

Biomateriales para la transición sostenible del sector construcción: dinámica científica, innovación tecnológica y tendencias globales (2015-2024)

Biomaterials for the sustainable transition of the construction sector: scientific dynamics, technological innovation, and global trends (2015-2024)

Dra. Ing. Gloria Aponte

<https://orcid.org/0000-0002-1029-8264>

Correo-e: gapontef@ucab.edu.ve

Ing. Johana Delgado

<https://orcid.org/0000-0003-2913-1226>

Correo-e: jodelgad@ucab.edu.ve

Dra. Lic. Beatriz Soledad Rodríguez

<https://orcid.org/0000-0002-0705-674X>

Correo-e: bsoledad@ucab.edu.ve

Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela

DOI: <https://doi.org/10.37883/TyC.2026.38.1.04>

Recibido: diciembre 01/2025 | Aprobado:

octubre 23 / 2026 | Aceptado: octubre, 24 / 2026

Resumen

Este estudio analiza la dinámica global de los biomateriales en la construcción (2015-2024), impulsada por la conciencia ambiental y la economía circular. La investigación revela, mediante un análisis bibliométrico y de contenido, un interés científico creciente (publicaciones) contrastado con una tendencia constante en las solicitudes de patentes. China y Estados Unidos lideran la investigación y desarrollo, siendo las tecnologías estadounidenses a menudo las más citadas. Las principales tendencias se centran en el uso de: Residuos de agricultura (madera, bambú). Materiales biotecnológicos (micelio, algas, hongos). Los biomateriales demuestran ventajas significativas en eficiencia y sostenibilidad, ofreciendo resistencia mecánica superior a la de materiales tradicionales y la capacidad de disminuir las emisiones de CO₂ y el consumo energético. El mercado global de materiales de construcción sostenibles se valoró en \$301.600 millones en 2024 y se proyecta que triplicará su valor para 2034.

Descriptores

Biomateriales, residuos agrícolas, biotecnología, materiales de construcción sostenibles, materiales de origen biológico.

Abstract

This study analyzes the global dynamics of biomaterials in construction (2015-2024), driven by environmental awareness and the circular economy. Through bibliometric and content analysis, the research reveals a growing scientific interest (publications) contrasted with a steady trend in patent applications. China and the United States lead research and development, with US technologies frequently being the most cited. Key trends focus on the use of: agricultural waste (wood, bamboo) and biotechnological materials (mycelium, algae, fungi). Biomaterials demonstrate significant advantages in efficiency and sustainability, offering superior mechanical strength compared to traditional materials and the ability to reduce CO₂ emissions and energy consumption. The global market for sustainable building materials was valued at \$301.6 billion in 2024 and is projected to triple in value by 2034.

Descriptors

Biomaterials, agricultural residues, biotechnology, sustainable building materials, materials of biological origin.

La industria de materiales de construcción sostenibles ha experimentado un rápido crecimiento, atribuible a la creciente concienciación sobre la protección del medio ambiente y la eficiencia energética de las infraestructuras. Una tendencia notable es el aumento de las transformaciones hacia la economía circular, donde se desarrollan productos para la reutilización, el reciclaje y la minimización de residuos. A medida que aumenta la conciencia mundial sobre problemas ambientales, arquitectos, ingenieros, legisladores y partes interesadas se enfocan cada vez más en técnicas de construcción sustentables y amigables con el medio ambiente.

Los biomateriales, provenientes de recursos renovables, han surgido como una alternativa prometedora para transformar el sector de la construcción, disminuyendo su impacto en el medio ambiente y ofreciendo alternativas innovadoras y económicas frente a los materiales tradicionales. Por lo tanto, optimizar la eficiencia energética, fomentar el uso de materiales de construcción ecológicos, y preservar los recursos son fundamentales para lograr la neutralidad de carbono en el sector de la construcción. La transición de antiguos materiales de construcción tales como cemento, acero y ladrillos hacia biomateriales ecológicos y respetuosos con el medio ambiente, favorecerá la preservación ecológica (Chen, L. et al. 2024). Señalan los autores que los biomateriales poseen la capacidad de disminuir más de 320.000 toneladas de emisiones de dióxido de carbono para el año 2050 y poseen ventajas tales como disminuir la absorción de agua en un 40%, disminuir el consumo de energía en un 8,7%, potenciar la absorción de sonido en un 6,7%, y mejorar las propiedades mecánicas.

Señalan Kozlova et al. (2024) que la incorporación de biotecnología en el diseño ecológico constituye una estrategia de vanguardia que utiliza procesos biológicos para potenciar la sostenibilidad y eficiencia en las prácticas de construcción. La biotecnología ofrece soluciones innovadoras a desafíos clásicos en el

campo de la construcción ecológica, empleando sistemas biológicos para optimizar la utilización de recursos, la eficiencia energética y la disminución de desechos. La biotecnología, al incluir organismos vivos, biomateriales y procesos biológicos en la planificación y edificación de estructuras, permite la construcción de estructuras que no solo respetan el entorno, sino que también son adaptativas y robustas. Un enfoque contemporáneo implica la inclusión de organismos vivos como algas, bacterias y hongos en materiales de construcción para potenciar su rendimiento. Por ejemplo, las algas pueden ser empleadas en biofachadas para absorber dióxido de carbono y generar oxígeno, además de aportar oxígeno.

Las empresas recurren cada vez más al uso de madera recuperada, metales reutilizados y hormigón reciclado para reducir su dependencia de materias primas vírgenes. Esto no solo reduce el nivel de contaminación, sino que también genera rentabilidad a largo plazo. Asimismo, los materiales de origen biológico, como los ladrillos de micelio, el bambú y el hormigón de cáñamo, están ganando popularidad por ser más respetuosos con el medio ambiente y poder sustituir fácilmente a los materiales tradicionales. En este trabajo se presentan las principales tendencias sobre el uso de los biomateriales en la construcción, tomando en cuenta los artículos y las solicitudes de patentes publicados en el mundo entre los años 2015- 2024.

