

# Biodiseño de Materiales de Construcción Sostenibles

## Resumen

### Diego Jesus Aranda

Ingeniero Civil PMI-ACP, PMP especializado en Gerencia de Proyectos con mas de 12 años de experiencia en desarrollo y ejecución de proyectos en la industria Minera, Energía y Construcción. Con amplio dominio en el desarrollo de proyectos EPC, EPCM en Proyectos de Gran Minería y Energía: En las áreas de Gestión de Proyectos, Geotecnia, Hidráulica, Estructuras y Procesos Constructivos.

<https://orcid.org/0000-0002-3333-5435>  
[rjesusa@unasam.edu.pe](mailto:rjesusa@unasam.edu.pe)

Las incidencias negativas que generan las construcciones en el entorno natural han obligado a que el sector constructivo adopte nuevas prácticas sustentables para hacer frente dicha problemática. De ahí surge la necesidad de buscar alternativas de biodiseño de materiales claves para cambiar las prácticas convencionales por unas más sustentables. Bajo ese sentido, la relevancia de este estudio recae en el objetivo primordial de analizar los casos de biodiseños de materiales para la construcción como estrategia de sustentabilidad; para lo cual, se abordó un estudio cualitativo y de alcance exploratorio, en el que se examinó una serie de casos de biodiseños por medio de un análisis documental en el contexto internacional y nacional. Los resultados evidenciaron una serie de biodiseños provenientes de fuentes renovables que resultan ser viables y muy efectivos para la construcción, pues ofrecen no solo propiedades físicas y mecánicas adecuadas, sino medios cruciales para hacer frente a la contaminación de la industria de ladrillos, mitigar los daños hacia el ambiente, minimizar la generación de residuos y promover el reciclaje de plásticos. En conclusión, el análisis de biodiseños para construcción reveló hallazgos importantes a nivel internacional y nacional. A nivel global, se encontraron opciones prometedoras con un enfoque amplio en temas específicos. A nivel nacional, aunque hay escasez de investigaciones, se identificaron avances significativos. Se recomienda enfocarse en desarrollar nuevos materiales sostenibles y realizar estudios a largo plazo para evaluar su impacto ambiental.

**Palabras clave:** Biodiseño, Sustentabilidad, Construcción, Materiales.

**Cómo citar este artículo:** Jesus Aranda, D. (2024). Biodiseño de Materiales de Construcción Sostenibles. *Aporte Santiaguino*, 17(2), Pág. 273–291. <https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n2.1183>

**Recibido:** 2024-09-20 | **Aceptado:** 2024-11-20



## Biodesign of Sustainable Construction Materials

The negative incidents generated by constructions in the natural environment have forced the construction sector to adopt new sustainable practices to address this problem, hence the need to look for biodesign alternatives for key materials to change conventional practices for more sustainable ones. In this sense, the relevance of this study lies in the primary objective of analyzing the cases of biodesign of materials for construction as a sustainability strategy; For this purpose, a qualitative and exploratory study was undertaken, in which a series of biodesign cases were examined through a documentary analysis in the international and national context. The results found evidenced a series of biodesigns from renewable sources that turned out to be viable and very effective for construction, by offering not only adequate physical and mechanical properties, but also crucial means to address pollution from the brick industry, mitigate damage to the environment, minimize waste generation and promote plastic recycling. In conclusion, the analysis of biodesigns for construction revealed important findings at the international and national level. At a global level, promising options were found with a broad focus on specific topics. At the national level, although there is a lack of research, significant advances were identified. It is recommended to focus on developing new sustainable materials and carry out long-term studies to evaluate their environmental impact.

*Palabras clave:* Biodiseño, Sustentabilidad, Construcción, Materiales

### Introducción

Actualmente, el mundo está enfrentando una necesidad urgente de cambiar las prácticas convencionales de construcción por unas más sustentables, dado que la industria constructora ha estado empleando el uso masivo de recursos y generando emisiones de carbono,

por lo que resulta fundamental el desarrollo de un camino hacia la sustentabilidad (Goidea et al. 2022). Aunado a ello, las construcciones están hechas para durar mucho tiempo; sin embargo, tienden a impactar en varias escalas del contexto urbano, como del entorno natural, ya que las áreas urbanas son responsables de hasta el 70% de emisiones de carbono a nivel mundial, situación que se agrava con el paso del tiempo. Asimismo, estudios recientes han afirmado que se espera que, para el año 2030 la población mundial habite en ciudades hasta en un 60% (Yuan et al., 2021). En consecuencia, la preocupación del impacto ambiental de las edificaciones derivada de la producción de materiales de construcción y la generación de residuos, lo convierten en el mayor sector consumidor de energía y emisor de gases de efecto invernadero. Dicho aspecto se refleja en que la mayoría de los materiales constructivos modernos suelen producirse por medio de procesos que dependen en gran medida de recursos no renovables que generan una gran cantidad de desechos, lo que conlleva a la creación de entornos insalubres (Pearlmutter et al., 2020). Es así como las construcciones se han transformado en un grave problema a nivel ambiental producto de su alta exigencia de recursos naturales como de una producción sumamente masiva de desechos de gran volumen, que ameritan de un manejo especial para su transformación e incluso transporte donde, aproximadamente la mitad de los materiales extraídos de la tierra se destinan a la construcción, lo que resulta en una gran cantidad de residuos que constituyen aproximadamente el 50% de todos los desechos humanos. Esta situación no solo afecta al medio ambiente y al ecosistema, sino también a la salud de las personas (Hernández-Zamora et al, 2021).

Por su parte, la investigación se justifica ante la necesidad de buscar alternativas de solución para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero emitidos por las construcciones, así como la contaminación ambiental y el consumo de recursos asociados a ellas; todo ello, con la finalidad de que exista un crecimiento biológico en la fabricación de nuevas clases de materiales

y sean claves para reemplazar la extracción de minerales y la producción centralizada bajo el uso intensivo de energía, que direccionen a nuevos desafíos en el rubro de la construcción. Teniendo como precedente lo mencionado anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Qué características poseen los biodiseños de materiales para la construcción empleados como estrategias de sustentabilidad? En ese sentido, resulta imperativo la necesidad de cambiar las prácticas convencionales de construcción por enfoques más sustentables; siendo que, la industria de la construcción es responsable del uso masivo de recursos y emisiones de carbono, donde debe adaptarse hacia la sustentabilidad, especialmente ante el crecimiento continuo de las áreas urbanas y el impacto ambiental. La investigación se sustenta en el desarrollo de materiales sostenibles, como los materiales de construcción vivos (LBM) que incorporan cianobacterias capaces de producir biocemento. Estas innovaciones ofrecen nuevas alternativas para mejorar la eficiencia y la ecosostenibilidad en la construcción, contribuyendo así a un desarrollo urbano más equitativo y respetuoso con el medio ambiente. Por ende, el objetivo principal de este estudio es analizar los casos de biodiseños de materiales para la construcción como estrategia de sustentabilidad.

