

TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS PARA EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE SOSTENIBLES

CONSTRUCTION TECHNOLOGIES FOR ENERGY-EFFICIENT SUSTAINABLE BUILDINGS

Tipo de Publicación: Ensayo

Recibido: 05/03/2026

Aceptado: 20/04/2026

Publicado: 20/04/2026

Código Único AV: e696

Páginas: 1(894-908)

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19671826>

Autor:

Jhonny Richard Rodriguez-Barboza

Licenciado en Educación

Maestría en Educación

Doctorado en Educación

 <https://orcid.org/0000-0001-9299-6164>

E-mail: pcidjhro@upc.edu.pe

Afiliación: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)

País: República del Perú

Resumen

El presente Ensayo Argumentativo analiza el papel de los materiales y técnicas constructivas innovadoras en la manufactura de edificaciones más eficaces y sostenibles. Frente al creciente impacto ambiental del sector construcción, el agotamiento de recursos y la exigencia de renovar fases de la construcción, se plantea que la integración de soluciones tecnológicas avanzadas representa una vía efectiva para responder a estos desafíos. En esa línea, se sostiene que la aplicación de novedades como la impresión 3D, la nanotecnología y el empleo de biomateriales impulsa una transformación profunda del rubro al reducir el desperdicio de materiales, las concentraciones de carbono y el uso de suministro energético, sin comprometer la calidad estructural. Entre los argumentos más relevantes se destaca, por un lado, la automatización y precisión que ofrece la impresión 3D para mejorar la eficiencia constructiva; por otro, el desarrollo de nuevos materiales como los geopolímeros y los cementos alternativos que optimizan el uso de recursos y promueven la sostenibilidad. Asimismo, se considera el potencial de la industrialización y la fabricación aditiva para acortar los plazos de obra y disminuir costos operativos.

Palabras Clave

Ingeniería civil, innovación, materiales de construcción.

Abstract

This argumentative essay analyzes the role of innovative construction materials and techniques in the manufacture of more efficient and sustainable buildings. Faced with the growing environmental impact of the construction sector, resource depletion, and the need to modernize construction processes, it is argued that the integration of advanced technological solutions represents an effective way to address these challenges. Along these lines, it is maintained that the application of innovations such as 3D printing, nanotechnology, and the use of biomaterials drives a profound transformation of the sector by reducing material waste, carbon emissions, and energy consumption, without compromising structural quality. Among the most relevant arguments are, on the one hand, the automation and precision offered by 3D printing to improve construction efficiency; and on the other, the development of new materials such as geopolymers and alternative cements that optimize resource use and promote sustainability. Likewise, the potential of industrialization and additive manufacturing to shorten construction times and reduce operating costs is considered.

Keywords Civil engineering, innovation, building materials.

Introducción

En los últimos años, el sector construcción se ha convertido en uno de los principales focos de atención frente al desafío global de mejorar la eficiencia y sostenibilidad en los procesos productivos. De acuerdo con la United Nations Environment Programme (2025), esta industria es responsable del 32% del consumo de la energía mundial. Asimismo, es causante del 34% de las emisiones internacionales de CO₂, de las cuales el 18% son producidas por la fabricación del cemento y el acero. En el caso peruano, el Ministerio del Ambiente (2024) advierte que se generan más de ocho millones de toneladas de residuos sólidos municipales cada año, de los cual una parte importante tiene origen en la construcción y demolición, lo que involucra consumo de recursos, contaminación y generación de desechos.

Ante este escenario, surge la necesidad de transformar profundamente la manera en que se construye. Si bien, la construcción tradicional ofrece una práctica sólida, pero con deficiencias, hoy en día se necesita satisfacer las demandas globales con un enfoque ecológico, novedoso, eficaz y rápido. Esta transformación no solo pasa por reducir los efectos ambientales negativos, sino también por optimizar los recursos disponibles al iniciar un proyecto, acortar los tiempos de obra para evitar demoras y garantizar una mayor calidad estructural que, además de cumplir con los

estándares, sea una proeza que se evidencie en su buen desempeño.

En esa línea, diversas soluciones tecnológicas han empezado a cobrar protagonismo por su capacidad de responder a estas demandas. Entre las propuestas más relevantes se encuentra la aplicación de nanotecnología en la formulación de materiales con propiedades mejoradas para su perdurabilidad, el uso de biomateriales con bajo impacto a la naturaleza, la impresión 3D como técnica de construcción automatizada y precisa en su ejecución, y la industrialización como un enfoque moderno para acelerar la ejecución de obras con mayor control de calidad.