Metodología

En este trabajo se realizó una investigación documental combinada con la técnica de análisis de contenido y bibliométrico para examinar las principales tendencias sobre el uso de biomateriales en la construcción. Se utilizó la base de datos Lens.org, una fuente de información multidisciplinaria que indiza artículos publicados en revistas y congresos especializados y patentes de invención publicadas por las principa-

les oficinas de patentes del mundo. El estudio analizado abarcó el periodo comprendido entre los años 2015-2024. Para el caso de los artículos solo se tomaron en cuenta los artículos publicados en las conferencias y en las revistas arbitradas, considerando los campos de búsqueda: título, resumen, palabras clave y campo de estudio; mientras que para el caso de las patentes de invención solo fueron consideradas las solicitudes de patentes y los campos de búsqueda fueron: título, resumen y reivindicaciones.

La estrategia de búsqueda para recuperar el universo de información en el periodo 2015-2024 es la que se recoge en los cuadros siguientes.

Cabe destacar que la expresión mostrada los cuadros 1 y 2 corresponde al *string* de búsqueda avanzado (*query*) utilizado directamente en la plataforma Lens.org para la recuperación de documentos científicos y de patentes. Esta sintaxis responde a la lógica booleana propia

de los motores de búsqueda académicos y de propiedad intelectual, donde los operadores AND/OR, el uso de paréntesis, comillas y asteriscos (*) permiten ampliar, combinar y truncar términos clave relacionados con materiales biobasados y micelio en el sector de la construcción.

Resultados

La investigación científica relacionada con el uso de biomateriales en la construcción es un área que representa un alto interés en la comunidad científica internacional, así lo muestra la tendencia creciente acelerada de las publicaciones en revistas y congresos especializados en el mundo (gráfico 1). Mientras las solicitudes de patentes publicadas en el periodo de estudio, presentan una tendencia prácticamente constante en todo el periodo con un promedio

Cuadro 1. Estrategia de búsqueda para los artículos

Palabras clave utilizadas	(Bioplastic* OR biocomposite* OR biocement OR "mycelium based material" OR "Green building material" OR "cellulose-based materials" OR biomaterial* OR biopolymer* OR microorganism* OR bacteria OR "natural fiber" OR "biobased material" OR "mycelium based composite*" OR "mycelium composite*" OR "agricultural waste*" OR "cellulose Nanofiber*" OR timber OR "bio-based material*" AND (construct* OR building*)
Campos de búsqueda	Título (TI); Resumen (AB); Palabras clave (KW) y campo de estudio (FS)
Tipo de documento	Artículo de revista (<i>journal article</i>); Memoria de conferencia (<i>conference proceedings article</i>)
Periodo	2015-2024

Fuente: Elaboración propia (2025).

Cuadro 2. Estrategia de búsqueda para las patentes

Palabras clave utilizadas	(Bioplastic* OR biocomposite* OR biocement OR "mycelium based material" OR "Green building material" OR "cellulose-based materials" OR biomaterial* OR biopolymer* OR microorganism* OR bacteria OR "natural fiber" OR "biobased material" OR "mycelium based composite*" OR "mycelium composite*" OR "agricultural waste*" OR "cellulose Nanofiber*" OR timber OR "bio-based material*" AND (construct* OR building*)
Campos de búsqueda	Título (TI); Resumen (AB); Reivindicaciones (CLM)
Tipo de documento	Solicitudes de patentes (<i>applications</i>)
Periodo	2015-2024

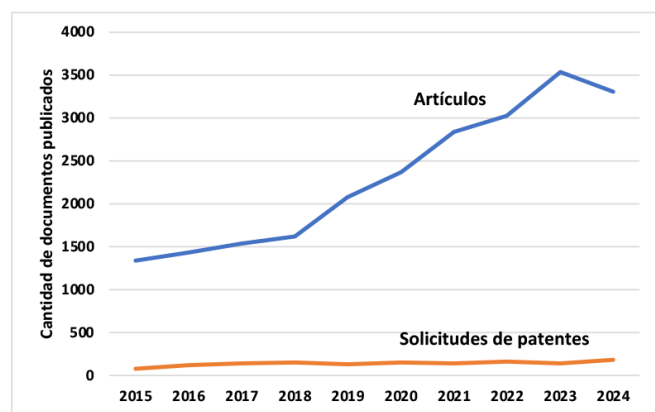
Fuente: Elaboración propia (2025).

90 de documentos de patentes durante el periodo. Por otra parte, los principales países que lideran las actividades de investigación y desarrollo en el área son China y Estados Unidos (ver gráfico 2).

Con respecto a las principales organizaciones, las tres primeras son chinas, lideradas por la Academia de Ciencias China (ver gráfico 3). Para el caso de las solicitudes de patentes no se observa un liderazgo en particular por organización alguna.

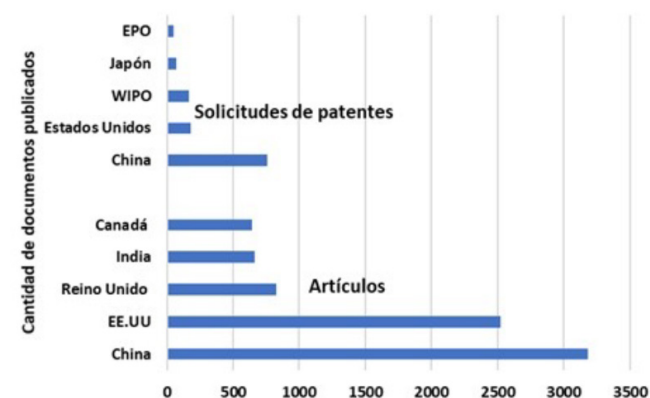
Con respecto a los desarrollos tecnológicos, la tendencia a utilizar residuos vegetales como madera, y bambú, entre los más importantes, presenta una tendencia acelerada los tres primeros años, seguida de una desaceleración en el uso de los mismos a partir del año 2019 (ver gráfico 4); mientras que el uso de materiales biotecnológicos, como micelio, algas y hongos entre los más importantes, presenta una tendencia cíclica en el periodo 2015-2024, con China como líder en el desarrollo de este tipo