Frente a ello, una serie de aproximaciones teóricas han ahondado que el biodiseño representa una oportunidad para el desarrollo de materiales de construcción con bases biológicas que influyen en la ciencia de los materiales, tales como ladrillos de algas marinas que son capaces de eliminar carbono atmosférico a través de la fotosíntesis de las algas; por tanto, al ser un producto duradero idóneo para retener carbono se constituye como una alternativa biomaterial de construcción que no consume mucha energía y mitiga el cambio climático (Scardifield, 2023). Inclusive, la búsqueda de la sostenibilidad en la fabricación de materiales con organismos vivos como bacterias, hongos y algas se han convertido en un factor crucial para abordar los problemas ambientales. Ante ello surgen respuestas como el diseño de un biocemento formado mediante la precipitación de calcita inducida microbianamente

(MICP) que da como resultado un potencial material sustentable, cuya resistencia a la compresión es del 40% en comparación al hormigón convencional; además, en términos de permeabilidad al agua, compatibilidad con otros materiales y acabados tiende a ser muy eficiente (Lee et al., 2018). Aunado a ello, el desarrollo de materiales de autorreparación biomejorados brindan la oportunidad de mejorar las construcciones, su rendimiento y reducir la frecuencia de aquellos costosos programas de mantenimiento, uno de ellos es la inserción de microbianos de carbono por medio de bacterias encapsuladas y estratificadas en cal que facilita la captura del carbono atmosférico, lo que conlleva a una reducción de regímenes de mantenimiento generadores de carbono; debido a ello, dicha innovación se traduce no solo como una oportunidad de autocuración que ofrece una amplia mejora del rendimiento de materiales sostenibles, sino que compete a una proyección rápida de solución a los problemas de materiales en el futuro (Booth & Jankovic, 2022).

De la misma manera, la fabricación convencional del concreto demanda una gran cantidad de energía, lo que constituye aproximadamente del 5% al 8% de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> a nivel mundial. El biocemento, un material de construcción en uso industrial, presenta la posibilidad de competir con el concreto tradicional como una alternativa más viable y respetuosa con el medio ambiente (Carter et al., 2023). Bajo esa misma perspectiva, los materiales de construcción vivos (LBM) están generando un creciente interés en el ámbito de los materiales de construcción alternativos sostenibles, con el objetivo de reducir el impacto significativo que la industria de la construcción tiene en las emisiones globales de CO<sub>2</sub>; a raíz de ello, numerosos estudios se han enfocado en investigar el proceso de bioimpresión tridimensional para desarrollar LBM, los cuales integran la cianobacteria *Synechococcus* sp. cepa 7002. Esta cepa tiene la capacidad de generar carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), utilizado como biocemento (Reinhardt et al., 2023). Debido a ello, se han propuesto diversas estrategias para reducir estas emisiones, como la captura de CO<sub>2</sub> en

fuentes puntuales, el uso de combustibles renovables, la exploración de cementos alternativos y la incorporación de materiales cementantes complementarios, las tecnologías emergentes de biocemento, basadas en la biomineralización microbiana, tienen el potencial de revolucionar la industria de manera significativa (Beatty et al., 2022).

## Materiales y métodos

El tipo de estudio es básico, de alcance exploratorio y diseño no experimental. Dado que el tipo básico se enfoca en dar cimientos para investigaciones de tipo aplicada con el fin de ser aplicados a estos estudios (Ñaupas et al., 2018). De igual forma, el nivel exploratorio tiene el fin de examinar un problema de investigación poco estudiado para obtener información y llevar a cabo un estudio más completo y profundo; asimismo el diseño no experimental, no hay manipulación de variables, solo se observa los fenómenos en su contexto para analizarlos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

La población es el conjunto de unidades y elementos de un estudio, y la muestra es un subgrupo de esta población (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Dicho ello, este estudio tiene como muestra examinar una serie de casos de biodiseño de materiales en el sector de la construcción para comprender mejor su contribución a la sostenibilidad en esta industria. Asimismo, se presenta un análisis documental, cuya técnica de recolección es la revisión sistemática mediante el análisis de diversos contenidos referentes al objetivo del estudio.

El procedimiento parte de la revisión de los diferentes artículos. Se realizó un proceso de búsqueda de manera exhaustiva de literatura científica diversa y se optó el Protocolo Prisma, puesto que está diseñado para realizar revisiones; es así que se documentó de manera transparente usando metodología explícita para identificar, seleccionar y valorar críticamente la investigación con la finalidad de poder servir de referencia a diferentes investigaciones (Page et al., 2021). Todo ello,

con el fin de recopilar, revisar y analizar información y características relacionadas con casos de materiales de biodiseño en el ámbito de la construcción, tanto a nivel nacional como internacional, para finalmente constatar dicha información mediante la discusión entre los estudios a nivel peruano e internacional, y lograr identificar las diferencias significativas entre los materiales de biodiseño y lograr concluir qué materiales son utilizados en la construcción y proporcionar una comprensión más amplia de estos. Esto podría fomentar su uso y aplicación en otros estudios que busquen implementarlos.

La búsqueda de artículos sobre biodiseño de materiales sostenibles y la construcción se realizó mediante la creación de una ecuación de búsqueda aplicada a las bases de datos existentes, considerando artículos científicos desarrollados en los últimos 7 años, publicados en español, inglés y portugués. Las bases de datos fueron; Scielo, PubMed, MDPI, Springer Link, IWA Publishing, NSF-PAR, Latindex, Dialnet, Semantic Scholar, ScienceDirect, Elsevier, Scopus, Alicia y IOPScience, tal como se muestra en la Tabla 1.

La presente recopilación se realizó a través de estrategias a partir de procesos de búsqueda de la literatura. Se hizo una exhaustiva revisión en las bases de datos mencionadas en el acápite anterior, empleando las palabras clave: “biodiseño” “materiales”, “biodesign” “materials”, “biodesign” “materials” “sustainable”, “biodesign of materials” y “biodiseño” “materiales” “construcción”. Además, se utilizaron los operadores booleanos AND y OR para agilizar el proceso de búsqueda y disminuir la cantidad de artículos que emergen sin el uso de operadores de búsqueda. Se usaron las palabras “biodesign of materials” AND “sustainable”. Se realizó filtros tomando en cuenta los 7 años de vigencia, revistas indexadas, documentos completos, idioma para la obtención de resultados de artículos más selectivos y centrados en la temática.

**Tabla 1***Crterios de búsqueda*

N°	Base de datos	Ecuación de búsqueda	Año						
			2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Scielo	“Biodiseño” “materiales”				1			
2	IOPscience	“biodesign” “materials”						1	
3	Springer Link	“biodesign” “materials” “sustainable”				1		1	1
4	MDPI	“biodesign of materials” AND “sustainable”	1		1	1	2		
5	PubMed	“biodesign of materials”					2	2	
6	I W A Publishing	“biodesign of materials”		1					
7	NSF-PAR	“biodesign of materials”					1		
8	Latindex	“biodiseño” “materiales” “construcción”					1		
9	Dialnet	“biodiseño” “materiales”						1	
10	S e m a n t i c Scholar	“biodesign of materials”	1					1	
11	Elsevier	“biodesign of materials” AND “sustainable”	1					1	
12	Sciendirect	“biodesign of materials” AND “sustainable”			1	2	1		1
13	OUCI	“biodesign of materials”		1					
14	Scopus	“biodesign of materials” AND “sustainable”					1		
15	Alicia	“materiales” “sostenibilidad”			1				
Total			3	2	3	5	8	7	2

[Biodiseño de Materiales de Construcción Sostenibles]

*Nota.* Detalle de las bases de datos consultadas y ecuaciones de búsqueda.

