

10. Biomateriales de construcción. Un futuro de oportunidades en Latinoamérica¹



MANUEL RICARDO GONZÁLEZ VÁSQUEZ*

JUAN SEBASTIÁN NEIRA SARMIENTO**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.300.10>

Resumen

Este capítulo presenta los aportes de valor que agregan los biomateriales de construcción a la cadena de la producción, las tendencias de innovación sostenible en Latinoamérica y la identificación de su potencial estratégico para la industria. El entendimiento de acuerdo a su composición y origen físico-químico y de extracción morfológica de los biomateriales de construcción permitió desarrollar su clasificación por familias: maderas, biocompuestos, cementicios, polímeros, fibras, tierras, orgánicos y metales, para identificar los atributos de sostenibilidad, como el conjunto de características que permiten establecer los aportes innovadores de los biomateriales a la cadena de valor. Los resultados obtenidos a partir de la vigilancia tecnológica como herramienta de la disciplina de la prospectiva, permitieron identificar a los grupos de los biocompuestos, las tierras y las fibras como tendencias emergentes de alta innovación sostenible en la región, para

* Maestro en Administración de Negocios. Profesor-investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de América, Bogotá, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3414-9976>; correo electrónico: manuel.gonzalez2@profesores.uamerica.edu.co

** Maestro en Administración de Negocios. Profesor-investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de América, Bogotá, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4467-343X>

¹ Nota autores: el contenido del presente capítulo es resultado parcial del proyecto de investigación titulado "Agenda de investigación I+D+i, laboratorio de biomateriales de construcción – BCC", proyecto patrocinado por la Universidad de América y su Vicerrectoría de Investigación y Extensión y la Vicerrectoría Académica, bajo el código interno IAR-019-2023, el cual tiene fecha de inicio febrero del 2023 y finaliza en diciembre del 2024.

exponer oportunidades estratégicas de desarrollo tecnológico y social. Los análisis multidimensionales permiten precisar lineamientos técnicos para concentrar esfuerzos en la estructuración de agendas de investigación, desarrollo e innovación I+D+i, con un potencial de impacto tecnológico, de investigación, social, económico, comercial y ambiental, lo cual permite esclarecer una visión de futuro puesta a corto, mediano y largo plazo que organice y proyecte la evolución de los biomateriales de construcción como alternativa viable al desarrollo de hábitats sostenibles para las comunidades y sociedades más vulnerables en Latinoamérica.

Palabras clave: *biomateriales de construcción, innovación sostenible, prospectiva, vigilancia tecnológica y hábitats sociales*

Introducción

El siglo XXI en sus primeras décadas se ha caracterizado por despertar en los arquitectos y constructores un marcado sentido de corresponsabilidad con la huella ambiental que impacta nuestro planeta, razón por la cual el estudio de los materiales para la construcción y en especial su evolución resulta desafiante y retadora para el futuro de nuestra humanidad, ya que propende por soluciones ambientalmente eficientes desde la arquitectura, en procura de la materialización contemporánea de hábitats sostenibles para los diferentes tipos de comunidades en directa relación con las posibilidades y potencial de cada lugar. En este contexto, la innovación sostenible es el tema y eje transversal al colocar las dimensiones, sociales, ambientales y económicas en el centro de los métodos del desarrollo de toda innovación (Popper, 2017); en tal sentido este proyecto investigativo es el resultado parcial de indagaciones de los estudios posgraduales a nivel de la Maestría en Administración de Negocios-MBA, donde apoyados en la disciplina de la prospectiva y bajo un enfoque multidisciplinar y técnico buscamos analizar las tendencias de innovación en biomateriales de construcción en Latinoamérica, con el propósito de establecer los atributos de sostenibilidad que crean valor en la cadena productiva de la arquitectura, de forma directa y coherente con las capacidades tecnológicas, económicas y científicas de

la región. A través de una mirada prospectiva se desarrolló un ejercicio de vigilancia tecnológica que facilitó la definición del entorno científico y una enfocada revisión bibliográfica en bases de datos. Mediante la técnica de bibliometría tecnológica se realizó la correlación de los hallazgos para identificar los principales líderes científicos e instituciones referentes así como fuentes de información y nuevos desafíos (Muñoz et al., 2006); para que los datos se transformen en información y conocimiento útiles para la toma de decisiones; para que establezcan el potencial estratégico de los biomateriales de construcción en la región como gran diferenciador en la industria que fomente desarrollos innovadores y sostenibles que aporten valor para el futuro mundial.

¿Qué son los biomateriales de construcción?

Un biomaterial es un material creado para integrarse perfectamente en un sistema biológico, que aporta decididamente a la disminución del impacto ambiental, de la huella de CO², y genera efectos positivos en la salud. Tiene como base la innovación tecnológica en una amplia variedad de disciplinas, por lo que se convierte en un motor que ayuda a mejorar la calidad de vida de las personas y, por ende, de las comunidades. Son aquellos nuevos materiales que, de acuerdo a su composición morfológica y su comportamiento mecánico, pueden adquirir atributos que contribuyen al desarrollo sostenible (Marin et al., 2020), establecen criterios medibles, que para efectos de esta investigación tomaremos como referencia de diversos estudios previos, entre los cuales destacamos *Materiales ecológicos; estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles* (Borsani, 2011), en el que se perfilan los criterios de evaluación y que se pueden resumir en cinco indicadores para medir el impacto ambiental de los materiales que implementamos en construcción: (1) ACV, análisis del ciclo de vida, (2) evaluación de la sostenibilidad, (3) análisis de energía incorporada, (4) mochila ecológica, (5) huella ecológica. Esto sumado al entendimiento de la composición morfológica y el comportamiento mecánico de los materiales de construcción permitió desarrollar su clasificación por familias como se muestra en el siguiente apartado.

Clasificación por familias

Los biomateriales enfocados en la industria de la construcción se consolidan en los últimos años como un recurso y alternativa posible, probable y deseable, desde la disciplina de la prospectiva para la materialización de las edificaciones futuras, marcan las tendencias de innovación y desarrollo sostenible de la industria para la tercera década del siglo XXI (Sandak et al., 2019). En este sentido organizar por similitudes o filiaciones de origen físico-químico o incluso de extracción (figura 1) la vasta información que se ha producido para esta época permite comprender con mayor claridad los esfuerzos investigativos y tecnológicos que potencien el futuro de las edificaciones a nivel mundial.

Figura 1. Clasificación de los biomateriales de construcción por similitud o filiación de origen físico-químico o de extracción en 8 familias, objeto de análisis



Fuente: elaboración de los autores.

Atributos de sostenibilidad

A partir del análisis de los indicadores anteriormente mencionados, se consideró importante inferir los atributos de sostenibilidad (tabla 1), definición

que se le ha dado al conjunto de características o cualidades asociadas a las dimensiones sociales, ambientales y económicas con incidencia en el ciclo de vida de los materiales de construcción.