Por todo ello, esta investigación se orienta a responder la siguiente pregunta: ¿Qué materiales y técnicas constructivas innovadoras contribuyen al desarrollo de edificaciones más eficientes y sostenibles? A partir de esta interrogante, se analizarán diferentes alternativas que vienen marcando una diferencia en el sector, destacando su potencial para hacer frente a los retos actuales y redefinir las prácticas constructivas desde una perspectiva que garantice mayor efectividad en la edificación y un mayor índice de conservación.

Desarrollo

Aplicación de Nanotecnología a la construcción

La nanotecnología ha despertado un creciente interés en el área de la ingeniería civil debido a su capacidad para mejorar las propiedades de los

materiales convencionales. Su aplicación en el concreto tiene como objetivo optimizar características mecánicas, térmicas y funcionales que inciden directamente en la calidad y durabilidad de las edificaciones. A lo largo del tiempo, diferentes investigaciones han explorado el uso de nanomateriales como los nanotubos de carbono, el nanosílice y el grafeno, cuyos aportes serán abordados a continuación.

En concordancia con Saffiudin et al., (2014), citado por Mohanty et al., (2025), los nanomateriales comenzaron a resaltar alrededor del año 2000, cuando la nanotecnología representaba una novedad para científicos e ingenieros. Su principal finalidad era optimizar las propiedades del concreto. Por su parte, Sujitha et al., (2024) define a los nanomateriales como aditivos con propiedades únicas por encontrarse en escala nano, capaces de aportar sostenibilidad y eficiencia. A partir de ambos aportes, se deduce que su incorporación en la ingeniería civil tiene gran relevancia, ya que permiten mejorar el desempeño de materiales convencionales. Además, se presenta como un campo con alto potencial para futuras investigaciones.

Respecto a los nanotubos de carbono (CNT), Zhang et al., (2021) mencionan que estos mejoran propiedades clave del concreto, como la resistencia mecánica, la conductividad eléctrica y la tolerancia a procesos de corrosión. Estos beneficios se

intensifican, según lo detallado por Deng et al., (2025), cuando se utilizan CNT envueltos en múltiples capas (IMWCNT), ya que refinan los poros del concreto, incrementan su densidad y aseguran una mejor adhesión con el acero. A su vez, Jia et al., (2025) señala que establecer una concentración adecuada resulta complejo, pero los ensayos de 28 días indican que entre el 0.006 % y 0.018 % en peso se alcanzan los mejores resultados, destacando el 0.006 % como el valor más estable mecánicamente, y el 0.001 % como óptimo para sensibilidad eléctrica. Esto sugiere que su uso sería útil en ambientes húmedos, donde el mantenimiento se facilitaría mediante la detección de señales eléctricas. Sin embargo, aún se requiere mayor indagación para definir intervalos de aplicación generales.

En cuanto al nanosílice (SiO_2), Shuai et al., (2020) sostienen que este proporciona una mayor superficie silíceas que favorece la formación de productos hidratantes y mejora el rellenado de la mezcla, lo que acelera el proceso de hidratación. Zhang et al., (2025) evidencian que la incorporación de nano- SiO_2 en proporciones cercanas al 2% mejora el comportamiento del concreto en condiciones de bajas temperaturas, incrementando su resistencia mecánica y reduciendo el deterioro asociado a ciclos de congelamiento y deshielo.

Finalmente, en el caso del grafeno, Pei et al., (2024) plantean que una alternativa viable para su

aplicación es el aditivo de nanofluido de grafeno (GNA), el cual puede sustituir al agua en las mezclas y ofrece propiedades mecánicas estables y multifuncionales. A su vez, Ginigaddara et al., (2022) destacan el óxido de grafeno (GO) por su capacidad para detectar, limpiar y brindar protección electromagnética, además de fortalecer la resistencia compresiva, tractiva y flexiva.

En esta misma línea, Benavente et al., (2025) demuestran que una concentración del 0.05 % de GO incrementa la resistencia compresiva en 14.61 %, a la tractiva en 12.33 % y a la flexiva en 6.09 %, mientras que dosis superiores tienden a reducir su efectividad. Estos hallazgos permiten concluir que el grafeno ofrece beneficios estructurales importantes, siempre que se controle rigurosamente su dosificación.

