debido a su capacidad para absorber el CO₂ (Figura 19). En cuanto a esta propiedad los estudios de (Ip y Miller, 2012; Jami et al., 2016). sobre los valores de almacenamiento de dióxido de carbono en hojas de cáñamo concluyen lo siguiente; “un muro de cal de cáñamo funcional con dimensiones de 1m x 1m x 0,3 m pueden secuestrar 82,71 kg de dióxido de carbono, lo que significa que no solo compensa alrededor de 46,43 kg del dióxido de carbono emitido durante el cultivo, fabricación y procesos de construcción (...) también permite el almacenamiento de 36,08 kg de dióxido de carbono “

Como propiedades que hacen de este un material sostenible, más allá de la capacidad de absorción, (Luque 2018) añade que los residuos que se generan en la producción son mínimos y el componente de cáñamo es biodegradable. Asimismo una vez terminada la vida útil de los bloques estos se pueden reciclar fácilmente incorporando los restos demolidos en la producción de nuevos bloques o para la fabricación de morteros aislantes (Cannabric 2019)

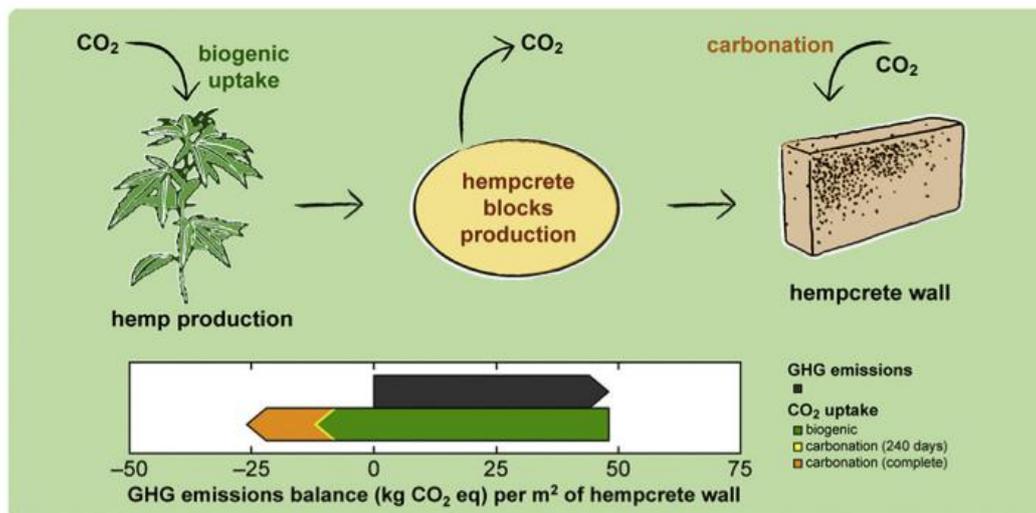


Figura 19: Ilustración de la emisión de carbono y el secuestro de hormigón de cáñamo con un balance de emisiones netas que demuestra la negatividad del carbono (Arrigoni et al., 2017).

Como demostración de las cualidades que ofrece el hormigón de cáñamo para la construcción la empresa Cannabric diseñó un prototipo de vivienda unifamiliar para la competición Solar Decathlon África de 2019 (figura 24), con diferentes aplicaciones de este material: “Hormigón de cáñamo con materiales de origen marroquí (Rif Central), tallos de cáñamo autotransformados por nuestra cooperativa, en fachada vertical. Piel esférica de bio-composite de fibras de cáñamo, portadora de paneles fotovoltaicas semiflexibles” (Brümmer n.d.).

3.1.2 BIOCEMENTO

El siguiente material se presenta como una alternativa al cemento portland para la producción de ladrillos, se trata de un biocompuesto, concepto definido anteriormente, y se comercializa con el nombre de Biocemento.

El Biocemento consiste en un material procedente del depósito de CaCO_3 que se formó debido a la actividad de los microorganismos (Ariyanti and Handayani 2011). Este proceso de precipitación del carbono se da en la naturaleza, un buen ejemplo lo encontramos en múltiples organismos marinos como las microalgas o los corales, en los cuales se basan diversos estudios sobre cómo utilizar este bioproceso en la construcción.

Investigaciones como la de (Ariyanti and Handayani 2011) afirman que este biocemento tiene muchas ventajas en comparación con un cemento tradicional, como por ejemplo el proceso de producción que necesita un tiempo mucho más corto y se puede aplicar para procesos in situ. Además, la materia prima que se emplea para la fabricación de biocemento se produce a baja temperatura, proceso muy eficiente energéticamente hablando en comparación con el cemento ordinario que utiliza una temperatura de hasta 1500°C para su cocción, es debido a este bajo consumo de energía y las bajas emisiones de CO_2 que se producen en la fabricación lo que hace que este material se pueda utilizar como material de construcción ecológica.

En la actualidad “tanto la fabricación de hormigón como la de arcilla adoptan procesos con uso intensivo en energía para la extracción de materias primas, el transporte, además del combustible utilizado en los hornos. Se calcula que cada año se fabrican 1,23 billones de ladrillos, generando aproximadamente 800 millones de toneladas de emisiones de carbono, debido a los combustibles fósiles requeridos en el proceso de cocción” (“BioMason-ESP” 2012) Datos que animan cada vez a más empresas, como BioMASON, a investigando nuevos métodos para la producción de ladrillos más sostenibles.

El material que explicaremos a continuación ha sido creado por la start-up bioMASON el cual produce ladrillos duraderos comparables en resistencia a los ladrillos tradicionales, utilizando bacterias, biomasa, agregados, nutrientes, minerales, produciendo un biocemento natural (“BioMason-ESP” 2012).

La propia creadora de la compañía, Ginger Krieg; explica que se fijó en la naturaleza para la ideación del proceso de fabricación de este biocemento, por ello la frase con la se comercializa este material es “construimos con carbono de la misma forma que la naturaleza lo hace”. Esta afirmación se debe a que la idea de biomason toma como antecedente un estudio de la estructura de los corales, que crean un tipo de “cimiento” debido a la temperatura y microorganismos en el agua de mar. “La idea central era que en lugar de fabricar ladrillos estos sean plantados y “crezcan” de la tierra” (Gutiérrez 2021).

PROCESO DE FABRICACIÓN

BioLITH es el nombre comercial de los ladrillos producidos con este biocemento patentado por BioMASON, que se compone de aproximadamente un 85% granito de fuentes recicladas y un 15% de biocemento, según la empresa estas baldosas superan las propiedades físicas de los materiales tradicionales (BIOMASON 2020).

Para su producción se utiliza una cepa de Bacillus “El organismo crea un microambiente que permite la formación de este cristal de carbonato de calcio [piedra caliza]”, dijo Michael Dosier, director de tecnología de bioMASON en la entrevista con (Akpan and Ehrichs 2017)

Los creadores de este sistema describieron el proceso de producción en la entrevista con (Akpan and Ehrichs 2017): se comienza vertiendo bacterias cebadas en un mezclador lleno de material de base, como puede ser arena. Las paletas agitan la mezcla, por lo que las bacterias se deslizan uniformemente entre las partículas del material rocoso. el tanque que sostiene la preparación se inclina hacia arriba y la sustancia pegajosa se desliza hacia la máquina llamada "la tolva". El biocemento húmedo se canaliza hacia los moldes con la forma de los ladrillos y los cubre una placa hidráulica. Seguidamente se activa un interruptor y la placa presiona el material mientras vibra. Al acabar el proceso Los ladrillos se extraen fuera de la tolva como “panecillos” y se almacenan en un contenedor, donde se endurecen durante tres o cuatro días.



Figura 20: Ladrillos de biocemento durante proceso de fabricación (izquierda) y aspecto final (derecha) (“BioMason-ESP” 2012)

PROPIEDADES

- Resistencia a la compresión y flexión

En la página web de la empresa (“BioMason-ESP” 2012) encontramos los siguientes datos técnicos: rendimiento del material, con el objetivo de que este sea mayor a igual a 4K psi, se afirma que los ladrillos tiene una resistencia a compresión de 4-6k psi, (psi=fuerza por pulgada cuadrada).

En cuanto a la resistencia a flexión, para poder ser un material de aplicación. en la construcción esta debe de ser superior a 500 psi y los ladrillos de Biomason lo cumplen al tener una resistencia de 550-750 psi, según su ficha técnica.

- Factor ambiental

Calificamos este material como sostenible por diversos motivos, tal y como Krieg en una entrevista comentó “nuestra tecnología tiene la mayor capacidad para reducir las contribuciones de CO₂ de la producción de cualquier cosa en el mercado hoy en día, porque eliminamos las emisiones de ambos lados de la ecuación de producción” (Krieg 2021).

Esto se debe a que “para la “fabricación” se emplean microorganismos y un proceso químico biológico de mamposteado a base de cemento. Biomason “planta” sus ladrillos y deja que los microorganismos hagan el resto (Gutiérrez 2021). Por ello no solo no se emite CO₂ durante el proceso, sino que además se utiliza el carbono junto con calcio para producir el biocemento..

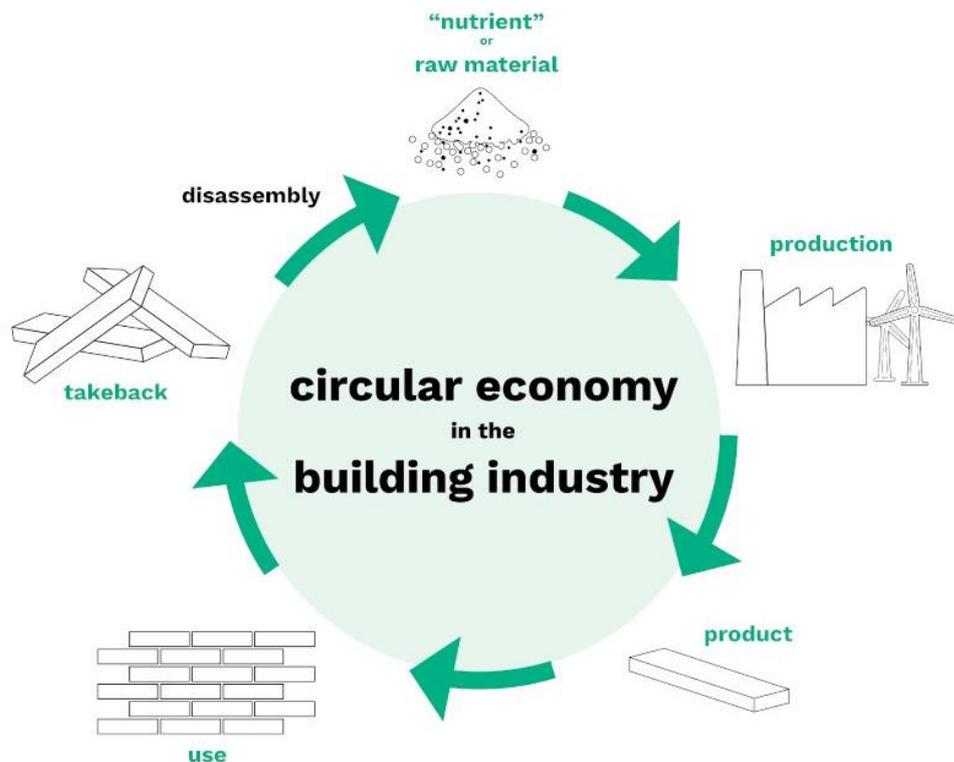


Figura 21: Ciclo de vida de los ladrillos compuestos por biocemento. (BIOMASON 2012)

3.1.3 ROOTMAN

El aislante Rootman consiste en un colchón radicular (capa del suelo que contiene raíces de plantas, Figura 22), compuesto ,como su propio nombre indica, por raíces de avena y cebada, la propia empresa lo define como material 100% natural, fabricado a base de raíces, sin modificaciones genéticas (Rootman, n.d.). Por lo que se trata de un material biodegradable sin huella de carbono a lo largo de su proceso de producción que se puede aplicar como aislante en cubiertas y cerramientos verticales.



Figura 22: Aspecto colchón de raíces (Rootman, n.d.)

Esta alternativa innovadora ha sido analizada en diferentes estudios en los últimos años para investigar a cerca de sus propiedades y capacidades frente a los aislamientos tradicionales, estudios como el de (Gallardo 2020) enumeran lo necesario para la producción de este colchón; raíces gramíneas, las cuales son de avena y cebada, más un bajo porcentaje de aserrín, en cuanto al agua para producir 1 m² solo se necesita 1 litro aproximadamente y el trabajo se realiza de forma manual por 4 personas encargadas de la colocación de semillas, posterior instalación, y finalmente la extracción del “colchón”.



Figura 23: Montaje manual de los paneles con colchones radiculares. (Rootman, n.d.)

De modo que la producción de este aislante es un proceso totalmente natural, marcado por el crecimiento propio de la planta y gracias a sus características botánicas “se adaptan a las diferentes necesidades paisajísticas y a las exigencias respecto a cada zona climática” (El blog de la tabla 2015), por lo que es capaz de crecer en cualquier clima y estación del año sin aditivos ni compuestos químicos, solo con agua y tierra, la obtención de este colchón tarda entre 10 a 15 días y se desarrolla dentro de cámaras aisladas, donde se produce el cultivo hidropónico de semillas de avena o cebada, utilizando bandejas que definen el grosor requerido de las raíces (Franco 2018). Una vez se obtienen la cantidad de raíces necesarias éstas se recogen y se empaquetan en sacos reticulares para su colocación en una cuadrícula de madera (Figura 23: Montaje manual de los paneles con colchones radiculares. (Rootman, n.d.)Figura 23), en cuanto a la contaminación que se pueda producir en su transporte, esta es mínima ya que se trata de un material local.

PROPIEDADES

- Propiedades térmicas

Dado que la aplicación de este material en la edificación es de aislante térmico, las propiedades térmicas son claves para conocer la capacidad del material para retrasar el flujo de calor desde o hacia el edificio (Garza Alejandro 2016).

La ficha técnica facilitada por la propia empresa Rootman indica que estos colchones radiculares tienen un coeficiente de aislación térmica, $\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$, por lo que igual en este aspecto a los aislantes de lana de roca y lana de vidrio y supera al poliestireno, cuya conductividad térmica se muestra en la Tabla 1. En cuanto a la transmitancia térmica, que muestra la diferencia de calor entre superficies de lados opuestos para conocer la pérdida de calor de la envolvente, Rootman con un espesor de 50mm tiene una transmitancia de $U=0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ y una resistencia térmica, $R_t = 1,35 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Rootman, n.d.), la cual también mide la oposición del material al flujo de calor resultado de la supresión de conducción, convección y radiación (Garza Alejandro 2016).

- Propiedades acústicas

Aunque su principal aplicación es como aislante térmico generalmente el mismo material es utilizado como aislante acústico entre diferentes espacios de una edificación, por ello esta es una característica que también se debe tener en cuenta a la hora de definir la idoneidad de aplicación de un material. Los paneles Rootman presentan un coeficiente de absorción sonora $\alpha_{\text{máx.}} = 0,63$ (2000 Hz), muy similar al que ofrece la lana de vidrio comúnmente utilizada (0.65) (Ronald Furet 2012).

- Resistencia al fuego

Resistencia al fuego > 60 min de exposición a la llama, corroborado por el departamento de estudios técnicos de Los Ángeles, dato extraído de la ficha técnica de (Rootman, n.d.) Este dato significa que su aplicación en un edificio otorga un margen de 1 hora antes de consumirse por las llamas.

En comparación con los aislantes tradicionales la resistencia al fuego de esta alternativa sostenible es autoexingible y en tiempo notablemente superior dado que el poliestireno tarda 3 segundos en quemarse, la fibra de vidrio 15 segundos y el poliuretano 1 minuto en contraposición con los 60 minutos de este colchón radicular, afirmación comentada por sus creadores según (Franco 2018).

- Resistencia al vapor de agua

Al tratarse íntegramente de un colchón de raíces naturales tiene la misma resistencia de vapor de agua que las raíces de las plantas, lo que significa que tiene un alto grado de resistencia y permeabilidad, lo cual favorece al acondicionamiento del interior de las viviendas. El dato técnico es que el panel comercial tiene un factor de resistencia al vapor de agua, $\mu = 3,685$ (Rootman, n.d.), mejorando la resistencia a la humedad de aislantes como la lana mineral o la lana de roca que tiene un bajo grado de resistencia según el análisis comparativo realizado por (Gallardo 2020).

- Durabilidad

Debido a que es una alternativa biodegradable la vida útil de estos paneles es menor que la de otros aislantes artificiales, como el poliuretano expandido o el poliestireno expandido, con una vida útil de 75-100 años aproximadamente. El colchón de raíces ofrece una vida útil de 40 a 50 años según el análisis llevado a cabo por (Gallardo 2020) y la capacidad de degradación en la tierra de 3 meses de duración.



Figura 24: Tablero aislante compuesto por listones de madera, colchones radiculares y tablero de madera (Franco 2018)

- Factor ambiental

Más allá del hecho de que sea un aislante 100% natural, como ya se ha comentado anteriormente, y que su producción genere una huella de carbón muy baja por los requisitos mínimos necesarios de energía y agua, se debe tener en cuenta que la comercialización de estos paneles y su aplicación en la construcción se basa en sacos de papel rellenos del colchón de raíces colocados en una retícula de listones de madera, por lo que su aplicación sí que afecta a la deforestación y transformación del medio natural de algún modo aunque se emplean virutas recicladas.

En el siguiente gráfico, extraído de una simulación de los diferentes aislantes colocados en una fachada en Chile realizado por (Gallardo 2020) en su análisis de este aislante termo-acústico en comparación con la lana de roca y el poliestireno, se observa como el mayor impacto ambiental de esta alternativa sostenible está en la transformación del medio natural y el uso de agua, pero sigue siendo la opción más favorable para el medio ambiente.

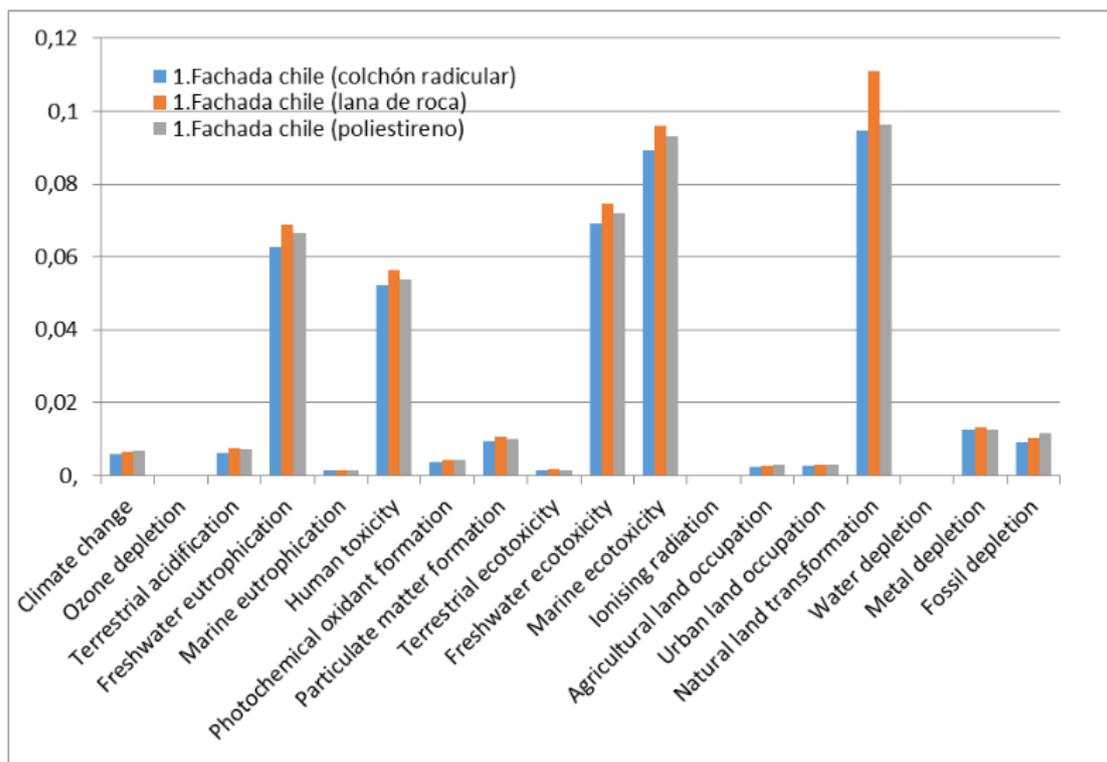


Tabla 7: Comparativa del impacto ambiental de los diferentes tipos de aislante (Gallardo 2020)

3.1.4 MYCELIUM

El Myceum, o micelio en español, “consiste en una red fibrosa de filamentos microscópicos interconectados (...) filamentos tubulares y alargados que muestran una considerable plasticidad y versatilidad de desarrollo” Se podría decir que se trata del esqueleto del hongo encargado de trasladar los nutrientes que estos necesitan para vivir y adaptarse al medio. Debido a que existen multitud de especies diferentes de hongos “se estima que puede haber 5 millones de especies de hongos en todo el planeta “el micelio se puede encontrar de múltiples formas, dependiendo del tipo y la zona de crecimiento del hongo, aunque diversos estudios los agrupan en dos tipos de micelio vegetativo y aéreo, según su forma de crecimiento. El vegetativo se encuentra en el suelo y nutre con materia orgánica mientras que el aéreo se proyecta en la superficie y es parte del sistema reproductivo del hongo. (Feijóo-Vivas et al. 2021)

Gracias a su estructura celular y a su función protectora, el micelio tiene unas propiedades que resultan muy útiles en la construcción, su aplicación para la producción de materiales “resulta del crecimiento micelial vegetativo y/o aéreo en materiales orgánicos como desechos agrícolas. Entre los sustratos más empleados resultan los residuos agroindustriales, forestales y la biomasa residual de bosques primarios y secundarios “(Feijóo-Vivas et al. 2021)De modo que los materiales resultantes están compuestos de residuos agrícolas y semillas de hongo.