En total fueron tomados en cuenta 30 artículos que fueron extraídos de las bases de datos antes mencionadas. Por otro lado, para el proceso y criterios de selección de artículos, se tomaron en cuenta 16 artículos, que fueron tomados en cuenta para realizar la discusión a nivel nacional e internacional.

La lista de artículos seleccionados y datos principales permiten evidenciar el análisis de los 16 artículos seleccionados. La Tabla 2 se ha elaborado en base a la información encontrada. Está estructurada según autor, año, revista, título, país y aporte.

**Tabla 2**

*Artículos incluidos en la revisión*

Nº	Autores	Tipo de biomaterial	Año	Revista	Aporte	Limitaciones	País
1	X. Xiong, L. Wang, I. K. M. Yu, and D. C. W. Tsang	Biomasa	2020	ScienceDirect	Los materiales de construcción derivados de carbohidratos, como la fibra, el biocarbón y las huminas, muestran promesa debido a su porosidad, resistencia mecánica y estabilidad térmica para el aprovechamiento de residuos.	La absorción de gases de efecto invernadero en las paredes recubiertas de biocarbón puede presentar limitaciones a largo plazo debido a que la saturación ocurre rápidamente y reemplazar los revestimientos de las paredes con regularidad para mantener una captura efectiva puede resultar económicamente inviable.	China
2	L. W. Kamionka	Materiales no convencionales	2023	Elsevier	Ladrillos eco-amigables se usan en viviendas unifamiliares para promover sostenibilidad ambiental, con estándares como LEED y BREEAM.	Pese a que los materiales amigables contribuyen con la reducción de la huella de carbono y con nuevas posibilidades creativas para los arquitectos, aún persiste la necesidad de unos análisis más detallados de tales materiales no convencionales a favor de la mejora de las condiciones sostenibles y arquitectónicas.	Polonia

[Diego Jesus Aranda]

3	PS Narendhran, S Parthasarathy, S Vignesh, A Mouliyarasu, S Prashanth, A Jayaraman and M Vasudevan	Suelo rojo	2023	IOPScience	Los ladrillos de suelo rojo modificado con cemento y cal al 15% ofrecen alta resistencia y son una opción sostenible para la construcción de viviendas.	La disponibilidad y uniformidad de los aglutinantes empleados, como la cal, el cemento y las cenizas volantes, pueden ser variables según la región o país. Esta diversidad podría dificultar la disponibilidad de estos materiales o conducir a fluctuaciones en su calidad y composición, lo que a su vez podría comprometer la capacidad de replicar los resultados en diversos entornos.	India
4	C. Alvarez y A. Orado	Ceniza de cáscara de arroz como material puzolánico en el concreto	2023	Semantic Scholar	La sustitución parcial del cemento en concreto con un material alternativo (ceniza de cascara de arroz) mejora la sostenibilidad de la industria de la construcción al reducir su impacto ambiental.	La calidad y las características de la ceniza de cáscara de arroz pueden variar según su origen y proceso de producción. Esta variabilidad podría influir en los resultados del estudio y limitar su generalización a otras ubicaciones o condiciones de producción de la ceniza de cáscara de arroz	Perú

5	Scrivener KL, John VM, Gartner EM	Cementos ecoeficientes	2018	Elsevier	Los cementos ecológicos de bajo CO2 de UNEP-SBCI serán clave en el mercado, liderados por el clínker de cemento Portland	Las propiedades de reacción de los Materiales Cementantes Suplementarios (SCM), como la escoria granulada de alto horno y las puzolanas (cenizas volantes y arcillas calcinadas), pueden variar, lo que influye en su capacidad para endurecerse en comparación con el clínker en la fabricación de cemento. Además, se requiere reducir al mínimo la cantidad total de clínker necesario para mitigar el impacto ambiental, lo que podría restringir la utilización de los SCM en ciertos contextos.	Brasil
6	D. Fouad, M. Farag, D. Fouad, and M. Farag	Almidón	2019	OUCI	Las fibras de almidón son completamente biodegradables, provenientes de recursos renovables y económicamente viables para la construcción	A medida que se aumenta el contenido de fibra a la materialidad más allá de ciertos porcentajes como del 80%, tiende a verse que las propiedades se deterioran en lugar de mejorar.	Egipto
7	G. Fahim, A. Rahman, H. Amer, and R. Alyousef	Hormigón sustentable incorporado con microorganismos efectivos y cenizas vo-lantes	2021	ScienceDirect	Hormigones modificados con microorganismos y cenizas volantes aumentan resistencia y reducen emisiones de CO2.	Una desventaja del hormigón que contiene microorganismos es su retraso que muestra en el desarrollo de la fuerza en la etapa inicial.	Malasia

8	Y. Hu, W. Liu, Q. Zhang, X. Hu, and X. Hu	Cemento preparado con microorganismos microencapsulados	2022	Pubmed	El mortero con microorganismos microencapsulados es una solución sostenible para reparar grietas en construcciones, mostrando una mayor estabilidad térmica con pH=8 y tamaño de partícula de 100 µm.	Aún queda necesario la realización de más pruebas con el fin de conocer la influencia de la cantidad de microcápsulas autorreparables sobre el tiempo de fraguado del mortero de cemento para ver si se cumplen con los requisitos de construcción.	China
9	S. Niyasom and N. Tangboriboon	Hormigón verde	2021	ScienceDirect	El uso de fibras naturales como jacinto de agua, fibra de plátano y polvo de cáscara de huevo mejora las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, siendo una alternativa sostenible y eficaz.	Pese a que las muestras integradas con fibra de jacinto de agua y fibra de plátano tuvieron alta resistencia a la tracción, también evidenciaron niveles bajos de resistencia a la compresión.	Tailandia
10	M. Yadav and A. Saini	Hempcrete	2022	ScienceDirect	Hempcrete, mezcla de cáñamo, cal y agua, es una alternativa ecológica en construcción, eficiente en energía y reciclable, con propiedades ignífugas y capacidad para absorber CO2.	A pesar de sus numerosos beneficios, Hempcrete presenta restricciones en torno a su estructura porosa que disminuye su rendimiento mecánico y aumenta su capacidad de retener agua.	India

11	I. Răut et al	Biomaterial compuesto de redes de hifas de hongos cultivadas	2021	MDPI	Material biodegradable con fibras lignocelulósicas, polipropileno y esporas bacterianas, resistente y manipulable para construcción ecoamigable.	Se requiere de más investigaciones para mejorar la homogeneidad de la mezcla con el propósito de obtener un material más sólido con una amplia gama de rendimientos y funciones potenciales.	Rumania
12	Y. Yang	Retardantes ignifugo	2024	ScienceDirect	Nuevos materiales aislantes térmicos biológicos, como la celulosa de medula de maíz y el alginato con retardante de fuego bioeficiente, ofrecen mejoras significativas en la construcción sostenible.	A pesar de que los materiales de origen biológico presentan buenos resultados frente al fuego y otras propiedades, se evidencia pocos cambios en las propiedades mecánicas.	Corea del Sur
13	C. Maraveas	Residuos agrícolas	2020	MDPI	Residuos agrícolas como la ceniza de cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar y hoja de bambú se reconocen como alternativas prometedoras para materiales de construcción sostenibles, ofreciendo una opción viable a los materiales convencionales.	Las deficiencias de los materiales de construcción a base de residuos agrícolas recaen en su naturaleza liviana, pues solo se aplican a ciertos aspectos estructurales, especialmente en donde las cargas estructurales suelen ser las más bajas y también se debe de tener una gran experiencia para su fabricación.	Grecia