Gráfico 1. Evolución de los documentos publicados



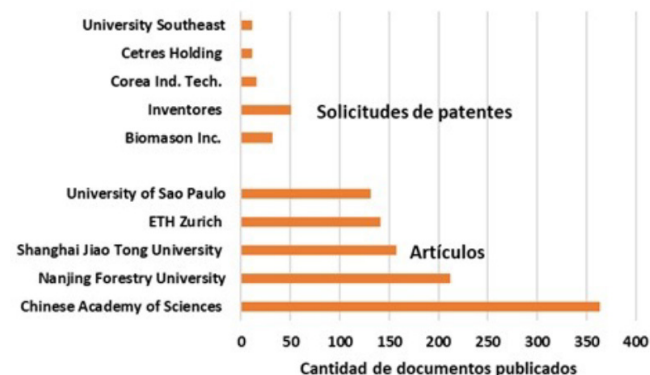
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la base de datos Lens.org (2025)

Gráfico 2. Distribución de los documentos por principales países



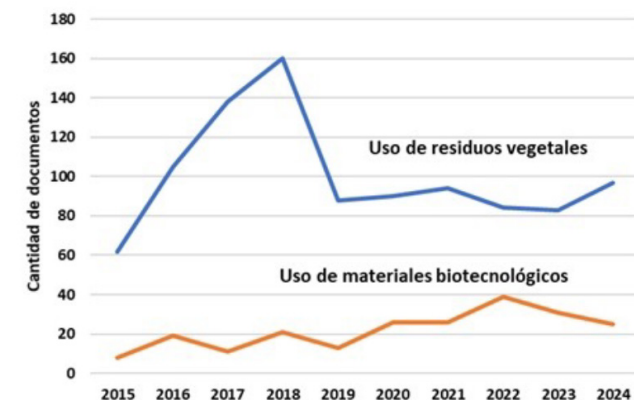
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la base de datos Lens.org (2025)

Gráfico 3. Distribución de los documentos por principales organizaciones



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la base de datos Lens.org (2025)

Gráfico 4. Evolución en el uso de los principales tipos de materiales



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la base de datos Lens.org (2025)

de tecnologías con el 55% de las solicitudes de patentes publicadas en el área. Sin embargo, se observa que las tecnologías más relevantes (aquellos trabajos con mayor cantidad de citas) pertenecen a empresas de Estados Unidos (ver cuadro 3).

En el caso de los desarrollos tecnológicos más importantes relacionados con el uso de los materiales biotecnológicos se tiene que hay un liderazgo compartido entre las empresas de Estados Unidos y las chinas (ver cuadro 4).

Desde una mirada más específica, algunos de los trabajos publicados relacionados con el uso de los biomateriales en el sector construcción se detallan a continuación.

Almpani-Lekka et al. (2021), indican que los biomateriales fúngicos están ganando cada vez más popularidad en el campo de la arquitectura y el diseño, con una notable proliferación de proyectos generados en los últimos diez años. Mediante el uso de micelio como estabilizador para fibras obtenidas de agricultura, nuevos componentes constructivos pueden fabricarse

de acuerdo con el modelo de economía circular y emplearse en edificación arquitectónica, con el objetivo de cambiar el sector de la construcción hacia una mayor sostenibilidad ecológica y económica. Simultáneamente, estudios sobre estos materiales, particularmente biocompuestos fúngicos, están generando conocimiento que permite a los mismos materiales inspirar y modificar el diseño arquitectónico. Nuevas investigaciones sobre estos materiales no solo permiten su uso como materiales de construcción, sino que también motivan e impactan el proceso de diseño arquitectónico a través del descubrimiento y variación de estos.

Se ha manifestado un creciente interés en materiales verdes y reciclables para fomentar la economía circular. Además, el cambio climático de las últimas décadas ha provocado un aumento en el rango de temperaturas y energía consumida, lo que implica un mayor consumo de energía para calentar y refrigerar edificios. En un estudio efectuado por Martínez et al. (2023), se examinan las propiedades del tallo

Cuadro 3. Tecnologías más relevantes relacionadas con el uso de residuos vegetales

Tecnología	Aspectos relevantes	Cantidad de citas	Organización/País/ Año de publicación
Obtención de dispersiones acuosas, vertibles, espumables, bombeables y fraguables	Material de construcción ligero contiene cemento y otros agregados y menos del 10% de almidón de patata, almidón de arroz, almidón de maíz y/o almidón de trigo de trozos de cereales, patatas y arroz triturados, cocidos y/o crudos	31	Wind Plus Sonne Gmbh/ EEUU/2019
Método y sistema para la construcción rápida de estructuras de hormigón armado mediante conjuntos prefabricados	El refuerzo estructural integrado comprende un material seleccionado del grupo de barras de acero, alambre de acero, barras compuestas reforzadas con fibra de carbono, con fibra de vidrio, con fibra de aramida, bambú y chapa de acero perforada.	23	Kt-India LlC/India/2016
Mortero aislante térmico compuesto de perlas de vidrio y paja de trigo	El material de aislante térmico ahorra energía y se puede utilizar en la construcción de edificios.	21	Univ Shandong Agriculture/ China/2015
Azulejos a base de corcho	Fabricación de paneles a base de corcho	19	Knoll Inc/EE.UU./2017
Viga/columna ensamblada de bambú/madera	La construcción presenta una estructura de bambú/ madera	16	Univ Nanjing Forestry, Nanjing Muyun Arch Design Co Ltd/China/2019

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la base de datos Lens.org (2025)

de cáñamo (*Cannabis sativa*) como material de aislamiento con el objetivo de crear materiales reciclables y ecológicos y con ello disminuir el uso de energía y disminuir el ruido para mejorar el confort de las edificaciones. Los tallos de cáñamo son un producto de menor valor derivado de plantas de cáñamo; sin embargo, son un material de peso reducido con un alto grado de aislamiento. Las investigaciones proponen el uso de fibra de cartón reutilizable o basada en lignina para la creación de un material biocompuesto a partir de tallo de cáñamo, aunque la seguridad a largo plazo requiere de más estudios.