La aplicación de este componente en la creación de materiales constructivos 100% orgánicos y biodegradables es gracias Phil Ross, micólogo y diseñador que , ha dedicado gran parte de su carrera profesional en la investigación de los hongos, según el artículo de (El Troudi 2019) Phil Ross comenzó a cultivar micelio junto con aserrín como pasatiempo hasta que “se percató de que había hallado algo significativo cuando comenzó a cultivar ladrillos entrelazados y a construir estructuras completas a partir de micelios.” Entonces comenzó junto con su equipo la construcción de la primera estructura creada con este material, en diciembre 20019 se terminó y en 2013 se unió a Eddie Pavlu para fundar la empresa MycoWorks, con el fin de investigar y comercializar materiales creados con micelio, “mientras el micelio aún está vivo, se fusionan. Estamos descubriendo que el vínculo entre ellos tiende a ser tan fuerte como el propio ladrillo”.

Por otro lado, al mismo Eben Bayer y Gavin McIntyre, dos ingenieros de Nueva York, estaban realizando investigaciones sobre este material las cuales dieron como resultado “un aislante natural elaborado a base de micelio de seta de ostra (*Pleurotus ostreatus*) y otros desechos agrícolas, como hojas de avena o maíz, al que denominaron Greensulate.”(El Troudi 2019) Con esta alternativa a los aislantes tradicionales crearon la empresa Ecovative Design en 2008, cuya finalidad era similar a la de MycoWorks.

Estas dos empresas fueron las pioneras en la creación de materiales basados en los hongos y su comercialización, pero actualmente se trata de un campo de investigación que está creciendo, como cita (Feijóo-Vivas et al. 2021) en su artículo “hasta la fecha, se han registrado 48 patentes o solicitudes de patente en relación al uso de materiales fúngicos en diversas áreas”. Esto se debe a que estamos en un momento de transición hacia una nueva economía y “la nueva generación de biomateriales funcionales a base de micelio se encuentra alineada a los principios básicos de la economía circular” por sus propiedades naturales, su ciclo de vida cero contaminantes y su capacidad de reutilización de desechos.

PROCESO DE FABRICACIÓN

La obtención de productos compuestos por micelium se podría denominar no como “proceso de fabricación” sino como “proceso de crecimiento” debido a que este se basa en el sistema analizado por (GONZÁLEZ, I., E. MAYORAL 2013)

1º Se desinfecta el molde con alcohol o agua oxigenada, este dará forma al material por lo que las posibilidades de volúmenes son infinitas.

2º Se rellena el molde con el residuo agrícola previamente hervido

3ª Se esparcen las semillas de hongo sobre la sustancia agrícola.

4º Se cubre la mezcla con plásticos humedecidos y se deja crecer el micelio durante una o dos semanas a una temperatura alrededor de 20º C y una humedad del 80%

5º Transcurrido el tiempo necesario se retira el compuesto resultante del molde y se deja secar en un horno, para para el crecimiento del micelio con la muerte del hongo a altas temperaturas, la temperatura depende del tipo de residuo agrícola empleado.



Figura 25: bloques de ladrillos elaborados con micelio (“Micelio, El Material de Construcción a Base de Hongos.” 2019)

PROPIEDADES

- Propiedades mecánicas

En el análisis de diferentes prototipos con diversas formas elaboradas con micelio y residuos agrícolas se concluyó que la geometría y la tipología determinan los comportamientos de las estructuras, de manera que en función de cómo se diseñen y se agreguen, la estructura completa será más o menos estable y más o menos porosa, así pues la resistencia puede mejorarse introduciendo raíces o filamentos de madera y diseñando los moldes de forma que el crecimiento del micelio sea homogéneo, especialmente en las zonas de unión (GONZÁLEZ, I., E. MAYORAL 2013).

- Propiedades acústicas

La absorción acústica se trata de uno de los puntos fuerte del micelio dado que tiene una gran absorción acústica de baja frecuencia , superando al corcho, en el trabajo de investigación de (Fuentes-Cantillana 2020) se comenta que “el compuesto de micelio que comprende residuos agrícolas unidos al micelio también puede proporcionar una absorción acústica de rango más amplio con una absorción del 70-75%(los compuestos probados se asocian con un menor ruido perceptual de (45.5-60dBa)”

- Propiedades térmicas

Estudios, como el de (Mayoral González, Keller, and Joachim 2010) analizan los paneles aislantes producidos por la empresa Ecovative Design a base de semillas locales y micelium muestran que tiene un mejor comportamiento estructural debido a que son un 20% más fuerte y con una densidad mayor que los aislantes espuma como el poliestileno expandido. En la Tabla 8 se pueden observar las propiedades de este bioaislante frente a las del poliestileno

Material	EPS	Greensulate
Density	1-3 lbs/ft ³	7 lbs/ft ³
R-Value	3.5/in	3/in
Flammability	High	Very Low
Strength	33 psi	54 psi
Footprint	Big	Very Small
Cost	3-4 USD/ft ³	2-3 USD/ft ³

Tabla 8: Propiedades térmicas de Greensulate, aislante de la empresa Ecovative Design compuesto por micelio. (Mayoral González, Keller, and Joachim 2010)

- Comportamiento ante el fuego

Se trata de un material ignifugo, por lo que es resistente al fuego y además no emite gases tóxicos al prender.

- Factor ambiental

En cuanto a su producción tanto para la formación de ladrillos como paneles aislantes se requiere de muy poca energía, la Tabla 9 muestra la comparativa de emisiones en producción de 1m²de poliestileno expandido y Grensulate (panel de micelio) realizada por la empresa que lo patenta Ecovative.

Material	1m ³ EPS	1m ³ Grensulate
CO ₂ emitted	462 Kg	31 Kg
energy consumed	5000MJ	625 MJ

Tabla 9: Energía necesario y CO₂ emitido en el proceso de Grensulate, aislante de la empresa Ecovative Design compuesto por micelio. (Mayoral González, Keller, and Joachim 2010)

Este uso reducido de energía se debe a que su producción se basa en el crecimiento propio del hongo, el cual mediante procesos metabólicos obtiene la energía y utiliza el carbono de la atmósfera, interviniendo en el proceso la tecnología solo al final para el secado.

Cabe añadir que se trata de un material íntegramente biodegradable y reutilizable por lo que al acabar su tiempo de vida útil, estos productos de micelio se convierten en fuente de alimento para abono o fertilizantes de las plantas, como sustrato para otros hongos, para pienso animal de alto valor nutricional o para la obtención de nuevos biomateriales que pueden tener diversas aplicaciones en la industria (Feijóo-Vivas et al. 2021).

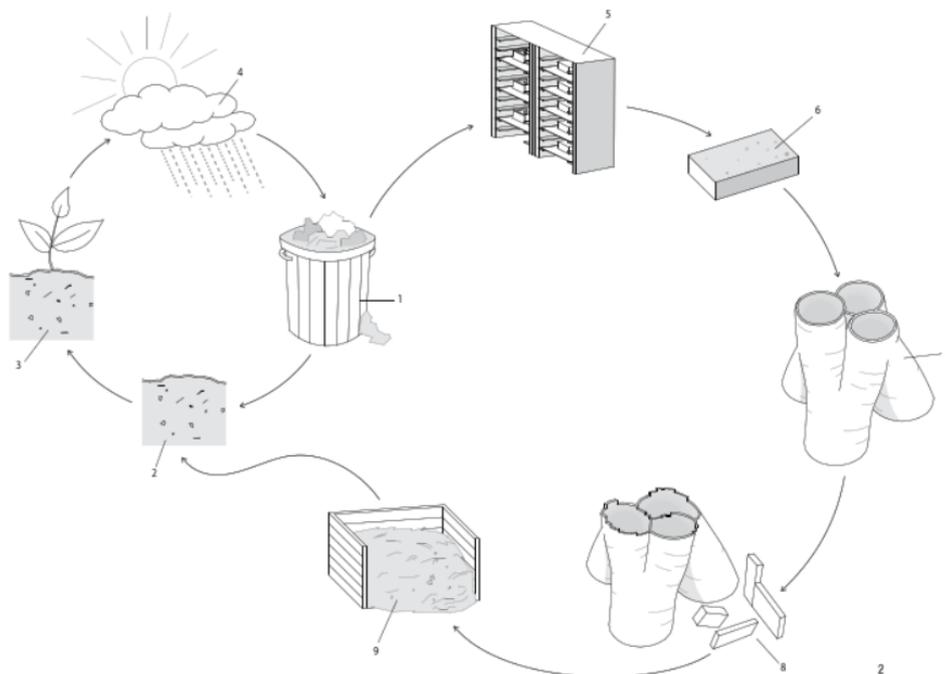


Figura 26: Ciclo de vida ladrillos de micelio. (Hebel, Wisniewska, and Heisel 2014)

3.2 Productos procedentes de reciclaje de residuos

3.2.1 GEOSILEX

Consiste en un nuevo componente para emplear en la mezcla de hormigones, creado por la Universidad de Granada y la empresa Geosilex que le da el nombre y lo comercializa. Su uso hace que el hormigón sea más sostenible no solo reduciendo las emisiones de CO₂ sino también captando CO₂ durante su vida útil.

Los propios expertos que lo han creado lo definen como “un material con funciones cementantes para la formación de aglomerados producido prácticamente sin coste energético ni medio ambiental con una capacidad de captación de CO₂ equivalente al 50% de su peso (TRENZA METAL ÁREA 2011). Este material proviene de la reutilización de residuos generados en la industria química, por lo que ya introduce en su producción el concepto de economía circular. Además, se podría definir como un material con carbono negativo, ya que su uso reduce las emisiones de carbono del proceso tradicional y además capta carbono de la atmósfera.

Como explica la empresa que lo comercializa; “Es un aglomerante captador de CO₂, con coste medioambiental amortizado, obtenido tras la purificación y optimización de cales residuales de carburo seleccionadas. Su incorporación a pavimentos y fachadas reduce los costes energéticos y medioambientales de los materiales, dota a los edificios y las calles de una importante actividad depuradora y recicla los residuos de la industria química de acetileno.”(TRENZA METAL ÁREA 2011)

PROCESO DE FABRICACIÓN

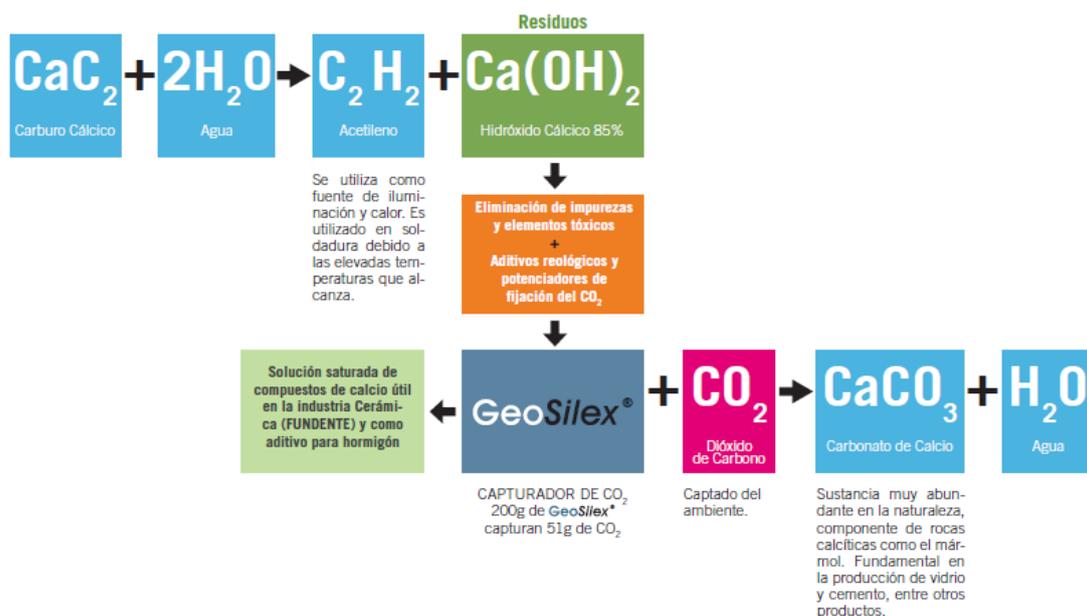


Figura 27: Formulación química del proceso de reciclaje del residuo y obtención del Geosilex. (TRENZA METAL ÁREA 2011)

PROCESO DE FABRICACIÓN

Según su fabricante este material procede 97% de residuos, cales industriales que se obtienen en procesos químicos y no tienen ninguna utilidad más que emitir cantidades masivas de CO₂ a la atmosfera. Geosilex proviene de estos compuestos y los hace útiles para la fabricación de hormigón, creando así un hormigón con la capacidad e captar CO₂.

“El proceso de fabricación desde el punto de vista de la salubridad consiste en inertizar la materia orgánica, evitar que se forme anhídrido sulfúrico y precipitar los metales pesados en carbonatos insolubles muy estables mediante carbonatación selectiva. Al mismo tiempo que se acondiciona la reología del producto, se preserva la capacidad de agregación irreversible de las partículas de Ca(OH)₂ y la reactividad hidráulica que le confieren las peculiares propiedades de las partículas nanométricas de la cal obtenida. Estas partículas se mantienen desplazadas del proceso de carbonatación prematura de los compuestos de azufre para preservar su capacidad de fraguado aéreo mediante la captación del CO₂ ambiental” (TRENZA METAL ÁREA 2011).

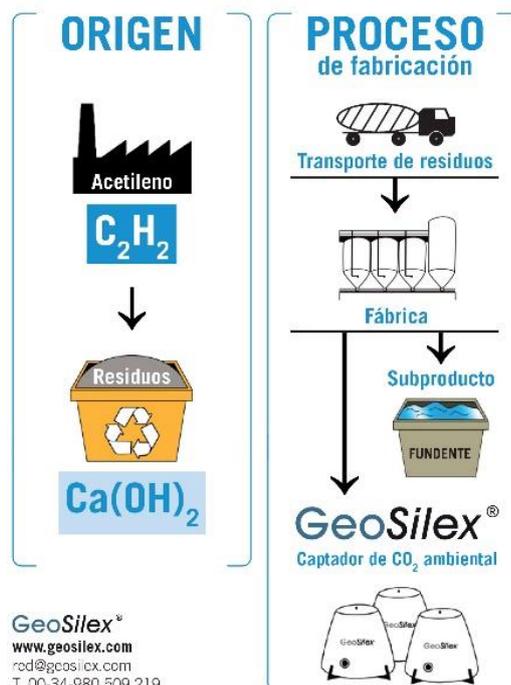


Figura 28: Diagrama proceso de producción Geosilex. (TRENZA METAL ÁREA 2011)

Además, para reducir al máximo el impacto ambiental en el proceso de producción, el fluido sobrante que se genera en su fabricación se reutiliza en la industria cerámica como reductor de la temperatura de cocción de las arcillas consiguiendo así disminuir el consumo de energía en la fabricación de productos cerámicos (TRENZA METAL ÁREA 2011).

PROPIEDADES

- Incremento en la plasticidad de la masa fresca.

Actualmente la trabajabilidad del hormigón es reducida “desde el inicio del uso del cemento Portland como material de construcción sustituto de los cementantes tradicionales a base de cal, se comprobó un comportamiento mecánico mejor, pero, otras propiedades reológicas (plasticidad, trabajabilidad...) eran notablemente inferiores.” (TRENZA METAL ÁREA 2011)

Geosilex al tratarse de material cuyo componente principal es la cal, su uso en la mezcla de hormigón supone la adición de Ca(OH)_2 y con ellos sus propiedades de plasticidad en impermeabilidad, mejorando así la trabajabilidad que proporcionan los hormigones que contienen cemento Portland.

Como explican diferentes expertos “Las cales grasas fueron, junto con el yeso, el primer aglomerante utilizado en construcción en forma de argamasa mezclada con arena, tanto para unir piedras como para el revestimiento de los paramentos. Actualmente se han sustituido por los cementos. Pero sus buenas propiedades, mejores que las del cemento (plasticidad e impermeabilidad), están propiciando que se vuelva a emplear para ciertos usos” (Jové Sandoval 2018) .

De modo que Geosilex da la oportunidad de implementar en la mezcla del hormigón las propiedades de la cal, que se habían perdido con el uso del cemento Portland, pero en este caso de una manera más sostenible.

- Durabilidad

Entre las ventajas que ofrece la aplicación de este nuevo componente a la mezcla del hormigón la Universidad de Granada apunta que otorga las siguientes características que contribuyen a su durabilidad al hormigón resultante durante todo su ciclo de vida (TRENZA METAL ÁREA 2011):

1- Otorga un elevado Ph en la fase portlandita , lo que contribuye a la estabilidad química del cemento a largo plazo.

2- Los cristales de portlandita (Ca(OH)_2) actúan como obstáculo a la propagación de fracturas

3- La elevada capacidad de retención de agua de la cal hidratada favorece un lento secado lo que propicia un mejor fraguado hidráulico.

4- El hidróxido de calcio tiene propiedades cementantes ya que al carbonatarse en presencia de CO_2 puede disolverse rellenando fracturas, lo que favorece la estabilidad estructural.

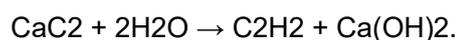
- Factor ambiental

Como ya se ha señalado anterior mente la aplicación de Geosilex hace que el hormigón se convierta en captador de CO₂ lo cual ofrece un cambio radical al panorama de la construcción en cuanto a sostenibilidad.

“Teniendo en cuenta que la industria del cemento es responsable de la emisión de 5-8% del CO₂ antropogénico, la sustitución de una parte del cemento de un mortero o un hormigón por Geosilex implica una notable reducción de las emisiones de CO₂ y del coste energético de dicho elemento de construcción. Pero, además, la carbonatación del hidróxido de calcio presente en él una vez puesto en obra y expuesto al CO₂ atmosférico, contribuye a fijar dicho gas de efecto invernadero como carbonato cálcico (material cementante).”(TRENZA METAL ÁREA 2011)

Según la ficha técnica de este compuesto: “En un hormigón (2.350 Kg/m³) con un 12% de cemento (280 Kg c x 0,850 kg CO₂ = 238 Kg CO₂) las emisiones correspondientes al cemento son 101,3 g CO₂ por Kg de hormigón. La huella de Geosilex es -250 g CO₂/ Kg Gs. Si añadimos a la mezcla la misma cantidad de Geosilex que de cemento restamos 72 Kg de CO₂, es decir el 30% de la huella de carbono del cemento.”. convirtiendo así este material en lo que se denomina carbono negativo dado que contrarresta la cantidad de emisiones que se hacen durante su producción con la capacidad de absorber CO₂.

Además la base de su fabricación como ya se ha explicado anteriormente procede del reciclaje de residuos, debido al proceso químico que explica el estudio realizado por Carlos Rodrigues de la Universidad de Navarra: el hidróxido de calcio que constituye más del 80% en peso del Geosilex se obtiene por una ruta no convencional seguida durante la hidratación de carburo de Ca, para la obtención de acetileno, el producto principal, según la siguiente reacción:



En esta reacción se desprende acetileno (C₂H₂) y se genera CaO. El óxido de calcio se hidrata rápidamente formando una pasta (suspensión) de hidróxido cálcico. Normalmente esta pasta de cal no se utiliza en construcción o en los otros usos industriales de las cales tradicionales, y se suele almacenar en balsas como residuo. El reciclado de dicha pasta de cal como ligante de distintos elementos de uso en obra pública y construcción, según el procedimiento patentado por Trenzametal S.L. es por tanto una alternativa de enorme valor añadido y de gran potencial para el uso de dicho residuo en la captación de gases de efecto invernadero como el CO₂ (TRENZA METAL ÁREA 2011).



Figura 29:características que hacen que le Geosilex sea un material sostenible.(TRENZA METAL ÁREA 2011)

3.2.2 RESYSTA

Este material consiste en la alternativa ecológica y sostenible de la madera en la construcción y diseño de mobiliario. Patentado por la empresa alemana Resysta International GmbH, este material nació de la búsqueda de una nueva materia prima similar a la madera pero sin provocar la deforestación de los espacios naturales. La propia empresa en su página web define el material de la siguiente manera: “es casi como madera tropical natural en apariencia y consta de aprox. 60% o cáscara de arroz: un producto de desecho de la industria alimentaria. Los productos fabricados con Resysta también presentan muchas ventajas en comparación con la madera. Sin embargo, para la producción de Resysta no se debe talar ni un solo árbol.”

Se trata de un material sostenible por diversos motivos: su composición está basada en cáscaras de arroz, por lo que da uso a un residuo de la agricultura que hasta ahora no tenía ninguna utilidad, además es totalmente reciclable, los objetos tienen una larga vida útil y una vez esta se acaba se puede reutilizar la materia dándole una nueva forma y convirtiéndola en un nuevo material

PROCESO DE FABRICACIÓN

Según la empresa que tiene la patente este producto está compuesto aproximadamente un 60% de: cáscara de arroz (residuo de la industria alimentaria), un 22% de sal común y un 18% de aceite mineral. Mediante diferentes procesos de fabricación que la empresa no especifica se mezclan las tres sustancias y se obtiene un producto con la apariencia de la madera y propiedades similares o incluso mejores para la construcción (RESYSTA GmbH 2018).



Figura 30: Materiales que componen el producto Resysta y sus proporciones. (RESYSTA GmbH 2018)

La empresa con la patente ha creado una red de empresas que comercializan este material y que tiene su propio proceso de producción siempre basado en los mismos tres componentes para fabricar el material.

Además, a este proceso de fabricación se le pueden añadir los residuos que se generan al darle forma para su uso o en el montaje de las piezas, “todo lo que se origine en Resysta, los residuos de montaje, el polvo de lijado, el aserrín o los residuos se pueden reciclar. Se tritura y se vuelve a introducir en el proceso de producción. Básicamente, un nuevo producto Resysta se puede fabricar con un producto antiguo (...) Por eso, las materias primas utilizadas para la producción se utilizan durante un tiempo increíblemente largo” (RESYSTA GmbH 2018).

En cuanto a la forma en la que se comercializa, cuando la mezcla de cascara de arroz, sal y aceite mineral en las proporciones descritas anteriormente (60%,22% y 18%), tiene un aspecto homogéneo se extruye dándole la forma deseada.