14	S. Lal	Ceniza de paja de trigo	2022	Scopus	Se sustituye parte de la arena con ceniza de paja de trigo y se añade fibra de polipropileno para mejorar las propiedades del concreto y aprovechar residuos agrícolas.	Se necesita de un mejor análisis del material para ser más eficiente en el diseño de estructuras y en la optimización operativa de la reducción de residuos.	India
15	A. Adamatzky, H. A. B. Wösten, and J. Dessi-Olive	Micomateriales	2022	MDPI	Los micomateriales transforman residuos orgánicos en productos útiles para construcción, reduciendo la dependencia de recursos naturales limitados y mitigando impactos ambientales.	El almacenamiento de estos materiales es un desafío, ya que tienen que mantenerse en aproximadamente 4 °C con el fin de evitar que los hongos crezcan demasiado rápido y consuman de forma completa el sustrato.	Estados Unidos
16	López L, Césare M, Gonzales H, Acevedo M, Cobeñas-Nizama P, Paucar S, Trillo Noelia	Vegetal (Bambú)	2020	Alicia	La producción de bambú en la Selva Central aumenta debido a la demanda de materiales de construcción sostenibles, ofreciendo soluciones económicas a las comunidades rurales.	El material del bambú suele ser visto desde la perspectiva de material secundario para la decoración de locales, vigas y hasta pórticos de establecimientos comerciales, debido a su poca capacidad de resistencia a alturas mayores de los dos pisos.	Perú

[Biodiseño de Materiales de Construcción Sostenibles]

*Nota:* La tabla contiene la totalidad de artículos seleccionados según los autores, título, año de publicación, nombre de la revista, el aporte a la investigación y el país donde se publicó.

## Contenido de la investigación

En la actualidad nos encaminamos a un futuro en el que las empresas constructoras y de manera general todas las organizaciones tendrán que adaptarse al entorno de la sostenibilidad acorde a la adopción de herramientas con modelos medioambientales y económicas capaces no solo de repotenciar la calidad de vida de las personas, sino de preservar los recursos que las futuras generaciones requerirán para cubrir sus necesidades (Franco & Cusme, 2022). Ante ello surge la teoría de la innovación que guarda relación con el sector constructivo, pues viene a ser entendida como la aplicación de nuevas tecnologías, procesos y materiales para el mejoramiento de la eficiencia como de la misma sostenibilidad en aquellos proyectos de construcción, debido a que últimamente este sector viene siendo abrumado por la planificación de recursos (Lujan, 2024). Es así que, la necesidad de la innovación en el campo de diseño y construcción ahonda en la introducción de mejoras significativas en las viviendas, materiales constructivos, procesos y servicios teniendo como noción lo indicado por Norman Foster, quien expone que “innovar no significa inventar cosas nuevas, sino combinarlas de forma revolucionaria”; en base a ello, surge el biodiseño como una estrategia de sostenibilidad para el uso de materiales sostenibles en las construcciones como un elemento diferenciador clave que puede llegar a atraer a un segmento de clientes potenciales muy interesantes (Carmona, 2024).

### *Biodiseño y estrategias de sustentabilidad*

#### **Biodiseño**

El biodiseño se define como aquella extensión del diseño bioinspirado, el cual va más allá de los alcances iniciales puesto que se incorporan componentes orgánicos que pueden ser vivos o que alguna vez lo fueron, su idea de analizar soluciones biológicas para el desarrollo de nuevos materiales comenzó en la década de 1920 en base a la Biónica y a medida que pasó el tiempo se fue expandiendo y aplicando en diferentes campos

(Alquezar Facca, 2023). Incluso, de acuerdo con Esat y Ahmed-Kristensen (2018), el biodiseño se tiende a clasificar en dos categorías fundamentales:

- Aplicaciones que involucran un organismo vivo: los cuales tienden a ser genéticamente modificados o no, tales como la incorporación de bacterias en el concreto.
- Aplicaciones que involucran biomasa no viva: las cuales son derivadas de un organismo vivo o cuya biomasa muerta fue alguna vez un organismo vivo, tales como la celulosa que es utilizada en la *Biocouture*.

#### **Estrategias de sustentabilidad**

Las estrategias de sustentabilidad implican una serie de acciones planificadas y sistemáticas destinadas a fomentar prácticas y procesos que equilibren los aspectos económicos, sociales y ambientales. Estas estrategias surgen como respuesta a los desafíos ambientales a largo plazo. Se destacan tres hitos importantes en este contexto: la Declaración de Brundtland a nivel mundial, la Conferencia de las Naciones Unidas en Río que condujo a la creación de la Agenda 21, y la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Agenda 2030 en 2015. Todas estas acciones tienen como objetivo común asegurar un futuro sustentable para el planeta (García, 2021).

### *Casos de biodiseño de materiales en el contexto internacional*

*Últimamente*, a nivel global, ha surgido la necesidad de adoptar nuevas prácticas sostenibles, pues a medida que crece la conciencia global sobre los desafíos ambientales los arquitectos, ingenieros y partes interesadas se orientan cada vez más en la búsqueda de prácticas constructivas respetuosas con el medio ambiente, de ahí nace el biodiseño de materiales que vienen a ser derivados de los recursos renovables surgiendo como una alternativa prometedora para revolucionar el sector de la construcción (Chen et al.,

2024). Por lo tanto, la promoción del uso de materiales constructivos renovables para la conservación de los recursos y el mejoramiento de la eficiencia energética viene a ser una característica esencial para neutralizar el carbono de la industria de construcción, a través de una nueva perspectiva constructiva a partir de sustancias orgánicas, subproductos agrícolas y hasta materiales de desecho. Es así que en las siguientes líneas se detallan diferentes casos del biodiseño de materiales que visibilizan su empleo para diferentes elementos estructurales.

**Almidón:** Para que un material sea completamente biodegradable, todos sus componentes deben ser biodegradables y deben provenir de recursos renovables. Las fibras de almidón cumplen ambas condiciones y su fabricación es económicamente rentable para su aplicación en la construcción (Fouad & Farag, 2019).

**Biomasa:** Los materiales de construcción potenciales derivados de carbohidratos, como la fibra, el biocarbón y las huminas, son considerados como candidatos prometedores. Sus características, tales como la porosidad, la resistencia mecánica y la estabilidad térmica, desempeñan un papel crucial en el proceso de aprovechamiento de residuos (Xiong et al., 2020).

**Materiales no convencionales:** Los ladrillos elaborados a partir arcilla, paja, cáñamo, conform (residuos orgánicos), hy-fl (ladrillos elaborados a partir de desechos agrícolas), mediante protocolos de evaluación como LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), BREEAM (Método de Evaluación Ambiental de Edificios de Investigación), entre otros similares son empleados en el diseño de proyectos de viviendas unifamiliares con un enfoque integral hacia la amigabilidad con el medio ambiente (Kamionka, 2022).

