

LOS BIOMATERIALES EN EL ECOSISTEMA CONSTRUCTIVO

BEATRIZ INGLÉS GOSÁLBEZ

Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

La Comisión Europea 2019-2024, tiene 6 prioridades: una Europa apta para la era digital, una economía que trabaja para las personas, una Europa más fuerte en el mundo, promoción de nuestro estilo de vida europeo, un nuevo impulso para la democracia europea y un Pacto Verde Europeo.

El Pacto Verde Europeo tiene como objetivo convertir a Europa en un continente climáticamente neutro¹ para el 2050. Para ello todos los sectores de la economía, incluido el ecosistema de la construcción, tienen que alcanzar unos objetivos climáticos para el 2030, transformándose en una economía moderna, competitiva y eficiente en el uso de recursos.

Uno de los principales componentes del Pacto Verde Europeo es el Plan de acción de economía circular adoptado en marzo de 2020 y la Estrategia Industrial 2020. Este cambio de modelo económico reducirá el uso de recursos naturales, con iniciativas a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos. La UE se esfuerza continuamente en el diseño de productos sostenibles, una economía circular y un mayor reciclaje de materias primas con la incorporación de materias primas secundarias en los nuevos materiales.

Una alternativa a los materiales tradicionales, con una huella ecológica mínima durante su tratamiento y como residuo son los biomateriales. En la actualidad muchas de las investigaciones se están centrando en estos materiales de base biológica.

(1). El vicepresidente ejecutivo responsable del Pacto Verde Europeo, Frans Timmermans, ha declarado: «Hoy pasamos de las palabras a los hechos a fin de demostrar a los ciudadanos europeos que vamos en serio al perseguir el objetivo de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero de aquí a 2050» (Bruselas 2020). El objetivo es que las emisiones de gases de efecto invernadero se equilibren con las que se eliminan por absorción natural.

PALABRAS CLAVE •

biomaterial, bioproducto, materia prima secundaria, producto sostenible, ecosistema constructivo.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO •

Inglés Gosálbez, Beatriz. 2022. "Los biomateriales en el ecosistema constructivo" en: UEM STEAM Essentials Enlace web UEM :: http://projectbasedschool.universidadeuropea.es/escuela/escuela/steam_essentials

INTRODUCCIÓN

La política de medio ambiental de la Unión Europea es una de las más activas y comprometida, y se ha ido adaptando a los avances tecnológicos y científicos desde la década de los años 70 hasta hoy día.

La Unión Europea es competente en la política de medio ambiente, pudiendo actuar en el ámbito de la contaminación del aire, del agua, de la gestión de residuos, el cambio climático y la protección de la biodiversidad, todo ello a través del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea,

TFUE (BOE 30 marzo 2010). Según el artículo 4 de dicho tratado, la Unión Europea "dispondrá de competencia compartida con los Estados miembros" y se aplicará a 11 ámbitos principales estando entre ellos la energía, el medio ambiente y la seguridad en materia de salud pública. En su artículo 191 del TFUE, antiguo 174 TCE, en su apartado 2, se indica que "La política de la Unión en el ámbito del medio ambiente tendrá como objetivo alcanzar un nivel de protección elevado, teniendo presente la diversidad de situaciones existentes en las distintas regiones de la

Unión. Se basará en los principios de cautela y de acción preventiva, en el principio de corrección de los atentados al medio ambiente, preferentemente en la fuente misma, y en el principio de quien contamina paga.”

Los cuatro principios que rigen la política medioambiental de la Unión Europea (UE) son:

- » Principio de cautela. Pensado para la protección de la salud humana, animal y vegetal. Toda acción que pueda causar daño alguno a personas o al medio ambiente debería abandonarse si no existe un consenso científico al respecto.
- » Principio de acción preventiva. Su propósito es actuar antes de tener que buscar un remedio a la aplicación de una determinada política, explorando alternativas para lograr la misma finalidad.
- » Principio de corrección de los atentados al medio ambiente en la misma fuente. Su función es articular las medidas necesarias para paliar y mejorar los daños causados desde la misma fuente y evitar otros efectos y su extensión.
- » Principio de quien contamina paga. Este principio tiene un carácter sancionador y disuasorio para evitar hábitos y comportamientos contaminantes de entidades.

La UE viene desarrollando una serie de mecanismos para la implantación de una política ambiental a través de programas, guías, evaluaciones, cooperaciones internacionales y promulgación de legislación para su aplicación, cumplimiento y seguimiento.

El 14 de octubre de 2020 fue aprobado el 8º Programa de Acción en materia de Medio Ambiente (PMA), que “servirá de guía para la elaboración y aplicación de políticas medioambientales y climáticas hasta 2030” y deberá apoyar los objetivos del Pacto Verde Europeo “*live well, within the planetary boundaries*”.

Según la *Decision of The European Parliament and of The Council on a General Union Environment Action Programme to 2030* el “8º EAP debe establecer objetivos temáticos prioritarios en áreas de neutralidad climática, adaptación al cambio climático, protección y restauración de la biodiversidad, economía circular, la ambición de contaminación cero y reducción de las presiones ambientales de la producción y el consumo. Además, debe identificar las condiciones propicias para lograr los objetivos prioritarios temáticos y a largo plazo para todos los actores involucrados.”