Tabla 1. Clasificación y descripción técnica y operativa de los ocho atributos de sostenibilidad referentes para el análisis de las familias de biomateriales

Atributos	Infografía	Descripción técnica
Producto local		Consiste en la utilización de recursos de la zona donde se va a construir, dando prioridad a la implementación de materiales producto de la industria regional o local, (Cabrera, 2010), lo que lleva a una reducción importante en la fase de transporte y mitiga sensiblemente las altas tasas de contaminación por uso de elevados volúmenes de combustible, lo que influye positivamente también en la economía y las tasas de empleo local (Susunaga, 2014).
Las tres R: reducir, reusar, reciclar		Este atributo de sostenibilidad tiene sus orígenes en los paradigmas de la economía circular, que tiene como objetivo “generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible” (Prieto et al., 2017, p. 85). En ese sentido, la primera R hace referencia a reducir el consumo directo, buscando promover el consumo consciente, aquel que tiene en cuenta los costos económicos sin descuidar los ecológicos. La segunda R invita a reusar, cuyo objetivo es la reutilización de lo adquirido, para prolongar su vida útil, mediante el uso adecuado aun si esto implica destinarle un uso diferente para el que fue creado originalmente. La tercera R plantea el reciclar como alternativa para aprovechar la energía embebida en los objetos, lo que implica algunos cambios físicos en el producto original, que puede ser a la vez materia prima de un nuevo producto.
Durabilidad		Se centra en proyectar construcciones con materiales duraderos capaces de soportar toda la vida útil del edificio, incluso sobrepasando dicha expectativa de vida con la intención de minimizar la necesidad de implementar nuevos recursos vírgenes (Borsani, 2011).
Mantenimiento		El mantenimiento es un conjunto de operaciones que han de realizarse durante la vida útil del edificio y que se concibe como una medida preventiva que asegurará el correcto funcionamiento del edificio y garantizará su durabilidad; en este sentido, la naturaleza de los materiales implementados en la construcción demandarán en mayor o menor medida rutinas de mantenimiento, así pues serán más sostenibles aquellos productos y sistemas que requieran de reducidas operaciones de mantenimiento durante la vida útil del edificio. (Susunaga, 2014).
Comportamiento bioclimático		Aquellos materiales producidos o elaborados con recursos renovables, también llamados de ciclo cerrado, como la madera o aquellos a base de tierras como los adobes y que además ofrecen características físico técnicas que benefician el confort climático de los edificios, reduciendo de manera significativa la demanda de energías no renovables (Valdiviezo, 2010).

Atributos	Infografía	Descripción técnica
Huella ambiental		Hace referencia a un indicador que permite establecer la demanda humana sobre los ecosistemas del planeta y su directa relación con la capacidad que tiene la tierra para regenerar los recursos, así como su capacidad para asimilar los residuos producidos por las poblaciones (Susunaga, 2014).
Energía incorporada		Es la energía necesaria e incorporada en un material, incluida toda la que se necesitó a lo largo del ciclo de vida del material, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final, esto contempla incluso la energía de la maquinaria empleadas a lo largo de su cadena productiva (Bellart y Mesa, 2009).
Diseño inteligente		Son materiales compuestos o procesados mediante técnicas de diseño basadas en criterios de flexibilidad, desmonte y reciclaje, así como su contribución al rendimiento energético del edificio durante su ciclo de vida, reducen de manera significativa el consumo, impacto y generación de residuos, acercándose a los ideales de sistemas de ciclo cerrado. (Prieto-Sandoval et al., 2017).

Fuente: elaboración de los autores.

Cadena de valor

Estos ocho atributos de sostenibilidad contribuyen al desarrollo de una arquitectura más inteligente ya que presentan mayor capacidad de aportar valor a la cadena productiva en una industria de la construcción más sostenible. En su libro sobre la ventaja competitiva, Porter (1990) resalta que una empresa representa un sistema mucho más estructurado que una simple sucesión lineal de actividades. La cadena de valor en una organización es un complejo sistema interconectado, una red de actividades relacionadas por afinidad funcional. En tal virtud, la cadena de valor debe ser gestionada como un sistema integral multidireccional, que fomente por el crecimiento del valor agregado. El enfoque de cadena de valor aporta una óptica más amplia de las posibles ventajas competitivas y del ámbito en el que se conforman las actividades de la organización (Porter, 1990). El enfoque de cadena de valor se constituye como un concepto más amplio y estructurado, dado que más allá de adoptar una metodología sistémica lineal, implementa un modelo conducente a la creación de valor para el consumidor final. Esta virtud demanda la necesidad de comprender todas las actividades inherentes a la creación de valor, para fortalecer los procesos

de innovación al interior de la organización y brindar el apoyo necesario para aumentar los niveles de competitividad de la actividad económica (Saiz y Castañedo, 2016).

La consolidación de una cadena de valor de la construcción sostenible facilitará el desarrollo de edificaciones con altos estándares de eficiencia y optimización de recursos para su funcionamiento (agua, energía, residuos), comparado con otras edificaciones. Este tipo de proyectos son costo-eficientes, ofrecen alternativas de transporte para sus ocupantes, realizan un manejo integral de los predios, generan mejores condiciones de calidad del ambiente interior, incorporan materiales con atributos de sostenibilidad, y trabajan por generar un compromiso social con las comunidades en el entorno construido (Orjuela, 2017). Los atributos de sostenibilidad pueden incidir y beneficiar en mayor o menor medida a uno o varios de los eslabones de la cadena: proveedores de insumos, productores de materiales, servicios de consultoría, servicios de construcción, programas de mercadeo, servicios de mantenimiento y medios de disposición final de residuos (figura 2), lo que facilita las prácticas, técnicas y metodologías que hacen a los

Figura 2. Atributos de sostenibilidad en la cadena de valor de la construcción sostenible



Fuente: elaboración de los autores.

proyectos de construcción constituidos a través de la cadena sostenible altamente atractivos; ya que pueden ser avalados en procesos de sostenibilidad integral con altos estándares de calidad nacionales e internacionales mediante sistemas de certificación global.

Una visión prospectiva de los biomateriales

Desde una mirada real de cambio en todos los procesos industriales y luego de una pandemia global, resulta de alta relevancia en los contextos volátiles actuales del mundo el poder tener la posibilidad de anticiparse al futuro y comenzar a construir escenarios futuribles ideales en el desarrollo tecnológico de los biomateriales de construcción. Emplear la disciplina de la prospectiva tecnológica y la utilización de una de sus herramientas principales, como lo es la vigilancia tecnológica aplicada, es la forma organizada y sistemática de identificar y captar información y procesar datos. Lo anterior para transformar los conocimientos con el fin de presentar información valiosa que facilita la toma de decisiones y la ejecución de acciones de manera anticipada, y que genere valor al buscar ampliar la competitividad en la industria de la construcción. La sinergia de la prospectiva y la vigilancia tecnológica minimiza el riesgo, aumenta la capacidad de anticipar los cambios multidimensionales y facilita satisfacer las diferentes necesidades de los actores sociales interesados, a corto, mediano y largo plazo (Medina y Rincon, 2006).

La innovación y los retos que demanda

La innovación sostenible directamente relacionada a la construcción y la arquitectura requiere hoy más que nunca de herramientas que permitan su comprensión real, para entender la innovación como la capacidad de pasar de la creatividad de una idea a su materialización y puesta en realidad (Oppenheimer, 2014). En este sentido los biomateriales de construcción son cada vez más estudiados, analizados y desarrollados, toman como referencia múltiples variables en donde las condiciones sociales,

geográficas, ambientales y económicas están directamente relacionadas en estos procesos.

Por lo es tanto importante entender la innovación que genera impactos desde el contexto de la gestión institucional en relación con la visión de construcción de futuros con miradas disciplinares que van más allá de unas apreciaciones individuales o del momento, y se debe relacionar directamente a través de un pensamiento integral y anticipatorio para lo cual es importante entender el modelo de la OPSI (Observatorio de Innovación del Sector Público) de la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico), donde la innovación es el aliado ideal de la disciplina de la prospectiva a través de 4 facetas: (1) La innovación orientada a la eficiencia y la mejora continua, que surge ante los rápidos cambios tecnológicos; (2) la innovación adaptativa, que busca balancear adecuadamente la adaptación y la resiliencia y que vincula la innovación en las actividades del día a día; (3) la innovación orientada por misión, que permite a los líderes enfrentar retos crecientes con pensamientos de largo plazo; y (4) la innovación anticipatoria, que surge en los escenarios de alta incerteza, buscando que la tecnología y la innovación respondan a necesidades presentes como a los cambios disruptivos del futuro (Vásquez, 2023).