**Suelo rojo:** Los ladrillos fabricados a partir de suelo rojo nativo utilizando un método de adobe modificado emplean una combinación óptima de aglutinantes de bajo costo. La mezcla equimolar de cemento y cal al 15% ofrece una alta resistencia a la compresión de

6.43 N/mm<sup>2</sup>. Estos bloques elaborados representan una excelente alternativa sostenible para abordar la creciente demanda de viviendas (Narendhran et al. 2022).

#### **Hormigón sustentable incorporado con microorganismos efectivos y cenizas volantes:**

Corresponde a hormigones modificados que se preparan mediante la sustitución del cemento Portland ordinario (OPC) por el microorganismo eficaz (EM) y las cenizas volantes (FA) en una proporción óptima que tienden a revelar resultados eficaces, ya que las propiedades de tales mezclas de concreto mejoran significativamente producto de la incorporación del EM y FA con una resistencia a la compresión que se incrementa hasta en un 30%, lo que a su vez conlleva a una reducción de la emisión de dióxido de carbono, del consumo de energía y del mismo coste, por lo que se ha determinado que dicha materialidad llega a ser amigable con el medio ambiente al posibilitar una menor emisión de gases de efecto invernadero [25].

#### **Cemento preparado con microorganismos microencapsulados:**

El mortero con microorganismos microencapsulados surgen como una medida sostenible para reparar grietas en las construcciones, sus resultados muestran una adhesión de las microcápsulas a las superficies de las fracturas debido a su rugosidad que tienden a tener efectos beneficiosos, lo que ha determinado que las microcápsulas con un pH = 8 y un tamaño de partícula de 100 µm son las que presentan una mayor estabilidad térmica; a raíz de ello, se expone que dicha materialidad resulta ser una alternativa sostenible para el entorno constructivo (Hu et al., 2022).

**Hormigón verde:** Constituido por fibras de Jacinto de agua, fibra de plátano y polvo de cáscara de huevo como rellenos de biomateriales para el refuerzo del hormigón, los cuales se obtienen a partir de desechos agrícolas y de pos consumo, dando como resultado un mejoramiento de las propiedades físicas del concreto en torno a la absorción de agua y densidad; así como, a la mejora de las propiedades mecánicas respecto a la resistencia a la compresión, a la tracción, la flexión y carga máxima;

por tal motivo, el uso de materiales de refuerzo naturales suelen ofrecer numerosas ventajas que respetan al medio ambiente y representan una estrategia viable para la sostenibilidad constructiva (Niyasom & Tangboriboon, 2021).

**Hempcrete:** Corresponde a un material de construcción conformado por una mezcla entre el cáñamo, la cal y el agua, la cual viene a ser una alternativa respetuosa con el medio ambiente, ya que es capaz de reducir los residuos y disminuir el uso de recursos naturales como de la misma energía, en ella el cáñamo es un material constructivo que suele ser técnicamente eficiente al utilizar menos energía, ser reciclable y funcionar como un sumidero de CO<sub>2</sub>; además, Hempcrete es resistente al fuego, por lo que ofrece muchas oportunidades ambientales y de construcción (Yadav & Saini, 2022).

**Biomaterial compuesto de redes de hifas de hongos cultivadas:** Incluye lignocelulósicos y trips de polipropileno incrustados con esporas bacterianas, las cuales dan lugar a una estructura ligera, densa, inquebrantable y biodegradable que permite una fácil manipulación sin el riesgo de que ésta se desintegre, dicho material ofrece una serie de ventajas como seguridad, ser una estructura inerte, renovable, natural, verde y sobretodo biodegradable por la naturaleza al estar constituida por materiales biodegradables como la paja de trigo y el micelio de hongos, lo que la denomina como una alternativa ecológica para la producción de composites para el ámbito de la construcción en comparación con otros productos comerciales que son elaborados a partir de recursos no renovables (Räut et al., 2021).

**Cementos ecoeficientes:** Los cementos ecológicos y de bajas emisiones de CO<sub>2</sub> desarrollados por un equipo comprometido con la iniciativa de Construcción Sostenible y Clima del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP-SBCI) están destinados a desempeñar un papel crucial en el mercado. Se espera que los cementos elaborados a partir de clínker de cemento Portland lideren el mercado debido a su

importancia y demanda creciente (Scrivener et al., 2018).

**Retardantes ignifugo:** La fabricación de materiales aislantes térmicos de origen biológico utilizando celulosa de medula de maíz, alginato y retardante de fuego bioeficiente es un avance significativo en la industria de la construcción. Estos innovadores materiales, como los biocompuestos de PLA reforzados con fibras naturales y el efecto sinérgico de PA-THAM y OCC, muestran un gran potencial para la construcción sostenible al mejorar las propiedades térmicas clave necesarias para el aislamiento eficiente (Yang, 2019).

**Residuos agrícolas:** Se han reconocido una variedad de desechos agrícolas, como la ceniza de la cáscara de arroz (RHA), la ceniza del bagazo de caña de azúcar (SCBA) y la ceniza de hoja de bambú (BLA), como alternativas prometedoras para la creación de materiales de construcción sostenibles. Estos desechos tienen el potencial de sustituir a los materiales de construcción convencionales (Maraveas, 2020).

**Ceniza de paja de trigo:** Para preparar este concreto, se realiza una sustitución parcial de la arena con ceniza de paja de trigo y se añade fibra de polipropileno. La paja de trigo es el remanente que queda después de la cosecha del cultivo de trigo, y en muchos países se considera un residuo. La incorporación de fibras en el concreto es una técnica utilizada para mejorar sus propiedades estructurales (Lal, 2022).

**Micomateriales:** Estos micomateriales se emplean en el proceso de biodeselado de materiales sostenibles al hacer uso de la capacidad de los hongos para convertir residuos orgánicos en productos útiles y duraderos que pueden ser empleados en la construcción de unidades de edificación. La fabricación de estos materiales no solo tiene el potencial de disminuir la dependencia de los recursos naturales limitados, sino que también puede ayudar a reducir los impactos ambientales relacionados con la producción de materiales de construcción convencionales (Adamatzky et al., 2022).

## Casos de biodiseño de materiales en el contexto peruano

A continuación, se describen los principales casos de biosideño de materiales desarrollados en el ámbito peruano, las cuales no solo minimizan la generación de residuos, sino que corresponden a un inicio de estrategias de sustentabilidad en el sector de construcción del país para la mitigación del cambio climático global, entre ellas se tiene a:

**Ladrillo de concreto a base de cascarilla de arroz:** Desarrollado por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) para masificar el uso de la cascarilla de arroz molida e incinerada como un elemento esencial para la fabricación de materiales que permitan viviendas seguras (Figura 1), de bajo costo y más flexibles durante eventos sísmicos, ya que al ser un desecho agroindustrial es capaz de sustituir una parte del cemento y con ello lograr una reducción en el gasto de producción tanto para ladrillos, techos prefabricados, tejados, adoquines de suelos y hasta morteros (Vargas, s.f.).

### Figura 1

*Construcción de un modelo de vivienda por ladrillos de concreto a base de cascarilla de arroz*



**Ceniza de cáscara de arroz como material puzolánico en el concreto:** Es una opción viable que contribuye con la reducción del impacto ambiental en referencia a la producción del cemento, pues dicho material mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto en el aspecto de sustitución porcentual del cemento, lo que la convierte en un material alternativo

para la sostenibilidad de la industria de construcción [36].