Los seis objetivos prioritarios del Pacto Verde Europeo son:

- » Reducción gradual y definitiva de las emisiones de gases de efecto invernadero y mejora de la absorción por sumi-

deros naturales para 2030 y lograr la neutralidad climática para 2050.

- » Mejorar progresivamente la capacidad de adaptación y reducir la debilidad al cambio climático.
- » Proteger, preservar y recuperar la biodiversidad y los ecosistemas, mediante la mejora del patrimonio natural, el aire, el agua, el suelo y los ecosistemas: forestales, de agua dulce, de humedales y marinos, al igual que combatir la desertificación y la degradación del suelo.
- » Progresar hacia una economía de bienestar y un modelo de crecimiento regenerativo que retorne al planeta más de lo que toma de él, incorporando una bioeconomía circular, por medio del uso eficiente de recursos y una adecuada gestión de residuos.
- » Llegar a conseguir una contaminación cero en el aire, agua y suelo, libre de tóxicos.
- » Reducción de las presiones ambientales y climáticas relacionadas con la producción y el consumo, concretamente en las áreas de: energía, industria, edificios, infraestructuras, movilidad, turismo y el sistema alimentario.

La UE está centrando sus esfuerzos en estos seis objetivos mediante decisiones, directivas, reglamentos e instrumentos legislativos y normativos que actualizan y dirigen hacia esta meta medioambiental. El Dictamen del Comité Económico y Social Europeo sobre «La bioeconomía como contribución a la consecución de los objetivos en materia de clima y de energía de la Unión Europea y de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas» aprobado el 19 de septiembre de 2018, indica la contribución de la bioeconomía a los objetivos en materia de clima y energía de la UE.

En el punto 3.2 se indica que “La bioeconomía circular contribuye a la mitigación del cambio climático mediante diversos mecanismos: la captura de CO₂ de la atmósfera en biomasa a través de la fotosíntesis, el almacenamiento de carbono en bioproductos y la sustitución de productos y materias primas fósiles por bioproductos y materias primas biológicas.” Los bioproductos almacenan carbono que no va a la atmósfera. Los bioproductos son una fuente de almacenamiento de carbono. Además, estos productos al final de su vida útil, pueden utilizarse como bioenergía y sustituir las fuentes fósiles.

EL ECOSISTEMA CONSTRUCTIVO

Según datos facilitados por el *Wuppertal Institute* en 2013, el ecosistema constructivo consume un 25% de las

materias primas que se extraen. Y cada metro cuadrado construido utiliza 2 toneladas de material directo, afectando 6 toneladas de recursos bióticos o abióticos. Esto puede parecer inquietante, por eso uno de los objetivos es el de recuperación, bajo la Directiva Marco de Residuos (2008/98/EC), donde el objetivo es recuperar, para el 2020, un 70% del material utilizado.

aditivos que el inicial. Forzar a un material a tener más ciclos de vida para los que fue diseñado puede suponer un gasto económico, energético y en ocasiones de recursos poco razonables.

El metabolismo biológico existente en la naturaleza, compuesto de sus dos fases, catabolismo y anabolismo, crea un ciclo natural del nutriente biológico donde el desecho no

Generación de residuos EU, 2020

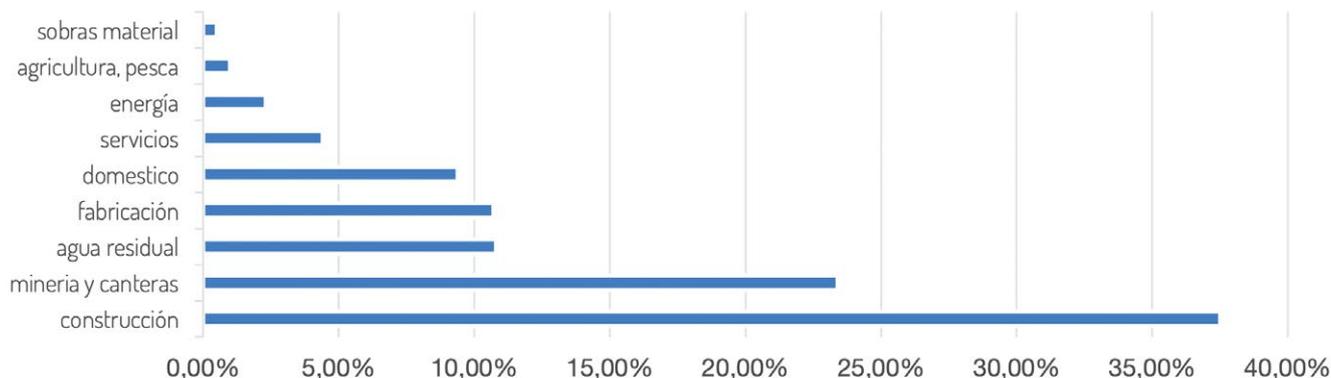


Gráfico 01 » Generación de residuos por sectores. *Elaboración propia a partir de la base de datos de Eurostat 2020.*

Los residuos totales anuales (2020) generados en la UE son 4.808Kg per cápita y en España son 2.230Kg per cápita. De los cuales, corresponden un 37,5% al sector de construcción y demolición en la UE, y en España representa un 30,8%, según datos tomados de Eurostat en el 2020.