Vigilancia tecnológica

Es una de las herramientas más efectivas para comprender el valor y vastedad de la información científica que tenemos al alcance de la mano, vital para el desarrollo de proyectos que involucren innovación y desarrollo (Muñoz et al., 2006), pues permite identificar líderes científicos, países e instituciones referentes, novedades científicas, fuentes de información, así como temas y retos de investigación para la comunidad científica, a la vez que permite entender cómo evolucionan las temáticas de investigación en el tiempo.

Figura 3. Cono de extracción de valor



Fuente: elaboración de los autores.

Se planificó y delimitó el entorno científico de innovación sostenible en biomateriales de construcción para identificar los conceptos centrales de interés, los cuales permiten la estructuración de la ecuación de búsqueda para posteriormente realizar el proceso de búsqueda y captación a partir de revisión bibliográfica en bases de datos especializadas. Los hallazgos obtenidos se organizan y analizan para correlacionar la información obtenida que permite establecer el horizonte de conocimiento (figura 3) e identificar las siguientes tendencias de innovación sostenible de los biomateriales: (1) países potencia en innovación y desarrollo de biomateriales, (2) tipos de tendencia, (3) tendencias de innovación y desarrollo por familias en el mundo, (4) tendencias de innovación y desarrollo por familias en Latinoamérica y (5) evolución de la investigación y desarrollo posible de biomateriales de construcción a futuro.

Para el análisis y búsqueda investigativa puntual se compuso una mezcla de palabras claves que surgieron luego de diferentes combinaciones lo-

grando la ecuación de búsqueda básica así: ALL (*biomaterials* AND *building construction*) AND PUBYEAR > 2005. Posteriormente aplicamos el filtro de palabras claves en la base de datos bibliográficos Scopus para lograr un mayor enfoque, consiguiendo la ecuación de búsqueda integral así:

Figura 4. Ecuación de búsqueda integral

```
ALL(biomaterials AND "building construction") AND PUBYEAR > 2010 AND ( LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Sustainable Development" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"3D Printers" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Wood" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Construction Industry" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Fibers" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Reinforcement" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Building Construction" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Life Cycle" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Recycling" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Sustainability" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Building Materials" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Construction" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"3D Printing" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Composite Materials" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Environmental Impact" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Laminating" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Nanocomposites" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Tensile Strength" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Biomaterials" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Buildings" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Climate Change" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Fiber Reinforced Plastics" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Insulation" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Polymer" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Titanium" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Water Absorption" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Bio-composites" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Biodegradation" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Composites" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Concretes" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Energy Efficiency" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Engineered Wood Products" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Intelligent Buildings" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Natural Fibers" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Polymers" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Architectural Design" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Biocompatibility" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Biodegradable Polymers" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Biopolymers" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Cements" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Concrete" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Cross Laminated" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Durability" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Life Cycle Analysis" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Materials" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Microstructure" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Nanoparticles" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Strength Of Materials" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Structural Design" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Textiles" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Wood Products" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"3-d Printing" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Biocompatible Materials" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Composite" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Design" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Reinforced Concrete" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Sustainable Building" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Biodegradability" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"Biomaterial" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"stone" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"clays" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD,"bricks" ) )
```

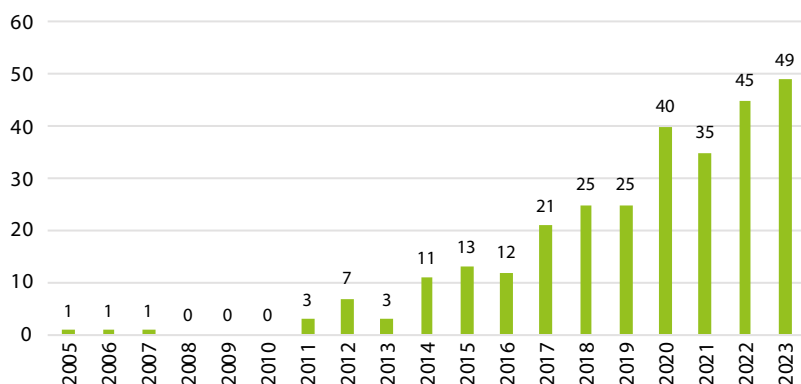
Fuente: elaboración de los autores.

Tendencias de biomateriales de construcción de lo global a lo regional

Desde la ecuación de búsqueda integral se logra realizar la mayor y mejor calidad de hallazgos investigativos (gráfica 1), donde en primer lugar se observa cómo dentro de la ventana de tiempo analizada de los últimos 19 años (292 artículos relevantes), se ubica en los primeros 13 años cerca del 25% de los documentos temáticos hallados, por lo que en el último tercio, entre los años 2018-2023, se encuentran los restantes 219 documentos, equivalentes a cerca del 75 %, de la información pertinente intervenida, se logra inferir cómo los biomateriales de construcción en directa relación con las estrategias

mundiales para mitigar el cambio climático, entre otras, y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se han convertido en un imperativo investigativo que ha despertado el interés y la curiosidad por su evolución y desarrollo como respuesta tecnológica innovadora, alcanzando incluso un crecimiento científico cercano al 300 %, lo que reafirma la importancia de continuar con estudios precisos como base para la creación de nuevas estrategias tecnológicas e industriales acordes a diferentes entornos sociales, económicos y ambientales, la incertidumbre y que permitan repensar el papel de las construcciones y su materialización en la actualidad, pero con impacto en el mediano y largo futuro.

Gráfica 1. Perfil evolutivo en la producción de documentos investigativos analizados sobre biomateriales de construcción 2005-2023

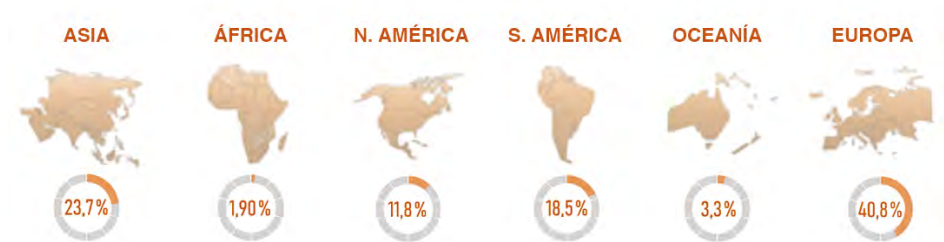


Fuente: elaboración de los autores.

Al analizar la totalidad de los documentos específicos de biomateriales de construcción y con el fin de establecer una directa relación con la producción científica por continentes y regiones del planeta (figura 5), es importante destacar como Europa y Asia se encuentran a la cabeza, al mostrar su preocupación por la temática objeto de estudio; sin embargo, la unión de las regiones norte, centro y sur del continente americano marcan un alto interés, en buena parte se debe a los hallazgos locales que permiten que

Suramérica, por ejemplo, obtenga cerca del 18 % de toda la producción mundial, lo cual comienza a trazar una interesante tendencia a futuro para continentes emergentes como África y la misma región latinoamericana, donde estando insertos en condiciones de atrasos tecnológicos se puede vislumbrar un interés por desarrollos tecnológicos propios, básicos, locales, y coherentes con nuestras realidades socioeconómicas, y que generen eficiencia en nuestros diferentes hábitats.