### **Materiales de construcción a partir del bambú:**

La demanda de materia prima para construcción y la reducción de bosques impulsan la producción de bambú en la Selva Central. Sus condiciones climáticas y altitudinales, junto con la búsqueda de alternativas económicas y ambientales, han llevado a los productores a expandir el cultivo de bambú en la región. La especie *Dendrocalamus asper* es utilizado como material sostenible para las construcciones locales (postes, sobrepisos y vigas), y la *Gadua* (bambu leñoso) es usado para la construcción de pisos laminados. Estas alternativas han sido vitales para las comunidades rurales, ofreciendo soluciones climáticas y sostenibles. La demanda de cañas para construcción y decoración, como las especies *Guadua angustifolia* y *Phyllostachys aurea* tienen un mercado potencial, con la selva central como principal proveedor, abasteciendo principalmente a Lima por lo que se requieren políticas de desarrollo que combinen la explotación forestal con la conservación ambiental.

Por otro lado, en Perú no existen muchos materiales biodiseñados a partir de microorganismos, aunque sí existen investigadores peruanos que han desarrollado materiales constructivos ecológicos a raíz de reciclajes y polímeros, los cuales abren oportunidades tanto de reutilización de plásticos como de la exploración de nuevos productos sostenibles capaces de prevenir el desequilibrio ecológico:

**Ladrillos ecológicos a base de polímeros:** Se trata de Kontiki SAC, el cual corresponde a un tipo de ladrillo muy resistente a la humedad y al frío que surge para hacer frente a los altos niveles de contaminación producidos por la industria de ladrillos, su elaboración se da en un secado al frío y son hasta tres tipos de ladrillos: el macizo, el de dos alveolos y el tipo canaleta (Figura 2), su costo de producción es 20% más económico que los convencionales, mientras que su resistencia radica en los aditivos no tóxicos que permiten una estabilización

que eleva el poder y uso de las tierras de unos 3 a 27 veces su capacidad, ya que dichos polímeros cambian la polaridad del suelo convirtiendo la tierra inservible que se desecha durante las construcciones de carreteras en un material de valor, en base a ello se utilizó dicho material para la construcción de ladrillos que tienden a ser usualmente fabricados a base de tierra (Vergara, 2021).

### Figura 2

*Bloques de ladrillos ecológicos cuyo armado es tipo lego, la cual compete al ladrillo de dos alveolos*



**Ladrillos y piezas constructivas con plásticos reciclados del cultivo de banano orgánico:** Es un material desarrollado por investigadores de la Universidad de Piura (UDEP) en el que se utiliza el plástico residual de los cultivos de banano orgánico para la creación de ladrillos junto con otras piezas de construcción que permiten la edificación de estructuras arquitectónicas amigables con el ambiente (Figura 3). Tales polietilenos reciclados son una materia prima limpia y noble que tiende a ser un buen aislante, su proceso de transformación inicia en el acopio de residuos, luego pasa a la zona de granulado, continua con la fase de trituración y después se realiza su procesamiento con la máquina extrusora para la generación de piezas en moldes, finaliza con los procesos de enfriamiento de los bloques, su desmolde y su respectivo almacenaje, su diseño es similar a piezas de lego que facilitan un armado más rápido sin la necesidad de hacer uso del cemento u otro tipo de argamasa para su unión; además, no es necesario la realización de un

tarrajeo, pues al ser muy versátil posibilita el logro de edificaciones no convencionales que se mimetizan con la naturaleza (Zuta, s.f.).

### Figura 3

*Construcción de módulos a base de ladrillos con plásticos reciclados como una medida para atender la demanda de viviendas*



## Resultados

En la revisión sistemática se identificó un total de artículos según la búsqueda realizada. Sin embargo, solo se seleccionaron 16 artículos que cumplieran con los criterios de inclusión. A continuación, se presenta un análisis descriptivo de las publicaciones según el contexto de la investigación.

### *Análisis descriptivo de los artículos*

Es relevante destacar que, de los 16 artículos analizados, una mayoría significativa de ellos (14) abordan casos y situaciones de contexto internacional, mientras que los restantes 2 se enfocan en aspectos y eventos de ámbito nacional. Este hallazgo resalta la diversidad y amplitud del alcance geográfico de las investigaciones consideradas en este análisis. La preponderancia de los casos internacionales, representando el 87.5% del total, sugiere un enfoque amplio y global en la exploración de temas específicos, mientras que el 12.5% restante, correspondiente a los casos nacionales, refleja la importancia de comprender

y abordar cuestiones locales dentro de un marco más amplio de análisis. Esta distribución equilibrada entre casos internacionales y nacionales proporciona una perspectiva completa y enriquecedora que contribuye al conocimiento y comprensión de los fenómenos estudiados.

Por otro lado, los artículos consultados para el caso de biodiseño de materiales en el contexto internacional revelan una amplia variedad de opciones novedosas y prometedoras. Desde el empleo de almidón como un recurso biodegradable y económico (García, 2021), hasta la exploración de la biomasa derivada de carbohidratos como la fibra y el biocarbón (Chen et al., 2024). Cada avance representa un paso hacia la edificación más amigable con el entorno. El uso de materiales poco convencionales, como los ladrillos hechos de arcilla y paja (Fouad & Farag, 2019), junto con el desarrollo de hormigones sostenibles que incluyen microorganismos y cenizas volantes (Fahim et al., 2021), reflejan un compromiso renovado con la reducción de emisiones y la eficiencia energética en el sector de la construcción. Además, la integración de tecnologías como el cemento con microorganismos encapsulados (Hu et al., 2022) y la utilización de materiales reforzados con fibras naturales (Niyasom & Tangboriboon, 2021), indican una tendencia hacia prácticas constructivas más sostenibles y resilientes. Estos avances, motivados por la necesidad de mitigar el impacto ambiental de la construcción, representan un cambio significativo hacia métodos de construcción más responsables y conscientes del medio ambiente.

En cuanto a los resultados de los casos analizados en el contexto peruano, solo se han ubicado un porcentaje mínimo de artículos que ahondan en el biodiseño de materiales constructivos capaces de minimizar el impacto negativo que generan las edificaciones de la actualidad, lo que significa que el país aún no está del todo encaminado a la implementación de nuevas prácticas de construcción sostenible a diferencia de otros países. A pesar de ello, una serie de profesionales entre investigadores e ingenieros han demostrado

principios de adopción de opciones sostenibles orientados a la propuesta de materiales que respetan el medio ambiente, tal es el caso del ladrillo de concreto a base de cascarilla de arroz el cual fue desarrollada por ingenieros de la UNI en base a productos naturales capaces de soportar movimientos telúricos (Kamionka, 2022). De igual forma, Alvarez Quispe y Orado Paredes (2023) propusieron una ceniza de cáscara de arroz como un material puzolánico para el concreto como una opción viable para la reducción del impacto ambiental, mientras que otros plantearon materiales ecológicos que buscaron el reciclaje del plástico producido en diferentes ámbitos como es el caso de ladrillos ecológicos a base de polímeros (Vergara, 2021) y ladrillos junto con piezas constructivas formadas a partir de plásticos que se fueron reutilizando de los cultivos de banano (Zuta, 2022). Los cuales vienen a ser un inicio hacia las prácticas de sostenibilidad en el ámbito nacional que ameritan ser replicadas en todas partes.