El ecosistema constructivo es la mayor fuente de residuos en Europa, como se puede apreciar en el **gráfico 01**.

En el informe de Deloitte, *Construction and demolition waste management 2015*, España generó 27 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD). El 99% eran residuos inertes y el 1% residuos peligrosos. De todos los RCD generados el 68% se reciclaron, un 16% se usó como material de relleno y el 16% restante se depositó en vertedero.

La transformación del sector de la construcción hacia una economía circular es un desafío técnico y cultural, que requerirá nuevos enfoques en el diseño de productos, consumo sostenible y gestión eficiente de los residuos generados.

La medida de reciclar los materiales resulta una buena alternativa siempre y cuando los productos sean benignos desde un punto de vista ecológico y sanitario. Comprar una prenda de vestir confeccionada a base de botellas de plástico reciclado, plástico no pensado para alargar el ciclo de vida, puede contener elementos tóxicos como el antimonio, estabilizadores, antioxidantes que pueden ser dañinos para la piel. Otros productos, en el proceso de reciclaje, el producto resultante es de peor calidad o incluso con más

existe, está eliminado el concepto de desperdicio. McDonough y Braungant (2005) defienden que se debe diseñar un producto con la premisa de la inexistencia de residuos ya que debe ser capaz de incorporarse al metabolismo biológico o al metabolismo industrial.

Un producto puede estar compuesto por materiales biodegradables que se convierten en alimento en los ciclos biológicos. O, por otro lado, un producto puede estar compuesto por materiales que tienen numerosos ciclos de vida y ser alimento industrial de forma indefinida. En consecuencia, el producto debe estar pensado desde su cuna para que todos sus componentes puedan ser nutrientes biológicos o industriales, y resultar ser un verdadero producto sostenible “de cuna a cuna”.

El objetivo es evitar el desecho, usar el mayor tiempo posible, reutilizar el producto y sus componentes, y explotar los desechos como recursos primarios secundarios. El uso de materias primas secundarias contribuye al acercamiento a una economía circular sólida. Según datos facilitados en la UE-28 (Eurostat, 1 de julio 2013 - 31 de enero 2020) sobre el porcentaje de reciclaje de los materiales al final de su vida útil, el uso de materias primas secundarias en la demanda total es superior al 50% en el caso del plomo, cobre y plata, debido a su alto valor económico y por tanto existen sistemas de reciclaje avanzado. Otras materias primas secundarias contribuyen entre un 30% a 40% de la demanda, como son: níquel, cobalto, zinc, estaño, antimonio, molibdeno, wolframio, renio, europio, perlita y vanadio, debido a que su entrada de reciclaje es más baja que su demanda. El resto es una contribución muy pequeña debido a que su reciclaje no es viable económicamente aún, la tecnología

	Producción Materiales	Transporte	Construcción	Uso (50 años)	Mantenimiento	Demolición	
Energía	26,0%	0,9%	1,7%	66,9%	2,0%	2,5%	20.720MJ/m ²
CO ₂	38,6%	1,0%	2,8%	51,3%	3,3%	2,5%	1.554KgCO ₂ /m ²
Residuos sólidos	74,1%	irrelevante	2,1%	irrelevante	1,1%	22,7%	5.462Kg/m ²
Toxicidad	75,3%	0,8%	1,8%	18,3%	1,4%	2,4%	53.523ECAKg/m ²

Tabla 01 » Estudio impacto ambiental de edificios residenciales multifamiliares tipo de España. Tesis doctoral G.Wadel (2018). Coloreados los valores a considerar de impacto ambiental.

no está suficientemente desarrollada y a que algunos de estos materiales permanecen almacenados durante largo período de tiempo, como es el caso en edificaciones e infraestructuras.

La mayoría de los impactos ambientales se producen en: la fase de producción del material, en la fase de uso y al final de su ciclo de vida. Esto se puede apreciar en la **tabla 01**, configurada a partir de la tesis doctoral de Wadel Raina, G.F. (2018) "La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda.", que realiza un estudio del ciclo de vida de los edificios residencias multifamiliares típicos de España, valorando los impactos ambientales en cada una de las fases de la vida útil de una edificación.

El impacto ambiental en la fase de producción del material es la más relevante. Se deben plantear unos objetivos en la gestión ambiental de los materiales utilizados en el sector de la construcción:

- » Comprender cuál es el impacto ambiental de cada uno de los materiales usados en el proceso constructivo. Origen y tipo de materias primas, proceso de fabricación utilizado y diferencias respecto a posibles alternativas.
- » Modificar la manera pasada de diseñar, integrando el ciclo de vida como elemento determinante en la toma de decisiones. Con una visión completa del ciclo de vida, producción, transporte, construcción y demolición.
- » Durante el proyecto ejecutivo incluir recursos en el ciclo de vida. Evaluar el consumo energético, emisiones de CO₂, toxicidad, agotamiento de los recursos no renovables, etc.
- » Implementar una metodología para la mejora de los ma-

teriales durante la fase de construcción, mantenimiento y rehabilitación del edificio.