Uso de biomateriales en la construcción

El uso de biomateriales en la construcción representa una innovación clave para avanzar hacia edificaciones más sostenibles y eficientes. Al reducir el impacto ambiental, mejorar el rendimiento energético y reutilizar residuos, estos materiales permiten repensar los procesos constructivos tradicionales. Por ello, resulta necesario analizar sus propiedades, aplicaciones y beneficios concretos dentro del contexto actual de transformación del sector.

Por ejemplo, Bernier (2023) destaca que el Hempcrete, compuesto por cáñamo, cal y agua,

presenta un impacto ambiental reducido y la capacidad de absorber CO₂ durante su vida útil, lo que lo convierte en un material carbono-negativo. De manera complementaria, Bourbia et al., (2023) consideran una alternativa sostenible dentro de la construcción ecológica debido a sus componentes naturales y renovables. Schires (2021) explica que, aunque no es un material estructural, puede integrarse a sistemas convencionales con soporte adicional.

Además, el Hempcrete puede utilizarse tanto in situ como en bloques o paneles prefabricados, lo que facilita su adaptación a distintos proyectos. Estas evidencias muestran que este biocompuesto ofrece una respuesta eficaz a los desafíos ambientales actuales, al combinar sostenibilidad, eficiencia energética y versatilidad en su aplicación constructiva.

Jensen & Alfieri (2021) indican que la celulosa tratada, derivada del reciclaje de papel y cartón, presenta baja conductividad térmica (0.027 W/m·K), alta densidad (246.54 kg/m³) y resistencia a hongos y plagas, cualidades que la posicionan por encima de aislantes convencionales como la fibra de vidrio. Por su parte, Cho et al., (2025) amplían su valor al destacar que regula la humedad y favorece un ambiente interior más saludable, lo que optimiza las condiciones de habitabilidad. Así, no solo cumple funciones técnicas como aislante térmico y acústico, sino que también aporta al bienestar

ambiental dentro de las edificaciones. En conjunto, ambas fuentes permiten concluir que la celulosa reciclada ofrece un equilibrio entre eficiencia energética, salubridad y sostenibilidad, reafirmando su pertinencia como insumo clave en la transición hacia una construcción sostenible.

Por otro lado, Fuentes (2020) describe el micelio fúngico como un biomaterial biodegradable y no tóxico que puede sustituir a espumas y plásticos en la construcción, al cultivarse sobre residuos orgánicos. Livne et al., (2022) indican que posee un carbono incorporado de $-39,5 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$ y una energía incorporada de 860 MJ/m^3 , entre 1,5 y 6 veces menor que la de materiales convencionales. Pooja & Tarannum (2025) resaltan que su bajo impacto ambiental y capacidad como sumidero de carbono lo posicionan frente a la crisis climática. Estas evidencias ubican al micelio como una solución viable en elementos no estructurales, cuyo uso reduciría el impacto de la edificación. Su incorporación implica revalorar el criterio ecológico en la selección de materiales, avanzando hacia una construcción más sostenible y resiliente.

Finalmente, Nodehi et al., (2022) explican que el concreto autorreparable utiliza bacterias como *Bacillus pasteurii*, que, mediante la generación de depósitos de carbonato de calcio (MICCP), sellan grietas internas, logrando hasta un 85 % de curación y una reducción del 95 % en la absorción de agua. Nasser et al., (2022) incorporaron *B. pasteurii* y *B.*

sphaericus al 0,25–0,5 % del cemento, mejorando la resistencia a compresión en un 50 % a 28 días y la flexión en un 65,94 % a 120 días, con una microestructura más densa.

Estas evidencias demuestran que este material no solo se regenera ante daños, sino que incrementa su rendimiento estructural con el tiempo. Su aplicación resulta especialmente útil en zonas húmedas o de difícil acceso, ya que reduce mantenimientos, optimiza recursos y prolonga la vida útil, respondiendo a las demandas técnicas y ambientales de la construcción contemporánea.

La Impresión 3D como técnica dentro de la Construcción

La impresión 3D aplicada a la construcción se presenta como una alternativa innovadora frente a los métodos convencionales, al incorporar tecnologías automatizadas que permiten fabricar componentes con exactitud. Esta técnica no solo responde a la necesidad de mejorar la calidad y eficiencia del proceso constructivo, sino que también promueve un enfoque más responsable con el entorno. Abordar su estudio resulta necesario para identificar su funcionamiento, los requerimientos técnicos que implica y las ventajas concretas que ofrece dentro de un sistema edificatorio orientado a la sostenibilidad.