González et al. (2020) apuntan que es importante reorientar la actual industria de la construcción, que es uno de los principales causantes de la contaminación a nivel mundial, para lograr una eficiente innovación verde. Los auto-

res, hicieron un estudio para determinar y examinar las propiedades biomecánicas/estructurales y la eficacia de biopaneles compuestos en forma de sandwich hechos de bambú (*Bambusa vulgaris*), melina (*Gmelina arborea Roxb*) y balsa (*Ochroma pyramidale*). Examinaron experimentalmente 92 piezas bajo condiciones de compresión, flexión, corte, tensión, densidad, contenido de humedad, pegamento y delaminación de capas. Los datos experimentales fueron validados y compensados a través de 82 análisis de elementos finitos. Las conclusiones obtenidas se contrastaron con secciones equivalentes de materiales habituales en términos de resistencia, rigidez, comportamiento estructural y eficacia mecánica. Por ejemplo, los resultados indican que los biopaneles tienen una resistencia mecánica superior a dos y tres veces superior a una pared maciza de la-

Cuadro 4. Tecnologías más relevantes relacionadas con el uso de materiales biotecnológicos

Tecnología	Aspectos relevantes	Cantidad de citas	Organización/País/ Año de publicación
Material de aislamiento térmico a partir de micelio y subproductos forestales	Un material aislante biodegradable que comprende un andamio estructural con un medio nutritivo para el micelio fúngico; y al menos un hongo resistente a la temperatura.	21	University of Alaska Anchorage/EEUU/2017
Sistemas de aislamiento y ventilación para edificaciones	Sistema de aislamiento y ventilación que comprende varias capas elaboradas con una mezcla de componentes polímeros, fibras y micelio.	17	Powerhouse Building Solutions/ EEUU/2015
Espuma de hongo ignífuga y ecológica	Es un método que incluye la mezcla y esterilización de materiales de cultivo que contienen bagazo y polvo de feldespato, la inoculación de hongos específicos, inoculados en un molde para su cultivo durante varios días, y el secado y deshidratación para obtener una espuma de hongo ecológica e ignífuga.	10	Univ Sichuan Agricultural, Shenzhen Zeqingyuan Tech Dev Service Co Ltd/ China/2015
Proceso para formar una barrera de agua inducida por un biolodo que se utiliza en fundaciones	Proceso para formar una capa de barrera de agua inorgánica sobre un sustrato poroso impregnado con bacterias con actividad ureasa. El sustrato puede ser usado en fundaciones.	9	Univ Nanyang Tech/ WO/2019
Método para reparar grietas de hormigón induciendo la deposición de carbonato de calcio a través de microorganismos.	El medio de cultivo se inocula con <i>Bacillus pasteurii</i> . El método presenta las ventajas de un envejecimiento rápido y una alta resistencia	9	Jiangsu Zhenjiang Res Institute of Building Science Group Co Ltd/ China/2019

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la base de datos Lens.org (2025)

drillos y a una pared de bloques de hormigón, respectivamente. Además, poseen una eficacia mecánica superior a la del acero. Las conclusiones de los estudios biomecánicos corroboran la efectiva aplicación de los biopaneles de pared en proyectos de construcción no convencionales, incluso como componentes estructurales. La incorporación de los biopaneles de pared sugeridos en estructuras constructivas actuales disminuiría sustancialmente las muertes y demoliciones de viviendas durante eventos sísmicos y de viento debido a su extraordinaria flexibilidad, resistencia y ductilidad.

Para minimizar el impacto del cambio climático en nuestro entorno se han desarrollado varias soluciones eficientes en todos los sectores que consumen energía a nivel global, particularmente en el sector de la construcción. Señalan Lahayrech et al. (2024) que incrementar el rendimiento de los materiales envolventes de las construcciones utilizando biomateriales ha demostrado ser un método eficaz para mejorar el confort térmico, la capacidad de aislamiento acústico y disminuir las cargas de calefacción y refrigeración de las edificaciones.

El aislamiento térmico fabricado con biomateriales de baja energía es una alternativa prometedora para disminuir la necesidad de energía de la construcción actual y contribuir a la consecución de los objetivos climáticos 2050 de la Unión Europea. A pesar de tener propiedades atractivas, estos materiales no son muy comunes en el sector del aislamiento debido a diversas razones, incluyendo una implementación más complicada en comparación con opciones comerciales. Para superar esta restricción y modificar este patrón, el estudio realizado por Torres-Rivas, A. (2021) propone un método sistemático para producir combinaciones eficientes de biomateriales con menor costo e impacto ecológico, que pueden ser fabricados como sándwiches comerciales, paneles sólidos y esteras de fibra. La metodología aprovecha las proyecciones de la DEA (*Data En-*

velopment Analysis) para identificar combinaciones prometedoras de materiales de origen biológico que se consideran ecoeficientes considerando su costo y 18 indicadores de LCA (*Life Cycle Assessment*), incluyendo además un filtro adicional para descartar combinaciones poco atractivas desde un punto de vista comercial.