La reducción del impacto medioambiental, de los materiales, se puede resumir en los aspectos de: controlar el consumo de los recursos naturales de procedencia, uso de biocombustibles en su fabricación, incorporar en su composición residuos compatibles y reutilizar o reciclar. Pero ¿y si se pudieran usar productos que su composición fueran materiales cuyo final de vida fuera residuo biológico en su totalidad? En la actualidad muchas de las investigaciones se están centrando en materiales de construcción de base biológica, bioproductos o biomateriales.

La incorporación del empleo de biomateriales, materiales procedentes de materiales renovables, madera, fibras animales o vegetales, cuya producción tiene asociada la energía solar, contribuye a una reducción del impacto medioambiental de la edificación desde el punto de vista del análisis del ciclo de vida.

LOS BIOMATERIALES EN EL ECOSISTEMA CONSTRUCTIVO

Los productos cuya constitución u origen es natural se les denomina biomateriales. La materia prima que los compone está presente en la naturaleza y su tratamiento tiene una huella ambiental mínima, y al final de su vida se convierte en residuo biológico.

El Proyecto Horizon 2020 del consorcio BIOVoices, apoya el desarrollo del mercado de productos o procesos de base biológica. Y el Plan de Acción de Movilización y Aprendizaje Mutuo, MML, agrupa a todos los actores intervinientes con sus diferentes visiones sobre el desarrollo e implementación de un plan de acción sobre los materiales de base biológica. Para ambos su enfoque es garantizar una investigación e innovación de bioproductos relevante, excelente y que responda a las necesidades actuales y futuras.

A continuación, se van a exponer varios de estos materiales y su incorporación presente o futura en el sector de la construcción:

a. » La **Madera** presentan un balance casi neutro en emisiones equivalentes², por su bajo procesado industrial, y es negativo si la madera es de reutilización. Su obtención debe ser dentro de un plan de reforestación y tala controlada. Recomendar el uso de la madera como sustituto del hormigón o acero en la estructura, del aluminio en carpintería, sus virutas en aislamientos, etc. Aporta claras ventajas medioambientales.

b. » El **corcho** está constituido por células muertas del alcornoque y un gas similar al aire, esto le atribuye unas propiedades aislantes térmicas y acústicas. Es un material de origen natural, reciclable, renovable, de huella ecológica casi nula y residuo biológico. Se puede usar como aislante, acabados de decoración, en versión triturado se puede usar para ignificar estructuras, se puede proyectar para restaurar fachadas y eliminar los puentes térmicos.

c. » El **fieltro** se obtiene de aglomerar fibras de lana reciclada unidas por vapor y presión. Material de textura compacta con cualidades aislantes térmicas y acústicas, antivibratorio, ignífugo, flexible y fácil de manipular. Es un material biodegradable. Se puede utilizar como impermeabilización de cubiertas, al saturar el fieltro con asfalto, revestir con una capa más resistente de asfalto mezclado con fibras minerales u otro estabilizador orgánico.

d. » El tablero de **xanita** está fabricado con fibras recuperadas de papel y cajas de cartón usadas, recicladas o desechos de azúcar de caña, compactadas con colas orgánicas, confiriéndole resistencia a la compresión. Puede tener varios acabados superficiales como la madera contrachapada, tableros de fibras de densidad media (MDF), papel kraft, etc. Es 100% reciclable, ligero, resistente, no tóxico, apilable, y biodegradable.

e. » Los paneles de **cáñamo** son de gran durabilidad y aislantes térmicos y acústicos. También tiene una alta resistencia frente al fuego y las plagas. Cada vez se utiliza más en la construcción. El proceso de transformación es de bajo impacto ambiental y costes comparable al de fibras sintéticas. En condiciones de calor, el cáñamo tiene un rendimiento doble frente a las fibras minerales. En ocasiones se mezcla con el **Kenaf**, de la familia del cáñamo. El Kenaf está libre de THC, Tetrahidrocannabinol, y puede ser cultivado sin problemas. El cultivo no requiere casi agua, no necesita fertilizantes, limpia el suelo de metales pesados y su rendimiento por hectárea es el doble que en el cáñamo.

Un panel de cáñamo y Kenaf se fabrica sin utilizar resinas por un proceso innovador de termofijación de las fibras. Por tanto, es un material totalmente natural que, al no necesitar barrera de vapor, le confiere la característica de regulador higrométrico del espacio arquitectónico interior.

f. » El **linóleo** está compuesto por aceite de linaza, polvo de corcho molino, harina de madera, polvo de roca caliza y resina natural. Es biodegradable y como material de residuo industrial puede utilizarse como energía limpia y barata en un proceso de combustión.

g. » Los **biopolímeros** o **bioplásticos** son polímeros de base biológica natural, procedentes de la biomasa, harina de maíz, glicerina, residuos alimentarios como vegetales, zanahoria, almendras, granadas, centeno, etc., y sintéticos, que cumplen uno o varios de los siguientes criterios:

» **Base biológica:** tienen unidades constitucionales cuyo origen es la biomasa. Polietileno (PE), poliamidas (PA), politerftalato de etileno (PET), polipropileno (PP), caucho natural, almidón, celulosa, hemicelulosas, etc.