PROPIEDADES

En la página web de la empresa que patenta este material se encuentra la ficha técnica con las propiedades que este ofrece: (RESYSTA GmbH 2018)

- Propiedades físicas

Densidad de aprox. 1,46 g / cm³ y coeficiente de expansión lineal térmica (ASTM D696): $3,6 \times 10^{-5}$ m / mC. Lo que corresponde a un cambio de longitud de 0,36 mm por metro con un cambio de temperatura de 10 ° C. Esta expansión térmica elevada se debe a que se trata de un material termoplástico por lo que en su aplicación es importante tener en cuenta esta propiedad para instalarlo con las distancias necesarias para su correcto funcionamiento.

En cuanto a la conductividad térmica, siguiendo los estándares de la norma EN 12664, presenta una conductividad igual a 0,199 W / (mK), por lo que no varía en exceso de la conductividad térmica de la madera que es 0.13 W / (mK),(J.Hernandez 2014)

- Durabilidad

Se trata de un material con una buena resistencia a los hongos y el moho, así como otros parásitos que suelen dañar la madera natural como las termitas. En las pruebas realizadas para comprobar su durabilidad se concluyó que ante la presencia de hongos el material no fue atacado, por lo que se calificó con una durabilidad clase 1, lo que significa muy duradero según la norma DIN V EN V 12038: 2002, que determina la resistencia de la madera a basidiomicetos (división del reino de los hongos que destruyen la madera). Además, no mostró pérdida de masa ni decoloración.

- Comportamiento ante el agua y otros agentes medioambientales

Este material, que podríamos calificar como “madera artificial”, presenta una buena resistencia al agua y la humedad dado que no la absorbe, por lo que solo se humedece la

superficie, pero no repercute en las propiedades mecánicas del material. Al contrario que la madera natural que debe de ser protegida ante el agua, Resysta “incluso se pueden instalar directamente en el agua sin pudrirse ni descomponerse”(RESYSTA GmbH 2018)

En cuanto a la resistencia a la intemperie y la luz, rayos UV, según la ficha técnica si las superficies se tratan con esmalte estas mantienen su aspecto sin que le afecten las condiciones externas, de modo que la incidencia continua de rayos UV no produce decoloración, hecho que ha sido probado mediante ensayos de laboratorio. (RESYSTA GmbH 2018)

- Propiedades mecánicas

Dureza, que se puede definir como “La dureza es la resistencia de un material a ser rayado o penetrado, por lo cual estamos midiendo la cohesión entre los átomos del material. ésto, por tanto, guarda relación con la resistencia a la deformación y a la rotura, y cuanto más duro sea un material, más resistente será también.”(jrlopez33 2021) testada mediante el ensaño de dureza Brinell y siguiendo la norma EN 1534 presenta una dureza igual a 81,1 N / mm².

Por otro lado, el coeficiente de fricción deslizante de este material tiene un valor de 0.46 sin tratar, el cual puede aumentar con un tratamiento de pintura. También presenta una resistencia a la cizalladura igual a 16.8 N/mm² y una resistencia a tracción de 21.8 N / mm².

Todas estas características suponen que se trata de un material que puede ser procesado de distintas formas cortar, fresar, taladrar, lijar, pegar y atornillar, al igual que la madera e incluso más fácil de manejar y sin presencia de astillas

- Comportamiento ante el fuego

La propia empresa que lo patenta explica que “Los productos Resysta están asignados de serie a la clase de protección contra incendios B2 (normalmente inflamable). Dependiendo del tipo de material y perfil, también se puede lograr la clase de protección contra incendios B1 (retardante de llama). En algunos casos, los perfiles de Resysta están certificados como retardadores de llama según DIN EN 13501-1 (B-S2, d0).” De modo que, en este aspecto de comportamiento ante el fuego, este material al igual que la madera es inflamable y tiene un comportamiento similar.

- Factor ambiental

En 2018 se le fue otorgado el premio Green Product Awards en la categoría de arquitectura el cual “distingue a los productos y servicios buenos en sostenibilidad, innovación y diseño. Está dirigido a productos y servicios en el mercado de empresas de nueva creación y empresas establecidas que deseen destacar sus logros sostenibles.” (gp-awards 2013)

De modo que se trata de un material plenamente sostenible desde sus orígenes, así como este compuesto por residuos naturales de la agricultura, cascara de arroz como elemento principal explicado con detalle en el apartado previo de proceso de fabricación. Continuando durante su ciclo de vida es siendo respetuoso con el medio ambiente, dado que es 100% reciclable, necesita un bajo mantenimiento y es posible su desmontaje y montaje posterior en un nuevo lugar sin alterar sus propiedades.

Asimismo, la propia empresa que lo comercializa ha creado una red compuesta por diferentes empresas alrededor de Europa para el reciclaje de este material cuando tras sus múltiples usos se convierta en residuo o para reciclar los residuos que se puedan generar en su producción. Estos residuos se recogen en diferentes partes del mundo y siguiendo una serie de condiciones fijadas por la empresa, en cuanto al transporte y embalaje para que sea lo más sostenible posible, se trituran y vuelven a incorporar en el proceso de producción, ha esta red la empresa Resysta lo denomina “consorcio de reciclaje” creada en 2019 y ampliándose con el paso del tiempo.

Gracias a esta iniciativa, este nuevo material ofrece una infinidad de usos y un ciclo de vida que comprende desde múltiples usos en la construcción hasta mobiliario urbano y materia prima para la fabricación de nuevas piezas, tal y como se explica en la siguiente figura.



Figura 31: Reciclaje del producto llevado a cabo por la empresa. (RESYSTA GmbH 2018)

3.2.3 POSIDONIA

En los últimos años ha surgido la idea de utilizar la posidonia oceánica que se almacena en las playas como aislante térmico en la edificación., dado que se trata de un material natural, que proviene del mar y se almacena en las playas sin una función ambiental clara, además anualmente se retira de las playas como si fuera un residuo. Por ello su aplicación en la construcción puede ser una opción muy interesante para sustituir los productos aislantes tradicionales, con una gran huella carbono en su producción, y reemplazarlos por un material que se nos ofrece de forma natural.

Una de las primeras iniciativas en utilizar este material en la construcción de viviendas es el proyecto Life Reusing Posidonia, el cual se basa en la construcción de una obra en Formentera que presentan como prototipo para su propuesta de aplicación de materiales sostenibles que reduzcan la contaminación del sector de la construcción, como se explica en la página web, la finalidad del proyecto es “llevar a cabo la construcción y monitorización del proyecto de 14 viviendas de protección pública en Sant Ferran, Formentera. Ejemplo que contribuye al desarrollo de tecnologías, métodos e instrumentos innovadores en el ámbito de la conservación de la naturaleza, el cambio climático, la política medioambiental y la información y comunicación sobre cuestiones medioambientales en todos los Estados miembros de la UE. (...) El proyecto constituye un prototipo para reducir la vulnerabilidad de los entornos humanos al cambio climático. Establece medidas para reducir la producción de CO₂ en un 50%.”(LIFE REUSING POSIDONIA 2018)

Se trata de una propuesta muy interesante por varios motivos, entre ellos el hecho de que reflexionan sobre el impacto ambiental de la construcción y proponen una nueva manera de construir pensando en el ciclo de vida completo de una obra, desde la fase de diseño, siguiendo por la elección y ejecución material hasta toda su vida útil y los escombros generados a lo largo de esta, por ello los impulsores de este proyecto (LIFE REUSING POSIDONIA 2018) introducen su idea con la frase “ Nuestra propuesta consiste en reducir un 50% la contaminación de su fabricación, un 50% la producción de residuos de obra, y un 75% la energía para calentar o refrigerar. Para ello vamos a recuperar técnicas y materiales de la arquitectura tradicional, y sistemas de baja tecnología, sin aparatos sofisticados que se estropean.

De modo que proponen diferentes cambios para mejorar la eficiencia de los edificios y del proceso de obra pero en este análisis nos basaremos en la metodología que proponen para “el uso de la Posidonia Oceánica seca, como aislamiento térmico y acústico, promoviendo así la utilización de la posidonia con fines prácticos, siempre y cuando se haga un uso adecuado de la misma, aumentando además su interés social y la presencia en medios de comunicación”(LIFE REUSING POSIDONIA 2018)

El uso de esta planta marina se debe a que una de los pilares del proyecto es el pensamiento “piensa global, actúa local”, por lo que proponen un modelo de arquitectura “hiper-local” teniendo como referente la arquitectura tradicional y los materiales existentes en la isla, entre los que encontraron la posidonia como narran (LIFE REUSING POSIDONIA 2018) en la memoria del proyecto “buscamos que hay en la isla que podamos utilizar. Las sabinas, con las que se construían antiguamente los forjados, por suerte están protegidas. Las canteras de piedra arenisca, agotadas, y la poca paja que se produce, se utiliza para el ganado. Por tanto, nos queda sólo lo que llega por mar: posidonia y barcos. Además de los palés de obra, que permanecen en la isla a causa del coste de embarcarlos de vuelta.”.

Aunque no se trata del primer estudio que se realiza sobre la aplicación de esta planta en la construcción, existen tesis doctorales como la de (Antonio Maciá 2015) que analiza las propiedades mecánicas de los tableros de posidonia oceánica y partículas de madera de pino gallega , por lo que ambos estudios nos sirven para analizar las posibilidades de aplicación que ofrece la posidonia oceánica para la construcción.

PROCESO DE FABRICACIÓN

En el estudio de (Antonio Maciá 2015) se propone la siguiente metodología para la fabricación de probetas cuadradas de posidonia mezclada con poliuretano como agente ligante para darle rigidez:

- 1º Recogida de la posidonia.
- 2º Lavado de las hojas de posidonia.
- 3º Secado natural de las hojas de posidonia.
- 4º Secado en estufa de las hojas de posidonia.
- 5º Manipulación del tamaño de las hojas. Proceso de triturado.
- 6º Elaboración de la mezcla.
- 7º Preparación de los moldes de acero.
- 8º Aplicación al molde de productos desencofrantes.
- 9º Prensado de la mezcla. J
- 10º Proceso de desmolde y acabados superficiales.
- 11º Clasificación de las probetas.

Este procedimiento se emplea de forma similar en el proyecto (LIFE REUSING POSIDONIA 2018) pero secando las hojas de forma natural sin utilizar estufas y sin añadir ningún material adherente a la mezcla, empleando solo las hojas, ya que no se necesita que tenga rigidez porque, en este caso, se colocan directamente las hojas en el forjado compuesto por una lámina impermeable y palets invertidos que reciben la posidonia, esta se distribuye por toda la superficie y se compacta de forma manual. Asimismo, durante la ejecución de la obra la zona compactada se cubre con plásticos para aislarla posidonia del rocío y el viento hasta que esta se cubra con el resto de elementos del forjado, que en el caso del prototipo propuesto se emplean tableros OSB-III, “se clavarán a los largueros de los palets mediante pernos galvanizados. Sobre la superficie horizontal de los tableros, se

colocará una capa geotextil, para proteger la lámina impermeable de EPDM, fijada exclusivamente en los laterales, y encolada a la primera lámina impermeable de polietileno (bajo el hormigón de pendientes). La unión de la lámina de polietileno inferior y la de EPDM superior, garantizan la estanqueidad de la cámara, conservando constantes tanto las condiciones de humedad de la posidonia seca, como las de aislamiento”.

Es importante remarcar que para que la posidonia funcione como aislante correctamente la cámara debe de quedar perfectamente senada, para conservar sus propiedades.



Figura 32: Proceso de recogida, transporte y aplicación en la obra del proyecto (LIFE REUSING POSIDONIA 2018)

PROPIEDADES

- Densidad

Tras la compactación realizada de forma manual en el proyecto (LIFE REUSING POSIDONIA 2018) se afirma lograr una densidad mínima de $300\text{kg} / \text{m}^2$. La cual resulta suficiente para su empleo como aislante en cubiertas dado que no soportan ninguna carga al estar entre palets, en ese caso.

Sin embargo en el análisis llevado a cabo por (Antonio Maciá 2015) se realizan diferentes ensayos a probetas compuestas por posidonia únicamente y posidonia mezclada con alguna resina que sirva de ligante, para investigar así en las propiedades mecánicas que se pueden alcanzar. Los resultados obtenidos muestran que la probeta fabricada solo

con posidonia “fue fallida por falta de presión (...), las presiones de fabricación deben ser superiores a los 2 N/mm², de lo contrario no es posible llegar a conseguir densidades de material con prestaciones estructurales”

- Propiedades mecánicas

Estas han sido analizadas por (Antonio Maciá 2015) para analizar las opciones estructurales que podrían ofrecer los tableros de posidonia. En él concluye lo siguiente en cuanto a la resistencia y rigidez:

- para conseguir cierta resistencia es necesario utilizar algún tipo de adherente, como por ejemplo bicomponente de poliéster con isocianato.

- Con densidades del orden de 600 kg/m³, el material ha tenido una respuesta estructural muy baja, sin embargo, plantea buenas perspectivas de comportamiento térmico y acústico

- resistencia a flexión de 1.5 N/mm²

- módulo de elasticidad en el tablero de posidonia 350 N/mm², en valores de compresión en el plano del tablero, debido al uso del poliuretano en los tableros de posidonia

- la posidonia sufre procesos reológicos teniendo un comportamiento más próximo al de un material visco elástico. Sin embargo, con el uso del adhesivo bicomponente y la incorporación de las partículas de madera de Pino Gallego el comportamiento del material sí es elástico.

Por lo que (Antonio Maciá 2015) concluye: “los tableros que mejor comportamiento estructural presentan (tras el análisis de los resultados obtenidos referentes a la resistencia a compresión paralela al tablero y su módulo de elasticidad) son los tableros compuestos de por un 25% de posidonia oceánica y un 75% de partículas de madera de pino mezcladas con adhesivo bicomponente de poliéster de reticulación química con isocianato dosificado entre un 15% y un 20% del peso de la suma de la posidonia oceánica y las partículas de madera de pino gallego.”. Esto quiere decir que por ahora es necesario el uso de algún aditivo, lo que aumenta la huella de carbono de este material, para crear tableros aislantes de posidonia que se puedan aplicar en elementos verticales que necesiten de cierta resistencia.

- Propiedades térmicas

La universidad de las islas baleares redactó un informe para la “determinación de la conductividad térmica de la posidonia oceánica seca a granel sin ningún tipo de aglomerante añadido a densidades de utilización en sistemas constructivos” (Muñoz Gomila 2015) para

llevar a cabo el proyecto (LIFE REUSING POSIDONIA 2018) y se sacaron las siguientes conclusiones: bloque compacto de Posidonia Oceánica, con una densidad aparente de 185Kg/m³ confinado mediante EPDM impermeable no transpirable: $\lambda = 0,044$ W/mK y bloque compacto de Posidonia Oceánica, con una densidad aparente de 215kg/m³ confinado mediante EPDM impermeable no transpirable: $\lambda = 0,041$ W/mK .

Por lo tanto, la conductividad térmica de la posidonia es superior a la de los aislantes tradicionales que se muestran en la Tabla 1 (valores que alrededor del 0.03) pero sigue siendo admisible para su aplicación como aislante en los cerramientos de una edificación, dado que se considera aislante térmico aquel material que tiene una conductividad térmica menor que 0,060 W/mK (IVE 2015).

3.2.4 LADRILLOS DE PLÁSTICO

El concepto material plástico se puede definir como; “sustancia sintética de estructura macro molecular por su gran cantidad de moléculas de hidrocarburos, alcoholes y otros compuestos orgánicos”(Gonzales and Edgardo 2014) Se trata de un material con infinidad de posibilidades de uso, forma, textura, dureza, peso, etc., motivo por el cual es hoy en día vivimos rodeados de productos que contienen plástico. “Desde la década de 1950, la tasa de producción de plástico ha crecido más rápido que la de cualquier otro material. También hemos visto un cambio de la producción de plástico duradero a los plásticos que deben desecharse después de un solo uso.”(ONU n.d.)

Desgraciadamente el proceso de producción del plástico es altamente contaminante y por ello el aumento en su uso es un gran problema para el medioambiente, según un informe de la ONU como parte de su movimiento “BeatPlasticPollution,” para concienciar de los problemas que el uso de plástico causa al planeta, publica datos como que más del 99% de los plásticos se producen a partir de productos químicos derivados del petróleo, el gas natural y el carbón, todos los cuales son recursos sucios y no renovables, “si continúan las tendencias actuales, para 2050 la industria del plástico podría representar el 20% del consumo total de petróleo del mundo.” (ONU n.d.)

Pero, no solo se trata de un material contaminante por su proceso de fabricación, sino que además el plástico tarda un largo periodo de tiempo en descomponerse e incluso no llegan a descomponerse del todo, “La mayoría de los artículos de plástico nunca desaparecen por completo; simplemente se hacen cada vez más pequeños. Muchas de estas diminutas partículas de plástico son tragadas por animales de granja o peces que las confunden con comida (...)pueden aumentar la transmisión de enfermedades transmitidas por vectores como la malaria”(ONU n.d.)Una posible solución para que esto no ocurra es la reutilización de los plásticos utilizados para darles una nueva función sin embargo , los últimos datos muestran que en la práctica esta solución no se está llevando a cabo “solo el 9% de todos los residuos plásticos jamás producidos se ha reciclado. Alrededor del 12% se ha incinerado, mientras que el resto, el 79%, se ha acumulado en vertederos, vertederos o el medio natural” (ONU n.d.)

De modo que para cambiar estos datos se están buscando nuevos campos en los que se podría reciclar el plástico, entre los cuales está la construcción, sector en el que han surgido diversas propuestas de materiales compuestos por plástico reciclado que presentan propiedades similares a los materiales de construcción tradicionales, consiguiendo con su aplicación darle una nueva vida al plástico para reducir la cantidad existente en los vertederos y además reduciendo el uso de otros materiales de construcción cuyo uso también es perjudicial para el medioambiente.

Las investigaciones sobre la aplicación en este sector de plástico reciclado que se han llevado a cabo hasta la fecha plantean una diversidad de opciones, desde productos capaces de soportar carga, como ladrillos, hasta aislantes, revestimientos y paneles impermeables. A continuación, nos centraremos en los ladrillos creados con plástico reciclado para estudiar su ciclo de vida, propiedades y posibilidades de uso.

PROCESO DE FABRICACIÓN

Actualmente existen diversos estudios que han investigado sobre los procesos de manipulación del plástico para convertirlo en materia prima en la producción de ladrillos que puedan o no soportar cargas y por lo tanto sustituir a los ladrillos cerámicos tradicionales.

El proceso propuesto es siempre similar utilizando como materia prima el plástico PET (Polietileno Tereftalato), el cual se emplea en por ejemplo en envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios, películas transparentes y fibras textiles entre otros productos. Además, en algunos casos el plástico PET se mezcla con el PEAD (Polietileno tereftalato de alta densidad), del cual están compuestos los envases para detergentes, champú, lácteos, bolsas para supermercados y menaje, cajones para pescados, uso sanitario y macetas entre otros. (Gonzales and Edgardo 2014)

En cuanto al proceso de manipulación del plástico, en general se tritura el plástico previamente consiguiendo pequeñas partículas que se vierten a un molde, seguidamente la mezcla se somete a altas temperaturas para que el plástico se fusione y conseguir así el bloque compacto deseado, en algunos casos antes de desmoldarlo se expone a bajas temperaturas para fortalecer la unión de las partículas.

Este es el caso de la empresa Byfusion, que comercializa desde 2015 un ladrillo hecho 100% con plástico reciclado el cual denominan ByBlock, "material de construcción aislante multiusos y de alto rendimiento hecho completamente de residuos plásticos, sin aditivos ni rellenos" (Byfusion 2015) El proceso de producción de esta emplea se basa en utilizar plásticos mezclados y sin necesidad de clasificación, "se trituran en tiras delgadas y se limpian en una lavadora giratoria, luego se secan con aire caliente y se comprimen en un molde por lotes, que luego se tapa y se mueve a una cámara de fusión. Usando calor y presión, el

plástico se funde en una masa sólida en formas predefinidas y se enfría a unos 25 ° C antes de salir del compartimento.” (E. Hebel, H. Wisniewska, and Heisel 2014)

Dado que se trata de un proceso totalmente mecanizado la empresa declara que “el proceso puede funcionar las 24 horas, los siete días de la semana y producir de 250 a 10,000 unidades por día o incluso más, dependiendo del tamaño de la planta de producción y la ingesta de plástico disponible.” Según el análisis realizado por (E. Hebel, H. Wisniewska, and Heisel 2014) en su libro sobre construcción con residuos.

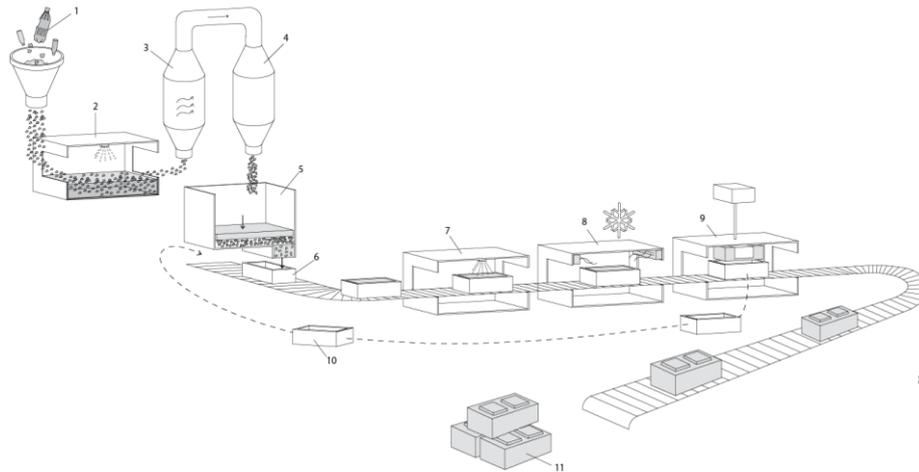


Figura 33: Ejemplo de proceso de producción de la empresa Byfusion Limited, (E. Hebel, H. Wisniewska, and Heisel 2014)

PROPIEDADES

- Densidad

Dado que la densidad se obtiene de la mezcla de los plásticos reciclado, según la ficha técnica de la empresa (Byfusion 2015) se comercializan bloques con una densidad estándar de 10 kg/m³, aunque se da la opción de customizar si se desea el peso específico de los bloques entre 8 kg/m³ y 12 kg/m³.