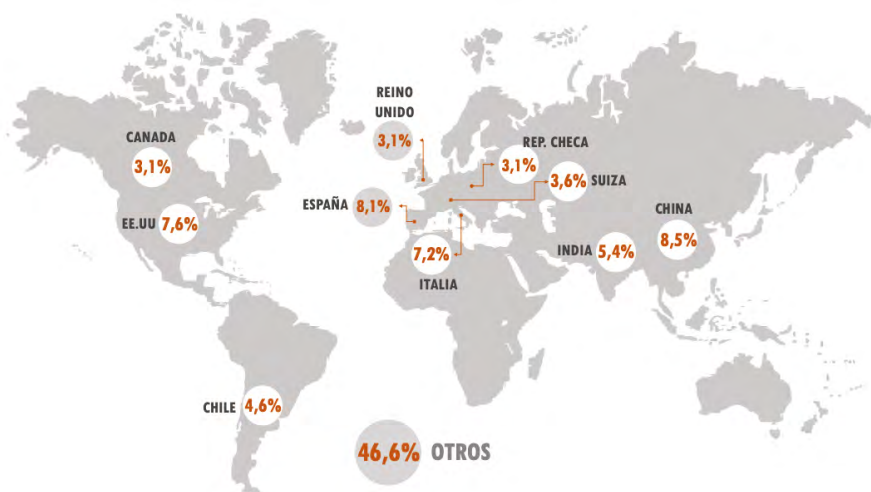
Figura 5. Distribución de la producción investigativa sobre biomateriales de construcción a nivel mundial por continentes y regiones



Fuente: elaboración autores.

En el mismo sentido, la distribución y producción investigativa por naciones (figura 6) muestra como China en Asia, España e Italia en Europa y Estados Unidos en Norteamérica, marcan los mayores intereses investigativos por los biomateriales, acompañados por India, Suiza y Canadá respectivamente. En la región, Chile, Colombia y México lideran la mayor producción específica, aunque no de primer nivel; dato no menor ya que se evidencia de forma integral en toda la investigación cómo la producción en publicaciones de primer nivel (Bases de datos top) no hacen referencia a investigaciones en países en vía de desarrollo, mientras las potencias tradicionales están vigentes con base en sus intereses y temáticas investigativas relacionadas con sus capacidades tecnológicas y de innovación que se alinean con sus condiciones y evolución socioeconómica, cultural y ambiental.

Figura 6. Distribución porcentual de los 10 países con mayor producción investigativa sobre biomateriales de construcción



Nota. Base referencial de 292 documentos analizados. Escala porcentual con los 10 primeros países con mayor producción investigativa a nivel mundial.

Fuente: elaboración de los autores, a partir de VantagePoint.

Con base en las 24 bases de datos consultadas, 22 arrojaron hallazgos (tabla 2), algunas con perfiles científicos, con énfasis en el desarrollo de patentes, y del ámbito tecnológico y comercial. En estas se hallaron los 292 documentos objeto de análisis, en donde se evidencian dos tendencias con amplio enfoque (1) las encontradas en la base de Scopus y que se relacionan con publicaciones de un alto nivel de citación y de referencia investigativa, en donde se encontraron 106 documentos en total; y (2) documentos con difusión menor, pero de amplio espectro en diversidad de hallazgos en biomateriales de construcción y en donde la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) arrojó la mayor cantidad de hallazgos con 93 documentos con claro enfoque regional latinoamericano, lo que evidencia las dos tendencias que agregan valor y deben enfocar el permanente monitoreo de hallazgos, a través de la vigilancia tecnológica VT, como herramienta de análisis y estructuración del conocimiento, que reduce incertidumbres y propicia la aproximación a la construcción de escenarios apuesta en el sector.

Tabla 2. Distribución porcentual de las bases de datos consultadas en relación a los 292 documentos específicos sobre biomateriales de construcción

Orden A-Z	Bases de Datos Consultadas	No. de Hallazgos	Incidencia %	Orden A-Z	Bases de Datos Consultadas	No. de Hallazgos	Incidencia %
1	AUGC.ASSO.FR	0	0.00 %	13	REDALYC	3	1.03 %
2	CEPAL	93	31.85 %	14	RESEARCHGATE.NET	2	0.68 %
3	CSIS.ES	1	0.34 %	15	SCIENCEDIRECT	18	6.16 %
4	GLOBAL TRENDS AND FUTURE ESCENARIOS	0	0.00 %	16	SCOPUS	106	36.30 %
5	GOOGLE SCHOLAR	8	2.74 %	17	SPRINGER	7	2.40 %
6	JOURNALS.SAGEPUB.COM	4	1.37 %	18	TAYLOR & FRANCIS ONLINE	3	1.03 %
7	JSTOR.ORG	2	0.68 %	19	UCE.EDU.EC	1	0.34 %
8	LATIPAT	2	0.68 %	20	UMAYOR.CL	2	0.68 %
9	MINERVA.USC.ES	1	0.34 %	21	UNSA.EDU.PE	1	0.34 %
10	MDPI JOURNALS	14	4.79 %	22	UPC.EDU	2	0.68 %
11	ONU	19	6.51 %	23	UVADOC.UVA.ES	1	0.34 %
12	PROQUEST	1	0.34 %	24	WASTERUSH.INFO	1	0.34 %
Totales		145	49.66 %			147	50.34 %

Fuente: elaboración de los autores a partir de VantagePoint.

A partir de los 292 documentos analizados y de acuerdo a los criterios que establece la vigilancia tecnológica VT, que permite identificar liderazgos científicos, condensar las fuentes de información más confiables y establecer las dinámicas de investigación en el tiempo, se generó información analítica y se determinaron las tendencias en (1) tendencias pesadas, (2) tendencias emergentes y (3) hechos portadores de futuro (Tabla 3). Cada una de estas con un compromiso y aportes específicos de los biomateriales de construcción, se infiere que las tendencias emergentes abarcan cerca del 50 % de la producción investigativa y de forma equitativa las tendencias pesadas y los hechos portadores complementan los intereses investigativos y de desarrollo tecnológico en el ámbito mundial.

Otra de las ventajas del análisis a partir de la vigilancia tecnológica es clasificar y agrupar los biomateriales tendencialmente en familias, lo que facilita su comprensión y el estudio de características técnicas propias de cada una, al identificar las capacidades tecnológicas y de innovación a desarrollar, lo que permite establecer cualidades, atributos y ventajas competitivas en su

Tabla 3. *Distribución de las tendencias tecnológicas a partir de la vigilancia tecnológica (VT), dentro de la producción investigativa en biomateriales de construcción*

27.5 %	Tendencias pesadas	Son aquellas que están hoy presentes, son claramente visibles y es casi imposible evitarlas o modificarlas.
49.5 %	Tendencias emergentes	Son aquellas que conforman el escenario actual y de reciente aparición, cuyos impactos aún son débiles.
23.0 %	Hechos portadores de futuro	Son aquellos que contienen, en sí, un gran potencial que permite hacer hipótesis acerca de su posible evolución e impactos. Pueden o no llegar a consolidarse como tendencias.

Fuente: elaboración de los autores.

evolución, para optimizar los avances a nivel tecnológico y tomando como guía las capacidades propias que emanan de cada contexto o lugar, donde sociedad y ambiente, específicamente en centro y sur de América, pueden incrementar sus fortalezas.