» **Biodegradables:** debe degradarse según las normas EN 13432 y EN 14995, su degradabilidad no depende del origen, únicamente de la cadena polimérica. Políácido láctico (PLA), poliadipato de butileno-cotereftalato (PBAT), poli-succinato de butileno (PBS), polihidroxicanoatos (PHA), etc.

» **Biocompatibles:** compatibles con tejido humano o animal.

Cada vez podemos encontrar más investigaciones sobre la producción de nuevos biopolímeros, mejorando sus propiedades y sustituyendo a los materiales plásticos tradicionales. Actualmente representan el 1% de los 390 millones de toneladas de plástico que se fabrica actualmente en EU (según *European bioplastics organization*, 2022). En el **gráfico 02** se puede apreciar la producción actual de bioplásticos y el futuro prometedor que se espera de estos materiales.

De los biopolímeros extraídos directamente de la biomasa, la mayor parte de las investigaciones se ha hecho sobre los **polisacáridos vegetales** o **polímeros naturales**, la celulosa, las hemicelulosas y el almidón. Estos biopolímeros son un recurso renovable en la producción de materiales y biocombustibles. No son termoplásticos, por tanto, sus características mecánicas son inestables en el tiempo, frágiles y sensibles a la humedad. Como solución, se mezclan polisacáridos vegetales con polímeros biodegradables o de base biológica, más un copolímero en bloque como aditivo para facilitar la adhesión interfacial. La mezcla resultante depende de las propiedades de los componentes y de su relación volumétrica en la mezcla, por tanto, la mezcla se realizará según las propiedades finales buscadas para el material.

⁽²⁾ Al calcular la huella de carbono se utiliza la unidad de medida el dióxido de carbono equivalente, tCO₂eq, unidad en toneladas que calcula un volumen de emisión de gas de efecto invernadero equivalente en CO₂.

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS (EN 1000 TONELADAS)

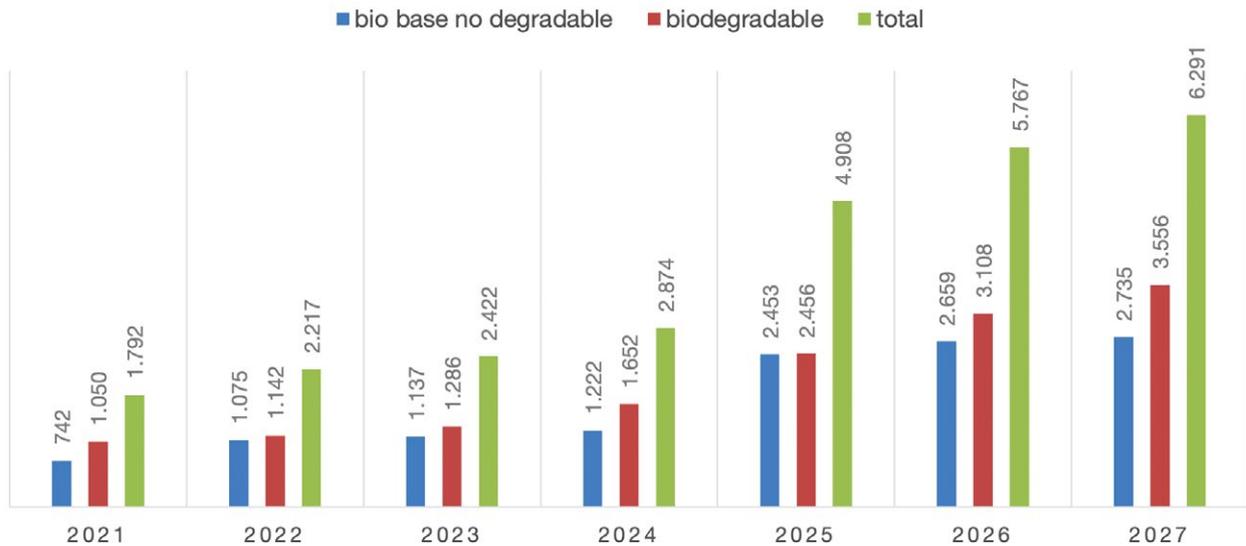


Gráfico 02 » Fuente European Bioplastic, nova-Institute (2022).
www.european-bioplastic.org

Actualmente se está trabajando con el almidón, polímero con alto potencial. Se está investigando para modificar su estructura y mezclarlo con polímeros biodegradables. Así se han obtenido a partir de los polioli-glucósidos e IPD elastómeros de poliuretano con mejores propiedades físico-mecánicas, físicoquímicas y térmicas que su homólogo a partir de polioles con almidón sin modificar. A partir de los polioli-glucósidos se han encontrado materiales con altas propiedades mecánicas, comparables con el poliestireno de alto impacto. El almidón termoplástico (TPS) es soluble al agua, envejece de forma rápida, bajas propiedades mecánicas y alta higroscopicidad, y mejora sus propiedades mecánicas con el refuerzo de relleno natural a base de fibras celulósicas.