Disminuir el carbono presente en los materiales de construcción implica una transición de productos derivados de combustibles fósiles a opciones de origen biológico, además del diseño y desarrollo de nuevos biomateriales de tecnología ecológica que puedan actuar como reservorios de carbono. Scardifield et al. (2024) escribieron un artículo donde ofrecen un panorama general de las aplicaciones históricas y contemporáneas de las algas marinas en la edificación, con el objetivo de detectar vacíos y posibilidades para la creación de materiales de construcción basados en algas marinas que puedan respaldar la expulsión de carbono del aire a través de la fotosíntesis algal, resaltando la importancia de las alianzas de investigación interdisciplinarias que pueden situarse en el área en crecimiento del biodiseño, donde se emplean la investigación y los procedimientos de diseño para impactar en el progreso de la ciencia de los materiales. Como estudio de caso los autores exponen el diseño de ladrillos de algas marinas a través de un enfoque de biorrefinería que tiene como objetivo valorar la biomasa residual de algas marinas cultivada para la administración de aguas residuales, descubriendo oportunidades de valor añadido para este subproducto de algas marinas y nuevas oportunidades para el almacenamiento de carbono en el ambiente edificado, especificando el desarrollo de un prototipo a escala 1 para una exhibición en la Galería de Arte del Sur de Australia, con el objetivo de mostrar la apariencia de los productos de biomasa derivados de macroalgas, fomentar la aceptación social y promover la futura adopción de materiales de construcción sustentables derivados de algas marinas.

Aspectos relacionados con el mercado

Con respecto al mercado global de materiales de construcción sostenibles se valoró en 301.600 millones de dólares en 2024 y se prevé que alcance los 907.100 millones de dólares para 2034, con una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 11,9 % entre 2025 y 2034. Los gobiernos y las organizaciones pertinentes han desarrollado políticas estrictas para reducir las emisiones de carbono, los residuos y el consumo de energía en la construcción. Estas políticas incluyen el Pacto Verde Europeo, el liderazgo LEED en políticas de diseño energético y ambiental, y los códigos nacionales de sostenibilidad, cuyo objetivo es que los promotores utilicen materiales ecológicos. La sostenibilidad se promueve aún más con la adopción de materiales reciclados, biodegradables y energéticamente eficientes por parte de la industria de la construcción (GMI, 2025; IEA, 2025).

Últimos desarrollos tecnológicos en el mercado:

- En 2024, Cemex presentó un nuevo cemento hidrófugo bajo su marca Vertua, diseñado para mitigar los problemas de humedad y prolongar la vida útil de los proyectos de construcción. Este producto se mezcla y funciona igual que el cemento gris convencional.
- En noviembre de 2023, bajo su marca EvoZero, Heidelberg Materials lanzó el primer cemento cero emisiones netas, mediante la tecnología de captura y almacenamiento de carbono en la planta de Heidelberg en Brevik, Noruega.
- En junio de 2023, Saint-Gobain India presentó un nuevo producto de vidrio con una huella de carbono reducida. Se proyecta que este innovador vidrio reducirá las emisiones de carbono en aproximadamente 40 % en comparación con la oferta actual de Saint-Gobain en India.

Discusión de resultados

La investigación revela un alto y creciente interés de la comunidad científica internacional en los biomateriales para la construcción, contrastando con un desarrollo tecnológico más estable.

Tendencias de interés científico y desarrollo tecnológico

Publicaciones vs. Patentes: La publicación de artículos en revistas y congresos especializados presenta una tendencia creciente acelerada. En contraste, las solicitudes de patentes de invención han mostrado una tendencia constante a lo largo del periodo de estudio (2015-2024), con un promedio de 90 documentos de patente al año. Esto sugiere que, si bien el interés académico y de investigación ha aumentado rápidamente, la materialización de esos avances en desarrollos tecnológicos patentados ha mantenido un ritmo más uniforme.

Liderazgo geográfico: China y Estados Unidos son los países líderes en investigación y desarrollo en esta área. De hecho, las tres principales organizaciones en cuanto a documentación son chinas, lideradas por la Academia de Ciencias China. Sin embargo, a pesar del liderazgo de China en la cantidad de solicitudes de patentes en materiales biotecnológicos (55%), las tecnologías más relevantes (con mayor cantidad de citas) provienen de empresas de Estados Unidos.

Tipos de biomateriales y tendencias de uso

El interés se centra en dos categorías principales de biomateriales:

Categoría 1- Residuos de Agricultura: Los materiales como la madera y el bambú han sido muy importantes. La tendencia en el uso de estos residuos vegetales mostró un creci-

miento acelerado en los primeros tres años del período de estudio, seguido de una desaceleración a partir de 2019. En términos de aplicaciones relevantes, las tecnologías más citadas incluyen el uso de almidón de patata, arroz, maíz y/o trigo en dispersiones como ligantes para materiales de construcción ligeros; el uso de bambú como refuerzo estructural; y el desarrollo de morteros con función de aislamiento térmico compuestos por perlas de vidrio y paja de trigo. En la literatura, se reportan desarrollos de materiales constructivos bio-basados donde el almidón funciona como ligante (por ejemplo., formulaciones tipo *building material* basadas en almidón y agregados), respaldando su empleo en matrices ligeras (Kulshreshtha et al., 2017). Asimismo, se ha documentado el uso del bambú como refuerzo en elementos de concreto, destacando su potencial en aplicaciones estructurales (Ghavami, 2005), y el avance de productos de bambú ingenierizado para uso estructural (Sharma et al., 2015). De forma complementaria, se han investigado morteros ligeros y con mejora térmica que incorporan agregado de vidrio expandido/reciclado (Yousefi et al., 2020) y *plasters*/morteros con fibras naturales como paja de trigo, con impacto sobre conductividad térmica y desempeño de aislamiento (Ashour et al., 2010). En conjunto, estas líneas sostienen el potencial de los residuos agrícolas para materiales constructivos ligeros, reforzados y con desempeño térmico mejorado.

Categoría 2-Materiales biotecnológicos: El uso de estos materiales ha presentado una tendencia cíclica entre 2015-2024. Esta categoría comprende biomateriales de origen microbiano y algal, incluyendo hongos (micelio) y algas, cuyo desarrollo y adopción en arquitectura y construcción ha mostrado una evolución no lineal durante la última década. En particular, los biocompuestos fúngicos basados en micelio se han consolidado como agentes estabilizantes de fibras lignocelulósicas (incluidas aquellas

provenientes de residuos agrícolas) para la fabricación de componentes constructivos ligeros, coherentes con los principios de economía circular y de baja huella de carbono (Almpani-Lekka et al., 2021). Revisiones tecnológicas indican que estos materiales presentan propiedades mecánicas y de aislamiento térmico/acústico adecuadas para aplicaciones no estructurales (por ejemplo, paneles, elementos modulares y módulos), con ventajas en biodegradabilidad, bajo impacto ambiental y potencial de fabricación a partir de residuos (Jones et al., 2018; Cerimi et al., 2019).