Es importante precisar que la identificación de tendencias permitió la agrupación de la información de forma técnica (Tabla 4), donde se muestra un desarrollo general del análisis por familias con base en hallazgos técnicos de cada una de ellas, y en donde también es evidente su relación por similitud en su origen natural o por sus procesos industriales de extracción, fabricación y uso, lo que permite comprender las diversas interacciones de materialidad que definieron las familias, las búsquedas y la comprensión filial específica. De esta forma se establecieron 8 familias de biomateriales principales, que se sintetizan en una muestra sobre la cual se establecen las fortalezas desde su uso físico-químico y cómo esto aporta valor al uso específico en algún componente constructivo y que se plantea metodológicamente a manera de ejemplo a continuación.

Tabla 4. *Modelo descriptivo (muestra) del tipo de uso e implementación técnica en construcción de algunos biomateriales agrupados por familias*

Familias	Biomaterial de construcción	Síntesis de composición	Cita bibliográfica
MADERAS	Biopaneles compuestos	Tipo sándwich de bambú y melina.	(González, et al., 2021).
	Contralaminados	Efecto de densidad laminar con madera de coco en superficies planas verticales y horizontales.	(Srivaro, et al., 2021).
	Rellenos compuestos de madera	Madera termoplástica y biodegradable para elementos divisorios en construcciones.	(Chan, et al., 2018)

<i>Familias</i>	<i>Biomaterial de construcción</i>	<i>Síntesis de composición</i>	<i>Cita bibliográfica</i>
CEMENTICIOS	Hormigón o Concreto	A base de cenizas volantes con bioaditivos como agentes para el curado interno eficiente.	(Malathy, et al., 2020).
	Mortero foto catalítico	Realiza procesos similares a la fotosíntesis y que en envolventes arquitectónicas limpia y es eficiente ante la contaminación ambiental.	(Martin, 2018).
	Hormigón o concreto	Gel de sílice con bacterias inmovilizadas de poliuretano con propiedades autocurativas y regenerativas para el hormigón.	(Wang, et al., 2012).
POLIMEROS	Poliurea	Recubrimiento que mejora el rendimiento anticorrosión en elementos de grafeno.	(Zhang, et al., 2021).
	Espumas de Geo polímeros	A base de humo de sílice que pueden optimizar la resistencia a la compresión y la conductividad térmica de diversos materiales.	(Shakouri et al., 2020).
	Impresoras 4D	Donde diversos materiales responden a estímulos externos por medio del uso de tecnología inteligente lo que permite materializar formas y resultados complejos de fabricar.	(Zhang, et al., 2019).
TIERRAS	Arena y astillas de neumático de caucho	Mejoran el rendimiento de los muros de tierra reforzada con los geo-sintéticos.	(Tajabadipour y Marandi, 2017).
	Tierra estabilizadas	Donde se comparan aspectos térmicos y resistencias mecánicas optimizadas y estabilizadas.	(Cuitiño-Rosales, et al., 2020).
	Ceniza de bagazo de caña de azúcar	En la fabricación de bloques y tejas de tierra como componente estabilizador.	(James y Pandian, 2017).
FIBRAS	Fibras de yute-ramio	Reforzadas con compuestos híbridos para la baja densidad, resistentes y con mejor comportamiento mecánico, útiles para nuevos materiales constructivos.	(Santhi et al., 2021).
	Tejidos de tallos de totora	Tableros modulares sin ligante para construcciones tradicionales, a partir de tejidos livianos y con respuestas higroscópicas eficientes bioclimáticamente.	(Hidalgo-Cordero et al., 2020).
	Fibra del estropajo	Material a industrializar e innovador para remover contaminantes y útil como agregado de materiales de construcción para retener la humedad.	(Pereira-Martínez et al., 2017).
ORGÁNICOS	Conchas marinas y de caracoles	Las cáscaras de desechos para la fabricación de cemento mezclado o como agregado de concreto, cerámicos y plásticos, con consideraciones sobre su afectación ambiental.	(Hart, 2020).
	Microalgas impresas	A gran escala logran demostrar el potencial para el diseño y fabricación de membranas fotosintéticas en arquitectura.	(Malik et al., 2020).
	Estudio de la nanotecnología	Función de autoensamblaje, donde las macromoléculas se pueden descomponer y facilitan la creación a escala industrial de materiales con condiciones mecánicas para la construcción sostenible.	(Culver et al., 2015).
METALES	Grafeno	Donde se destacan el análisis de sus funciones diferenciales, lo cual abre la posibilidad de desarrollar dispositivos fotosensibles y captadores de luz con funciones de pigmentación específica.	(Bose et al., 2020)
	Carbono y grafeno	Aplicaciones de nanoestructuras en arquitectura para la creación de microcemento altamente resistente.	(García, 2020)

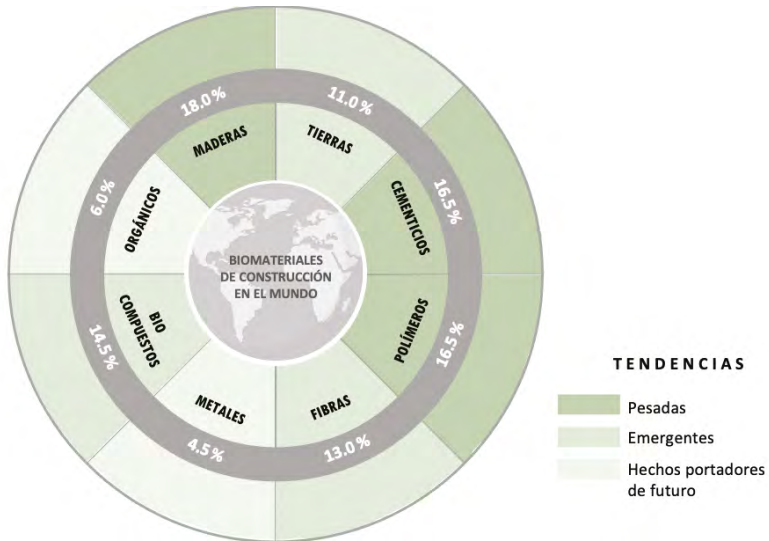
<i>Familias</i>	<i>Biomaterial de construcción</i>	<i>Síntesis de composición</i>	<i>Cita bibliográfica</i>
BIOCOMPUESTOS	Filamentos de bioplástico	Para fachadas que mejoran el comportamiento mecánico de los elementos mediante microrrellenos de tamarindo y semillas de dátil.	(Nagarjun et al., 2021)
	Fibras de hojas de plátano	Como aislante en muros que junto al poliestireno generan un biocompuesto con alto rendimiento físico y térmico.	(Mohamed et al., 2021)
	Hoja de soya, yute y polímeros	Que permiten la materialización de cielos rasos biodegradables, para evitar el uso del plástico.	Behera, 2022)

Fuente: elaboración de los autores.

La distribución por familias (figura 7) facilita la comprensión del origen de extracción y su incidencia en las consideraciones ambientales de fabricación, su procesamiento industrial o artesanal. Al relacionarlas con los 3 tipos de tendencias tecnológicas (pesadas, emergentes y hechos portadores) permite analizar qué familias ya se presentan fuertes, visibles y son difíciles de evitar en el presente, cuáles son de reciente aparición y su proyección e impacto aún es débil y finalmente cuáles tienen un gran potencial técnico, pero su desarrollo es incierto. Con lo que se plantea un panorama glocal entre desarrollo técnico e industrial y el futurible posicionamiento comercial de cada una de estas agrupaciones familiares.