Otros biopolímeros se obtienen a partir de aceites triglicéridos de linaza, soja, palma, girasol y higuerrilla. Los tipos de polímeros son: poliésteres, poliamidas, poliuretano, resina epóxi, resina acrílica y poliéster amidas.

Por último, se destaca el polímero producido por un organismo directamente, el PHA. Tiene un grado de cristalinidad entre el 60% a 80%, es activo ópticamente, isotáctico e insoluble. Es la alternativa al polipropileno y otros polímeros de procedencia del petróleo. Debido a su alto coste de producción aún no está totalmente implementado y está en vías de investigación la optimización de la producción.

h. » El asfalto a base de aceite de maíz, llamado JIVE. Según la propia empresa: "JIVE se está utilizando hoy en día para hacer que las carreteras sean más resistentes en condiciones de alta y baja temperatura. Ayuda a los caminos a resistir el agrietamiento en climas fríos y la formación de surcos durante la estación cálida. También se utiliza para ablandar el asfalto viejo para que pueda ser reciclado en nuevas carreteras." JIVE es un coproducto en el proceso de elaboración de biocombustible a través del proceso pa-

tentado BPX que utiliza enzimas en lugar de calor durante la fermentación del biocombustible. JIVE es un biomaterial de componentes no tóxicos, totalmente renovable.

i. » Otra alternativa es el **asfalto a partir de estiércol de cerdo** por ser rico en hidrocarburos similares al petróleo. La ingeniera civil Ellie Fini y un equipo de North Carolina Agricultural and Technical (NCA&T) State University diseñaron un bioadhesivo que funciona como aglutinante que puede usarse para la fabricación de asfalto. De momento está en período de investigación superando pruebas y cerrando el ciclo de las sustancias sobrantes que se utilizarán para fertilizar.

j. » El aislamiento hecho de **lana de oveja** estadounidense 5M. La lana no contiene alérgenos, es resistente a las plagas de forma natural, resistente al fuego y el moho, aunque lleva como aditivo ácido bórico para mejorar estas cualidades naturales. Durante el proceso de fabricación utiliza un mínimo de energía incorporada y agua reciclada, además, no produce contaminantes, gases, humos ni residuos tóxicos.

k. » La **incorporación de bacterias** en la fabricación de materiales como ladrillos, suelos y hormigones como consolidante. La incorporación de la bacteria *sporosarcina passeurii* a la arena de mampostería y cloruro de calcio, como medio nutriente natural, endurece la composición sin altas temperaturas o altas presiones y el resultante es un ladrillo de propiedades de resistencia similares al tradicional. También es aplicado al cemento y se crean baldosas que superan las propiedades de baldosas de cemento tradicional en cuanto su resistencia a la compresión, heladidad y absorción.



Imagen 01 » Cultivo en placas Petri del *Pleurotus ostreatus* al cabo de 12 y 30 días. *Imagen propia*

También se utiliza en la regeneración de fachadas de edificios protegidos de piedra calcárea, piedra arenisca, morteros de cal, morteros bastardos y morteros a base de cemento Portland. La fachada tiene unas bacterias latentes, que al aplicar una base nutriente sobre ellas se produce una activación de las bacterias carbonatogénicas, favoreciendo la precipitación del carbonato cálcico, y se consolida la porosidad de esta.

I. » La **incorporación de micelios** como consolidante de desechos agrícolas es un producto emergente y aún en estudio. Según Ernesto Souza “Los hongos están por todas partes. En el aire, en el agua, en nuestro cuerpo, en los árboles, en el techo del baño, bajo tierra. Pueden tomar la forma de hongos (comestibles, medicinales, alucinógenos o muy venenosos), u otros más simples, como el moho. Pueden desencadenar enfermedades, pero también pueden producir remedios antibióticos, como la penicilina, o ayudar a fermentar quesos y panes increíbles. ¿Y si te dijera que también pueden ser el futuro de los envases y los materiales de construcción?” (Souza 2020).

Las posibles aplicaciones efectuadas con materiales a partir de micelios en el sector de la construcción son muy pocas y no se conocen sus propiedades concretas. Por esta razón, se expone un trabajo de investigación con el fin de mostrar datos reales de sus propiedades.

El proyecto de investigación “Aplicaciones de los micelios en la creación de un biomaterial como elemento de construcción” (2020) financiado por la Universidad Europea, realizado por la autora de este artículo y que forma parte de la tesis doctoral de D. Jesús López de los Mozos, se trabajó con los micelios *pleurotus ostreatus*, *pleurotus eryngii* y *trametes versicolor*, con los sustratos a base de paja y harina de avena y trigo. El proyecto trataba de inocular cada una de las variables en los diferentes sustratos para empezar con el crecimiento del micelio y la creación del biomaterial,

todo ello bajo una temperatura y humedad controlada. El hongo es un ser vivo y como tal crecerá de forma rizomática dentro del sustrato, hasta encontrar puntos de luz por lo que emerge un primordio, debido a la concentración de hifas que terminan en un carpóforo o seta. Aunque esto lo podemos encontrar en otros proyectos, en este caso no se buscaba la fructificación del micelio sino solo el crecimiento de sus hifas por el sustrato, para crear un material lo más homogéneo posible. Al terminar esta fase se frena su proceso de crecimiento antes de su puesta en obra, evitando el crecimiento de esporas y las posibles alergias, por medio de calor.

