9 No.3 (2025): Journal Scientific MQRInvestigar ISSN: 2588–0659
https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.3.2025.e785

# Sustainable materials and advanced technologies for resilient and low-impact construction

# Materiales sostenibles y tecnologías avanzadas para la construcción resiliente y de bajo impacto ambiental

**Autores:**

Mg. Ramos-Piñas, David
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
Magíster en Ingeniería civil y en Investigación y docencia universitaria
Docente tutor de la facultad de ingeniería
Huancayo-Perú
d.dramos@ms.upla.edu.pe
https://orcid.org/0000-0002-4215-2374

Dra. Infante-Rivera, Lipselotte de Jesús, PhD
UNIVERSIDAD ADVENTISTA DE CHILE
Docente Investigadora del Núcleo de Investigación
Chillán-Chile
infantelipselotte038@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6094-1070

Fechas de recepción: 05-JUN-2025 aceptación: 05-JUL-2025 publicación: 30-SEP-2025
https://orcid.org/0000-0002-8695-5005
http://mqrinvestigar.com/

## Resumen

En el presente artículo se propuso describir las propiedades de los materiales sostenibles y el desempeño de las tecnologías avanzadas para una construcción resiliente y de bajo impacto ambiental. La metodología se trabajó bajo un tipo de investigación descriptiva, a fin de poder caracterizar los materiales y tecnologías innovadoras que permitan minimizar el impacto ambiental. Se trabajó con una muestra de 320 elementos, a los cuales se les aplicó una encuesta tipo cuestionario de 13 ítems, en donde se midieron las variables del estudio, materiales sostenibles y tecnologías avanzadas. Los hallazgos arrojaron que existe la necesidad de un accionar que promueva la construcción sostenible para lograr minimizar el impacto ambiental; se requiere una capacitación o formación técnica de los ingenieros en cuanto al uso de las tecnologías avanzadas, también que los incentivos económicos se aumenten y las normativas sean claras en ese sentido. Las conclusiones apuntan que la mayoría de los profesionales de la construcción en Huancayo conocen y utilizan los materiales sostenibles. Y, también perciben estos materiales sostenibles como resistentes, efectivos y duraderos para ayudar a mitigar el impacto ambiental, de esta forma se confirma que su uso es viable en proyectos que busquen resiliencia estructural y sostenibilidad ambiental.

**Palabras clave:** Materiales sostenibles; tecnologías avanzadas; construcción resiliente; impacto ambiental

## Abstract

This article aims to describe the properties of sustainable materials and the performance of advanced technologies for resilient, low-impact construction. The methodology used was descriptive research, aiming to characterize innovative materials and technologies that minimize environmental impact. A 13-item questionnaire survey was administered to a sample of 320 individuals. The study variables, sustainable materials, and advanced technologies were measured. The findings indicated a need for actions that promote sustainable construction to minimize environmental impact. Technical training for engineers in the use of advanced technologies is required, as well as increased economic incentives and clear regulations. The conclusions indicate that the majority of construction professionals in Huancayo are familiar with and use sustainable materials. And they also perceive these sustainable materials as resilient, effective, and durable, helping to mitigate environmental impacts. This confirms their viability in projects seeking structural resilience and environmental sustainability.

**Keywords:** Sustainable materials; advanced technologies; resilient construction; environmental impact

## Introducción

Como es sabido, el sector de la construcción es uno de los pilares fundamentales en pro del desarrollo económico y social de un país (Hidalgo Quispe, 2025). Actualmente, existe una creciente preocupación por el uso sostenible de los recursos naturales y los efectos adversos de la eliminación inadecuada de residuos, por lo que, el aprovechamiento de residuos y otros materiales adicionales en el ámbito de la construcción está ligado a una solución sobre el uso de los recursos naturales como tal. De hecho, que el avance en la ingeniería en torno a la construcción específicamente, suele utilizar material proveniente de los recursos naturales, lo que puede causar un impacto negativo en el ambiente, derivado del uso inadecuado de dichos recursos.