En cuanto a la forma, los bloques tienen un formato rectangular con unos salientes y entrantes para que se puedan encajar entre ellos y así unir sin necesidad de utilizar ningún tipo de pegamento, las dimensiones son 40cm x 20cm x 20mm.

- Resistencia a compresión

Dado que se producen con la intención de sustituir a los bloques de hormigón o ladrillos cerámicos en la tabiquería de los edificios, estos deben de resistir una fuerza de compresión mínima para poder cumplir con la función de un elemento estructural. Así la

resistencia a compresión de estos bloques es de 408psi, aunque tiene la capacidad de ser reforzados con varillas metálicas de entre 10 o 16mm de diámetro para aumentar su resistencia en los casos que sea necesario y mejorar también el ensamblaje entre piezas.

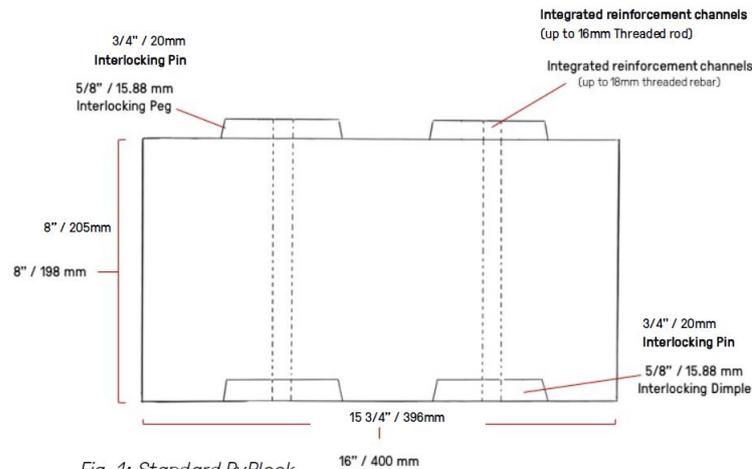


Fig. 1: Standard ByBlock

Figura 34: Dimensiones bloques comerciales. (Byfusion 2015)

- Durabilidad

Debido a las características del propio plástico, este tarda un largo periodo de tiempo en descomponerse si se deja a la intemperie, propiedad ya comentada anteriormente al ser uno de los principales motivos por los que se acumula tanta cantidad de residuos de plástico actualmente en el planeta. Pero en este caso esta propiedad es una ventaja debido a la larga vida útil de los edificios.

Por ello, el plástico no se deteriora si se cubre o protege con otros elementos, como puede ser un enfoscado o el revestimiento de las paredes, y en el caso de que se dejen los bloques expuestos al sol estos seguirían manteniendo sus propiedades mecánicas, aunque es posible que pierdan color. Aunque (Byfusion 2015) advierte en la ficha técnica de este material que no debe estar expuesto a temperaturas superiores a 60°C durante largos periodos de tiempo sin un revestimiento como protección.

Además “La composición plástica de ByBlock lo hace resistente a los insectos y al agua. De hecho, debido a que el plástico no absorbe la humedad” (Byfusion 2015) Lo que aumenta la vida útil de los bloques sin necesidad de aditivos ni materiales adicionales. Asimismo, debido también a su composición, no se agrieta bajo al estar sometido a presiones ni se parte, y tiene una fácil capacidad de reemplazo y desmontaje al poder unir las piezas sin morteros ni pegamentos.

- Comportamiento frente al fuego

La empresa con la patente anuncia que “ByBlock se clasifican como construcción de Tipo 5.” Lo que significa que se deben aplicar alguna barrera aprobada como parte del acabado para cumplir con el código de construcción para la seguridad contra incendios, por lo que este material es compatible con retardantes de fuego secundarios como spray, envolturas o paneles.

- Propiedades térmicas

Los bloques han sido sometidos al test ASTM C518-17, Método de prueba estándar para propiedades de transmisión térmica en estado estacionario por medios del aparato medidor de flujo de calor, según la ficha técnica facilitada por la empresa, los resultados mostraron que estas piezas tienen una conductividad térmica de 1.14 W/m²K.

- Propiedades acústicas

Estas han sido probadas mediante el método ASTM E90-09 (2016), método de prueba estándar para la medición de la transmisión de sonido en particiones y elementos del edificio. Los resultados obtenidos le dan una transmisión de sonido equivalente a 21 según la clasificación STC, la cual se basa en el peso del bloque, en si las celdas están o no llenas y en el material con el que se rellenan, siguiendo esta clasificación cuanto más alto sea el valor mejor aislamiento acústico se logrará.(Levy 2012)

- Factor ambiental

Lo que hace que se trate de una alternativa constructiva sostenible es que se obtiene del reciclado de otro material, en este caso el plástico, por lo que no genera residuos en su proceso de fabricación y además ayuda a reducir la cantidad de plástico sin utilidad que ahora mismo se acumula en vertederos. La empresa informa de su contribución a los créditos LEED por su “proceso de bajas emisiones, alta tasa de desviación de desechos plásticos y materiales mínimos requeridos para la instalación “(Byfusion 2015)

Como cualidad añadida, aunque durante el proceso de construcción con estos bloques no se tiene porque generar residuos al tratarse de un simple ensamblaje entre ellos, en el caso de necesidad de cortar las piezas se puede utilizar cualquier método habitual y si se generan residuos por el corte la empresa propone que se almacenen en una bolsa ,que ellos mismos facilitan como parte de su embalaje, para que al acabar el montaje estos restos se envíen de nuevo a la fábrica y se inserten de nuevo en el proceso de fabricación para nuevas piezas, consiguiendo así el objetivo de generar cero residuos.



Figura 35: Aspecto bloque empresa Byfusion.
(Byfusion 2015)

4.COMPARATIVO DEL CICLO DE VIDA

El análisis del ciclo de vida de un material (ACV) se trata de un método de análisis que se introdujo en los años sesenta y ha ido evolucionando hasta la fecha hasta convertirse en uno de los métodos más empleados para evaluar un producto o actividad cuando se busca reducir o mejorar el impacto ambiental de este. Esto se debe a que el ACV consiste en un estudio en profundidad del ciclo de vida completo desde la extracción de las materias primas hasta el depósito final de los residuos. (Arenas Cabello 2007)

Al tratarse de un análisis complejo se ha establecido una metodología estandarizada que se debe llevar a cabo para que el análisis sirva como fuente de información en la comparación de materiales, estas normas son UNE EN ISO 14040:2006 y UNE EN ISO 14044:2006. (Zabalza Bribián et al. n.d.)

Hoy en día existen multitud de herramientas para el análisis ambiental de un edificio, algunas genéricas y otras más específicas, como por ejemplo el Eco-Management and audit Scheme (EMAS) o el modelo BREDEN o SEAM, al igual que el etiquetado ecológico que esa trata de otro instrumento útil en el momento de seleccionar productos y comparte características con el ACV. Por ello, en el caso de analizar no todo el edificio sino un material los fabricantes de materiales de construcción, como los analizados en este trabajo, emplean el ACV y el etiquetado ecológico para identificar áreas en las que se puede ahorrar energía, reducir residuos y prevenir la contaminación. (Edwards 2004)

Dentro de la metodología de ACV, (Alegre C 2017) en su trabajo de análisis comenta que existen diferentes enfoques que se pueden llevar a cabo de este análisis dependiente de su finalidad; puede tratarse en un análisis descriptivo, comparativo o de predicción, estos dos últimos son los empleados para realizar el análisis de ciclo de vida de los materiales comentados en el punto anterior, dado que se busca ayudar en la decisión de un cambio de materias primas empleadas en la construcción.

Por otro lado, también existen varias maneras de enfocar en análisis dependiendo de las etapas que se tienen en cuenta en el estudio, en este caso utilizaremos en ACV denominado "from cradle to grave", que incluye todas las etapas del ciclo de vida del producto, desde la extracción de materias primas hasta la gestión de los residuos de fin de vida. (Alegre C 2017)

De modo que el método empleado para este comparativo del ciclo de vida de los materiales sostenibles comentados consiste en evaluar "las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales, del conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente, durante la vida útil del producto, desde que se obtiene la materia prima hasta su eliminación" (Serrano Yuste 2014) Entendiendo como entradas las materias primas y energía, como salidas emisiones, residuos y subproductos y trabajos intermedios durante la vida útil como extracción de las materias primas, producción, distribución, uso y mantenimiento. Concepto que se explica en la Figura 36.

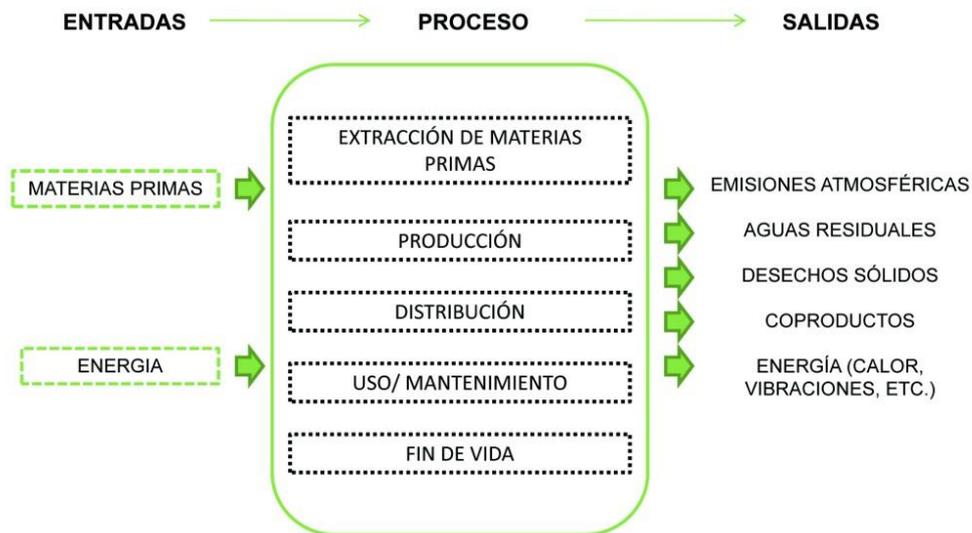


Figura 36: Diagrama explicativo de las diferentes fases del ciclo de vida de un material constructivo. (Serrano Yuste 2014)

Asimismo, siguiendo los estudios realizados sobre esta metodología, las fases a tener en consideración para hacer un análisis de vida completo son (Alegre C 2017):

- Extracción de materias primas: incluye el método de obtención de la materia prima.
- Fabricación/Producción: teniendo en cuenta la energía y las emisiones asociadas a la fabricación de los productos de construcción utilizados, así como el embalaje.
- Distribución/Puesta en obra: contando con el transporte desde la fábrica la obra, así como la energía y recursos consumidos durante la ejecución de cada una de las soluciones constructivas.
-
- Uso/ Mantenimiento: tiene en cuenta la durabilidad y el gasto energético que supone tener el edificio en condiciones de confortables para habitar.
- Fin de vida/Demolición: analiza la energía, modo y recursos necesarios para la demolición y el transporte de los restos.
- Reciclado / reutilización / retirada: trata del tratamiento que reciben los materiales de construcción después de la demolición, como reciclado, reutilización, retirada a vertedero o incineración.

En los siguientes cuadros, de elaboración propia, se comenta de cada material en que consiste cada fase del ciclo de vida y se indica con diferentes colores si esta tiene un impacto negativo en el medio ambiente.

- Cero contaminante
- Medio contaminante
- Alto contaminante

HEMPCRETE		
Materias primas	Cáñamo	
1º Extracción materia prima		
- Lugar de extracción	Clima templado con unas precipitaciones de 25-30 pulgadas por año. En suelo profundo bien aireado, con un pH de 6 o mayor y drenado.(New Age Hemp S.L n.d.)	*
- Método de obtención	Cultivo natural sin pesticidas, el tiempo hasta la cosecha varía entre 70 a 90 días. (New Age Hemp S.L n.d.)	*
- Impacto ambiental	Depende del tipo de cultivo que se lleve a cabo, si se sigue la línea de la agricultura extensiva y ecológica sin deforestar zonas para su cultivo el impacto en el medio ambiente es mínimo	*
- Emisiones CO ₂	Las máquinas para su recolección emiten CO ₂ pero la planta para su crecimiento absorbe CO ₂	*
- Transporte	De los campos de cultivo al lugar de producción.	*
2º Fabricación		
- Energía necesaria	Se fabrica de forma artesanal y se seca a temperatura ambiente	*
- Duración	28 días de secado al aire	*
- Mezcla con otro material	El cáñamo se mezcla con cal y agua	*
- Emisiones CO ₂	Al mezclarse con la cal y el agua emite CO ₂	*
- Residuos generados	cero	*
- Embalaje	En el caso de comercializarse para mortero se utilizan sacos de papel reciclado y en el caso de los ladrillos no utiliza ningún embalaje	*
3º Puesta en obra		
- Transporte	De la fábrica a la obra	*
- Materiales extras necesarios	Morteros y arena en dosis 1:4. (CANNABRIC 2009)	*
- Energía necesaria	Proceso manual	*
- Agua necesaria	La necesaria para el mortero	*
- Residuos generados	cero	*
4º Uso/Mantenimiento		
- Durabilidad	La misma que los bloques de cemento tradicionales	*
- Gasto energético	Sus características térmicos, acústicos y bioclimáticos, que conducen a gran ahorro energético. (CANNABRIC 2009)	*

5º Demolición		
- Método de desmontaje	Demolición	*
- Energía necesaria	La necesaria por la maquinaria para derribar el muro	*
- Residuos generados	Los restos de los bloques que se pueden reciclar	*
- Transporte	Del lugar de demolición hasta la fábrica de nuevo	*
6º Reciclado		
- Posibilidad de reutilización	El bloque procedente de una demolición puede ser molido y reutilizado para la producción de Cannabric o bien morteros aislantes. (CANNABRIC 2009)	*
- Energía necesaria	La empleada por la máquina que tritura los restos	*
HUELLA AMBIENTAL	Valores negativos de GWP de -0,624 kg CO ₂ eq/kg (CANNABRIC 2009). Dado que en el proceso se contamina en el transporte y en el CO ₂ que se emite en la mezcla pero esta se contrarresta con el que absorbe la planta en su crecimiento y el bloque.	
- Beneficios indirectos	Favorece al sector de la agricultura	*

BIOCEMENTO

Materias primas	Microalgas o coral	
1º Extracción materia prima		
- Método de obtención	Proceso natural al crear un microambiente a temperatura baja para la formación del cristal de carbonato de calcio.(BIOMASON 2012)	*
- Impacto ambiental	cero	*
- Emisiones CO ₂	No emite sino que absorbe para producir el carbonato de calcio	*
- Transporte	Se “cultivan las algas” en el lugar donde se produce el biocemento	*
2º Fabricación		
- Duración	3-4días	*
- Energía necesaria	La necesaria para el funcionamiento de la maquinaria (el mezclador, la tolva y la placa hidráulica)	*
- Mezcla con otro material	Los bloques se componen de 85% de granito de fuentes recicladas y un 15% de biocement. (BIOMASON 2012)	*

- Emisiones CO ₂	En el proceso de endurecimiento se absorbe CO ₂	*
- Residuos generados	cero	*
- Embalaje	contenedores	*
3º Puesta en obra		
- Transporte	De la fábrica a la obra	*
- Materiales extras necesarios	Mortero para su colocación	*
- Energía necesaria	Proceso manual	*
- Agua necesaria	La necesaria para el mortero	*
- Residuos generados	El embalaje	*
4º Uso/Mantenimiento		
- Durabilidad	Misma que ladrillos tradicionales	*
- Gasto energético	No afecta al gasto energético de la edificación	*
5º Demolición		
- Método de desmontaje	Demolición	*
- Energía necesaria	La necesaria por la maquinaria para derribar el muro	*
- Residuos generados	Los restos de los bloques que se pueden reciclar	*
- Transporte	Del lugar de demolición hasta la fábrica de nuevo	*
6º Reciclado		
- Posibilidad de reutilización	Se pueden triturar los restos y devolver al proceso de fabricación como materia prima para nuevos productos	*
- Energía necesaria	La empleada por la máquina que tritura los restos	*
HUELLA AMBIENTAL	Por cada kilogramo de biocemento utilizado en lugar de cemento Portland, se elimina 1 kg de CO ₂ ” (BIOMASON 2012) Debido la absorción de carbono durante su fabricación.	

ROOTMAN		
Materias primas	Raíces de plantas	
1º Extracción materia prima		
- Lugar de extracción	Se plantan semillas de avena y cebada	*
- Método de obtención	Cultivo hidropónico de semillas de avena o cebada, utilizando bandejas que definen el grosor requerido de las raíces.(Rootman, n.d.)	*
- Impacto ambiental	Cero ya que no se utilizan pesticidas ni aditivos	*
- Emisiones CO2	La planta crece absorbiendo CO2 y se recolecta de forma manual	*
- Transporte	El cultivo tiene lugar en la misma planta de fabricación	*
2º Fabricación		
- Duración	10-15 días	*
- Energía necesaria	Se trata de un trabajo manual por lo que no se necesita energía	*
- Mezcla con otro material	Para 1m ² se necesita 1L de agua	*
- Emisiones CO2	cero	*
- Residuos generados	cero	*
- Embalaje	Las raíces se envuelven en papel	*
3º Puesta en obra		
- Transporte	De la fábrica a la obra, aunque suele utilizarse de forma local	*
- Materiales extras necesarios	Los sacos se colocan en una retícula de listones de madera	*
- Energía necesaria	Cero ya que se instala de forma manual	*
- Agua necesaria	cero	*
- Residuos generados	Cero porque las raíces se instalan dentro de los propios sacos	*
4º Uso/Mantenimiento		
- Durabilidad	De 40 a 50 años. (Gallardo 2020)	*
- Gasto energético	cero	*
5º Demolición		
- Método de desmontaje	Se pueden desmontar los paneles y listones de madera para su reutilización	*

- Energía necesaria	Cero al ser un trabajo manual	*
- Residuos generados	El embalaje de papel	*
- Transporte	El transporte de la madera de una obra a otra	*
6º Reciclado		
- Posibilidad de reutilización	El propio colchón no se reutiliza pero es 100% biodegradable	*
- Energía necesaria	cero	*
HUELLA AMBIENTAL	El proceso de fabricación y aplicación tiene un impacto mínimo en el medio ambiente, aunque si que afecta en cierto modo a la deforestación por el uso de madera aunque esta sea reciclada y produce emisiones en el transporte a la obra.	

MYCELIUM

Materias primas	Hongo	
1º Extracción materia prima		
- Lugar de extracción	Semillas naturales	*
- Método de obtención	Cogido de la naturaleza	*
- Impacto ambiental	cero	*
- Emisiones CO2	cero	*
- Transporte	cero	*
2º Fabricación		
- Duración	1-2 semanas	*
- Energía necesaria	La empleado por el horno para el secado de las piezas	*
- Mezcla con otro material	El material resultante está compuesto de semillas de hongo y residuos agrícolas	*
- Emisiones CO2	El hongo en su crecimiento absorbe CO2	*
- Residuos generados	cero	*

3º Puesta en obra		
- Transporte	De la fábrica al lugar de aplicación	*
- Materiales extras necesarios	cero	*
- Energía necesaria	Se aplica de forma manual	*
- Agua necesaria	cero	*
- Residuos generados	Cero dado tanto en el caso de los paneles aislante como ladrillos la forma se puede hacer a medida para no desperdiciar material	*
4º Uso/Mantenimiento		
- Durabilidad	Los paneles aislantes tienen una larga vida útil gracias a que son un 20% más fuertes que los materiales aislantes tradicionales	*
- Gasto energético	cero	*
5º Demolición		
- Método de desmontaje	Demolición	*
- Energía necesaria	La necesaria por romper el material	*
- Residuos generados	Los restos de los bloques	*
- Transporte	Del lugar de demolición hasta campos de cultivo para su uso como abono	*
6º Reciclado		
- Posibilidad de reutilización	Se convierten en compostaje y fertilizante para plantas	*
- Energía necesaria	cero	*
- Tiempo de degradación	Es 100 biodegradable	*
HUELLA AMBIENTAL	En general se calcula que 1m ² de panel aislante compuesto por micelio y residuos agrícolas de la empresa Ecovatice emite 31kG de CO ₂ y consume 625 MJ de energía (Mayoral González, Keller, and Joachim 2010)	

GEOSILEX		
Materias primas	Cales residuales industria química	
1º Extracción materia prima		
- Lugar de extracción	Empresas químicas que fabrican gas acetileno	*
- Método de obtención	Residuo generado en procesos químicos	*
- Impacto ambiental	En el proceso de obtención de acetileno el óxido de calcio se hidrata rápidamente formando una pasta de hidróxido cálcico. Normalmente esta pasta de cal se almacena como residuo. De modo que al emplear este residuo se reduce la huella ambiental de las empresas químicas.(TRENZA METAL ÁREA 2011)	*
- Emisiones CO ₂	Las fabricaciones de cales industriales tienen un gran coste energético y representan un gran porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero.	*
- Transporte	De la industria química a la fábrica de Geosilex	*
2º Fabricación		
- Duración	Se obtiene de forma instantánea	*
- Energía necesaria	cero	*
- Mezcla con otro material	solo se eliminan impurezas y elementos tóxicos de los residuos y se mezcla con el CO ₂	*
- Emisiones CO ₂	El residuo capta CO ₂	*
- Residuos generados	La totalidad del fluido sobrante que se genera se reutiliza como vitrificante en la industria cerámica	*
- Embalaje	La misma empresa que lo comercializa ha creado su propio envase hermético que mantiene la humedad necesaria de la pasta, siendo reutilizable y retráctil	*
3º Puesta en obra		
- Transporte	De la fábrica a la obra	*
- Materiales extras necesarios	CaCO ₃ se mezcla con agua para obtener la pasta	*
- Energía necesaria	La empleada de normal para la mezcla del cemento	*
- agua necesaria	la necesaria para la mezcla del cemento tradicional	*
- Residuos generados	cero	*

4º Uso/Mantenimiento		
- Durabilidad	La adición de este material al hormigón mejora la resistencia mecánica a largo plazo dado que le proporciona la capacidad de auto-sellado, puede disolverse y reaparecer rellenando fracturas además de contribuir a la estabilidad química.(TRENZA METAL ÁREA 2011)	*
- Gasto energético	cero	*
5º Demolición		
- Método de desmontaje	Demolición	*
- Energía necesaria	La necesaria por romper el material	*
- Residuos generados	Los escombros de las piezas	*
- Transporte	-	
6º Reciclado		
- Posibilidad de reutilización	Los escombros no se pueden reutilizar de ninguna manera especial más que como relleno	*
- Energía necesaria	-	
- Tiempo de degradación	-	
HUELLA AMBIENTAL	Se calcula que tiene una huella negativa de -250 g CO ₂ / Kg, dado que si añadimos a la mezcla la misma cantidad de Geosilex que de cemento restamos 72 Kg de CO ₂ , es decir el 30% de la huella de carbono del cemento.(TRENZA METAL ÁREA 2011)	

RESYSTA		
Materias primas	Cáscara de arroz	
1º Extracción materia prima		
- Lugar de extracción	Industria alimentaria	*
- Método de obtención	Residuo de la industria del arroz	*
- Impacto ambiental	cero	*
- Emisiones CO ₂	cero	*
- Transporte	De la fábrica de arroz a la fábrica de Resysta	*
2º Fabricación		
- Duración	-	
- Energía necesaria	La necesaria para accionar las maquinas que realizan la mezcla y extrusión dando forma a las piezas.	*

- Mezcla con otro material	Está compuesto 60% cascara de arros,22% sal y 13%aceite mineral	*
- Emisiones CO2	cero	*
- Residuos generados	cero	*
- Embalaje	Bolsas reutilizables	*
3º Puesta en obra		
- Transporte	De la fábrica al lugar de aplicación. Se está creando una red de empresas que comercialicen este material acortando así la distancia de transporte	*
- Materiales extras necesarios	Cero ya que las pieza pueden ensamblar entre ellas	*
- Energía necesaria	Cero, trabajo manual	*
- Agua necesaria	cero	*
- Residuos generados	Si se necesita cortar o tratas alguna pieza los restos se recolectan y envían para volver al proceso de fabricación de nuevas piezas	*
4º Uso/Mantenimiento		
- Durabilidad	Larga vida útil y fácil mantenimiento	*
- Gasto energético	cero	*
5º Demolición		
- Método de desmontaje	Las piezas se pueden desmontaje y volver a montar	*
- Energía necesaria	Cero, su desmontaje se realiza de forma manual	*
- Residuos generados	Si se generan restos del material estos se reciclan para producir nuevas piezas	*
- Transporte	Los residuos se recogen en diferentes partes del mundo acortando asi las distancias	*
6º Reciclado		
- Posibilidad de reutilización	Tras múltiples usos de las piezas estas se trituran y vuelven a incorporar en el proceso de producción	*
- Energía necesaria	La necesaria para la máquina trituradora	*
- Tiempo de degradación	Al ser 100% natural es biodegradable	*
HUELLA AMBIENTAL	La huella ambiental que produce este material es solo la causada por el transporte y la energía mínima que necesitan las maquinas.	