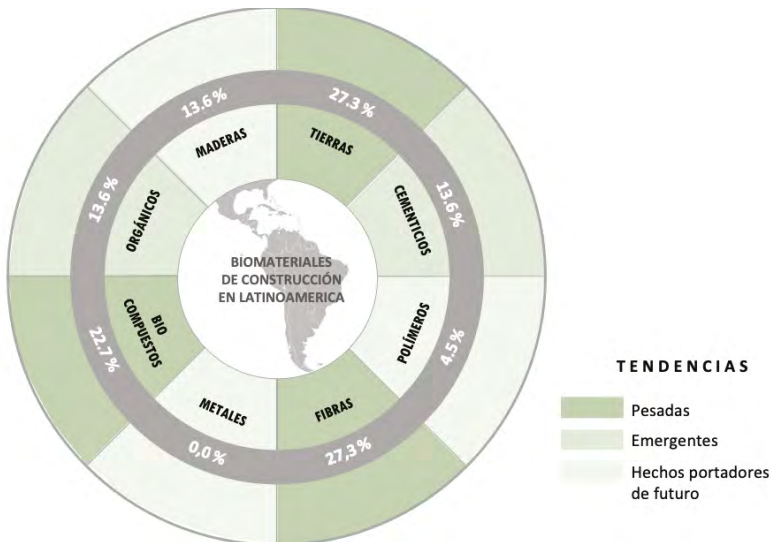
Un aspecto destacable del análisis nos permite evidenciar como las familias de biomateriales evolucionan en función de sus contextos regionales; de esta manera países en vías de desarrollo tienen desarrollos tecnológicos en biomateriales acordes a sus capacidades, oportunidades y al eficiente aprovechamiento innovador de los recursos propios de cada lugar. Es así, como se divisa en el panorama actual de la región latinoamericana (figura 8) los mayores desarrollos tecnológicos de familias, como las tierras, los biocompuestos y las fibras (cercas al 77 %), estableciéndose como tendencias pesadas en nuestros países en vía de desarrollo; en contraste con las evidencias de familias, como los metales y los polímeros que tienen una baja evolución investigativa regional alcanzado una menor incidencia como hechos portadores de futuro, pero donde se destaca como la familia de las maderas presenta también un bajo interés en desarrollos tecnológicos a pesar de ser un material abundante y propio de la región.

Figura 7. Distribución porcentual a nivel global de las 8 familias de biomateriales de construcción en directa relación con los 3 tipos de tendencia tecnológica establecidos



Fuente: elaboración de los autores.

Figura 8. Distribución porcentual a nivel latinoamericano de las 8 familias de biomateriales de construcción en directa relación con los 3 tipos de tendencia tecnológica establecidos



Fuente: elaboración de los autores.

Potencial estratégico

Estudiar el futuro ideal de cualquier área no puede circunscribirse a esperar una evolución de más de lo mismo o mejor de lo mismo, dando el tiempo y espacio para concretar respuestas adecuadas, ya que esto se puede lograr siempre y cuando los entornos sean estables, lo que resulta en nuestra contemporaneidad incorrecto debido a los rápidos desarrollos tecnológicos, situaciones políticas, económicas y sociales ambiguas y muy variables, entre otras, que generan entornos altamente inestables, veloces, inciertos volátiles y ambiguos, lo que se conoce en la actualidad como entornos VUCA (*volatility, uncertainty, complexity* y *ambiguity* por sus siglas en inglés) (Hines y Bishop, 2015).

Ante esta realidad, tener conocimiento y claridad de los avances y las tendencias que se evidencian en el desarrollo tecnológico de los biomateriales de construcción permite establecer el potencial estratégico para el sector constructor, relevante de analizar para disminuir las incertidumbres y los entornos VUCA, ya que aporta una serie de escenarios prometedores y atractivos para su crecimiento económico, en donde también resulta necesario, relevante y definitivo definir la posición y aportes de quienes participen en cada uno de los eslabones de la cadena de la producción de la construcción sostenible, si se quiere por regiones o áreas geográficas en donde todos los *stakeholders* son determinantes para definir y especificar sus aportes, con el fin de propiciar un avance sostenido en el tiempo vivido (*khronos*), lo que permite reducir ostensiblemente estas complejidades sobre el tiempo y las acciones a realizar en este tiempo (*kairós*).

En consecuencia no se trata de hacer predicciones o futurología sobre algunos acontecimientos o sucesos, por el contrario este análisis está basado en la disciplina de la prospectiva, disciplina que cuenta con 8 décadas de estudios técnicos y profundos que han permitido construir futuros desde nuestras acciones precisas y de vigilancia permanente desde el presente, especialmente en lo referente a la tecnológico en busca de establecer y construir una serie de escenarios ideales, o lo que se definen en prospectiva como escenarios posibles y escenarios apuesta.

Ante esto, y con el fin de implementar acciones concretas, es importante definir las necesidades de la industria de la construcción, al tomar como

referencia los grandes desafíos en materia de sostenibilidad por los que atraviesa. Desde esta mirada es que surge la innovación entendida no como esfuerzos independientes que dan respuesta a hechos o requerimientos puntuales, sino comprendiendo que la forma de cambiar y construir el futuro, reducir la incertidumbre y propiciar escenarios anticipatorios en directa alineación con un pensamiento prospectivo, es la implementación de la innovación que identifica el modelo OPSI, de la OCDE, con al menos 4 facetas: (1) eficiencia y mejora continua, (2) adaptativa, (3) orientada por misión y (4) la innovación anticipatoria. Cada una de estas tipologías tiene grandes retos y desafíos, donde especialmente las dos primeras que se refieren a escenarios con un patrón de cambio más conocido, para crear respuestas innovadoras a problemas estructurados donde se conocen las variables y actores, pero donde el nivel de disrupción es bajo o mediano (Vásquez, 2023).

Mientras las siguientes dos facetas presentan un tipo de cambio fundamental que aspira a reorientar la utilización de los recursos naturales, la energía, los encadenamientos industriales y, por lo tanto, su nivel de disrupción de los esquemas institucionales es alto; “buscan redireccionar la ciencia, la tecnología y la innovación hacia rutas que sean social, económica y ambientalmente beneficiosas y que contribuyan a la solución de los grandes desafíos colectivos expresados en la Agenda 2030” (Schot et al., 2018, p. 1).

Si a todo lo anterior se le agrega una comprensión sobre las diferentes áreas de oportunidad en las que los biomateriales de construcción pueden dar una respuesta a necesidades de la industria, como lo son las oportunidades técnicas, investigativas, sociales y del entorno, económicas, comerciales y ambientales, se genera una amplia y prometedora mirada al futuro, donde el biomaterial responde a una necesidad sectorial. Por lo que se puede enmarcar en un enfoque innovador, lo que facilita establecer y priorizar las fortalezas y oportunidades para todos los actores de la cadena de la construcción sostenible y si se quiere a todos los *stakeholders*, como se presenta en la tabla 5, para analizar integralmente de esta forma el potencial estratégico de los biomateriales de construcción, lo que facilita la concreción y puesta en marcha de hojas de ruta, agendas de investigación I+D+i, y, en general, los rumbos estratégicos y los escenarios apuesta que requiere la

industria, desde un enfoque global que incida en lo local y desde allí su aporte al desarrollo global.