En cuanto a materiales, Roselló (2022) sostiene que el concreto utilizado en impresión 3D debe integrar propiedades del hormigón

autocompactante y proyectado, lo cual permite mantener la extrudabilidad y resistencia requerida para un proceso continuo. Por su parte, Samudio (2024) destaca el uso de geopolímeros derivados de residuos industriales como alternativa sostenible, aunque advierte que estos requieren ajustes experimentales que aseguren fluidez y tiempo de fraguado adecuados al sistema.

Estas contribuciones permiten entender que el avance de esta técnica no solo depende del equipo o del diseño digital, sino especialmente de la formulación del material. Lograr mezclas que cumplan simultáneamente con las exigencias técnicas y ambientales representa un paso clave para consolidar esta tecnología como una solución efectiva y responsable en el ámbito constructivo.

Respecto a procesos aplicados a la impresión 3D en construcción, Bedarf et al., (2021) identifican tres técnicas principales: extrusión, rociado y binder jetting, adecuadas para materiales espumosos en proyectos de gran escala. De forma complementaria, Puzatova et al., (2022) destacan la precisión de los brazos robóticos al integrar concreto y acero, superando la inestabilidad de los sistemas de pórtico. Por su parte, Schuldt et al., (2021) señalan que parámetros como la velocidad de impresión, el espesor de capa y la distancia de la boquilla influyen directamente en la adherencia entre capas y la resistencia estructural. En conjunto, estos aportes evidencian que el éxito de esta técnica

no solo depende del tipo de equipo, sino del control riguroso de cada etapa. Esto exige una gestión técnica especializada que asegure resultados consistentes, eleve la calidad del producto final y facilite su aplicación en la construcción real.

Sobre sostenibilidad, Mendoza-Rangel et al., (2024) destacan que la impresión 3D reduce tanto el uso de materiales y generación de residuos al prescindir de encofrados y aplicar mezclas específicas. De forma complementaria, Silvestro et al., (2024) señalan que el uso de aglutinantes como el LC3 permite disminuir hasta un 40 % las emisiones de CO₂ y reducir los costos de producción en un 30 %, en comparación con el cemento Portland. Asimismo, Wilson et al., (2023) reportan que la vivienda YHNOVA, construida con impresión 3D, logró un consumo energético 33.8 % menor al límite nacional, gracias al diseño eficiente y al aislamiento por capas. Estas evidencias muestran que sus beneficios no solo provienen de la automatización, sino también de la incorporación de materiales sostenibles y un diseño térmico optimizado. En conjunto, la impresión 3D es una opción sólida para avanzar hacia una construcción más eficiente y sostenible.

En términos de tiempos y costos, Suntharalingam et al., (2021) señalan que el concreto impreso en 3D reduce significativamente los costos y tiempos de obra al eliminar etapas como los encofrados, disminuyendo así materiales, mano

de obra y tiempo. En la misma línea, Hossain et al., (2020) destacan que estos encofrados pueden representar entre el 25 % y 35 % del costo estructural, y su eliminación, junto con la automatización del proceso, agiliza la ejecución sin depender de herramientas ni personal especializado. A ello se suma que la impresión 3D permite construir diseños complejos sin encarecer la obra ni generar mayor desperdicio. Estas evidencias muestran que esta tecnología no solo moderniza el proceso constructivo, sino que responde de forma efectiva a las demandas actuales de reducción de costos, acortamiento de plazos y eficiencia operativa.

La industrialización de la construcción como técnica constructiva innovadora

La construcción industrializada representa una técnica innovadora que responde a la necesidad de edificar de forma más eficiente y sostenible. A través del uso de componentes prefabricados y procesos controlados, esta modalidad permite optimizar recursos, reducir tiempos y minimizar impactos ambientales. Estudiar su implementación permite comprender cómo transforma las diferentes etapas del proceso constructivo y cómo puede contribuir al desarrollo de edificaciones alineadas con los desafíos contemporáneos del sector.

La reducción de tiempos y costos es uno de los beneficios más notorios de la industrialización en construcción. Cárdenas et al., (2021) indican que el

uso de componentes prefabricados en entornos controlados permite ejecutar tareas simultáneas, reduciendo plazos y evitando interrupciones externas. Galindo et al., (2022) resaltan que sistemas como las membranas de hormigón al vacío disminuyen hasta un 25 % los costos frente a métodos tradicionales, al eliminar etapas innecesarias y optimizar materiales.