En el campo de la construcción se han utilizado diversos materiales en donde se pone énfasis en el uso de recursos derivados de residuos sólidos u otros materiales. En una investigación se utiliza la nanocelulosa Combo la cual presenta una prometedora vía para mejorar la sostenibilidad y el rendimiento de los materiales cementicios (Naseem & Rizwan, 2025), que es el principal material que se usa en dicho campo. La adición de nanocelulosa Combo contribuye a una reducción significativa de la huella de carbono en la producción de cemento, en consonancia con los objetivos de la construcción sostenible.

En 2023, la Agencia Internacional de Energía (AIE) informa (IEA, 2023), que el sector de los edificios y la construcción representó más de un tercio de las emisiones globales relacionadas con la energía de 2022. Sin embargo, se está trabajando para lograr reducir los gases de efecto invernadero, y los avances en la investigación de las disciplinas de ciencia e ingeniería de materiales han presentado un mayor control sobre el rendimiento y la utilización del material a través de la programación de materiales (Niazy et al., 2024), lo que puede contribuir en la programación de materiales para su mejor y mayor rendimiento sin afectar el medio ambiente.

En ese sentido, el uso tecnologías de avanzada como, por ejemplo, la impresión 3D ha abierto el espectro para un control más desarrollado de la deposición de materiales y brinda la oportunidad de superar la delaminación mediante la distribución avanzada de materiales en los sistemas, como el entrelazado de diferentes trayectorias (Correa et al., 2020). La programación de materiales está evolucionando la materialidad inteligente, pasando de la

laminación de compuestos a un nivel superior de control de la distribución del material a través de la impresión 4D (Boley et al., 2019; Chen et al., 2023; Jayashankar et al., 2020). En cuanto a avances de tecnología en el campo de la ingeniería civil y la construcción como tal, son varios los enfoques que han llegado para aminorar el impacto ambiental que se ha producido por años y años de construcción en proyectos de ingeniería.

como el Método de Diseño Directo (DDM), que se basa en un análisis no lineal (avanzado) geométrico y de materiales que incorpora efectos que se sabe que afectan sustancialmente el comportamiento y la resistencia de los sistemas que utilizan el método de elementos finitos (Real et al., 2025). También, es importante destacar, que la adopción de métodos directos basados en sistemas para la evaluación de estructuras existentes puede ser especialmente beneficiosa, ya que permite eliminar o reducir las intervenciones de reacondicionamiento necesarias si la resistencia del sistema se predice con mayor precisión (ídem).

Investigaciones como la de (Küttenbaum et al., 2021) han evidenciado que en la era de la digitalización, el uso ubicuo de sensores, las mediciones avanzadas del desempeño estructural demuestran ser indispensables al realizar evaluaciones de condición. Sin embargo, falta una interfaz consistente entre metrología y análisis de confiabilidad, y esto queda demostrado porque los datos de monitoreo generalmente están disponibles para condiciones de servicio, para las cuales el comportamiento estructural puede diferir significativamente del comportamiento del estado límite último.

Por otro lado, también se ha vuelto tendencia trabajar con materiales resilientes que provienen de la misma naturaleza pero que no tienen mayor impacto en nuestro ambiente. Hay investigaciones que apoyan la iniciativa de hacer del campo de la construcción un proceso que conlleve al uso de materiales sostenibles, con el fin de que se pueda disminuir el impacto ambiental en ese sentido. El uso de algunos subproductos en la construcción ofrecería una solución sostenible con el fin de mitigar la acumulación de residuos, a la vez que se reduciría la demanda de materias primas convencionales (Dixit & Kumar Das, 2025). En ese sentido, la búsqueda de materiales que aporten nuevas formas de construir sin afectar el medio ambiente se ha tornado en una necesidad en el campo de la construcción.