Paralelamente, las algas se investigan y emplean en soluciones de biofachadas fotobiorreactoras (PBR) capaces de capturar CO₂ y producir O₂, así como en el desarrollo de unidades constructivas y compuestos a base de biomasa algal con potencial de almacenamiento de carbono y valorización de recursos biogénicos. Además de la captura de CO₂ y la producción de O₂, estas fachadas bioactivas aportan sombreado dinámico, aislamiento térmico, creación de microclimas térmicamente controlados y conversión de radiación solar en biomasa, evidenciando reducciones en la demanda energética operativa del edificio, con ahorros estimados de hasta aproximadamente 30% por disminución de las cargas de calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación en edificios integrados con PBR (Sedighi et al., 2023). Asimismo, se reportan tasas medias de secuestro de CO₂ del orden de 5 g·ft⁻²·día⁻¹ bajo condiciones operativas óptimas, lo que refuerza el rol de estas biofachadas como sumideros de carbono a escala de edificio (Sedighi et al., 2023).

Casos demostrativos como BIQ House evidencian la viabilidad técnico-energética de la integración algal en fachadas mediante la producción conjunta de biomasa y la recuperación de calor para el sistema energético del edificio, así como beneficios adicionales de control solar y acústico en la envolvente (Arup, 2013; Bitoria y Thakkar, 2020). Asimismo, la biomasa al-

gal generada en sistemas de fotobiorreactores (PBR) puede valorizarse energéticamente y emplearse en otros usos bio-basados, ampliando el abanico de funciones ambientales integradas en la envolvente (Sedighi et al., 2023; Jones et al., 2018). En conjunto, estos desarrollos respaldan la pertinencia de los materiales biotecnológicos como vectores de ecoeficiencia y circularidad en la envolvente y en componentes arquitectónicos, y la convergencia entre micelio como biocompuesto estructurante de fibras y algas como biofachadas activas amplía el portafolio de soluciones para envoltentes de alto desempeño ambiental, con impacto directo en la ecoeficiencia, la circularidad y la mitigación de emisiones.

Avances en propiedades y sostenibilidad

La investigación documental destaca las siguientes ventajas y aplicaciones de los biomateriales:

- **Eficacia mecánica y desempeño estructural.** Estudios experimentales y numéricos recientes evidencian el alto potencial estructural de biopaneles compuestos ligeros tipo sándwich elaborados a partir de bambú, melina y balsa. En particular González et al. (2020) reportan que este tipo de biopaneles alcanza resistencias mecánicas del orden de dos y hasta tres veces superiores a las obtenidas en cerramientos tradicionales de mampostería de ladrillo macizo y bloques de hormigón, respectivamente, así como niveles de eficiencia mecánica significativamente mayores en comparación con el acero, cuando se analiza la relación resistencia/peso. Adicionalmente, el comportamiento biomecánico de estos sistemas evidencia una elevada capacidad de deformación, ductilidad y absorción de energía, lo cual sugiere un desempeño favorable frente a acciones sísmicas y cargas de vien-

to, con potencial para contribuir a la reducción de pérdidas humanas y daños estructurales en escenarios de eventos extremos. Además de los resultados reportados por González et al. (2020) sobre la elevada resistencia y eficiencia mecánica de biopaneles tipo sándwich a base de bambú, melina y balsa, la evidencia científica respalda que los paneles sándwich con núcleo de madera ligera, como la balsa (*Ochroma pyramidale*), presentan propiedades mecánicas específicas (resistencia y rigidez en relación con el peso) sobresalientes que los hacen adecuados para aplicaciones estructurales ligeras, al tiempo que aportan sostenibilidad ambiental y menor peso total en el sistema (Galos et al., 2022). Investigaciones comparativas han mostrado que los núcleos de balsa pueden ofrecer resistencia a la flexión y módulos de elasticidad altos en ensayos de tres puntos frente a otros materiales de núcleo, respaldando su uso en paneles que deben soportar cargas mecánicas significativas (Pach et al., 2025). Por otra parte, análisis sobre el comportamiento sísmico de sistemas estructurales basados en bambú (debido a su baja densidad, alta relación resistencia-peso y flexibilidad inherente) sugieren que este tipo de materiales puede favorecer un mejor desempeño ante cargas dinámicas, con potencial para absorber deformaciones sin fallas catastróficas, lo cual es consistente con una respuesta favorable en eventos sísmicos o cargas de viento (Zhang et al., 2025; Cristancho et al., 2024). Es así como estas evidencias complementan los resultados experimentales de biopaneles y fortalecen la idea de que soluciones estructurales basadas en materiales lignocelulósicos de bajo peso no sólo mejoran la eficiencia mecánica, sino que también pueden contribuir a una mayor resiliencia en construcciones sostenibles.