Se procedió a realizar los ensayos pertinentes para medir sus características y propiedades físicas siguiendo la normativa correspondiente. Las conclusiones que se pudieron extraer fueron las siguientes:

- » Como aislamiento térmico, el material dadas sus características (conductividad térmica 0,059Kcal/mh°C), impacto medioambiental, materia prima renovable y energía aportada para su desarrollo, se encuentra entre un material viable y competente de entre aquellos con naturaleza y coeficientes similares. Pero en este caso el biomaterial aporta un rasgo fundamental para el futuro como puede ser la economía circular o “de la cuna a la cuna” donde tras su uso, el material es 100% degradable, incluso suma a la fertilización del suelo.

- » En cuanto a las propiedades mecánicas (resistencia a la flexión 12KN/dm² y resistencia a la compresión 24Mpa), todavía se requiere de más profundización en la materia y ensayos. No obstante, sí que se puede observar la imitación natural de la técnica del adobe, sustituyendo el aglutinante de la arcilla, por el micelio. Esto aporta una solución alternativa, en proceso de investigación, para utilizar materiales



Imagen 02 » Muestra de ladrillo de micelio después de la deshidratación al 35% y detección del crecimiento del micelio. *Imagen propia.*

formada por una estructura nervada portante independiente, que sirve de base a los paneles de micelio.

CONCLUSIÓN

El “*European Green Deal*” y el “*Circular Economy Action Plan*” de la Unión Europea tienen como objetivo la reducción del impacto ambiental de los materiales. Una de sus políticas es la de reutilizar y reciclar materiales que ya están en el mercado. Se están estudiando nuevas tecnologías que hagan posible que sea económicamente

renovables basados en deshechos, en este caso provenientes de la agricultura.

» También muestra unas propiedades acústicas adecuadas y comparables al corcho natural, llega a absorber entre un 30 a 70 % de tonos, en los rangos de frecuencia de 400 a 4000 Hz.

Todas las investigaciones apuntan a que se puede seguir explorando este material, y poner a prueba su crecimiento para obtener un rendimiento mucho mayor de lo aquí estudiado.

Las principales aplicaciones a nivel comercial es el desarrollo de paneles aislantes. El crecimiento del micelio *Pleurotus ostreatus* sobre un sustrato de desechos agrícolas como hojas de avena, maíz, restos de granos, forraje y semillas, da como resultado un bioproducto no tóxico y biodegradable, ligero, aislante térmico y acústico, incombustible, resistente al agua y al moho y su degradación cuando se entierra es de apenas 30 días.

Ejemplos como el proyecto *Myco Tree* del arquitecto Dirk Hebel y el ingeniero Philippe Block en 2017. Este es una estructura en forma de árbol que se cubre en su totalidad por bloques creados a base de sustrato de serrín y caña de azúcar con crecimiento del micelio. Es el primer ejemplo donde se indica que puede funcionar como estructura portante, además de sus capacidades aislantes térmicas y acústicas.

En 2021, el artista francés Côme Di Meglio realiza el *Myco-Temple*. Es una cúpula de 6 metros de diámetro y 3 metros de altura, sus muros opacos están formados con sustrato de madera y el micelio *Reike* como aglutinante. La cúpula está

viable el reciclaje de todos los residuos, acercando a la sociedad a la bioeconomía circular.

¿Qué residuos se deberían priorizar o aceptar su uso para ahorrar recursos? Debemos contemplar que muchas de las materias primas al ser extraídas de la naturaleza provocan un impacto ambiental y los recursos disminuyen. Además, en muchos casos su ciclo final de vida no es un nutriente sino un contaminante.

El reciclaje, no es la solución para una construcción circular, es la transición a un ecosistema constructivo con un nuevo enfoque sostenible a todos los niveles, desde la fase proyectual hasta el final de la vida útil del elemento construido, donde los materiales tengan la capacidad de conformarse, regenerarse, crecer y adecuarse a su entorno.

Parece lógico centrarse en generar nuevas ideas sobre materiales naturales, biomateriales, a partir de residuos agrícolas y de consolidantes como las bacterias y micelios, que sean la alternativa a los materiales actuales no naturales. Estos biomateriales tienen una huella ecológica mínima o nula durante su tratamiento y al final de su ciclo de vida también, ya que serán nutrientes biológicos o industriales.