Por ejemplo, tenemos el caso del hormigón, el cual en los últimos años se le ha puesto una considerable atención en mejorar su sostenibilidad del mediante tecnologías de reciclaje de

residuos y supraciclaje, que se componen principalmente con tecnologías de hidratación del cemento o activación alcalina (Lao et al., 2022; Ren et al., 2024; Xu et al., 2024). Entre los materiales de hormigón existentes (Li et al., 2023a; Zhu et al., 2023a; (Gong et al., 2023; Jia et al., 2024; P. Li et al., 2023; Su et al., 2023; Sun et al., 2023; Z. Wang et al., 2023; Yao et al., 2023; Zhu et al., 2023), los compuestos cementicios de ingeniería/endurecimiento por deformación (ECC/SHCC) pueden considerarse un tipo especial de compuestos cementicios reforzados con fibra de alto rendimiento por su notable endurecimiento por deformación a la tracción, así como por sus múltiples comportamientos de agrietamiento (S. Li et al., 2022; V. C. Li, 2019; L. Wang et al., 2021; Xu et al., 2022; Yu et al., 2018).

La tecnología ha logrado desarrollar en el caso del hormigón, grandes avances, que ha permitido la evolución hacia una forma más sustentable de construir. Un ejemplo claro de ello es el hormigón impreso en 3D, el cual utiliza técnicas de fabricación aditiva para producir formas precisas y complejas, a la vez que minimiza el desperdicio de material, lo que facilita diseños estructurales únicos que plantearían dificultades utilizando enfoques tradicionales (Shi et al., 2016; Shin et al., 2019) citados por (Uddin et al., 2025).

También, se encuentra el caso de los Compuesto cementicios de ingeniería (CCI) con materiales aglutinantes sostenibles, que en los últimos años ha sido ampliamente investigado. Sobre este material se han explorado y utilizado diversas fuentes de materiales aglutinantes alternativos para la producción de CCI, principalmente de Residuos urbanos: incluidos los residuos de construcción y demolición (C&D) [p. ej., polvo fino reciclado (PFR) y polvo de ladrillo de desecho puro (PLDP)], residuos de incineración municipal [p. ej., cenizas volantes de incineración de residuos sólidos urbanos (RSU-IFA), cenizas de fondo de incineración de residuos sólidos urbanos (RSU-IBA)]; Residuos industriales: incluyendo residuos de la industria minera y de canteras [por ejemplo, relaves de mineral de hierro (RMH), polvo de mármol (PM) y polvo de piedra caliza (PC)], subproductos de generación de energía [por ejemplo, ceniza volante de carbón (CVC) y ceniza de fondo de carbón (CFC)], residuos de la industria metalúrgica [por ejemplo, escoria granulada de alto horno molida (EGHM)], polvo de horno de cemento (PHC), polvo de vidrio (PV), microesferas de vidrio huecas (MVH) y polvo cerámico residual (PCR); Residuos agrícolas [ceniza de cáscara de arroz (CCA), ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y ceniza de combustible de aceite de

palma (CCAP)]; y también recursos naturales [por ejemplo, ceniza volcánica (CV), polvo de diatomita (PD) y mezcla de piedra caliza con arcilla calcinada] (Xu et al., 2025)

Otra alternativa propuesta por (Ma et al., 2024) que sirve como material sostenible y de bajo impacto ambiental es el uso de Vidrio residual (VR) como sustituto de agregados finos, se supone que la álcali-sílice (ASR) se reduce, lo cual es especialmente adecuado para los Compuesto cementicios de ingeniería (CCI), ya que comúnmente no se usan agregados gruesos en este tipo de material cementicio avanzado.

Materiales provenientes de los residuos agrícolas también están siendo utilizados como una forma de hacer de la construcción una forma resiliente y que no impacte a gran escala el ambiente. La investigación de (Subedi et al., 2021), en donde se estudió los efectos de la ceniza de bagazo de caña de azúcar cruda (CBCA) utilizada como reemplazo parcial o total de la arena de sílice en compuestos cementosos de ingeniería (CCI), reveló que el CBCA crudo consistía principalmente en partículas pequeñas (es decir, tamaño de partícula promedio de 256 μm), porosas y de forma irregular con carbono y sílice como constituyentes principales. En esta investigación se concluyó que, en el caso de las propiedades del material endurecido, la incorporación de CBCA como sustituto de la arena produjo una ligera disminución (de hasta un 11%) de la resistencia a la compresión de los CCI. Sin embargo, la resistencia a la tracción y, especialmente, la ductilidad a la tracción de los compuestos mejoró sustancialmente (hasta un 22,3% y un 311%, respectivamente).