## Discusión

La finalidad a la que estuvo orientada el presente estudio se ve reflejada en el análisis de casos de biodiseños de materiales para la construcción como estrategias de sustentabilidad. Por lo cual se ha analizado, tanto en contextos internacionales como nacional, diferentes casos de biomateriales que nacen como prácticas sostenibles para hacer frente a la contaminación que genera el sector constructivo. Respecto a la discusión de los resultados de los artículos en contextos internacionales en el ámbito del biodiseño de materiales para la construcción como estrategia de sustentabilidad revela hallazgos significativos. Estos estudios demuestran la viabilidad y efectividad de utilizar materiales biodegradables y provenientes de fuentes renovables en la construcción, respaldando así el objetivo principal del análisis. Además, los materiales diseñados de manera sostenible ofrecen propiedades físicas y mecánicas adecuadas para su aplicación en diversos contextos constructivos, lo que sugiere que pueden ser una alternativa viable a los materiales convencionales. A nivel más amplio, la adopción

generalizada de estos materiales podría tener un impacto significativo en la reducción de los efectos ambientales negativos asociados con la construcción.

En el ámbito de las futuras investigaciones, se enfatizan áreas como el desarrollo de nuevos materiales, tanto aquellos que involucran organismos vivos como los derivados de biomasa no viva. Estas áreas de investigación coinciden con la clasificación de categorías fundamentales del biodiseño de Esat y Ahmed-Kristensen (2018), quienes distinguen entre aplicaciones que implican organismos vivos y aquellas que involucran biomasa no viva. Asimismo, se destaca la importancia de realizar estudios a largo plazo para evaluar el rendimiento de estos materiales y técnicas en condiciones reales. Estos esfuerzos podrían impulsar prácticas de construcción más sostenibles y guiar el desarrollo de políticas y estándares en la industria hacia un futuro más sustentable.

En el entorno peruano se ha visto una deficiencia de investigaciones y casos que potencien el valor significativo de los biodiseños de materiales para el logro de una sostenibilidad ambiental. Pese a ello, en los últimos años se han venido desarrollando desafíos específicos en la creación de biomateriales a base de productos orgánicos y del reciclaje de plásticos, las cuales no solo han surgido como medios viables ante la contaminación de la industria de ladrillos convencionales, sino como una medida atractiva y de solución para contrarrestar la contaminación al ambiente junto con la reducción del uso de materiales que deterioran los recursos naturales. Dichas situaciones coinciden con la definición de Alquezar Facca (2023), quien sostiene que el biodiseño tiende a incorporar elementos orgánicos que pueden estar vivos o que alguna vez lo han sido. Entonces, todas estas prácticas sostenibles vienen a ser estrategias de sustentabilidad que resultan ser avances prometedores para el sector de construcción en el Perú, pues buscan mitigar la contaminación del medio ambiente y minimizar la generación de residuos. Además, velan por la seguridad y necesidades de los habitantes.

## Conclusiones

El análisis realizado sobre los casos de biodiseños de materiales para la construcción como estrategias de sustentabilidad ha revelado hallazgos significativos tanto a nivel internacional como nacional. En el ámbito internacional, se evidenció una amplia variedad de opciones novedosas y prometedoras, desde el uso de recursos biodegradables y renovables hasta la exploración de materiales poco convencionales y tecnologías innovadoras. De los 16 artículos analizados, una mayoría significativa (14 de ellos) aborda casos y situaciones de contexto internacional, lo que representa el 87.5% del total. Este hallazgo resalta la diversidad y amplitud del alcance geográfico de las investigaciones consideradas en este análisis, indicando un enfoque amplio y global en la exploración de temas específicos.

Por otro lado, en el contexto peruano se observa una deficiencia de investigaciones y casos que exploren el potencial de los biodiseños de materiales para promover la sostenibilidad ambiental en la construcción. Sin embargo, se identificaron algunos avances prometedores, como el desarrollo de biomateriales a base de productos orgánicos y el reciclaje de plásticos. De los 16 artículos analizados, solo 2 se enfocan en aspectos y eventos de ámbito nacional, lo que representa el 12.5% del total. A pesar de esta baja representación, estos avances ofrecen alternativas viables para mitigar el impacto negativo de las edificaciones en el entorno natural y contribuir a la reducción de los efectos ambientales negativos asociados con la construcción.

En futuras investigaciones, se recomienda enfocarse en el desarrollo de nuevos materiales sostenibles, tanto aquellos que involucran organismos vivos como los derivados de biomasa no viva. Asimismo, se destaca la importancia de realizar estudios a largo plazo para evaluar el rendimiento de estos materiales en condiciones reales y su impacto en la reducción de los efectos ambientales negativos asociados con la construcción.

## Referencias

- Adamatzky, A., Wösten, H. A. B., & Dessi-Olive, J. (2022). Strategies for Growing Large-Scale Mycelium Structures. *Biomimetics*, 7(3), 129. [10.3390/BIOMIMETICS7030129](https://doi.org/10.3390/BIOMIMETICS7030129)
- Alquezar Facca, C., Carvalho, A. R., Tavares de Moraes, V., & Rocha, C. (2023). Biodiseño y Bioaprendizaje: Diálogo con sistemas naturales y complejos. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, (178). <https://doi.org/10.18682/cdc.vi178.8643>
- Alvarez Quispe, C. D., & Orado Paredes, A. Y. (2023). Influencia de la Sustitución Porcentual del Cemento por Ceniza de Cáscara de Arroz en Propiedades Físico-Mecánicas del Concreto -2023. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 6246-6261. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.7409](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7409)
- Beatty, D. N., Williams, S. L., & W. Srubar, W. (2022). Biomineralized Materials for Sustainable and Durable Construction. *Annual Review of Materials Research*, 52, 411-439. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-081720-105303>
- Booth, P., & Jankovic, L. (2022). Novel biodesign enhancements to at-risk traditional building materials. *Front Built Environ*, 8, 1-12. [10.3389/fbuil.2022.766652](https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.766652)
- Carmona, F. (2024). Innovación en Arquitectura: ideas, tendencias y casos de éxito. *Fuen Carmona*. <https://fuencarmona.com/innovacion-en-arquitectura-ideas-tendencias/>
- Carter, M., Tuttle, M., Mancini, J., Martineau, R., Hung, C., & Gupta, M. (2023). Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation by *Sporosarcina pasteurii*: a Case Study in Optimizing Biological CaCO<sub>3</sub> Precipitation. *Applied and Industrial Microbiology*, 89(8), 1-17. <https://doi.org/10.1128/aem.01794-22>
- Chen, L., Zhang, Y., Chen, Z. *et al.* Biomaterials technology and policies in the building sector: a review. *Environ Chem Lett*, 22, 715-750 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01689-w>
- Esat, R., & S. Ahmed-Kristensen, S. (2018). Classification of Bio-Design Applications: Towards a Design Methodology. *DS 92 Proceedings of the DESIGN 2018 - 15th International Design Conference*. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0531>
- Fahim, G., Rahman, A., Amer, H., & Alyousef, R. (2021). Development of a sustainable concrete incorporated with effective microorganism and fly Ash: Characteristics and modeling studies. *Construction and Building Materials*, 285, 1-18. [10.1016/j.conbuildmat.2021.122899](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122899)
- Fouad, D., Farag, M. (2019). Design for Sustainability with Biodegradable Composites. En E. Yasa, M. Mhadhbi, & E. Santecchia (Ed.), *Design and Manufacturing*. 10.5772/INTECHOPEN.88425
- Franco, J., & Cusme, C. (2022). La gestión integral de proyectos de construcción, basada en la sostenibilidad y la innovación. *South Florida Journal of Development*, 3(4), 5647-5663. [10.46932/sfjdv3n4-125](https://doi.org/10.46932/sfjdv3n4-125)
- García, D. E. (2021). *Arquitectura y urbanismo sustentable*. [https://books.google.com.pe/books/about/Arquitectura\\_y\\_urbanismo\\_sustentable.html?id=ieRBEEAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Arquitectura_y_urbanismo_sustentable.html?id=ieRBEEAAQBAJ&redir_esc=y)