Cómo indicó Eileen Gray (1878-1976) “Para crear, uno antes, debe antes cuestionarlo todo”. Hay que rescatar algunos de los biomateriales del pasado, mejorarlos gracias a las nuevas tecnologías, y por otro lado invertir en la creación de nuevos biomateriales que sustituyan materiales contaminantes actuales. Estos biomateriales cambiarán el paradigma de los productos constructivos y sus normas de construcción en un futuro cercano, y nos acercarán a una verdadera arquitectura neta cero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- » Cai Q., Wan Y., Bei J., Wang S. (2003). **Síntesis y caracterización de dextrano biodegradable injertado con polilactida y su aplicación como compatibilizador.** Biomateriales, 24 (20), págs. 3555 – 3562. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(03\)00199-6](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(03)00199-6)
- » Edwards, B. (2014). **Rough guide to sustainability: a design primer.** 4ª edición. Londres. Editorial RIBA.
- » European Commission joint research centre institute for environmental and sustainability. (2011). **Supporting environmentally sound decisions for construction and demolition (C&D), waste management.** A practical guide to life cycle thinking (LTC) and life cycle assessment (LCA). (2011). EUR 24918 EN.
- » European Commission. (2018). **Comunicación de la comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre un marco de seguimiento de la economía circular.** Documento de trabajo de los servicios de la Comisión Europea. SWD (2018) 17 finales. Estrasburgo.
- » European Commission. (2021). Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. **Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery.** SWD (2021) 351 final, 352 final y 352 final. Bruselas.
- » European Commission (2022). **Programa de acción medioambiental hasta 2030.** https://environment.ec.europa.eu/strategy/environment-action-programme-2030_en
- » Deloitte. (2015). **Construction and demolition waste management.** Informe Spain V2-31/08/2015.
- » Götz T., Adisorn T.; Tholen L. (2021). **Der digitale Produktpass als Politik-Konzept. Kurzstudie im Rahmen der umweltpolitischen Digitalagenda des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit (BMU).** informe número 20. Wuppertal. Instituto Wuppertal para el clima, el medio ambiente y la energía.
- » Imre B., García L., Puglia D., Vilaplana F. (2019). **Reactive compatibilization of plant polysaccharides and biobased polymers: Review on current strategies, expectations and reality.** Carbohydrate Polymers, Volume 209, Pages 20-37. ELSEVIER
- » Jimenez L., Pérez E. (2019). **Economía circular – especial. Transición hacia un metabolismo económico cerrado.** Número 2, colección Asyeps Sostenibilidad y Progreso. Méjico. Editorial El Economista.
- » Kupec, J., Charvatova, K., & Kresalkova, M. (2003). **Biopolymers as Fillers in Plastics.** Chemické Listy, Volumen 97, número 3. Ziskáno. <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/2244>.
- » McDonough W., Braungart M. **Cradle to cradle.** McGraw-Hill / Interamericana de España S.A.U. 2005.
- » Rivela B., Bedoya C., García A. (2013). **El reto de la sostenibilidad en construcción: procesos normativos en desarrollo y herramientas disponibles.** Artículo Rdu nº 279. Madrid. Revista de Derecho Urbanístico y medio ambiente.
- » Souza, E. (2020). **Las posibilidades de usar micelio en arquitectura.** Archdaily. <https://www.archdaily.co/949011/edificios-de-hongos-las-posibilidades-del-micelio-en-la-arquitectura>.
- » Valero-Valdivieso M., Ortegón, Y., Uscategui Y. (2013). **Biopolymers: progress and prospects.** Dyna, vol 80, núm. 181, pp. 171-180. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- » Wadel G., Avellaneda J., Cuchi A. (2010). **La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales.** Informes De La Construcción, 62 (517), 37-51.
- » Wadel G. (2009) **La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda.** Tesis doctoral, UPC, Departament de Construccions Arquitectòniques I.

BIOGRAFÍA

Beatriz Inglés Gosálbez. Dr. Arquitecto, urbanismo y edificación. Ha impartido clases en asignaturas de: Proyectos Arquitectónicos, talleres de Integración Arquitectónica y Sostenibilidad en el Entorno Construido, de la Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño de la Universidad Europea de Madrid, con foco principal de trabajo en la ecología humana y la construcción sostenible, biomimética y regenerativa, y en la Universidad DUOC de Chile, Universidad Católica y Universidad Columbia de Paraguay. Ha coordinado el desarrollo de competencias sostenibles con los estudiantes y diversos trabajos de investigación. Lleva investigando desde más de 30 años con grupos de investigación y forma parte del grupo de investigación PACIVAS. Inició su actividad profesional como colaborador en diversas oficinas de reconocido prestigio. Como miembro fundador de WEA architects. a través de más de 15 proyectos de diseño sostenible galardonados y edificios, se ha creado una reputación nacional e internacional como arquitecto sostenible, con obras en España, Paraguay, Colombia, Suiza, Argelia, Senegal y Calcuta. Ha impartido conferencias en España, Argelia, Argentina, Perú, Chile y Paraguay. Además, ha mantenido una actividad divulgadora constante: participando en congresos científicos, así como en debates en foros especializados y para el público en general con diversas contribuciones en medios de comunicación como la radio y televisión; y como directora de la Revista Europea de investigación en Arquitectura, REIA.