Por su parte, Qi et al., (2021) señalan que la integración con tecnologías digitales mejora la trazabilidad y coordinación del proceso. Estas evidencias reflejan que la industrialización no solo mejora indicadores económicos, sino que también redefine la lógica operativa de obra, impulsando un sistema más preciso, organizado y acorde con las exigencias de eficiencia actuales.

La mejora en la calidad y la optimización del proceso constructivo son aportes esenciales de la industrialización. Ortega (2020) señala que seguir metodologías definidas permite reducir el desperdicio y mejorar la trazabilidad, asegurando un mayor control técnico. Ortega et al., (2020) complementan que el uso de formaleas metálicas, concretos de fraguado rápido y mallas preensambladas mejora la precisión y evita errores comunes en obra.

Ma et al., (2025) destacan que las tecnologías de construcción industrializada en sitio contribuyen significativamente a la mejora de la calidad y la eficiencia operativa mediante la integración de

sistemas mecanizados y estandarizados que permiten un control preciso y repetible. Más allá de una simple eficiencia operativa, estos avances permiten convertir la construcción en un proceso técnico replicable y escalable, donde la calidad ya no depende del oficio individual, sino de un sistema planificado que garantiza resultados consistentes.

La industrialización en la construcción responde a las crecientes exigencias de sostenibilidad en el sector. Mericaechevarria (2024) afirma que la precisión en el diseño y la prefabricación disminuye cortes, ajustes y desperdicios, reduciendo también el transporte y el almacenamiento. Por su parte, Li et al., (2020) proponen el modelo de “On-site Industrialization” (OSI), que integra prefabricación, estandarización y principios lean para alcanzar sostenibilidad integral. Estas perspectivas reflejan que la sostenibilidad no es un efecto colateral, sino una directriz estructural que reconfigura el proceso constructivo para alinearlos con los desafíos ambientales y productivos del presente.

La selección de materiales en sistemas industrializados también contribuye a reducir el carbono incorporado y la energía contenida de las edificaciones. Sotorrío et al., (2023) indican que la mayor capacidad de control en procesos industrializados permite generar ahorros de materiales, reducir desperdicios y optimizar el consumo energético mediante el diseño de

componentes modulares y materiales que integran estructura y envolvente, facilitando la reutilización y mejorando la eficiencia ambiental.

Meire et al., (2025) analizan paneles de aluminio extruido ensamblados en seco, que integran funciones estructurales, energéticas y de envolvente, eliminando elementos innecesarios y facilitando su reutilización. Estos enfoques no solo promueven eficiencia material y energética, sino que redefinen el criterio de selección de materiales, orientándolo hacia soluciones integradas, versátiles y circulares, fundamentales para una construcción sostenible en el contexto actual.

Conclusiones

En síntesis, se indagaron dos ejemplos pertinentes de materiales y técnicas constructivas que contribuyen al desarrollo de edificaciones más eficientes y sostenibles. Por un lado, se evidenció que los nanomateriales, como los nanotubos de carbono, los nanosílices y el grafeno, aportan mejoras en la resistencia mecánica, aceleran la hidratación del concreto y prolongan la durabilidad en ambientes hostiles, respectivamente.

Por otro lado, los biomateriales como el micelio fúngico, la celulosa tratada o el concreto autorreparable no solo reducen la dependencia de materiales convencionales, sino que también fortalecen la salud ambiental de los espacios habitables.

Además, se analizaron técnicas como la

impresión 3D, que permite automatizar procesos constructivos, reducir desperdicios y lograr una mayor precisión, y la industrialización, que optimiza la trazabilidad y los tiempos de obra mediante componentes prefabricados.

A partir del análisis de estas propuestas, se puede afirmar que la construcción innovadora no debe verse como un conjunto de herramientas aisladas, sino como un enfoque integral que articula tecnología, sostenibilidad y eficiencia a través de decisiones basadas en evidencia. La implementación de estos avances, sin embargo, aún enfrenta obstáculos que requieren mayor estudio, como la falta de políticas específicas, las brechas normativas o los altos costos iniciales en ciertos contextos.

Esta situación abre nuevas líneas de investigación que amplían el horizonte de este estudio: a) ¿Qué desafíos técnicos y normativos limitan actualmente la implementación masiva de materiales y técnicas constructivas innovadoras en el sector construcción peruano? b) ¿Qué políticas públicas existen en el Perú para incentivar el uso de materiales sostenibles como los biomateriales en el sector construcción? Estas preguntas no serán abordadas en el presente trabajo, pero ofrecen bases sólidas para futuras investigaciones centradas en la viabilidad real de estas propuestas en nuestro

contexto local.