- **Aislamiento y eficiencia energética.** Los biomateriales de base vegetal, en particular los derivados de tallos de cáñamo, presentan un bajo peso específico y un desempeño aislante térmico y acústico competitivo, lo que los posiciona como soluciones eficaces para mejorar el comportamiento de la envolvente edificatoria. La revisión de Martínez et al. (2023) sistematiza que los biocompuestos aislantes basados en cáñamo muestran conductividades térmicas típicas en el rango de materiales aislantes y coeficientes de absorción acústica elevados, con implicaciones directas en la reducción de cargas de calefacción y refrigeración y en la mejora del confort interior. En línea con ello, Asdrubali et al. (2015) y Jerman et al. (2019) reportan que los aislantes naturales pueden igualar el desempeño higratérmico de soluciones convencionales en aplicaciones de rehabilitación y nueva edificación, contribuyendo a una mejor respuesta térmica del cerramiento del edificio. Adicionalmente, estudios experimentales sobre fibras y partículas vegetales evidencian altos coeficientes de absorción sonora en configuraciones porosas, lo que refuerza su utilidad para el control acústico (Santoni et al., 2019). En conjunto, la combinación sistemática de biomateriales aislantes en sistemas multicapa o soluciones híbridas emerge como una estrategia eficaz para incrementar la ecoeficiencia del sistema envolvente, mejorar el confort térmico-acústico y disminuir la demanda energética operativa del edificio (Martínez et al., 2023; Asdrubali et al., 2015).
- **Impacto ambiental y biotecnología.** La literatura reciente evidencia que los biomateriales aplicados al sector de la construcción poseen un potencial relevante para reducir el impacto ambiental del entorno edificado. En escenarios prospectivos de adopción a escala sectorial, los materia-

les bio-basados podrían contribuir a una reducción acumulada superior a 320.000 toneladas de CO₂ hacia 2050, junto con disminuciones en el consumo energético operativo del orden de 8,7% y mejoras en la absorción acústica cercanas al 6,7%, además de beneficios asociados al desempeño higratérmico y mecánico (Chen et al., 2024). Estos resultados se enmarcan en una evidencia más amplia que reconoce que el entorno construido contribuye de manera sustantiva a las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida de los edificios. Asimismo, dicha literatura muestra que la incorporación de materiales de bajo carbono puede reducir de forma significativa estos impactos cuando el desempeño ambiental se analiza mediante enfoques de LCA, permitiendo identificar y mitigar emisiones tanto en la fase de producción de materiales como en las etapas de construcción, uso y fin de vida (Röck et al., 2020; Pomponi y Moncaster, 2017). En este contexto, la biotecnología se presenta como una línea de desarrollo relevante para mejorar la sostenibilidad y el desempeño de los materiales de construcción, a través de la aplicación de procesos biológicos y del uso de organismos vivos (como algas, bacterias y hongos) en la elaboración de biocompuestos, biocementos y materiales basados en micelio, así como en la implementación de sistemas bio-reactivos en la envolvente de los edificios (Chen et al., 2024; Jones et al., 2018; Biloria y Thakkar, 2020; Sedighi et al., 2023). Estas aproximaciones permiten reducir la huella de carbono de los materiales y mejorar el desempeño térmico-ambiental del edificio cuando se integran adecuadamente en soluciones constructivas, contribuyendo a la transición hacia modelos de edificación de menor impacto (Röck et al., 2020; Pomponi y Moncaster, 2017).

Conclusiones

Los resultados analizados en el periodo 2015-2024 permiten establecer las siguientes conclusiones más importantes:

1. Existe un interés de la comunidad científica internacional elevado y en rápido aumento en el uso de biomateriales en el sector de la construcción, tal como lo demuestra la acelerada tendencia creciente en las publicaciones de artículos.
2. Avance tecnológico focalizado: Aunque la tasa de solicitudes de patentes se mantiene constante, existe un enfoque claro en materiales provenientes de residuos de agricultura (madera, bambú) y materiales biotecnológicos (algas, hongos, micelio) como las tendencias más importantes.
3. Liderazgo dual: China y Estados Unidos lideran la investigación y desarrollo. China domina en volumen de patentes en materiales biotecnológicos, mientras que las tecnologías más citadas (relevantes) a menudo provienen de empresas estadounidenses.
4. Potencial de sostenibilidad comprobado: Los biomateriales ofrecen beneficios significativos para la sostenibilidad y la eficiencia del sector. Estos beneficios incluyen ventajas mecánicas superiores a materiales tradicionales (como ladrillos y hormigón) en aplicaciones estructurales, mejoras en el aislamiento térmico y acústico, y una capacidad crucial para disminuir las emisiones de CO₂ y el consumo de energía.
5. Mercado en crecimiento: El mercado global de materiales de construcción sostenibles fue valorado en 301.600 millones de dólares en 2024 y se proyecta que alcanzará los 907.100 millones de dólares para 2034, impulsado por políticas gubernamentales estrictas y la adopción de materiales reciclados, biodegradables y energéticamente eficientes.

Referencias bibliográficas

- Almpani-Lekka, D.; Pfeiffer, S.; Schmidts, C.; Seo, Seung-il (2021). "A review on architecture with fungal biomaterials: the desired and the feasible", in: *Fungal Biology and Biotechnology* 8, 17. <https://doi.org/10.1186/s40694-021-00124-5>
- Arup (2013). World-first façade system to cultivate micro-algae to generate heat and biomass as renewable energy sources. <https://www.arup.com/projects/solarleaf/>
- Asdrubali, F.; D'Alessandro, F.; Schiavoni, S. (2015). "A review of unconventional sustainable building insulation materials", in: *Sustainable Materials and Technologies*, 4, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- Ashour, T.; Wieland, H.; Georg, H.; Bockisch, F.-J.; Wu, W. (2010). "The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings", in: *Materials & Design*, 31(10): pp. 4676-4685. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.05.026>
- Biloria, N.; Thakkar, Y. (2020). "Integrating algae building technology in the built environment: A cost and benefit perspective", in: *Frontiers of Architectural Research*, 9(2): pp. 370-384. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.004>