POSIDONIA		
Materias primas	Posidonia oceánica	
1º Extracción materia prima		
- Lugar de extracción	Playas donde el volumen acumulado exceda la cantidad necesaria para mantener el equilibrio del ecosistema dunar costero.(LIFE REUSING POSIDONIA 2018)	*
- Método de obtención	Recogido mediante una pala de carga	*
- Impacto ambiental	Si se siguen los protocolos establecidos no se tiene un impacto ambiental negativo	*
- Emisiones CO ₂	Las que produzca la pala que recolecta la material	*
- Transporte	De la playa a la obra	*
2º Fabricación		
- Duración	Un día	*
- Energía necesaria	Cero si se deja secar al sol, aunque en algunos estudios analizados utilizan hornos y prensas mecánicas que consumirán energía	*
- Mezcla con otro material	Si se utiliza como aislante en cubiertas no se mezcla con otro material pero en el caso de querer aplicarlo en paramentos verticales se mezcla con algún aglutinante para darle resistencia	*
- Emisiones CO ₂	cero	*
- Residuos generados	cero	*
- Embalaje	En el proyecto (LIFE REUSING POSIDONIA 2018) no se necesita embalaje ya que el proceso tiene lugar en la misma obra	*
3º Puesta en obra		
- Transporte	Solo en el caso de aplicación de paneles verticales, en el caso de las viviendas en Formentera no se necesita transporte	*
- Materiales extras necesarios	Como aislante en cubierta, la posidonia se coloca en palets invertidos y se cubren con tableros para crear una cámara estanca.	*
- Energía necesaria	Se coloca y compacta de forma manual	*
- Agua necesaria	cero	*
- Residuos generados	cero	*

4º		
Uso/Mantenimiento		
- Durabilidad	Si la cámara permanece correctamente estanca posidonia mantiene sus propiedades por largo periodo de tiempo	*
- Gasto energético	cero	*
5º Demolición		
- Método de desmontaje	Las cámaras estancas con palets y tableros de madera pueden desmontarse	*
- Energía necesaria	Trabajo manual	*
- Residuos generados	la posidonia no se puede reutilizar	*
- Transporte	-	
6º Reciclado		
- Posibilidad de reutilización	No se puede	*
- Energía necesaria	cero	*
- Tiempo de degradación	al ser una planta sin aditivos es 100% biodegradable	*
HUELLA AMBIENTAL	Su uso reducción del 60,71% de emisiones de CO2 durante la construcción del edificio.(LIFE REUSING POSIDONIA 2018)	

LADRILLOS DE PLÁSTICO RECICLADO

Materias primas	Plástico PET o PEAD	
1º Extracción materia prima		
- Lugar de extracción	Vertederos	*
- Método de obtención	Recogido mediante una pala de carga	*
- Impacto ambiental	Impacto positivo al reducir la cantidad de plástico en vertederos	*
- Emisiones CO2	Las que produzca la pala que recolecta la material	*
- Transporte	De los vertederos al fábrica	*
2º Fabricación		
- Duración	Una planta totalmente mecanizada puede producir de 250 a 10,000 unidades por día	*
- Energía necesaria	La necesaria para activar la cadena de producción y las máquinas que participan en el proceso (tritadora, lavadora, secadora, compresor, cámara de fusión, cámara fría)	*

- Mezcla con otro material	cero	*
- Emisiones CO2	Las que puedan ser producidas por las máquinas	*
- Residuos generados	cero	*
- Embalaje	Palets reutilizables	*
3º Puesta en obra		
- Transporte	De la fábrica al lugar de aplicación	*
- Materiales extras necesarios	Cero ya que se ensamblan unos con otros	*
- Energía necesaria	Se colocan de forma manual	*
- Agua necesaria	cero	*
- Residuos generados	Cero, si se necesita cortar los bloques y se generan restos estos se deben recolectar en una bolsa que se entrega con el palet y enviar a la fábrica para incluir los restos de nuevo en la producción de nuevos bloques.(Byfusion 2015)	*
4º Uso/Mantenimiento		
- Durabilidad	Larga vida útil dado que el plástico no se deteriora si está cubierto y no necesita mantenimiento.	*
- Gasto energético	cero	*
5º Demolición		
- Método de desmontaje	Al no utilizar adhesivos los bloques se pueden desencajar y volver a utilizar	*
- Energía necesaria	Trabajo manual	*
- Residuos generados	cero	*
- Transporte	De un lugar de aplicación a otro	*
6º Reciclado		
- Posibilidad de reutilización	En el caso de múltiples aplicaciones los bloques se pueden triturar de nuevo para servir de materia prima en la producción de nuevas piezas	*
- Energía necesaria	La necesaria para producir nuevos bloques	*
- Tiempo de degradación	El plástico tarda décadas en descomponerse e incluso no llegan a descomponerse del todo.	*
HUELLA AMBIENTAL	La huella ambiental que produce este material es la causada por el transporte y la energía las máquinas, la empresa se califica como un proceso de bajas emisiones y desviación de desechos, por lo que la huella ambiental es mínima.	

Tras analizar el ciclo de vida completo de cada material se puede conocer en qué puntos a lo largo de toda su fabricación, uso y reciclado se tiene un impacto negativo en el medio ambiente ya sea por generar residuos, emisiones nocivas a la atmosfera o la necesidad de emplear otro material, agua o energía cuya producción tiene una huella de carbono alta. A continuación, se muestra una comparativa de todos los ciclos de vida analizados.

MATERIALES	HEMPCRETE	BIOCEMENTO	ROOTMAN	MYCELLIUM	GEOSILEX	RESYSTA	POSIDONIA	LADRILLOS PLÁSTICO
1º Extracción materia prima								
- Lugar de extracción	*	*	*	*	*	*	*	*
- Método de obtención	*	*	*	*	*	*	*	*
- Impacto ambiental	*	*	*	*	*	*	*	*
- Emisiones CO2	*	*	*	*	*	*	*	*
- Transporte	*	*	*	*	*	*	*	*
2º Fabricación								
- Duración	*	*	*	*	*	-	*	*
- Energía necesaria	*	*	*	*	*	*	*	*
- Mezcla con otro material	*	*	*	*	*	*	*	*
- Emisiones CO2	*	*	*	*	*	*	*	*
- Residuos generados	*	*	*	*	*	*	*	*
- Embalaje	*	*	*	*	*	*	*	*
3º Puesta en obra								
- Transporte	*	*	*	*	*	*	*	*
- Materiales extras necesarios	*	*	*	*	*	*	*	*
- Energía necesaria	*	*	*	*	*	*	*	*

- Agua necesaria	*	*	*	*	*	*	*	*
- Residuos generados	*	*	*	*	*	*	*	*
4º Uso/Mantenimiento								
- Durabilidad	*	*	*	*	*	*	*	*
- Gasto energético	*	*	*	*	*	*	*	*
5º Demolición								
- Método de desmontaje	*	*	*	*	*	*	*	*
- Energía necesaria	*	*	*	*	*	*	*	*
- Residuos generados	*	*	*	*	*	*	*	*
- Transporte	*	*	*	*	*	*	*	*
6º Reciclado								
- Posibilidad de reutilización	*	*	*	*	*	*	*	*
- Energía necesaria	*	*	*	*	*	*	*	*
- Tiempo de degradación	-	-	-	*	-	*	*	*

Como conclusión de esta comparativa se puede observar que el transporte es una actividad contaminante en común en todas las fases donde se lleva a cabo (extracción, puesta en obra y demolición) y hasta ahora la forma de disminuir el impacto ambiental de esta actividad es reducir distancias entre el lugar de extracción, producción y aplicación llevando a cabo el comercio y aplicación a nivel local, como ocurre en alguno de estos materiales donde se extrae y produce o fabrica y aplica el material en el mismo lugar, o también se podría considerar el uso de medios de transporte eléctricos que aunque sigan produciendo huella de carbono por la energía que consumen se eliminan las emisiones de CO₂.

Por otro lado, en general la fase de fabricación de estos materiales genera un valor contaminante reducido, ya que es uno de los principios que siguen las empresas comercializadoras, no obstante, el hecho de mezclar la materia prima con otros materiales o agua sí que genera un impacto en el medio ambiente, así como la energía consumida por las máquinas necesarias para la preparación y mezcla de las materias primas. En el caso de la energía necesaria esta se puede reducir elaborando los trabajos de forma manual o empleando fuentes de energía renovable.

Asimismo, la fase de uso y mantenimiento en estos materiales “sostenibles” en conjunto tiene un impacto ambiental positivo, dado que no necesitan de aditivos artificiales para su mantenimiento y tiene una vida útil similar a los materiales tradicionales. Además, en algunos casos gracias a la materia prima biológica empleada durante esta etapa absorben CO₂ de la atmósfera favoreciendo así a la reducción de gases contaminantes existentes.

Por último, en las etapas finales de fin de vida/demolición y reciclado de los materiales se advierte cierta variedad en cuanto al factor contaminante dado que no todos ellos pueden ser desmontados y vueltos a ensamblar de forma manual sin generar residuos en el proceso ni necesitar de energía para las máquinas. De igual manera, la mayoría pueden ser reciclados al servir como materia prima para nuevos productos, pero para ello se precisa de transporte y energía para tratar los residuos y convertirlos en materia aplicable en el proceso de producción.

Por consiguiente, se puede afirmar que estos materiales a lo largo de toda su vida útil y una vez acabada esta, sí que generan una huella de carbono en el planeta, aunque sea de forma indirecta, pero a pesar de ello su valor contaminante en comparación con las emisiones y residuos que producen los materiales tradicionales es mínimo y sus propiedades y aplicaciones similares, por lo que son una alternativa muy válida para hacer de la construcción una actividad que respete y ayude a la conservación del medio ambiente, idea que se afirma en el siguiente apartado sobre las posibles aplicaciones de los materiales analizados en la construcción actual.

5.APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

5.1 Alternativas al hormigón o el cemento

- Hempcrete

Sobre los distintos usos posible que ofrece este “nuevo hormigón sostenible” en la construcción, (Woolley, 2006) resalta que “cal-hempcrete puede ser utilizado como una pared sólida, tanto como cemento y hormigón, ya sea de pie libre o como un relleno dentro de una estructura de montantes y travesaños de estructura de madera. También se puede lanzar como bloques” En Reino Unido se empezó a utilizar en 2001 para la construcción de viviendas sociales como un proyecto de investigación de construcción sostenible y desde entonces se ha seguido aplicando en múltiples construcciones como explica (Luque 2018), el cual en su estudio se comentan los usos más habituales:

Como cerramiento exterior, aunque siempre con protección para la lluvia. “Stanwix y Sparrow (2014) han publicado un libro completo, que actúa como una guía para la construcción de muros de hormigón de cáñamo en hogares. Los muros de hormigón de cáñamo se pueden moldear in situ, como es habitual, o se pueden ser en bloques prefabricados ensamblados en obra como mampostería convencional. Los autores advierten que las paredes de cáñamo no pueden dejarse desprotegidas, ya que no son del todo inmunes a la lluvia.”(Jami, Karade, and Singh 2019)

HempiPANEL Vertical Wall Panels

1. HempiPANEL Wall Panels
2. Lime Mortar Bed (~10mm)
3. Lime Plaster
4. 'L' Plate Channel (anchor array of HempiPANELs to structural framing)
5. Interior Wall Finish
6. 'Z' Furring Angle (anchor array of HempiPANELs to structural framing)
7. Ceiling Board
8. Roof Structure (by engineer)
9. 'Z' Furring Angle running throughout panels with minimum 2 nos. M6 screws (anchor array of HempiPANELs to structural framing)
10. External HempiRENDER

Wall Section with Roof Truss

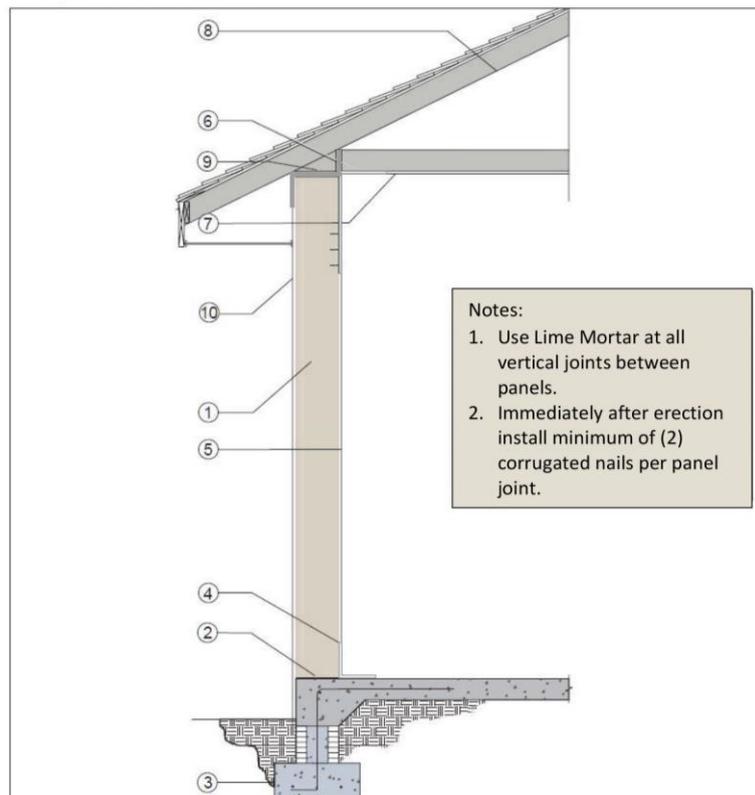


Figura 37:Detalle pared construida con un panel de hemcrete. (Brody 2015)

En cuanto a los bloques prefabricados aunque ofrece una serie de ventajas como su compresión controlada y su fácil aplicación existen ciertas desventajas que hacen que no sea una opción tan sostenible como señala (Jami, Karade, and Singh 2019):

- La producción ex situ de bloques prefabricados de hormigón de cáñamo requiere maquinaria, infraestructura e instalaciones de curado especializadas
- El costo de producción y fabricación de concreto de cáñamo aumenta sustancialmente
- Construir con bloques de hormigón de cáñamo significaría el uso de juntas de mortero que dan como resultado la formación de puentes térmicos y un aumento de los flujos de calor, lo que lo hace inadecuado para regiones climáticas más frías.
- Los bloques prefabricados deben transportarse desde la unidad de fabricación

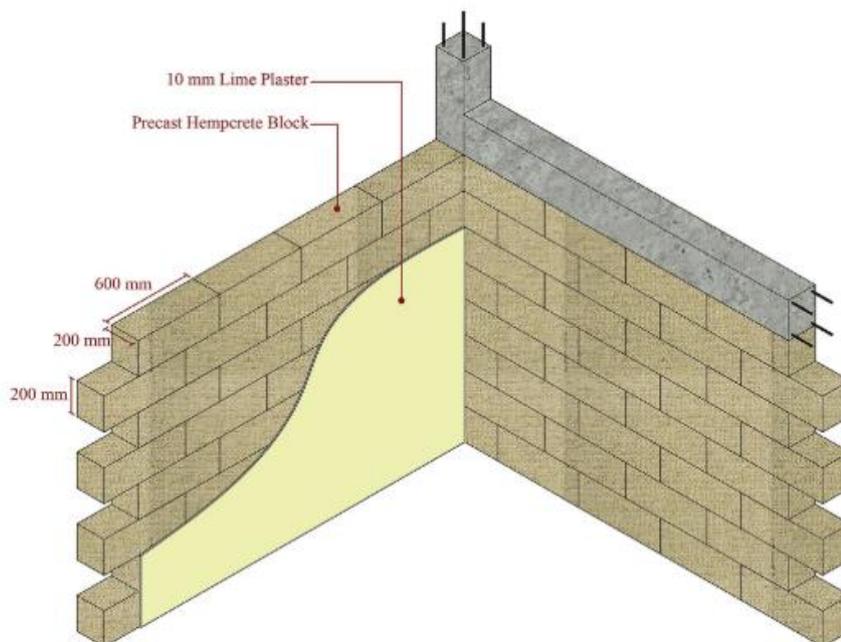


Figura 38: . conjunto de pared de hormigón de cáñamo de 220 mm de espesor hecho de bloques de hormigón de cáñamo grandes de dimensiones (600 mm x 200 mm x 200 mm). (Jami, Karade, and Singh 2019)

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Existen varios ejemplos en España de obras construidas con este material dado que la empresa Cannabric fabrica en España su bloque de Hempcrete desde 1999. Estos bloques se aplican tanto para proyectos de viviendas de nueva construcción (figura 22) como en rehabilitaciones (figura 23).



Figura 39: Proceso construcción de cerramiento vertical con ladrillos Cannabrick en vivienda unifamiliar (Brümmer n.d.)



Figura 40: Vivienda unifamiliar aislada con cochera de 2005 (Brümmer n.d.)

En el caso de la figura 22 la aplicación de este material, según la ficha técnica redactada por la arquitecta de la obra, Monika Brümmer , se trata de “muros de carga monocapa de Cannabrick de 30 cm de espesor, recibidos con mortero de cal hidráulica natural NHL5, generalmente revestidos con revocos de cal hidráulica natural en exteriores e interiores. Pinturas de cal grasa en pasta en interiores y exteriores.



Figura 41: Rehabilitación de una cueva para uso de vivienda temporal y alojamiento

- **Geosilex**

Puede ser colocado en pavimentos, tanto en forma de baldosas o adoquines prefabricados como en pavimentos continuos de hormigón in situ. Actualmente existen diferentes empresas en España que fabrican pavimentos con este material.

En esta aplicación es importante remarcar la capacidad de captación del CO₂, dado que al emplearse en calzadas por las que los vehículos discurren el “CO₂ emitido por los motores de combustión dado que este gas, más pesado que el aire (aire:1,4; CO₂:1,8), tiende a concentrarse en las cotas más próximas al suelo.”(TRENZA METAL ÁREA 2011)

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Parque de la Campa de los ingleses como parte de Proyecto Ría 2000 de modificación de Abandoibarra en Bilbao. Una intervención muy importante para el medioambiente de la ciudad por lo que el uso de este material es clave dado que “la rehabilitación de la Campa de los Ingleses constituye un nuevo pulmón para la ciudad gracias a la transformación urbanística, la vegetación y al empleo de GeoSilex® en las baldosas Ecosit KlimCO que la empresa Hnos. Eguskiza del Grupo UGP (pionera en el empleo de este material) ha suministrado para las vías peatonales que atraviesan este parque.”(ALIMARKET 2011)



Figura 42: Calzada realizada con Geosilex en Parque de la Campa de los Ingleses Bilbao. (ALIMARKET 2011)

Como se puede observar este proyecto llevado a cabo por RTN Arquitectos utiliza baldosas compuestas por Geosilex para las vías peatonales, lo que hace que nos acerquemos cada vez más a una arquitectura que favorece el buen estado del medioambiente.

- Mycelium

Actualmente se está comenzando a utilizar como encofrado perdido, material de embalaje, en carreteras para evitar asentamientos en suelos con poca resistencia y como parte de la estructura portante del edificio (Illana 2016). Por lo que en el caso de emplear los bloques para soportar cargas su aplicación aún está en fase de estudio, pero se han creado algunos prototipos como la torre Hy-Fi.