Información complementaria

Financiamiento

El autor señala que no se contó con apoyo financiero por parte de entidades públicas ni privadas para la realización de este trabajo.

Conflicto de intereses

El autor asegura que no hay ningún conflicto que pueda haber condicionado el desarrollo del trabajo.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

El autor declara que, durante el proceso de redacción de este manuscrito, se emplearon herramientas de inteligencia artificial generativa únicamente como apoyo en tareas lingüísticas, tales como la mejora del estilo, la organización sintáctica y la corrección gramatical. En ningún caso estas tecnologías fueron utilizadas para generar contenidos científicos originales, interpretar resultados o sustituir el juicio académico y ético de los autores. La responsabilidad plena sobre la integridad, validez y originalidad del manuscrito recae exclusivamente en el autor, en concordancia con las buenas prácticas editoriales y los principios éticos de publicación científica reconocidos internacionalmente.

Contribución de la autoría

El autor declara que la Conceptualización,

Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Dirección del proyecto, Recursos, Validación y Redacción - corrección de pruebas y edición fueron realizados contemplando los detalles necesarios para asegurar que la investigación presente el rigor adecuado.

Referencias

- Bedarf, P., Dutto, A., Zanini, M., & Dillenburger, B. (2021). Foam 3D printing for construction: A review of applications, materials, and processes. *Automation in construction*, 130, Artículo 103861. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103861>
- Benavente, C., Romero, A., Napa, J., Sanabria, A., Landivar, Y., La Borda, L., Pezo, P., Muñiz, A., & Muñiz, M. (2025). The Influence of Graphene Oxide on the Performance of Concrete: A Quantitative Analysis of Mechanical and Microstructural Properties [La Influencia del Óxido de Grafeno en el Rendimiento del Concreto: Un Análisis Cuantitativo de las Propiedades Mecánicas y Microestructurales]. *Buildings* (2075-5309), 15(7), 1082. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/buildings15071082>
- Bernier, S. (2023). *El hempcrete en la arquitectura contemporánea: Un análisis de sostenibilidad y aplicaciones prácticas* [Trabajo de fin de máster, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPCommons. Documento en línea. Disponible <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/399094>
- Bourbia, S., Kazeoui, H., & Belarbi, R. (2023). A review on recent research on bio-based building materials and their applications. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 12, 117–139. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1007/s40243-023-00234-7>
- Cárdenas, J. A., Jácome, J. L., & Vergel, M. (2021). Diferencias en los rendimientos de los procesos constructivos de placa entrapado y muros de carga mediante el sistema de construcción industrializado. *Revista Boletín REDIPE*, 10(13), 462-468. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.36260/rbr.v10i13.1760>
- Cho, Y., Ninh, P., Hwang, S., Choe, S., & Myung, J. (2025). Sustainability Meets Functionality: Green Design Approaches to Cellulose-Based Materials. *ACS Materials Letters*, 7(4), 1563-1592. Documento en línea. Disponible <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsmaterialslett.4c02591>
- Deng S., Jie Fan J., Yi B., Ye J., & Li, G. (2025). Effect of industrial multi-walled carbon nanotubes on the mechanical properties and microstructure of ultra-high performance concrete [Efecto de los nanotubos de carbono multipared industriales sobre las propiedades mecánicas y la microestructura del hormigón de ultra-alto rendimiento]. *Cement and Concrete Composites*, 156, Artículo 105850. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2024.105850>
- Fuentes-Cantillana, I. (2020). *Bio fabricación: Micelio como material de construcción: Biocomposite en sustratos lignocelulósicos* [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional UPM. Documento en línea. Disponible <https://oa.upm.es/63507/>
- Galindo, J., Escorcía, O., & Sumozas, R. (2022). El uso de la técnica del hormigón al vacío en los comienzos de la construcción industrializada en Colombia (1950–1955). *Informes de la Construcción*, 74(567), Artículo e458. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3989/ic.91691>
- Ginigaddara, T., Ekanayake, J.C., Mendis, P., Devapura, P., Liyanage, A. D., & Vaz-Serra, P. (2022). An Introduction to High Performance Graphene Concrete [Introducción al hormigón de grafeno de alto rendimiento]. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 22(3), 11-18.

- Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.56748/ejse.223553>
- Hossain, M. A., Zhumabekova, A., Paul, S. C., & Kim, J. R. (2020). A review of 3D printing in construction and its impact on the labor market. *Sustainability*, 12(20), 8492. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/su12208492>
- Jensen, M., & Alfieri, P. (2021). Design and manufacture of insulation panels based on recycled lignocellulosic waste. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100111. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100111>
- Jia, X., Lushnikova, A., & Plé, O. (2025). Use of Carbon Nanotubes for the Functionalization of Concrete for Sensing Applications [Uso de Nanotubos de Carbono para la Funcionalización del Concreto para Aplicaciones de Detección]. *Sensors*, 25(12), 3755. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/s25123755>
- Li, L., Li, Z., Li, X., Zhang, S., & Luo, X. (2020). A new framework of industrialized construction in China: Towards on-site industrialization. *Journal of Cleaner Production*, 244, Article 118469. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.118469>
- Livne, A., Wösten, H. A. B., Pearlmutter, D., & Gal, E. (2022). Fungal mycelium bio-composite acts as a CO₂-sink building material with low embodied energy. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(37), 12329–12336. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c01314>
- Ma, S., Li, Z., & Zheng, R. (2025). Evaluating the contribution of on-site industrialized construction technologies towards industrialization goals. *Journal of Building Engineering*, 109, Article 113022. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.113022>
- Meire, C., Linhares, P., & Hermo, V. (2025). Panel industrializado de aluminio extruido patentado para la ejecución de envolventes estructurales ventiladas con captación solar en construcciones de baja altura. *Informes de la Construcción*, 77(577), 66-67. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3989/ic.6667>
- Mendoza-Rangel, J., Zapata-Padilla, J., Anguiano-Pérez, F., Velásquez-Hernández, M., Mares-Chávez, S., Espino-Robles, E., Alvarado-López, J., López-Serna, M., Mendoza-Jiménez, J., & Díaz-Aguilera, J. (2024). Circular economy in the 3D printing construction industry: a design, durability, materials, and processes solution to achieve decent, affordable, and sustainable housing in Nuevo León and Mexico. *Revista ALCONPAT*, 14(2), 115-140. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.21041/ra.v14i2.735>
- Mericaechevarria, I. (2024). *Impacto ambiental y económico de la construcción industrializada frente de la construcción convencional* [Trabajo fin de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio institucional UPCommons de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Documento en línea. Disponible <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/411575>
- Ministerio del Ambiente. (2024). *Más de 148 500 toneladas de residuos sólidos municipales son valorizados en el país*. Gobierno del Perú. Documento en línea. Disponible <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/955458-mas-de-148-500-toneladas-de-residuos-solidos-municipales-son-valorizados-en-el-pais>
- Mohanty, A., Biswal, D. R., Pradhan, S. K., & Mohanty, M. (2025). Impact of Nanomaterials on the Mechanical Strength and Durability of Pavement Quality Concrete: A Comprehensive Review [Impacto de los nanomateriales en la resistencia mecánica y la durabilidad del hormigón de calidad para pavimentos: una revisión exhaustiva]. *Eng* (2673-4117), 6(4), 66. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/eng6040066>