- Goidea, A., Floudas, D., & Andréen, D. (2022). Transcalar Design: An Approach to Biodesign in the Built Environment. *Infrastructures*, 7(4), 50. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7040050>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGrawHill Education.
- Hernández-Zamora, M. F., Jiménez-Martínez, S., & Sánchez-Monge, J. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Tecnología en Marcha*, 34(2), 3–10. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>
- Hu, Y., Liu, W., Zhang, Q., Hu, X., & Hu, X. (2022). Investigation of Cement Prepared with Microencapsulated Microorganisms. *ACS Omega*, 7(3), 2947–2959. 10.1021/acsomega.1c05971
- Kamionka, L.W. (2022). Sustainable design in terms of use of environmentally friendly materials. *Środowisko Mieszkaniowe/Housing Environment*, 41(1), 65-77. <https://doi.org/10.4467/25438700sm.22.031.17154>
- Lal, S. (2022). Green Building Design Concept: A Sustainable Approach. *Journal of Mechanical and Construction Engineering (JMCE)*, 2(1), 1–10. 10.54060/JMCE/002.01.003
- Lee, C., Lee, H., & Bin Kim, O. (2018). Biocement Fabrication and Design Application for a Sustainable Urban Area. *Sustainability*, 10, 1–17. 10.3390/su10114079
- Lujan, M. (27 de setiembre de 2024). Innovaciones en la construcción para reinventar el sector. *Innovar o Morir*. <https://innovaromir.com/innovaciones-en-la-construccion-reinventar-sector/>
- Maraveas, C. (2020). Production of Sustainable Construction Materials Using Agro-Wastes. *Materials*, 13(2), 262. 10.3390/MA13020262
- Narendhran, P.S., Parthasarathy, S., Vignesh, S., Mouliyarasu, A., Prashanth, S., Jayaraman, A., & Vasudevan, M. (2022). Envisaging Sustainable Building Materials for Earthen Construction Practices. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1130, 012015. 10.1088/1755-1315/1130/1/012015
- Niyasom, S., & Tangboriboon, N. (2021). Development of biomaterial fillers using eggshells, water hyacinth fibers, and banana fibers for green concrete construction. *Construction and Building Materials*, 283, 1–13. 10.1016/j.conbuildmat.2021.122627
- Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J., Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis* (5ª. edición). Ediciones de la U.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Manoj M. Lulu, Tianjing Li, Elizabeth W. Loder, Evan Mayo-Wilson, Steve McDonald ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recresp.2021.06.016>
- Pearlmutter, D., Theochari, D., Nehls, T., Pinho, P., Piro, P. Korolova, A., Papaefthimiou, S., Garcia Mateo, M. C., Calheiros, C., Zluwa, I., Pitha, U., Schosseler, P. Florentin, Y., Ouannou, S., Gal, E., Aicher, A., Arnold, K., Igondová, E., Pucher, B. (2020). Enhancing the

- circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: green building materials, systems and sites. *Blue-Green Systems*, 2(1), 46–72. <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.928>
- Răut, I., Călin, M., Vuluga, Z., Oancea, F., Paceagiu, J., Radu, N., Doni, M., Alexandrescu, E., Purcar, V., Gurban, A.-M., Petre, I., & Jecu, L. (2021). Fungal Based Biopolymer Composites for Construction Materials. *Materials*, 14(11), 2906. <https://doi.org/10.3390/ma14112906>
- Reinhardt, O., Ihmann, S., Ahlhelm, M., & Gelinsky, M. (2023). 3D bioprinting of mineralizing cyanobacteria as novel approach for the fabrication of living building materials. *Front Bioeng Biotechnol*, (11), 1–14. 10.3389/fbioe.2023.1145177
- Scardifield, K., McLean, N., Kuzhiumparambil, U., Ralph, P. J., Neveux, N., Isaac, G., & Schork, T. (2023). Biomasonry products from macroalgae: A design driven approach to developing biomaterials for carbon storage, *Journal of Applied Phycology*, 36, 935–950. 10.1007/s10811-023-03051-7
- Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
- Vargas, M. (s.f.). *Proyectan masificar uso de cascarilla de arroz para construir viviendas seguras a bajo costo*, Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-proyectan-masificar-uso-cascarilla-arroz-para-construir-viviendas-seguras-a-bajo-costo-278583.aspx>
- Vergara, I. (2021). Crean ladrillos ecológicos resistentes al frío y a la humedad para zonas altoandinas,” Andina. [https://andina.pe/agencia/noticia-crean-ladrillos-ecologicos-resistentes-al-frio-y-a-humedad-para-zonas-altoandinas-856980.aspx?fbclid=IwAR0ZUW3QBrixEQDa6aMdw9aFflyFDQ2SKiK0ExeSCPtCvzO-ggG8FkSHB60\\_aem\\_AeCY7-BQ2i7otXavFyeDaAUDhVTrydvP3CXZyWQGMzxpMANhN6M4TsxcMyhd6Ngn5T83LIYRMrgQxe4OnZ7yT6bq](https://andina.pe/agencia/noticia-crean-ladrillos-ecologicos-resistentes-al-frio-y-a-humedad-para-zonas-altoandinas-856980.aspx?fbclid=IwAR0ZUW3QBrixEQDa6aMdw9aFflyFDQ2SKiK0ExeSCPtCvzO-ggG8FkSHB60_aem_AeCY7-BQ2i7otXavFyeDaAUDhVTrydvP3CXZyWQGMzxpMANhN6M4TsxcMyhd6Ngn5T83LIYRMrgQxe4OnZ7yT6bq)
- Xiong, X., Wang, L., Yu, K. M., & Tsang, D. C. (2020). Sustainable carbohydrate-derived building materials, *Bio-based Materials and Biotechnologies for Eco-efficient Construction*, 285–304. 10.1016/B978-0-12-819481-2.00014-3
- Yadav, M., & Saini, A. (2022). Opportunities & challenges of hempcrete as a building material for construction: An overview. *Materials Today: Proceedings*, 65(2), 2021–2028. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.576>
- Yang, Y. (2019). *Bio-based flame retardant for sustainable building materials* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/10803/668530>
- Yuan, P. F., Chai, H., Yan, C., & Leach, N. (2021). *The 3rd International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2021)*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-5983-6>
- Zuta, L. (s.f.). *Piura: científicos fabrican ladrillos y otras piezas constructivas con plástico reciclado*. Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-piura-cientificos-fabrican-ladrillos-y-otras-piezas-constructivas-plastico-reciclado-890674.aspx>