Actualmente, dentro de la familia de residuos agrícolas, solo la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) ha sido probada como reemplazo parcial de agregados finos en la producción de CCI (Subedi et al., 2021). La CRB es la ceniza residual obtenida de la incineración del bagazo, y hasta ahora ha sido poco utilizada como material cementante suplementario (MCS) en el colado de concreto (Paris et al., 2016). Según los resultados reportados para CRB-CCI, si la CBCA se procesa mínimamente mediante secado a 65 °C, el reemplazo parcial de arena de sílice con CBCA reduciría tanto la trabajabilidad como la resistencia a compresión simultáneamente, debido a la forma irregular y naturaleza porosa de la CBCA cruda, pero mejoraría la ductilidad a tracción debido a la reducción de la tenacidad a fractura, la mejora en la dispersión de fibras y un posible aumento en el valor de Jb' (Subedi et al., 2021).

En el presente estudio se ha propuesto describir las propiedades de los materiales sostenibles y el desempeño de las tecnologías avanzadas para una construcción resiliente y de bajo impacto ambiental, a fin de demostrar cómo puede contribuir la tecnología y los materiales sostenibles con el cuidado del medio ambiente, es decir, hacer un aporte en cuanto al impacto ambiental y las consecuencias que trae consigo el uso de materiales que afecten el ambiente en todos los sentidos, que proyecten mayor emisión de gases de efecto invernadero, entre otros.

## Material y métodos

La investigación es de tipo descriptiva, en donde se caracterizaron las propiedades y beneficios de los materiales sostenibles, así como algunas tecnologías de avanzada que se han puesto a la vanguardia de las construcciones sostenibles en la actualidad. Además de determinar el impacto que ha tenido en cuanto a lo ambiental y resiliencia estructural.

Se realizó una revisión documental en donde recopiló la información técnica y científica sobre materiales sostenibles y tecnologías avanzadas aplicadas en construcción, a partir de artículos científicos que demuestran el uso eficiente de los materiales sostenibles y las tecnologías de avanzada en las construcciones. Se investigó sobre las tecnologías de fabricación y control como impresión 3D/4D, métodos avanzados de diseño estructural y monitoreo con sensores inteligentes en la construcción y por el lado de los materiales, se evaluaron los criterios de sostenibilidad de los mismos, desde su eficiencia energética, reciclabilidad, durabilidad, entre otros. Todo esto se realizó a través de la aplicación de un cuestionario de 13 ítems a los profesionales del sector construcción en la ciudad de Huancayo, en donde se midieron las variables: Materiales sostenibles y Tecnologías avanzadas.

Se trabajó con una población estimada de 1000 profesionales de la construcción entre ingenieros civiles y arquitectos, y una muestra de 320 elementos para garantizar la representatividad con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia debido a la naturaleza especializada de la población de profesionales dedicados al campo de la construcción, se optó por un muestreo intencional o no probabilístico, seleccionando a aquellos profesionales con experiencia y

conocimiento en materiales innovadores, construcción sostenible y tecnologías avanzadas, y además que quisieran colaborar con la investigación. Para ello se realizó el contacto a través del colegio de ingenieros y empresas constructoras de la localidad.

## Resultados

Se presentan los resultados basados en la aplicación del cuestionario a los profesionales de la construcción, específicamente ingenieros civiles de la ciudad de Huancayo, los datos se han organizado en cuadros y gráficos para facilitar su mayor comprensión e interpretación.