- Nasser, A. A., Sorour, N., Saafan, M. A., & Abbas, R. N. (2022). Microbially induced calcite precipitation (MICP): A biotechnological approach to enhance the durability of concrete using *Bacillus pasteurii* and *Bacillus sphaericus*. *Heliyon*, 8(7), e09879. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09879>
- Nodehi, M., Ozbakkaloglu, T., & Gholampour, A. (2022). A systematic review of bacteria-based self-healing concrete: Biomineralization, mechanical, and durability properties. *Journal of Building Engineering*, 49, 104038. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104038>
- Ortega, M. (2020). Los beneficios de la industrialización en la construcción. *Journal of BIM and Construction*, 2, 1-9. Documento en línea. Disponible <https://journalbim.org/index.php/jb/article/download/11/18>
- Ortega, R., Torres, P., Marulanda, J., Thomson, P., & Areiza, G. (2020). Desempeño sísmico de muros delgados y esbeltos de concreto reforzado representativos de la construcción industrializada. *Hormigón y Acero*, 76(305), 123-130. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2864>
- Pei, C., Kong, S., Guo, M., & Zhu, J. (2024). Water-based graphene nanofluid additives: Advancements in sustainable, low-carbon, and high-performance nanocarbon modified cementitious materials [Aditivos nanofluidicos de grafeno a base de agua: avances en materiales cementicios modificados con nanocarbono sostenibles, bajos en carbono y de alto rendimiento]. *Cement and Concrete Research*, 180, Artículo 17505. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107505>
- Pooja, K. M., & Tarannum, N. (2025). Self-healing concrete: A path towards advancement of sustainable infrastructure. *SN Applied Sciences*, 7, Article 703. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06529-w>
- Puzatova, A., Shakor, P., Laghi, V., & Dmitrieva, M. (2022). Large-scale 3D printing for construction application by means of robotic arm and gantry 3D printer: A review. *Buildings*, 12(11), 2023. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/buildings12112023>
- Qi, B., Razkenari, M., Costin, A., Kibert, C., & Fu, M. (2021). A systematic review of emerging technologies in industrialized construction. *Journal of Building Engineering*, 39, Artículo 102265. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102265>
- Roselló, D. (2022). *Estudio de Las Aplicaciones de la Impresión 3D en el Ámbito de la Construcción* [Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPCommons. Documento en línea. Disponible <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/364632>
- Samudio, A. (2024). *Estado del arte de los usos, aplicaciones y requisitos de la impresión 3D en el área de la construcción* [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Biblioteca Digital Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Documento en línea. Disponible <https://repositorio.escuelaing.edu.co/entities/publication/737d6802-e0ec-4ff5-9aa6-a5d7015ef859>
- Schires, M. (2021). *Las múltiples cualidades del hempcrete como material natural sostenible*. ArchDaily Perú. Documento en línea. Disponible https://www.archdaily.pe/pe/959595/las-multiples-cualidades-del-hempcrete-como-material-natural-sostenible?utm_source=
- Schuldt, S., Jagoda, J., Hoisington, A., & Delorit, J. (2021). A systematic review and analysis of the viability of 3D-printed construction in remote environments. *Automation in Construction*, 125, 103642. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103642>



- Shuai B., Xinchun G. & Guoyu L. (2020). Effect of the early-age frost damage and nano-SiO₂ modification on the properties of Portland cement paste [Efecto del daño por heladas tempranas y la modificación por nano-SiO₂ sobre las propiedades de la pasta de cemento Portland]. *Construction and Building Materials*, 262, Artículo 120098. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120098>
- Silvestro, L., Scoczynski, R., & Navarrete, I. (2024). Advancements in low carbon emission cements for 3D printing: a state-of-the-art review. *Revista Ingeniería de Construcción*, 39(Special Issue), 1-10. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.7764/RIC.00131.21>
- Sotorrío, G., Cobo, A., & Tenorio, J. (2023). Industrialized construction and sustainability: A comprehensive literature review. *Buildings*, 13(11), Artículo 2861. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/buildings13112861>
- Suntharalingam, T., Upasiri, I., Gatheeshgar, P., Poologanathan, K., Nagaratnam, B., Santos, P., & Rajanayagam, H. (2021). Energy performance of 3d-printed concrete walls: A numerical study. *Buildings*, 11(10), 432-453. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/buildings11100432>
- United Nations Environment Programme. (2025). *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025: Not just another brick in the wall*. United Nations Environment Programme. GlobalABC. Documento en línea. Disponible <https://globalabc.org/resources/publications/global-status-report-buildings-and-construction-20242025-not-just-another>
- Sujitha, V., Ramesh, B. & Xavier, J. R. (2024). Effects of nanomaterials on mechanical properties in cementitious construction materials for high-strength concrete applications: a review [Efectos de los nanomateriales sobre las propiedades mecánicas en materiales de construcción cementicios para aplicaciones de hormigón de alta resistencia: una revisión]. *Journal of Adhesion Science and Technology* 2024, 38(20), 3737–3768. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1080/01694243.2024.2354093>
- Wilson, T. T., Mativenga, P. T., & Marnewick, A. L. (2023). Sustainability of 3D printing in infrastructure development. *Procedia CIRP*, 120, 195-200. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.08.035>
- Zhang, Q., Li, C., Li, G., Chen, D., Wu, X., Wang, Y., Mao, Y., & Zhang, K. (2025). The effect of modification with nano-alumina, nano-silica, and polypropylene fiber on the frost resistance of concrete. *Buildings*, 15(21), 4002. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/buildings15214002>
- Zhang, J., Wang, W., Li, J., & Han, J. (2021). Avances en la investigación de compuestos a base de cemento de nanotubos de carbono. *Boletín de la Sociedad de Cerámica China*, 40(3), 714–722. Documento en línea. Disponible <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/gsytb202103003>