Tabla 5. *Relacionamiento técnico de necesidades y estructuración del potencial estratégico como propuesta metodológica de innovación y áreas de oportunidad que fomenten la definición de escenarios apuesta del sector constructor y la industria regional a futuro*

Potencial estratégico tendencias de biomateriales de construccion - familia biocompuestos															
Caracterización técnica				Análisis de potencial estratégico											
Familias	Definición técnica	Biomaterial de construccion	Descripción técnica	Necesidades en la industria de la construcción	Tipo de innovación				Áreas de oportunidades						Cita bibliográfica
					EyM	Ad	M	An	T	I	S	E	C	A	
Biocompuestos	Conjunto de biomateriales que proporcionalmente contienen en su composición físico-química la integración de dos o más materiales de origen biológico, que buscan potenciar sus características y atributos de sostenibilidad aplicables a la construcción.	Filamentos de bioplástico	Para fachadas que mejoran el comportamiento mecánico de los elementos mediante microrrellenos de tamarindo y semillas de dátil.	Aumentar la utilización de materiales orgánicos y de desechos para disminuir el impacto ambiental. Mejorar las condiciones de salud en las edificaciones.				0							(Nagarjun et al., 2021).
		Fibras de hojas de plátano	Como aislante en muros que junto al poliestireno generan un biocompuesto con alto rendimiento físico y térmico.	Reducción de la energía operativa de las edificaciones. Mejorar respuestas técnicas sostenibles de bajo costo. Disminuir el impacto ambiental de las construcciones.	0										(Mohamed et al., 2021)
		Hoja de soya, yute y polímeros	Que permiten la materialización de cielos rasos biodegradables, evitando el uso del plástico.	Propender en la identificación de sustitutos del plástico en la industria de la construcción. Aumentar la utilización de materias primas orgánicas para la creación de biomateriales biodegradables.	0										(Behera et al., 2022)
Áreas de oportunidad		T= Tecnológica	E= Económica		Área de oportunidad principal										
		I= Investigativa	C= Comercial		Área de oportunidad secundaria										
		S= Social	A= Ambiental		Área de oportunidad terciaria										

Fuente: elaboración de los autores.

Conclusiones

Los biomateriales de construcción se presentan como alternativa real a la difícil condición de deterioro del planeta, en directa relación con la industria de la construcción como una de las que ejerce una fuerte presión contaminante día a día. Sin embargo, ante la vastedad de la información y los múltiples enfoques que esta tendencia puede tomar, se hace necesario utilizar y apoyarse en disciplinas que propendan por entender su evolución a futuro en coherencia con los avances tecnológicos que se están propiciando en diferentes latitudes del mundo.

La prospectiva entendida como disciplina proporciona una mirada clara y prometedora que permite acercarnos desde el presente a la construcción de escenarios futuros deseables, factibles y escenarios apuesta, en donde con la implementación de metodologías y herramientas específicas como la construcción de ecuaciones investigativas, la vigilancia tecnológica VT y los mapeos tendenciales, se pueden vislumbrar oportunidades para construir esos escenarios ideales desde el presente. Esto propicia la transformación de datos en información y en conocimiento que facilite la toma de decisiones a los actores decisorios a partir de la identificación de tendencias pesadas, emergentes o hechos portadores de futuro, que visualizan las condiciones para la definición de rumbos estratégicos que orienten los esfuerzos de los diferentes actores de la cadena productiva de la construcción sostenible enfocada y aplicada según las características de cada región, subregión y territorios puntuales, como es el caso de centro y sur América.

Las tendencias mundiales permitieron establecer que hay un marcado interés por las investigaciones innovadoras en biomateriales de construcción, donde cerca del 75 % de los hallazgos se enmarcan como líneas emergentes o hechos portadores de futuro, lo cual valida este interés en los últimos 4 a 5 años. Así mismo, es posible organizar estos hallazgos con base en la composición química y su comportamiento físico-mecánico, logrando agruparlos en 8 familias de posibles biomateriales, denominadas por su origen como familia de metales, cementicios, polímeros, maderas, fibras, orgánicos, tierras y biocompuestos.

En directa relación los análisis sobre las 8 familias de biomateriales identificadas permitieron comprender cómo en los países más desarrollados (China, Estados Unidos, algunos países de Europa) hay interés por la generación de desarrollos tecnológicos innovadores derivados de los cementicios, metales y polímeros, en concordancia con su potencial estratégico, sus avances y liderazgo tecnológico mundial. En contraste con la región latinoamericana donde se evidencia un interés marcado en familias que requieren posiblemente menor tecnificación para su desarrollo innovador, como las concernientes a fibras, biocompuestos, tierras e incluso madera. Estas familias tienen alto rendimiento biotécnico, lo que pone de presente que los biomateriales pueden, sin importar necesariamente el desarrollo tecnológico de los países y de las regiones, generar avances coherentes a las posibilidades de cada zona del planeta y al potencial estratégico con el que cuenta cada nación. Lo anterior garantiza a futuro la concreción de unos escenarios apuesta, donde el desarrollo innovador y sostenible sea una constante y facilite avances significativos en el diseño y la construcción para el beneficio de la materialización de nuestros posibles escenarios sociales más vulnerables, de nuestra arquitectura, respondiendo desde el presente a los desafíos por venir.

En Latinoamérica el potencial estratégico permite visualizar áreas de oportunidad altamente prometedoras a corto y mediano plazo en las familias de biomateriales orgánicos, biocompuestos y de las tierras, lo que genera en la actualidad reflexiones y un cambio necesario en la forma de construir sosteniblemente nuestros entornos, nuestros hábitats y nuestras ciudades, desde una mirada a futuro soportada sobre hechos tecnológicos sostenibles que permitan generar mayor identidad arquitectónica. Especialmente que acerque una gran multiplicidad de técnicas a las diferentes sociedades, seguramente las menos desarrolladas y más vulnerables, lo que ratifica el potencial técnico, social, económico, comercial, ambiental e investigativo para nuestra región, lo que impacta incluso en las formas de gobernanza y generación de políticas públicas modernas que nos permitan un posicionamiento inter, multi y transdisciplinar en el mundo.

El potencial estratégico que demuestran para Centro y Suramérica el desarrollo tecnológico de las familias de las fibras, los biocompuestos y las tierras dentro del análisis técnico de los biomateriales de construcción, abre

un sinnúmero de oportunidades para repensar la participación de cada uno de los actores que operan como eslabones de la cadena de la construcción, para entender desde quienes intervienen en la concepción de nuestros hábitats en todos los aspectos: diseño, construcción, confort bioclimático, estructura de costos y de calidades habitacionales, entre otros, hasta la gestión misma que permita la concreción real, para impactar positivamente a las comunidades, desde la innovación sostenible aplicada como propuesta de valor pertinente a las posibilidades de cada sociedad y entorno, lo que hace viable las respuestas de mirada local con impacto global, asimilándola como una visión o la construcción de escenarios futuro apuesta, que con un enfoque prospectivo posibilite una materialización *crade to crade*, más acorde con los desafíos socioeconómicos y ambientales por los que atraviesa el mundo, donde este pensamiento glocal sea el articulador a las respuestas inter, multi y transdisciplinarias que se requieren pensar, diseñar e implementar en pro de anticiparse estratégica y sosteniblemente a problemáticas regionales de la construcción y su industria, lo cual será objeto de una segunda parte de esta mirada innovadora, sostenible y prospectiva.

Referencias

- Behera, A. K., Sen, R. y Adhikari, B. (2022). Environment-friendly Fully Biodegradable Jute-Poly (vinyl Alcohol) Modified Soy Composite Development as Plastic Substitute. *Journal of Natural Fibers*, 19(3), 905-914.
- Bellart Crevillen, M. y Mesa Marcos, S. (2009). *Impacto ambiental y ciclo de vida de los materiales de construcción* [Tesis de grado Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona]. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Borsani, M. S. (2011). *Materiales ecológicos: estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles* [Tesis de maestría Arquitectura y Sostenibilidad: Herramientas de Diseño y Técnicas de Control Ambiental]. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Bose, A., Ray, S., Singh, V. K., Banerjee, A., Nayak, C., Singha, A., Bhattacharyya, D., Chakrabarti, A., Das, S. y Dasgupta, A. K. (2020). Differential graphene functions on two photosynthetic microbes. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 11(1), 015004.
- Cabrera Mata, F. (2010). La selección sostenible de los materiales de construcción. *Tecnología y desarrollo*, 8.