Figura 43: Torre Hy-i en la exposición temporal de MoMA's PS1, tras ganar la edición del Young Architects Program (YAP)

- Byblock

ByBlock se comercializa como bloques para la construcción de paredes que pueden soportar cargas, por lo que sirven como alternativa sostenible de los bloques de hormigón o ladrillos cerámicos

Para el levantamiento de una pared compuesta por estos bloques se necesita “el propio ByBlock, varilla roscada, arandelas y tuercas, placas superiores de madera o acero (...) las varillas están aseguradas dentro de su base y se extienden a través de cada ByBlock con los pasadores y hoyuelos bloqueándose juntos.”(Byfusion 2015). Por lo que es necesario colocar una base a modo de cimentación, esta puede ser de hormigón, cemento, acero o madera y las varillas metálicas que pasaran por dentro de los bloques deben ir ancladas a esta base para aumentar la resistencia del muro. Seguidamente, “una vez que se ha completado el apilado ByBlock, se coloca una placa superior en su hilera final y se asegura con arandelas y tuercas estándar” a modo de coronación para asegurar la estabilidad. (Byfusion 2015)

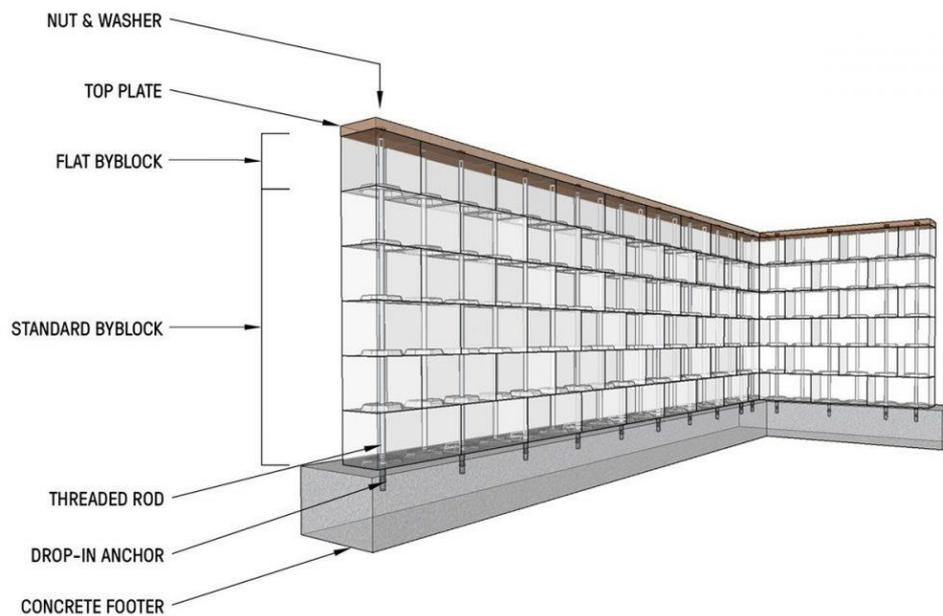


Figura 44:Detalle 3D de elementos que componen un muro construido con ByBlock (Byfusion 2015)

En lo que respecta al acabado de la pared, “ByBlock está diseñado para cubrirse y protegerse de los elementos, el paso final es agregar un acabado de su elección (estuco, placa de yeso / paneles de yeso, yeso, revestimiento, paneles o incluso pinturas especializadas). Si su proyecto al aire libre está diseñado para presentar ByBlock visualmente, deberá aplicar una capa transparente UV.” (Byfusion 2015). De modo que es compatible con cualquier acabado del mercado.

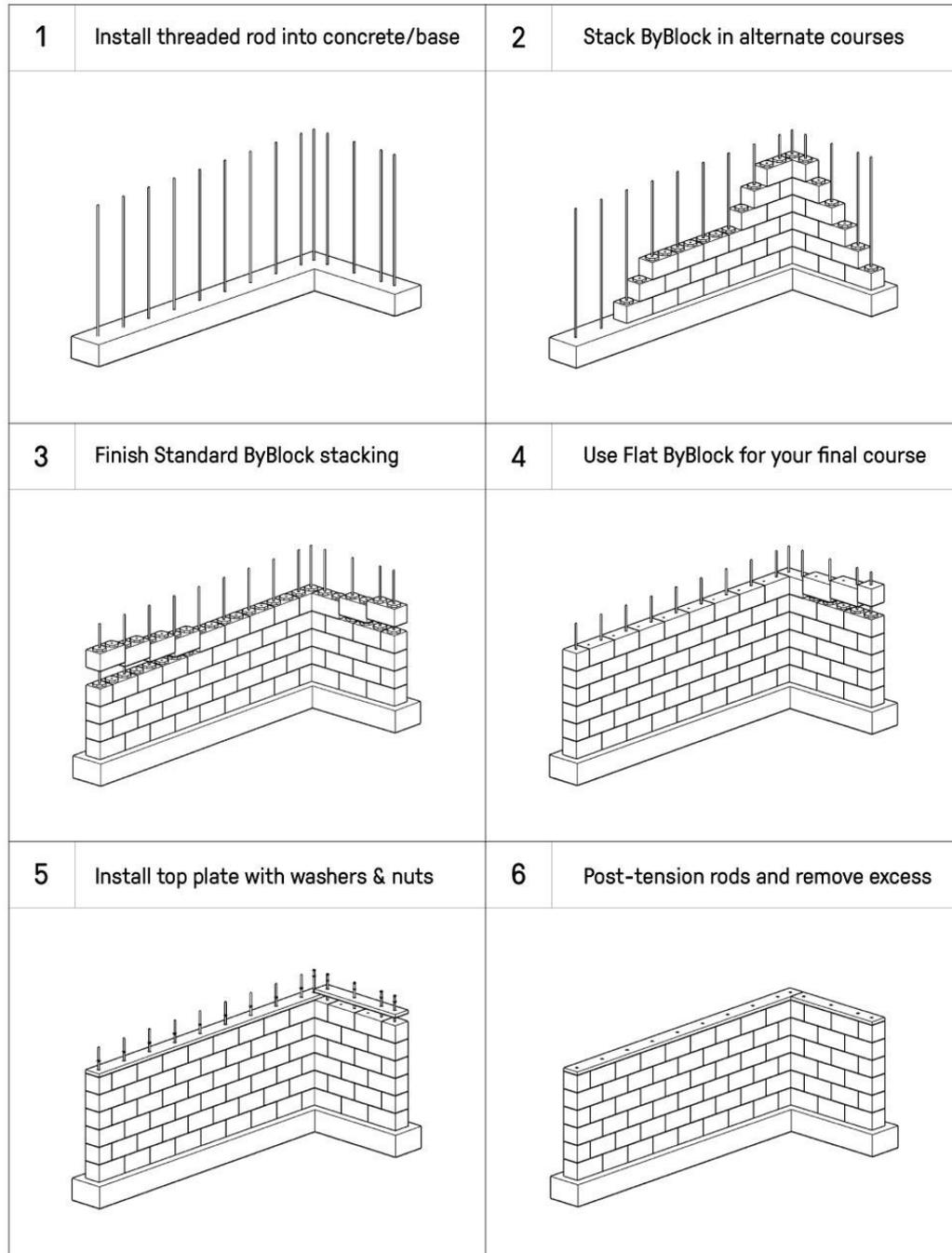


Figura 45: Esquema del proceso de construcción con ByBlock (Byfusion 2015)

EJEMPLO DE APLICACIONES

Por ahora su aplicación se basa en dos proyectos piloto que muestran todas las opciones que ofrece su aplicación. El primer proyecto se trata de un pabellón atlético en el campo deportivo de Island School en Lihue, Kauai y el segundo consiste en una torre de salvavidas en Bruce's Beach en Manhattan Beach, California. Tras finalizar ambas obras se consultó cuáles eran las impresiones de los usuarios del proyecto y de los obreros que llevaron a cabo la construcción, las repuestas fueron en ambos casos muy positivas, en el log de la empresa de describen las impresiones “la comunidad estaba encantada con la calidad de las estructuras y su función de desvío de desechos, mientras que el equipo de construcción se entusiasmó con el sencillo montaje de ByBlock, lo que inspiró ideas para proyectos adicionales en ambos lugares.” (Byfusion 2015)

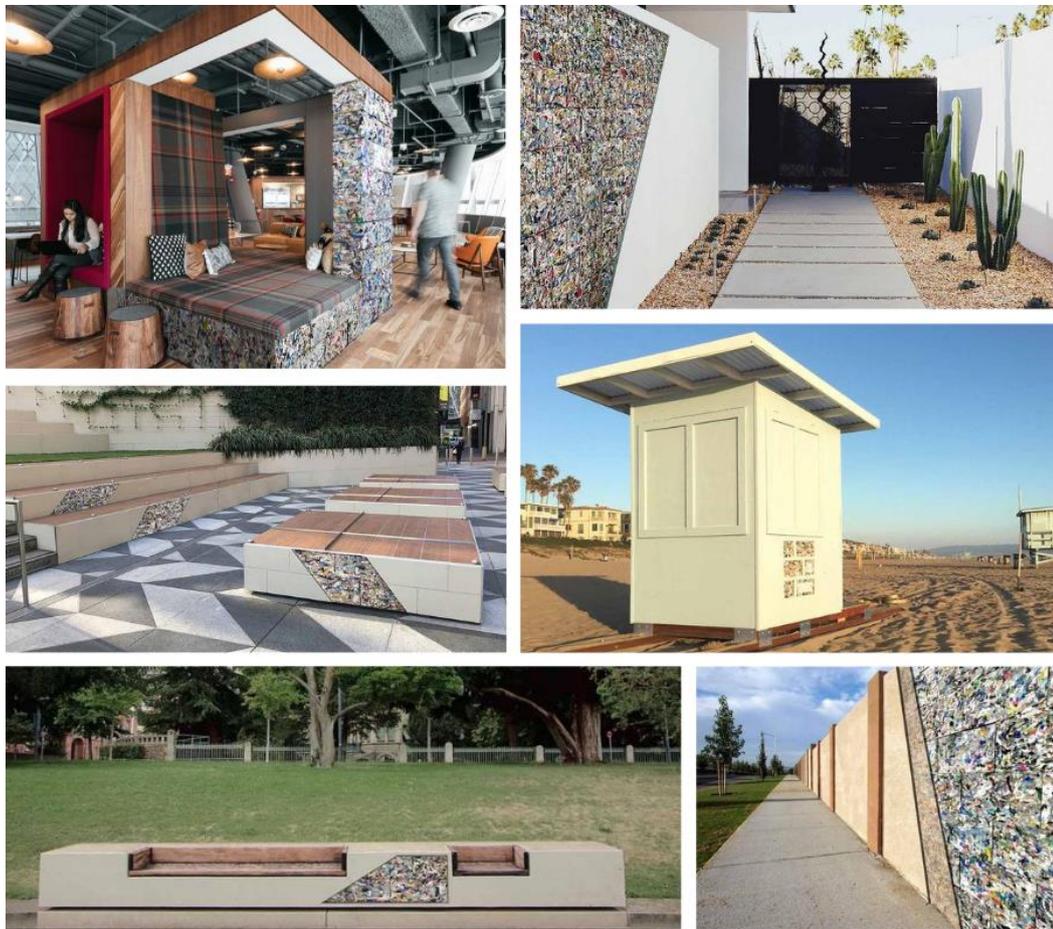


Figura 46: Ejemplos de aplicación en proyectos piloto (Byfusion 2015)

5.2 Alternativas a los revestimientos actuales

- Geosilex

Su aplicación en fachadas como piezas prefabricadas, contribuyendo a la eficiencia energética de los edificios, esta puede ser mediante un sistema de fachada ventilada ligera con placas prefabricadas autoportantes o directamente sobre las fachadas existentes de un edificio para su rehabilitación y mejora de eficiencia energética con placas de mayor grosor.

En el caso de la fachada ventilada, las placas tienen aspecto de piedra arenisca, y respecto a la técnica constructiva se precisa incorporar anclajes metálicos que facilitan la fijación a los soportes y dan seguridad antisísmica, con la capacidad de reemplazarse en caso de deterioro. En cuanto a la trabajabilidad las piezas se pueden modificar con herramientas y operaciones sencillas y comunes en obra, así lo indica la empresa suministradora.



Figura 47: Fachada ventilada compuesta por piezas de Geosilex. (TRENZA METAL ÁREA 2011)

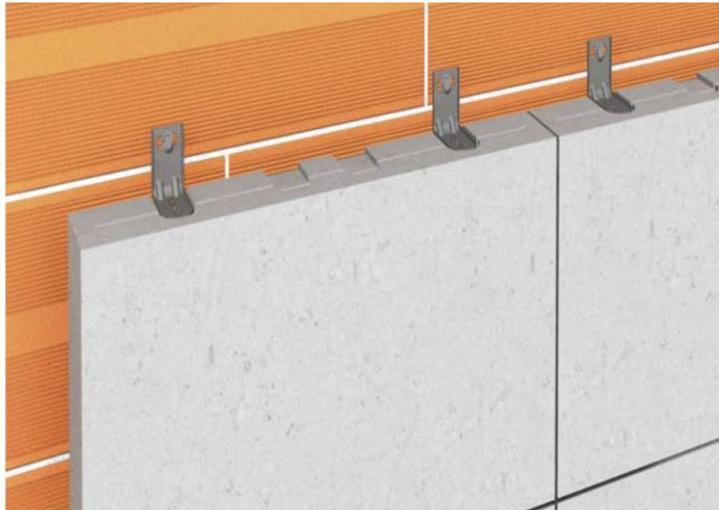


Figura 48:Detalle anclaje piezas de geosilex a muro de fábrica. (TRENZA METAL ÁREA 2011)

- Biocement

En este caso, dado que se trata de un producto nuevo aún se están realizando pruebas para mejorar su durabilidad y resistencia, por ello hasta ahora solo se comercializa en baldosas prefabricadas como revestimiento, pero parece que siguen investigando la manera de mejorar las propiedades para que pueda aplicarse en la construcción como sustituto al ladrillo cerámico.

Además, debido a que en su composición lleva un cristal blanquecino, casi translúcido, que absorbe fácilmente los colores y se adapta a diferentes texturas.” Pueden hacer que los ladrillos parezcan viejos y quemados sin usar fuego, o aquellos con logotipos que brillan en la oscuridad. Algunos ladrillos presentan dibujos que solo aparecen bajo la lluvia.”(Akpan and Ehrichs 2017) por lo que, en cuanto a posibilidades estéticas, estos ladrillos naturales y sostenibles presentan más opciones que los tradicionales cerámicos

Hasta el momento se ha aplicado en:

- Pavimentos exteriores
- Revestimientos en zonas secas y húmedas
- Cerramientos exteriores

Cabe destacar, que, en la búsqueda de mejorar las propiedades mecánicas de este biocemento para ampliar las posibilidades de aplicación, se ha creado lo que denominan el Proyecto Medusa junto con las Fuerzas aéreas de EEUU; “un sistema de aplicación de biocemento ágil para ser desplegado en posiciones operativas avanzadas donde las superficies nativas no diseñadas impiden operaciones seguras de despegue y aterrizaje vertical. La aplicación puede adaptarse al tipo de sustrato del suelo, el entorno operativo y los resultados específicos (fortalecimiento del suelo de referencia, control de la erosión o reducción del polvo).”(BioMason-ESP” 2012)



Figura 49: Aplicación en obra baldosas de Biocemento como pavimento. (BIOMASON 2020)



Figura 50: Aplicación en obra baldosas de Biocemento como revestimiento pared exterior(BIOMASON 2020)

- **Resysta**

Según la empresa Resysta , su material se puede aplicar en todos los lugares donde se precisan materiales resistentes a la intemperie como la madera (RESYSTA GmbH 2018).

Gracias a que este material es fruto de una mezcla se le pueda dar una infinidad de formas, lo cual hace que se pueda aplicar en cualquier fachada con buenos resultados gracias a sus propiedades de resistencia y, como señala la empresa que lo fabrica “Resysta impresiona con sus propiedades únicas no solo por su longevidad, sino también por la sensación, el aspecto y la diversidad de aplicaciones potenciales para el diseño de fachadas. Debido a que no se hincha, astilla, encoge ni agrieta, las fachadas de Resysta se diferencian de otros materiales.”(RESYSTA GmbH 2018)



Figura 51: Ejemplo fachada revestida con lamas de Resysta. (RESYSTA GmbH 2018)

En cuanto a su uso como pavimento exterior, debido a su apariencia cálida y natural similar a las maderas tropicales, pero con mayor resistencia a la intemperie es común su aplicación en terrazas o zonas de piscina. Además, presenta múltiples posibilidades en cuanto a forma y textura y una amplia gama de colores. Del mismo modo se puede emplear como revestimiento tanto interior como exterior en cualquier caso en el que actualmente se emplea la madera natural.

- **Mycelium**

El micelio tiene múltiples aplicaciones no solo en la construcción sino en otros campos debido a sus propiedades y proceso de producción, el sector alimentario como comestible vegano, en el sector textil como sustituto al cuero y en el sector del arte como diseño de mobiliario o diseño de interiores. En la Figura 52 se puede observar que alrededor del mundo en la actualidad existen múltiples empresas de diferentes sectores que están comercializando este material basado en hongos.(Feijóo-Vivas et al. 2021)

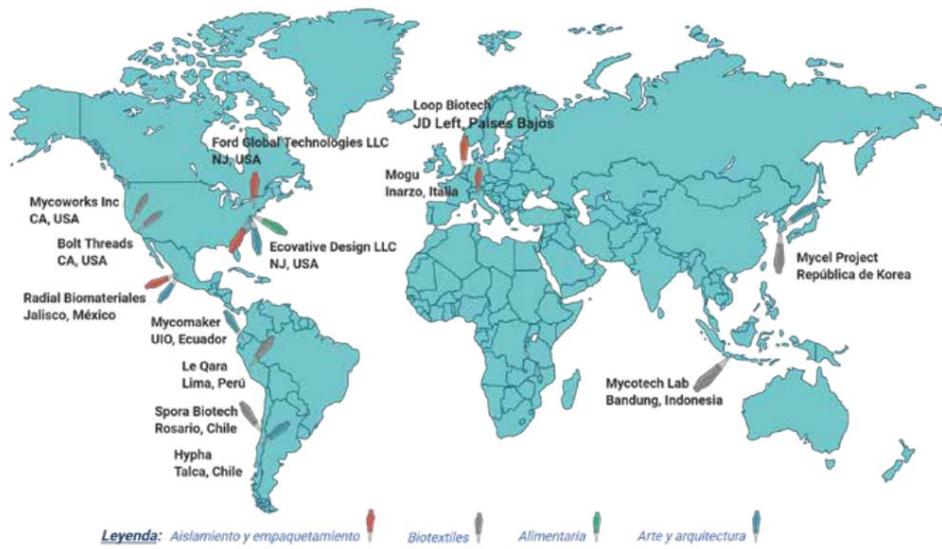


Figura 52: Gráfico lugares del mundo donde se emplea el micelio en diferentes industrias. (Feijóo-Vivas et al. 2021)

Estudios comentan la posibilidad de crear cerramientos decorativos o celosías con mycelium. Aunque se trata de una idea que aún no se ha investigado en profundidad, (Mayoral González, Keller, and Joachim 2010) comenta que existe la posibilidad de que plantas o césped pueda crecer en este material al ser orgánico, solo habría que esparcir un poco de tierra encima y luego las semillas, y regarlo como cualquier planta para que crezcan.



Figura 53: Render de celosía elaborada con micelio que facilita el crecimiento de plantas. (Mayoral González, Keller, and Joachim 2010)

5.3 Alternativa a los aislantes térmicos actuales

- Hempcrete

Como ya se ha nombrado anteriormente el uso del cáñamo como aislante se está introduciendo cada vez más en el panorama actual gracias a sus propiedades y a sus múltiples opciones de aplicación, en el catálogo de soluciones constructivas del (IVE 2015) se indica que este material puede ser empleado en cubiertas tanto planas como inclinadas sobre el soporte resistente en formato de panel, rollo y a granel. Así como en particiones interiores horizontales y suelos fijado al forjado revestido y sobre falso techo y en fachadas y particiones verticales como aislante colocado por el interior con trasdosado autoportante. Además, en la Tabla 10 se muestra como para alcanzar un valor de conductividad apto en una vivienda el espesor necesario no dista demasiado con el de otros aislantes.

Aislante	Conductividad W/[mK]	Espesor del aislante en mm											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
EPS Poliestireno Expandido	0,037												
WF Virutas de madera	0,038	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	0,048	20	30	40	60	70	80	100	110	120	130	150	160
	0,060	20	40	50	70	90	100	120	130	150	170	180	200
ICB Corcho	0,034	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	110
	0,040	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	0,060	20	40	50	70	90	100	120	130	150	170	180	200
HM Cáñamo	0,040	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	0,060	20	40	50	70	90	100	120	130	150	170	180	200
CL Celulosa	0,035	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	0,045	20	30	40	50	70	80	90	100	110	130	140	150

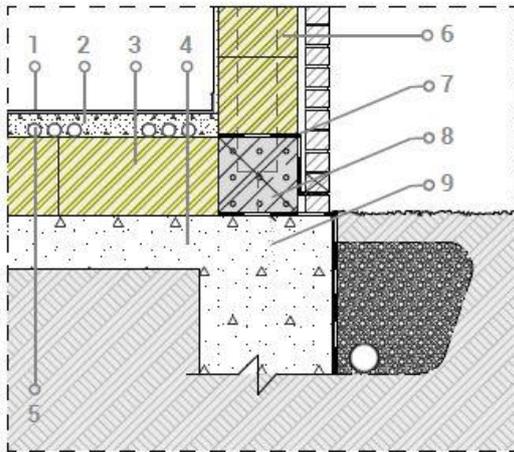
Tabla 10: Fragmento tabla de conversión de espesores de aislantes de origen vegetal y anima.(IVE 2015)

Las siguientes imágenes muestran algunos ejemplos de formas emplear este biocemento como aislante en paredes verticales (Figura 54) , así como en cubiertas (Figura 56) y forjados con encofrado interior (Figura 55).