- Cerimi, K.; Akkaya, K.C; Pohl, C. et al. (2019). "Fungi as source for new bio-based materials: a patent review", in: *Fungal Biology and Biotechnology* 6, 17. <https://doi.org/10.1186/s40694-019-0080-y>
- Chen, L.; Zhang, Y.; Chen, Z et al. (2024). "Biomaterials technology and policies in the building sector: a review", in: *Environmental Chemistry Letters* 22: pp. 715-750. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01689-w>
- Cristancho, K.; Otálvaro, I. F.; Ruiz, D. M.; Barrera, N.; Villalba-Morales, J. D.; Alvarado, Y. A.; Cundumí, O. (2025). "Seismic Behavior of Bahareque Walls Under In-Plane Horizontal Loads", in: *Buildings*, 15(1), 4. <https://doi.org/10.3390/buildings15010004>
- Galos, J.; Das, R.; Sutcliffe, M. P.; Mouritz, A. P. (2022). "Review of balsa core sandwich composite structures", in: *Materials & Design*. <https://doi.org/10.17863/CAM.87144>
- Ghavami, K. (2005). "Bamboo as reinforcement in structural concrete elements", in: *Cement and Concrete Composites*, 27(6): pp. 637-649. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002>
- GMI-Global Market Insights (2025). Sustainable construction materials market size & Share 2025-2034. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/sustainable-construction-materials-market>
- González, O. M.; García, A.; Guachambala, M.; Navas, J. F. (2021). "Innovative sandwich-like composite biopanel-towards a new building biomaterials concept for structural applications in nonconventional building systems", in: *Wood Material Science & Engineering*, 16(2): pp. 132-148. <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1819871>
- IEA-International Energy Agency (2025). *Energy Efficiency 2025. Buildings*. Paris. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025/buildings>
- Jerman, M.; Palomar, I.; Kočí, V. and Černý, R. (2019). "Thermal and hygric properties of biomaterials suitable for interior thermal insulation systems in historical and traditional buildings", in: *Building and Environment*, 154: pp. 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.020>
- Jones, M.; Bhat, T.; Kandare, E. et al. (2018) "Thermal Degradation and Fire Properties of Fungal Mycelium and Mycelium - Biomass Composite Materials", in: *Scientific Reports* 8, 17583. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36032-9>
- Kozlova, E., Bemidova, A. and Edilsultanova, L. (2024). "Innovative Biomaterials in Green Construction: Economic Benefits and Challenges", in: *E3S Web of Conf.* 537, 06011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453706011>
- Kulshreshtha, Y.; Schlangen, E.; Jonkers, H. M.; Vardon, P. J. and van Paassen, L. A. (2017). "CoRncrete: A corn starch based building material", in: *Construction and Building Materials*, 154: pp. 411-423. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.184>
- Lahayrech, S.; Siroux, M.; El Maakoul, A.; Khay, I.; Degiovanni, A. (2024). "Performance of Biomaterials in Buildings: A Scoping Review of the Recent Literature", in: Ali-Toudert, F., Draoui, A., Halouani, K., Hasnaoui, M., Jemni, A., Tadrist, L. (eds) *Advances in Thermal Science and Energy*. JITH 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43934-6_50
- Lens.org (2025). Patent search: Structured search results. <https://www.lens.org/lens/search/patent/structured>
- Lens.org (2025). Scholar search: Structured search results. <https://www.lens.org/lens/search/scholar/structured>
- Martínez, B.; Bernat-Maso, E. and Gil, L. (2023). "Applications and Properties of Hemp Stalk-Based Insulating Biomaterials for Buildings: Review", in: *Materials*, 16 (8), 3245. <https://doi.org/10.3390/ma16083245>
- Pach, J.; Wróblewski, R.; Muszyński, B. (2025). "Comparative Analysis of Sandwich Composites with Balsa, Rohacell®, and Nomex® Cores for Aerospace Applications", in: *Materials*, 18 (5), 1126. <https://doi.org/10.3390/ma18051126>
- Pomponi, F.; Moncaster, A. (2017). "Circular economy for the built environment: A research framework", in: *Journal of Cleaner Production*, 143: pp. 710-718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>

- Röck, M.; Mendes Saade, M. R.; Balouktsi, M.; Rasmussen, F. N.; Birgisdóttir, H.; Frischknecht, R.; Habert, G.; Lützkendorf, T.; Passer, A. (2020). "Embodied GHG emissions of buildings. The hidden challenge for effective climate change mitigation", in: *Applied Energy*, 258, 114107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>
- Santoni, A.; Bonfiglio, P.; Fausti, P.; Marescotti, C.; Mazzanti, V.; Mollica, F. and Pompoli, F. (2019). "Improving the sound absorption performance of sustainable thermal insulation materials: Natural hemp fibres", in: *Applied Acoustics*, 150: pp. 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.02.022>
- Scardifield, K.; McLean, N.; Kuzhiumparambil, U. et al. (2024). "Biomasonry products from macroalgae: A design driven approach to developing biomaterials for carbon storage", in: *Journal of Applied Phycology* 36: pp. 935-950. <https://doi.org/10.1007/s10811-023-03051-7>
- Sedighi, M.; Pourmoghaddam Qhazvini, P.; Amidpour, M. (2023). "Algae-Powered Buildings: A Review of an Innovative, Sustainable Approach in the Built Environment", in: *Sustainability*, 15 (4), 3729. <https://doi.org/10.3390/su15043729>
- Sharma, B.; Gatóo, A.; Bock, M., & Ramage, M. (2015). "Engineered bamboo for structural applications", in: *Construction and Building Materials*, 81: pp. 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.077>
- Torres-Rivas, A.; Pozo, C.; Palumbo, M.; Ewertowska, A.; Jimenez, L.; Boer, D. (2021). "Systematic combination of insulation biomaterials to enhance energy and environmental efficiency in buildings", in: *Construction and Building Materials*, 267, 120973. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120973>
- Yousefi, A.; Tang, W.; Khavarian, M.; Fang, C., and Wang, S. (2020). "Thermal and Mechanical Properties of Cement Mortar Composite Containing Recycled Expanded Glass Aggregate and Nano Titanium Dioxide", in: *Applied Sciences*, 10 (7), 2246. <https://doi.org/10.3390/app10072246>
- Zhang, Y.; Zhang, J.; Gu, Y.; Zhang, J. and Zheng, K. (2025). "Seismic Demand Prediction in Laminated Bamboo Frame Structures: A Comparative Study of Intensity Measures for Performance-Based Design", in: *Buildings*, 15(12), 2039. <https://doi.org/10.3390/buildings15122039>