- Chan, C. M., Vandi, L. J., Pratt, S., Halley, P., Richardson, D., Werker, A. y Laycock, B. (2018). Composites of wood and biodegradable thermoplastics: A review. *Polymer reviews*, 58(3), 444-494.
- Cuitiño-Rosales, M. G., Rotondaro, R. y Esteves, A. (2020). Comparative analysis of thermal aspects and mechanical resistance of building materials and elements with earth. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1), 138-151.
- Culver, J. N., Brown, A. D., Zang, F., Gnerlich, M., Gerasopoulos, K. y Ghodssi, R. (2015). Plant virus directed fabrication of nanoscale materials and devices. *Virology*, 479, 200-212.
- García Sánchez, V. (2020). *Aplicaciones de nanoestructuras de carbono y grafeno en arquitectura. Simulación de un modelo teórico* [Tesis de grado Escuela Técnica Superior de Arquitectura]. Universidad de Valladolid.
- González, O. M., García, A., Guachambala, M. y Navas, J. F. (2021). Innovative sandwich-like composite biopanel - towards a new building biomaterials concept for structural applications in nonconventional building systems. *Wood Material Science and Engineering*, 16(2), 132-148.
- Hart, A. (2020). Mini-revisión de las aplicaciones de los materiales derivados de la cáscara de desecho. *Gestión e investigación de residuos*, 38(5), 514-527.
- Hidalgo-Cordero, J. F., García-Ortuño, T. y García-Navarro, J. (2020). Comparison of binderless boards produced with different tissues of totora (*Schoenoplectus californicus* (CA Mey) Soják) stems. *Journal of Building Engineering*, 27, 100961.
- Hines, A. y Bishop, P.J. (Eds.). (2015). *Thinking about the future: Guidelines for strategic foresight*. Washington. Social Technologies.
- James, J. y Pandian, P. K. (2017). A short review on the valorisation of sugarcane bagasse ash in the manufacture of stabilized/sintered earth blocks and tiles. *Advances in materials science and engineering*, 2017(1).
- Malathy, R., Chung, I. M. y Prabakaran, M. (2020). Characteristics of fly ash based concrete prepared with bio admixtures as internal curing agents. *Construction and Building Materials*, 262, 120596.
- Malik, S., Hagopian, J., Mohite, S., Lintong, C., Stoffels, L., Giannakopoulos, S., Beckett, R., Leung, C., Ruiz, J., Cruz, M. y Parker, B. (2019). Robotic Extrusion of Algae-Laden Hydrogels for Large-Scale Applications. *Global challenges*, 4(1), 1900064.
- Marin, E., Boschetto, F. y Pezzotti, G. (2020). Biomaterials and biocompatibility: An historical overview. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 108(8), 1617-1633.
- Medina Vásquez, J. y Rincón, G. (2006). *La prospectiva tecnológica e industrial: contexto, fundamentos y aplicaciones*. Colciencias-CAF.
- Mohamed, G. R., Mahmoud, R. K., Fahim, I. S., Shaban, M., Abd El-Salam, H. M. y Mahmoud, H. M. (2021). Bio-composite Thermal Insulation Materials Based on Banana Leaves Fibers and Polystyrene: Physical and Thermal Performance. *Journal of Natural Fibers*, 1-16.
- Muñoz Durán, J., Marín Martínez, M. y Vallejo Triano, J. (2006). La vigilancia tecnológica en la gestión de proyectos de I+ D+ i: recursos y herramientas. *El profesional de la información*, 15(5), 411-419.

- Nagarjun, J., Kanchana, J., RajeshKumar, G., Manimaran, S. y Krishnaprakash, M. (2021). Enhancement of Mechanical Behavior of PLA Matrix Using Tamarind and Date Seed Micro Fillers. *Journal of Natural Fibers*, 1-13.
- Oppenheimer, A. (2014). ¡Crear o morir! La esperanza de Latinoamerica y las cinco claves de la innovacion. Vintage español.
- Orjuela, M. A. (2017). Mapeo y análisis de competitividad de la cadena de valor del sector de construcción sostenible colombiano. *Swisscontac Colombia*, 13(3), 1576-1580.
- Pereira-Martínez, R. I., Muñoz-Paredes, J. F. y Peluffo-Ordoñez, D. H. (2017). Empleo del estropajo común (*Luffa cylindrica*) en la remoción de contaminantes. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 205-215.
- Popper, R., Velasco, G. y Popper, M. (2017). *CASI-F: Common Framework for the Assessment and Management of Sustainable Innovation*, CASI project report. Deliverable 6.2. <https://www.futuresdiamond.com/casi2020/casi-f/>
- Porter, M. E. (1990). *Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior*. Grupo Editorial Patria.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C. y Ormazabal-Goenaga, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (15), 85-95.
- Saiz, V. I. A. y Castañedo, M. F. (2016). El Enfoque de cadenas productivas y la planificación estratégica como herramientas para el desarrollo sostenible en Cuba. *RIPS: Revista de Investigaciones Políticas y Sociológicas*, 15(2).
- Sandak, A., Sandak, J., Brzezicki, M. y Kutnar, A. (2019). Biomaterials for building skins. Em *Bio-based Building Skin* (pp. 27-64). Springer Open.
- Santhi, K. A., Srinivas, C. y Kumar, R. A. (2021). Experimental investigation of mechanical properties of Jute-Ramie fibres reinforced with epoxy hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*, 39, 1309-1315.
- Schot, J., Bonni, S., Ramírez, M. y Steward, F. (2018). *New Thinking on the SDGs through a Transformative Innovation Policy Lens. Addressing SDGs Through Transformative Innovation Policy*. Transformative Innovation Policy Consortium (TIPC).
- Shakouri, S., Bayer, Ö. y Erdoğan, S. T. (2020). Development of silica fume-based geopolymer foams. *Construction and Building Materials*, 260, 120442.
- Srivar, S., Pásztor, Z., Le Duong, H. A., Lim, H., Jantawee, S. y Tomad, J. (2021). Physical, mechanical and thermal properties of cross laminated timber made with coconut wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(6), 1519-1529.
- Susunaga Monroy, J. M. (2014). Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario [Tesis de grado Universidad Católica de Colombia]. Repositorio UCatolica.
- Tajabadipour, M. y Marandi, M. (2017). Effect of rubber tire chips-sand mixtures on performance of geosynthetic reinforced earth walls. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61(2), 322-334.
- Valdiviezo, A. C. (2010). Materiales bioclimáticos. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 12(1), 100-110.

- Vásquez, J. M. (2023). *Prospectiva para un mundo interdependiente*. Academia Colombiana de Ciencias Económicas.
- Wang, J., Van Tittelboom, K., De Belie, N. y Verstraete, W. (2012). Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete. *Construction & Building Materials*, 26(1), 532-540.
- Zhang, J., Wang, J., Wen, S., Li, S., Chen, Y., Wang, J., Wang, Y., Wang, C., Yu, X. y Mao, Y. (2021). Waterborne Polyurea Coatings Filled with Sulfonated Graphene Improved Anti-Corrosion Performance. *Coatings*, 11(2), 251.
- Zhang, Z., Demir, K. G. y Gu, G. X. (2019). Developments in 4D-printing: a review on current smart materials, technologies, and applications. *International Journal of Smart and Nano Materials*, 10(3).