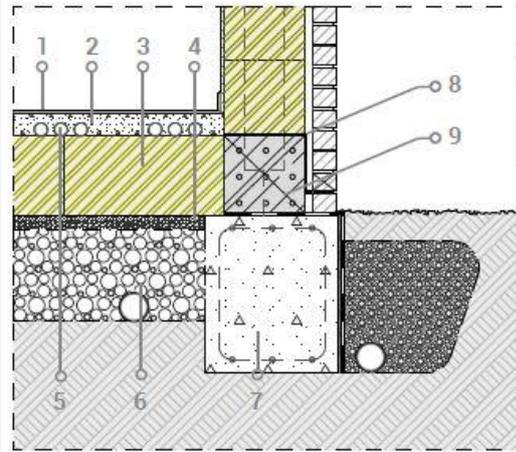
Figura 54: Ejemplo de aplicación como aislante en cerramientos exteriores (IsoHemp, 2019)

› SOLUTION 1
FLOOR INSULATION OVER CONCRETE FLOOR SLAB



- | | |
|--|------------------------------|
| 1 Finish | 6 Outside wall |
| 2 Cap 8cm | 7 Sealing membrane |
| 3 30cm IsoHemp block | 8 Rot-proof insulating block |
| 4 Slab on soil | 9 Foundation |
| 5 Underfloor heating/
service ducts | |

› SOLUTION 2
FLOOR INSULATION OVER DRAINING BLOCK



- | | |
|--|------------------------------|
| 1 Finish | 6 Draining block |
| 2 Cap 8cm | 7 Foundation |
| 3 30cm IsoHemp block | 8 Sealing membrane |
| 4 Stabilised | 9 Rot-proof insulating block |
| 5 Underfloor heating/
service ducts | |

Figura 55: Detalles constructivos de aplicación de paneles aislantes de Hempcrete en paredes y soleras. (IsoHemp 2021)



Figura 56: Ejemplo de aplicación en cubierta y cerramientos. (Woolley, 2006)

-Mycellium

En cuanto al sector construcción, este material puede ser empleado, a parte de los usos explicados anteriormente, como aislante térmico debido a sus propiedades.



Figura 57: Mushroom Tiny House, 2013 y detalle cerramiento. Casa ecológica con las paredes aisladas mediante el uso de Greensulate creada por Ecovative Design. (Hebel, Wisniewska, and Heisel 2014)

- Rootman

La empresa que comercializa este sistema como aislante para edificaciones tiene disponible el colchón radicular en módulos de 50x50cm ,60x60cm y 60x40 cm y espesor de 50 o 75 mm, por lo que se puede aplicar en superficies de diferentes tamaños y formas al estar dividido en módulos. Su aplicación en cubiertas se realiza encima de un soporte, que puede ser de cualquier material compatible como yeso, madera, aluminio o metal, y si es el caso, se coloca sobre la lámina de barrera de vapor.

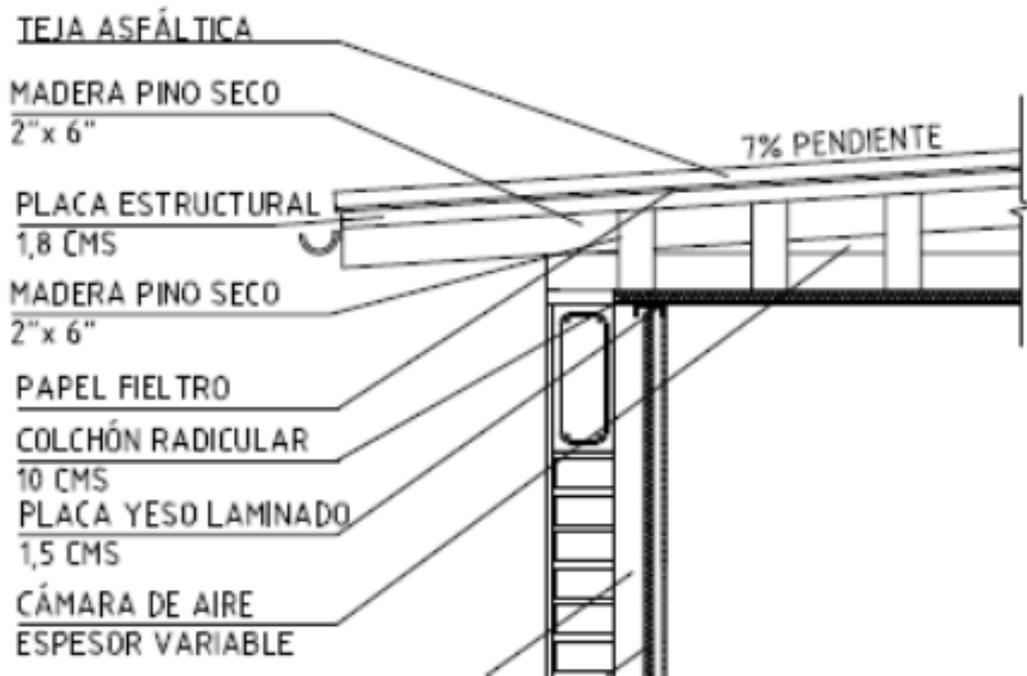


Figura 58:Detalle constructivo cubierta con paneles Rootman como aislante.(Gallardo 2020)

La aplicación en cerramientos verticales también se realiza con los mismos módulos descritos previamente, pero en este caso se coloca con su propio sistema de sujeción (Rootman, n.d.) compuesto por paneles OSB estructurales de 11mm, aislante Rootman de 65 o 75 mm y escuadría de 2x3 para ensamble (Figura 59) ,en cuanto a la sección constructiva esta es similar a los cerramientos que emplean cualquiera de los aislantes tradicionales, como se observa en la Figura 60.

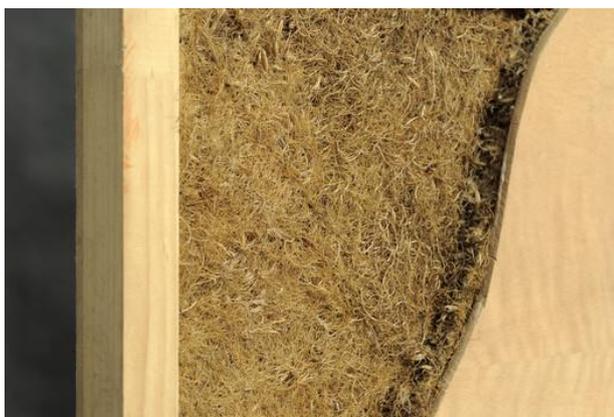


Figura 59: Detalle paneles Rootman. (Franco 2018)

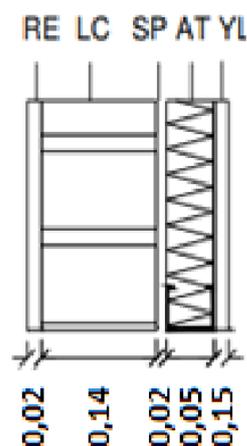


Figura 60: Detalle tabique con panel Rootman como aislante. (Gallardo 2020)

- Posidonia

Tras el análisis realizado en el punto 3 se puede concluir que la aplicación de este sistema aislante hasta el momento es posible en los cerramientos horizontales de una edificación, y por ahora solo ha sido empleado en cubiertas, tanto inclinadas como planas transitables o no transitables en la obra llevada a cabo por (LIFE REUSING POSIDONIA 2018).

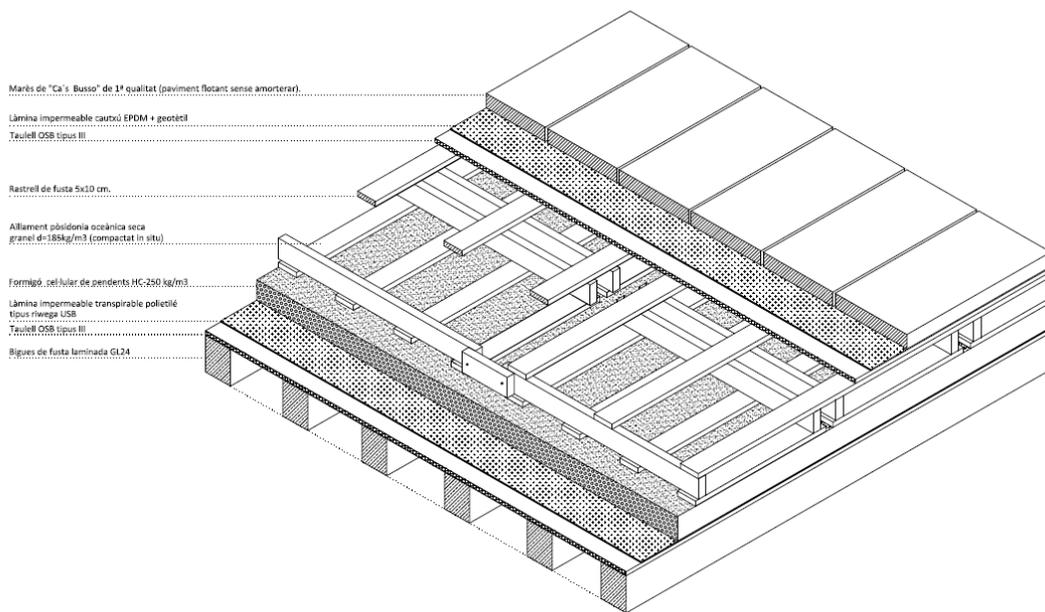


Figura 61: Detalle partes de una cubierta transitable con posidonia como aislante.(LIFE REUSING POSIDONIA 2018)

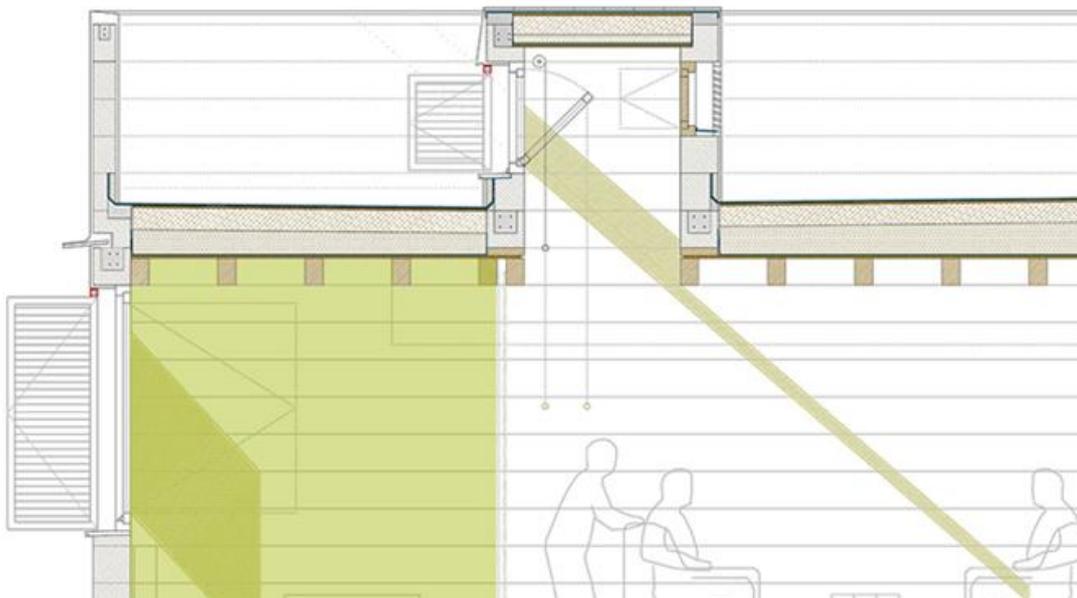


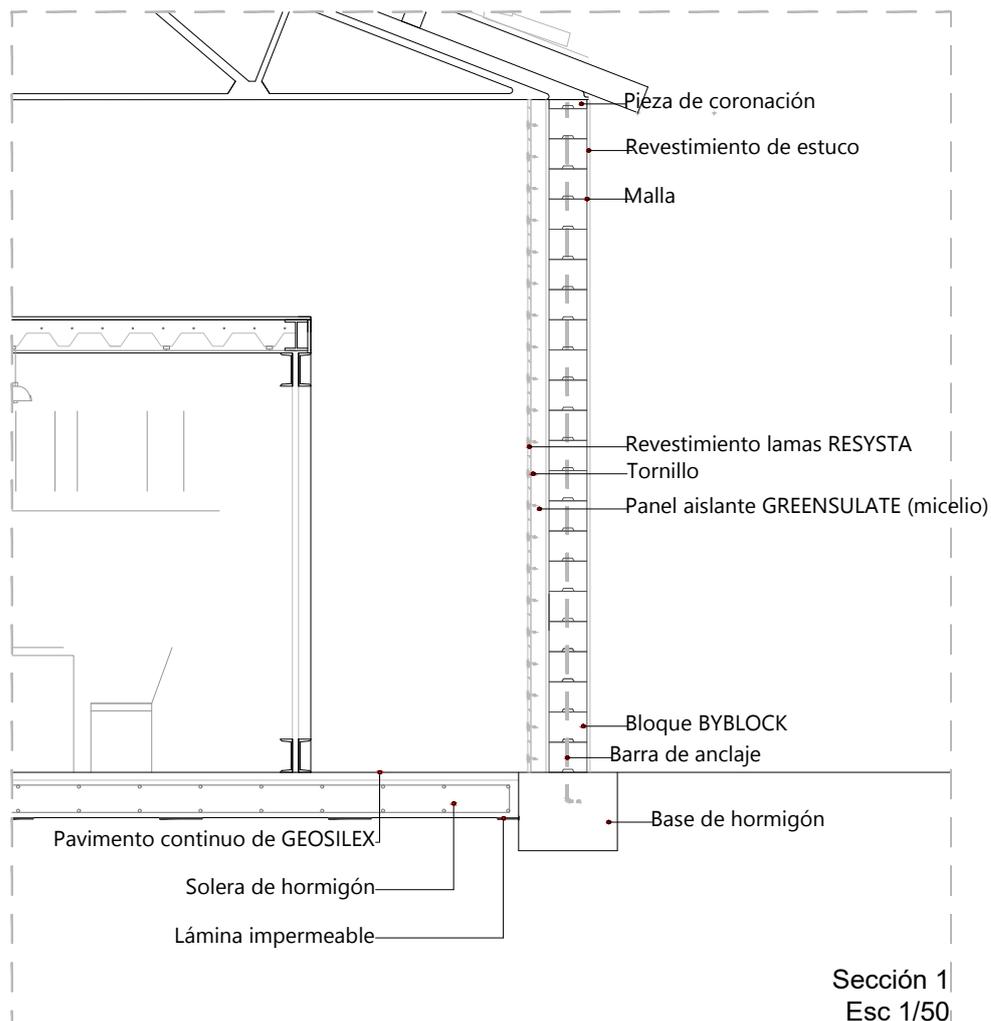
Figura 62:Sección constructiva cubierta empleada en el proyecto de viviendas (LIFE REUSING POSIDONIA 2018)

5.4 Propuesta de aplicación

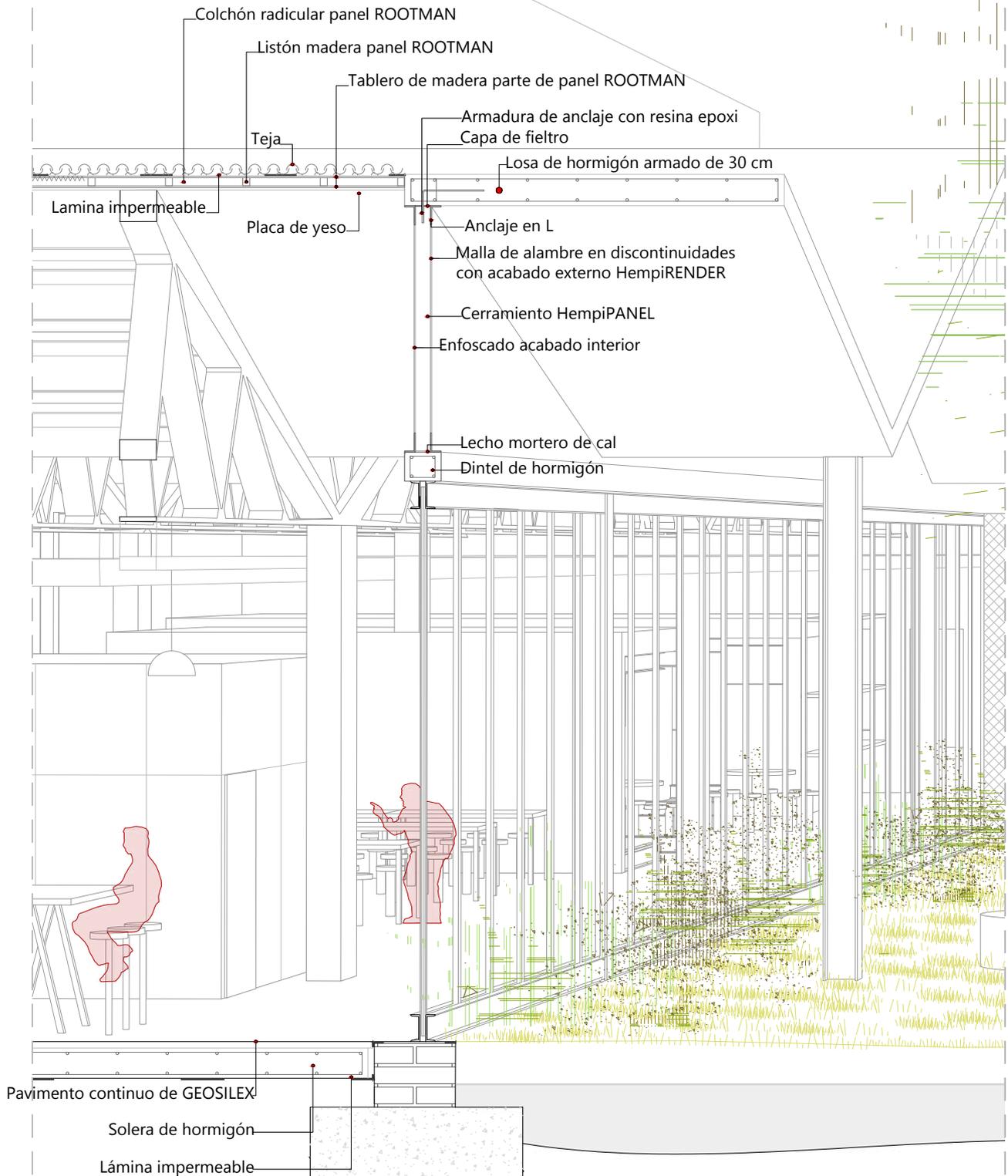
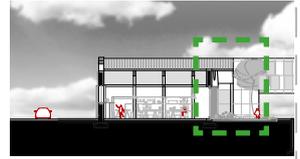
Como propuesta propia de aplicación de los materiales estudiados se procede a redefinir un trabajo realizado en el Grado adaptándolo para la aplicación de alguno de estos materiales sostenibles:

- Sección 1: muestra la aplicación de bloques de plástico reciclado como cerramiento exterior, con panel de micelio como aislante por el interior y revestido de lamas de madera. En cuanto al pavimento se decide emplear una capa de Geosilex continua en lugar de hormigón común.

- Sección 2: muestra una cubierta inclinada con panel Rootman como aislante y cerramiento vertical compuesto por un panel de hempcrete que funciona como aislante y cerramiento, en el pavimento al tratarse de la misma estancia es de Geosilex.



Sección 2



6.CONCLUSIONES

Tras el análisis realizado sobre las propiedades técnicas, ciclo de vida y aplicaciones posibles en la construcción de los 8 materiales seleccionados se ha conseguido adquirir el conocimiento necesario para plantear su aplicación en futuros proyectos y así poder proyectar obras más sostenibles con el medio ambiente.

En el primer apartado del análisis se ha podido recolectar la información técnica de cada material para obtener un amplio conocimiento de las cualidades que ofrecen, con el fin de tener en cuenta estos materiales a la hora de proyectar. Se ha observado que en la mayoría de los casos las propiedades que estos materiales adquieren en cuanto a resistencia, durabilidad o conductividad es igual a los materiales más utilizados hoy en día y en algunos casos hasta ofrecen mejores resultados, por lo tanto estas alternativas no solo puede sustituir ,por ejemplo al hormigón, cemento o madera, igualando los resultados de su aplicación sino que pueden mejorar los resultados consiguiendo la misma resistencia con un peso más ligero o sin necesidad de mortero o unos acabados más resistentes.

Seguidamente, con el estudio del ciclo de vida de cada material se ha conseguido obtener un conocimiento global de todas las fases y actividades que se llevan a cabo antes, durante y después de su aplicación en una obra, las cuales se deben tener en cuenta al elegir el material que se va a emplear para ser conscientes de todos los campos a los que afecta la decisión. Con el cuadro comparativo se ha adquirido una percepción general de los puntos más contaminantes y cuya actividad es más difícil de adaptar para que sea sostenible, este conocimiento afecta también a la elección del material a emplear dado que si se busca reducir el impacto ambiental de la obra que se está llevando a cabo se emplearán materiales locales o con fácil reutilización buscando así que la huella de carbono de las fases más contaminantes sea la mínima posible.

Asimismo, al observar el apartado sobre la aplicación de los 8 materiales se puede señalar que alguno de ellos no solo tiene una posible aplicación dentro de un edificio, estructura, revestimiento o aislante, sino que el mismo material puede ser empleado para distintos fines, es decir, el hempcrete por ejemplo, puede ser parte de un cerramiento funcionando como elemento estructural o como aislante, al igual que el micelio o el biocemento. Esto muestra que si se continúa investigando sobre la aplicación de estos materiales se podría llegar a aplicar un mismo material para diferentes funciones lo que conseguiría reducir la cantidad de materiales necesarios en una obra y con ello no solo se reduciría el impacto ambiental que tiene la construcción de un edificio sino también se podrían abaratar costes al eliminar materiales y reducir tiempo de mano de obra.

Por otro lado, cabe señalar que para la realización de esta investigación se encontraron una multitud de materiales sostenibles fruto del reciclaje de otros componentes u otras maneras de aplicar procesos biológicos en la producción de materiales y se decidió realizar una selección de 8 para su estudio en profundidad. Esta diversidad de opciones da a entender que existen en el mercado de materiales constructivos un mayor número de alternativas sostenibles y ecológicas de lo que se puede pensar observando la metodología

que se sigue en este sector hoy en día. Si bien es cierto que muchas aún están en proceso de prueba y elaboración de prototipos, pero al ritmo en el que avanza la tecnología se espera que en poco tiempo sean alternativas totalmente fiables y estén lista para su aplicación.

De modo que gracias al trabajo realizado se ha observado que sí que es posible reducir el impacto negativo que tiene la construcción e implantar el concepto de economía circular en esta industria para continuar avanzando de forma sostenible, por lo tanto pensar que el crecimiento económico y tecnológico no puede ir ligado a la conservación del medio ambiente es un error y la solución al cambio climático no es cesar la actividad sino cambiar la metodología, adaptando tanto la elección de materiales como el diseño y otros aspectos constructivos que están siendo fruto de estudios que investigan sobre la eficiencia y huella ambiental de los edificios.

En definitiva, se puede concluir que si se profundiza sobre las distintas alternativas que existen en la actualidad, como se ha realizado con estos 8 seleccionados, viendo las propiedades que estos ofrecen y el amplio abanico de opciones que existe, el uso de elementos contaminantes en las obras se reducirá, acarreando consigo una disminución en su producción y por lo tanto una bajada en el nivel de emisiones nocivas que su fabricación y aplicación genera, pudiendo llegar al momento en que la aplicación de alternativas sostenibles supere a los materiales hasta ahora tradicionales.

7.BIBLIOGRAFÍA

- Akpan, Nsikan, and Matt Ehrichs. 2017. "Want to Cut Carbon Emissions? Try Growing Cement Bricks with Bacteria | PBS NewsHour." March 7. <https://www.pbs.org/newshour/science/carbon-emissions-growing-cement-bricks-bacteria-biomason>.
- Alegre C, Elisabeth. 2017. "Análisis y Comparativa Del Ciclo de Vida de Diferentes Soluciones Constructivas. Tesis Pregrado." <http://hdl.handle.net/10459.1/60254>.
- Alejandro Monroy Bobadilla. 2018. "IMPACTO AMBIENTAL DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN – CMICAC." *Artículo En La Web Del Colegio Mexicano de Ingenieros Civiles A.C*, December. <https://cmicac.com/2018/12/13/impacto-ambiental-durante-el-proceso-de-construccion/>.
- ALIMARKET. 2011. "GeoSilex Ayuda a Reducir El CO2 En El Nuevo Pulmón de Bilbao." *ALIMARKET*.
- Antonio Maciá, Mateu. 2015. "TABLEROS DE POSIDONIA OCEÁNICA Y COMPRESIÓN PARALELA AL TABLERO Tesis Doctoral."
- Arenas Cabello, Francisco Julio. 2007. *El impacto ambiental en la edificación. Criterios para una construcción sostenible*. Book. Madrid: Edisofer.
- Ariyanti, Dessy, and Noer Abyor Handayani. 2011. "An Overview of Biocement Production from Microalgae." *International Journal of Science and Engineering* 2 (2): 31–33. <https://doi.org/10.12777/ijse.2.2.31-33>.
- Artaraz Miñón, Miren. 2001. "Teoría de Las Tres Dimensiones Del Desarrollo Sostenible" 2.
- Belén Palanco. 2010. "Norman Foster Dice Que La Arquitectura Conformar La Vida - EcoDiario.Es." *EIEconomista*. October 5, 2010. <https://ecodiario.economista.es/cine/noticias/2500608/10/10/Norman-Foster-dice-que-la-arquitectura-conforma-la-vida.html>.
- "BioMason-ESP." 2012.
- BIOMASON. 2012. "Technology - Biomason." 2012. <https://biomason.com/technology/>.
- . 2020. bioLITH® tile units by bioMASON® Section 1 : Summary Nested Method / Product Threshold Section 2 : Content in Descending Order of Quantity, issued 2020.
- blog de la tabla, El. 2015. "Gramíneas Ornamentales. Conociendo y Aprendiendo (I)." 2015. <https://www.elblogdelatabla.com/2015/02/gramineas-ornamentales-conociendo-y.html>.
- Brody, Andrew. 2015. Prefabricated hempcrete specification and installation manual. *Studio Green Pte Ltd*, issued 2015. <https://doi.org/10.5040/9781501319754.ch-017>.
- Brümmer, Monika. n.d. "Vivienda Unifamiliar 2005 | Proyectos Propios | CANNABRIC." Accessed July 2, 2021. http://www.cannabric.com/proyectos/propios/vivienda_unifamiliar_2005/.
- Brundtland, Gro Harlem. 1987. "Informe de La Comisión Mundial Sobre Medio Ambiente y El Desarrollo: Nuestro Futuro Común." *Documentos de Las Naciones, Recolección de Un ...*, 416. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>.
- Byfusion. 2015. ByBlock® Product Data Sheet, issued 2015.
- CANNABRIC. 2009. "Constuir Con Cáñamo | Bioconstrucción | CANNABRIC." 2009. http://www.cannabric.com/bioconstruccion/constuir_con_canamo.
- Cannabric, El. 2019. FICHA TÉCNICA CANNABRIC®, issued 2019.
- Clapers Vivares, Malena. 2018. "Un Nuevo Paradigma Para La Construcción Sostenible: La Economía Azul." <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/124118>.

- Domoterra. 2012. "Nader Khalili – Domoterra. Casas de Tierra, Espacios Vivos." 2012. <https://www.domoterra.es/blog/nader-khalili/>.
- E. Hebel, Dirk, Marta H. Wisniewska, and Felix Heisel. 2014. *Building from Waste.Pdf*. ZURICH: Birkhäuser Basel.
- Edwards, Brian. 2004. *Guía básica de la sostenibilidad*. Book. Edited by Paul Hyett. AD+E. Arquitectura y Diseño + Ecología. Barcelona: Gustavo Gili.
- Feijóo-Vivas, Kevin, Stalin A. Bermúdez-Puga, Hernán-Rebolledo, José Miguel Figueroa, Pablo Zamora, and Leopoldo Naranjo-Briceño. 2021. "Bioproductos Desarrollados a Partir de Micelio de Hongos: Una Nueva Cultura Material y Su Impacto En La Transición Hacia Una Economía Sostenible." *Revista Bionatura* 6 (1): 1637–52. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.29>.
- Flowertown. 2020. "¿Qué Es El Hempcrete?: Todo Sobre El Hormigón de Cáñamo | El Planteo." El Planteo. 2020. <https://elplanteo.com/hempcrete-hormigon-de-canamo/>.
- Franco, Jose Tomás. 2018. "El Aislamiento Ecológico Ofrece Rendimiento Térmico, Absorción de Sonido y Resistencia Al Fuego Al Mismo Tiempo | ArchDaily," February 25, 2018. <https://www.archdaily.com/889176/eco-friendly-insulation-offers-thermal-performance-sound-absorption-and-fire-resistance-at-the-same-time>.
- Fuentes-Cantillana, Ignacio. 2020. "Bio Fabricación: Micelio Como Material de Construcción: Biocomposite En Sustratos Lignocelulósicos," 116.
- Gallardo, Alberto Quintana. 2020. "Análisis y Simulación de Aislante Termo-Acústico ' Colchón Radicular ' En Tres Zonas Climáticas de Chile Para Una Vivienda Familiar . Alumno : Fernando Andrés Del Valle Rubio Tutor : Ignacio Guillén Guillamón Tutor :"
- Garrido, Luis de. 2017. *Manual de arquitectura ecológica avanzada : metodología de diseño para realizar una arquitectura con el máximo nivel ecológico posible*. Book. Buenos Aires: Diseño.
- Garza Alejandre, Valery Janeth. 2016. "ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE AISLANTES TÉRMICOS PARA LA APLICACIÓN EN EDIFICACIONES."
- Gonzales, P A Z, and Erwin Edgardo. 2014. "ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO Y MECÁNICAS DE LADRILLOS ELABORADOS CON PLÁSTICO RECICLADO." UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN.
- GONZÁLEZ, I., E. MAYORAL, M.A. VÁZQUEZ & P. ORTIZ. 2013. "Diseño de Prototipos de Materiales Biosintéticos Para Uso Como Materiales de Construcción." *Medio Ambiente*.
- gp-awards. 2013. "Product Award | Green Product Award." 2013. <https://www.gp-award.com/es/gpaward>.
- Gutiérrez, Addi. 2021. "Biomason, Un Ladrillo Que Crece de Las Bacterias," April. <https://www.nuevamujer.com/lifestyle/2014/06/27/biomason-un-ladrillo-que-crece-de-las-bacterias.html>.
- Illana, Carlos. 2016. "Hifas de Hongos Como Material de Construcción II." *Revista de Micología YESCA* 28 (December): 19–22. <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/20741/24.%0AHongos%0Acomo%0Amaterial%0Ade%0Aempaquetado.pdf?sequence=1>.
- Instituto Nacional de estadística. 2019. "España En Cifras 2019." 2019. https://www.ine.es/prodyser/esp_a_cifras/2019/7/#zoom=z.
- IVE. 2015. *Catálogo de Soluciones Cosntructivas de Rehabilitación*. Valencia.
- J.Hernandez, Pedro. 2014. "CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS MATERIALES – ARQUITECTURA EFICIENTE." April 9, 2014. <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/>.
- Jami, Tarun, S. R. Karade, and L. P. Singh. 2019. "A Review of the Properties of Hemp Concrete

- for Green Building Applications.” *Journal of Cleaner Production*. Vol. 239. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117852>.
- José Tomás Franco. 2013. “Arquitectura En Bambú: La Obra de Simón Vélez | Plataforma Arquitectura.” *ArchDaily*, June. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-265878/arquitectura-en-bambu-la-obra-de-simon-velez>.
- Jové Sandoval, Felix Antonio. 2018. “Conglomerantes y Conglomerados.” In *Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Valladolid*, 1–12. [http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/32421/1/C3T02_Conglomerantes y Conglomerados_Jove%2CF%282018%29.pdf](http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/32421/1/C3T02_Conglomerantes_y_Conglomerados_Jove%2CF%282018%29.pdf).
- jrlopez33. 2021. “Ensayos de Dureza.” 2021. <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/11/html/dureza.html>.
- K. Ching, F. D. y M. Shapiro. 2016. *Arquitectura Ecológica Un Manual Ilustrado*. . Edited by Editorial Gustavo Gili. <https://elibro.net/es/ereader/upv/45554>.
- Krieg, Ginger. 2021. “Biobased Building Blocks of the Future: A Talk with Biomason // Material ConneXion.” Entrevista Realiza Por The Stacks, Material Connexion. July 17, 2021. <https://materialconnexion.com/a-talk-with-biomason/>.
- Levy, Sidney M. 2012. “Calculations to Determine the Effectiveness and Control of Thermal and Sound Transmission.” *Construction Calculations Manual*, January, 503–44. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382243-7.00009-7>.
- LIFE REUSING POSIDONIA. 2018. “Posidonia.” 2018.
- Luque, Christian Jhoseph. 2018. “HEMPCRETE COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Christian Luque.” UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.
- Mayoral González, Eduardo, Edward Keller, and Mitchell Joachim. 2010. “GROWING ARCHITECTURE THROUGH MYCELIUM AND AGRICULTURAL WASTE.”
- McDonough, William. 2005. *Cradle to cradle (De la cuna a la cuna) : Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Book. Edited by Michael. Braungart. Madrid: Mc Graw-Hill. <https://elibro.net/es/ereader/upv/50197>.
- Miao, Scarlett. 2020. “Amateur Architecture Studio y El Reciclaje de Materiales En La Arquitectura China Contemporánea | Plataforma Arquitectura.” *ArchDaily*, July. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/943292/amateur-architecture-studio-y-el-reciclaje-de-materiales-en-la-arquitectura-china-contemporanea>.
- “Micelio, El Material de Construcción a Base de Hongos.” 2019. Punto Sustentable. February 2019. <https://puntosustentable.com/2019/02/06/micelio-el-material-de-construccion-a-base-de-hongos/>.
- Muñoz Gomila, Joan. 2015. “Determinación de La Conductividad Térmica de La Posidonia Oceánica.” Palma.
- New Age Hemp S.L. n.d. “Guía Para Cultivar El Cáñamo Industrial |.” Accessed July 20, 2021. <https://newagehemp.es/guia-para-cultivar-el-canamo-industrial/>.
- ONU. n.d. “Datos y Cifras | Naciones Unidas.” Accessed July 13, 2021. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures>.
- Pacheco-Torgal, F. 2014. “Eco-Efficient Construction and Building Materials Research under the EU Framework Programme Horizon 2020.” *Construction and Building Materials* 51 (2014): 151–62. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.058>.
- París Viviana, Oriol. 2014. “Análisis Ambiental de Los Aislamientos Térmicos Utilizados En La Edificación.”
- “Principios de Vitruvio | Arkiplus.” n.d. Accessed May 23, 2021. <https://www.arkiplus.com/principios-de-vitruvio/>.

- Real Academia Española. 2020. *Diccionario de La Lengua Española*. 23rd ed. <https://dle.rae.es>.
- RESYSTA GmbH. 2018. Resysta Recycling , an element of sustainability performance, issued 2018. <https://www.resysta.com/en/material-resysta/company.html>.
- Ronald Furet. 2012. “Coeficientes de Absorción Acústica de Materiales.” <https://www.bunker-audio.com/bunker-audio-portal-sonido-documentos.php?id=3>.
- Rootman. n.d. “Solución Constructiva Material Aislante Solución Constructiva Material Aislante Cr.”
- Scarlett Miao. 2020. “Amateur Architecture Studio y El Reciclaje de Materiales En La Arquitectura China Contemporánea | Plataforma Arquitectura.” *Plataforma de Arquitectura*, July. https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/943292/amateur-architecture-studio-y-el-reciclaje-de-materiales-en-la-arquitectura-china-contemporanea?ad_medium=gallery.
- Serrano Yuste, Paula. 2014. “Análisis de Ciclo de Vida Para El Diseño de Materiales Sostenibles.” March 21, 2014. <https://www.certificadosenergeticos.com/analisis-ciclo-vida-diseno-materiales-sostenibles>.
- TRENZA METAL ÁREA. 2011. Captador de CO2 ambiental. Pavimentos y fachadas - Aditivo para hormigones depuradores del aire ., issued 2011.
- Troudi, Haiman El. 2019. “El Micelio de Hongos Revoluciona La Construcción - Haiman El Troudi.” *Actualidad Verde, EcoVida*. January 21, 2019. <https://haimaneltrouidi.com/el-micelio-de-hongos-revoluciona-la-construccion/>.
- University College Dublin, y otros. 2007. *Un Vitruvio ecológico : principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Book. Arquitectura y diseño + ecología. Barcelona: Gustavo Gili.
- Zabalza Bribán, Ignacio, Sergio Días de Garayo, Alfonso Aranda Usón, and Sabina Scarpellini. n.d. “Impacto de Los Materiales de Construcción, Análisis de Ciclo de Vida | EcoHabitar.” Fundación CIRCE – Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Accessed July 19, 2021. <https://ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>.
- USGS Commodity Statistics and Information: Cement
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/mcs-2010-cemen.pdf>: Gartner EM (2004) Cement Concrete Res 34:1489-1498; Damtoft JS, Lukasik J, Herfort D, Sorrentino D, Gartner EM (2008) Cement Concrete Res 38:115-127.

8.ANEXOS

8.1 Figuras

Figura 1: : Ampliación del concepto de sostenibilidad(Edwards 2004)	11
Figura 2: Esquema idea “naturalezas artificiales”(University College Dublin 2007)(Garrido 2017).....	13
Figura 3: Porcentajes de emisiones de CO2 por sectores (Global Alliance for Buildings and Construction 2018)	14
Figura 4: Principales indicadores sobre residuos (Instituto nacional de Estadística 2016) 15	
Figura 5: Cubic Eco-Housing (2017).....	18
Figura 6: Carolina Eco-House (2015)	18
Figura 7: Nadal Eco-House (2015)	18
Figura 8: Esquema de idea (Domoterra 2012).	19
Figura 9: : Proceso de construcción técnica	19
Figura 10: Ejemplo de arquitectura de la tierra.....	19
Figura 11: Catedral sin religión (2009).....	20
Figura 12: Pabellón ZERI (2000)	20
Figura 13: Escombros fruto de la demolición de aldeas.....	21
Figura 14: Museo de Historia de Ningbo (2007)	21
Figura 15 Esquema materiales a analizar (fuente propia).....	24
Figura 16: Los 10 principales productores de emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el cemento en 2015 (en megatoneladas de CO2 (Akpan and Ehrichs 2017)	26
Figura 17: Planta cañamo en la naturaleza.	27
Figura 18: Detalle tallo natural del cañamo	28
Figura 19: : Ilustración de la emisión de carbono y el secuestro de hormigón de cáñamo con un balance de emisiones netas que demuestra la negatividad del carbono (Arrigoni et al., 2017).....	33
Figura 20:Ladrillos de biocemento durante proceso de fabricación (izquierda) y aspecto final (derecha) (“BioMason-ESP” 2012).....	35
Figura 21:Ciclo de vida de los ladrillos compuestos por biocemento. (BIOMASON 2012). 36	
Figura 22: Aspecto colchón de raíces (Rootman, n.d.)	37
Figura 23: Montaje manual de los paneles con colchones radiculares. (Rootman, n.d.)....	37
Figura 24: Tablero aislante compuesto por listones de madera, colchones radiculares y tablero de madera (Franco 2018)	39
Figura 25:bloques de ladrillos elaborados con micelio(“Micelio, El Material de Construcción a Base de Hongos.” 2019)	42
Figura 26: Ciclo de vida ladrillos de micelio. (Hebel, Wisniewska, and Heisel 2014)	44
Figura 27: Formulación química del proceso de reciclaje del residuo y obtención del Geosilex. (TRENZA METAL ÁREA 2011).....	45

Figura 28:Diagrama proceso de producción Geosilex. (TRENZA METAL ÁREA 2011)	46
Figura 29:características que hacen que le Geosilex sea un material sostenible.(TRENZA METAL ÁREA 2011).....	49
Figura 30: Materiales que componen el producto Resysta y sus proporciones.(RESYSTA GmbH 2018)	50
Figura 31: Reciclaje del producto llevado a cabo por la empresa. (RESYSTA GmbH 2018)	53
Figura 32: Proceso de recogida, transporte y aplicación en la obra del proyecto (LIFE REUSING POSIDONIA 2018).....	56
Figura 33: Ejemplo de proceso de producción de la empresa Byfusion Limited,(E. Hebel, H. Wisniewska, and Heisel 2014)	60
Figura 34:Dimensiones bloques comerciales.(Byfusion 2015).....	61
Figura 35: Aspecto bloque empresa Byfusion. (Byfusion 2015).....	62
Figura 36: Diagrama explicativo de las diferentes fases del ciclo d vida de un material constructivo. (Serrano Yuste 2014).....	65
Figura 37:Detalle pared construida con un panel de hemcrete. (Brody 2015).....	82
Figura 38: . conjunto de pared de hormigón de cáñamo de 220 mm de espesor hecho de bloques de hormigón de cáñamo grandes de dimensiones (600 mm x 200 mm x 200 mm). (Jami, Karade, and Singh 2019)	83
Figura 39: Proceso construcción de cerramiento vertical con ladrillos Cannabric en vivienda unifamiliar (Brümmer n.d.).....	84
Figura 40: Vivienda unifamiliar aislada con cochera de 2005 (Brümmer n.d.).....	84
Figura 41: Rehabilitación de una cueva para uso de vivienda temporal y alojamiento	85
Figura 42:Calzada realizada con Geosilex en Parque de la Campa de los Ingleses Bilbao.(ALIMARKET 2011).....	86
Figura 43: Torre Hy-i en la exposición temporal de MoMA's PS1, tras ganar la edición del Young Architects Program (YAP).....	86
Figura 44:Detalle 3D de elementos que componen un muro construido con ByBlock (Byfusion 2015)	87
Figura 45: Esquema del proceso de construcción con ByBock (Byfusion 2015)	88
Figura 46: Ejemplos de aplicación en proyectos piloto (Byfusion 2015)	89
Figura 47: Detalle fachada ventilada compuesta por piezas de Geosilex.(TRENZA METAL ÁREA 2011).....	90
Figura 48: Aplicación en obra baldosas de Biocemento como pavimento. (BIOMASON 2020)	91
Figura 49: Aplicación en obra baldosas de Biocemento como revestimiento pared exterior(BIOMASON 2020).....	92
Figura 50: Ejemplo fachada revestida con lamas de Resysta. (RESYSTA GmbH 2018)...	93

Figura 51: Gráfico lugares del mundo donde se emplea el micelo en diferentes industrias. (Feijóo-Vivas et al. 2021)	94
Figura 52: Render de celosía elaborada con micelio que facilita el crecimiento de plantas. (Mayoral González, Keller, and Joachim 2010)	94
Figura 53: Ejemplo de aplicación como aislante en cerramientos exteriores (IsoHemp, 2019)	95
Figura 54: Detalles constructivos de aplicación de paneles aislantes de Hempcrete en paredes y soleras. (IsoHemp 2021)	96
Figura 55: Ejemplo de aplicación en cubierta y cerramientos. (Woolley, 2006).....	96
Figura 56: Mushroom Tiny House, 2013 y detalle cerramiento. Casa ecológica con las paredes aisladas mediante el uso de Greensulate creada por Ecovative Design. (Hebel, Wisniewska, and Heisel 2014)	97
Figura 57:Detalle constructivo cubierta con paneles Rootman como aislante.(Gallardo 2020)	98
Figura 58: Detalle paneles Rootman. (Franco 2018).....	98
Figura 59: Detalle tabique con panel Rootman como aislante. (Gallardo 2020).....	98
Figura 60: Detalle partes de una cubierta transitable con posidonia como aislante.(LIFE REUSING POSIDONIA 2018).....	99
Figura 61:Sección constructiva cubierta empleada en el proyecto de viviendas (LIFE REUSING POSIDONIA 2018).....	99

8.2 Fichas técnicas