Tabla 1. Conocimiento y uso de materiales sostenibles

| **Pregunta** | **Respuesta** | **Frecuencia (n=320)** | **Porcentaje (%)** |
|---|---|---|---|
| ¿Conoce o ha utilizado materiales sostenibles? | Sí | 256 | 80.0% |
| | No | 64 | 20.0% |
| Materiales sostenibles conocidos o usados | Nanocelulosa | 140 | 43.8% |
| | Compuestos cementicios | 180 | 56.3% |
| | Materiales reciclados | 200 | 62.5% |
| | Hormigón impreso en 3D | 95 | 29.7% |

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1 demuestra que el 80% de los elementos encuestados conoce o ha utilizado materiales sostenibles en sus proyectos de construcción. El resultado apunta a que los materiales de mayor uso o más reconocidos y empleados son los reciclados con un (62.5%), luego se encuentran los de compuestos cementicios con (56.3%) y la nanocelulosa con un (43.8%). En cuanto al hormigón impreso en 3D, su uso es menos frecuente, reportándose con

un (29.7%), esto indica que, aunque existe una alta conciencia sobre la sostenibilidad, la utilización de tecnologías avanzadas aún es limitada.

Tabla 2. Evaluación de propiedades técnicas y ambientales

| **Pregunta** | **Promedio (escala 1-5)** | **Interpretación** |
|---|---|---|
| Resistencia y durabilidad comparada | 4.1 | Buena percepción de desempeño |
| Reducción del impacto ambiental | 4.5 | Alta percepción de beneficio ambiental |

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2 demuestra que los profesionales de la construcción (ingenieros civiles) perciben que los materiales sostenibles tienen un buen desempeño técnico, lo que se observa con una calificación promedio de 4.1 sobre 5 en resistencia y durabilidad. Asimismo, consideran que dichos materiales contribuyen significativamente a la reducción del impacto ambiental con un 4.5 sobre 5. Aquí se ve reflejada una valoración positiva tanto en el aspecto técnico como ambiental en relación a los materiales sostenibles.

Tabla 3. Barreras para el uso de materiales sostenibles (respuesta abierta codificada)

| **Barrera principal** | **Frecuencia** | **Porcentaje (%)** |
|---|---|---|
| Costos elevados | 120 | 37.5% |
| Falta de normativas claras | 85 | 26.6% |
| Desconocimiento o capacitación | 70 | 21.9% |
| Disponibilidad limitada | 45 | 14.1% |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las principales barreras identificadas para la adopción de materiales sostenibles, la tabla 3 demuestra que son los costos elevados con un 37.5%, la falta de normativas claras

representada por un 26.6%, el desconocimiento o falta de capacitación que se evidencia con un 21.9% y finalmente, la disponibilidad limitada con un 14.1%. Con estos resultados se puede evidenciar que, existe interés, pero persisten obstáculos estructurales y de mercado que dificultan la implementación masiva de materiales sostenibles.

Tabla 4. Familiaridad y adopción de tecnologías avanzadas

| **Pregunta** | **Frecuencia (n=320)** | **Porcentaje (%)** |
|---|---|---|
| Familiaridad con impresión 3D/4D, BIM, sensores | 230 | 71.9% |
| Aplicación en proyectos | 150 | 46.9% |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4, queda evidenciado que el 71.9% de los ingenieros encuestados está familiarizado con tecnologías avanzadas como impresión 3D/4D, BIM y sensores, sin embargo, solo el 46.9% ha aplicado esas tecnologías en proyectos reales. Por lo que se puede decir que, aunque el conocimiento pueda ser alto, la adopción práctica enfrenta desafíos, los cuales pueden estar relacionados con la falta de recursos o la capacitación necesaria para el uso de estas.

Tabla 5. Impacto de tecnologías en eficiencia y resiliencia

| **Pregunta** | **Promedio (escala 1-5)** | **Interpretación** |
|---|---|---|
| Impacto en eficiencia del uso de materiales | 4.2 | Percepción positiva alta |
| **Beneficios percibidos (selección múltiple)** | **Frecuencia** | **Porcentaje (%)** |
| Mejor control estructural | 210 | 65.6% |
| Reducción de desperdicios | 195 | 60.9% |

| Pregunta | Promedio (escala 1-5) | Interpretación |
|---|---|---|
| Mayor precisión en diseño | 180 | 56.3% |
| Adaptabilidad a condiciones climáticas | 160 | 50.0% |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al impacto de las tecnologías avanzadas, se pudo alcanzar que, de acuerdo a la tabla 5, que, si son valoradas positivamente, lo que se representa con un promedio de 4.2 sobre 5 con respecto a su impacto en la eficiencia del uso de materiales sostenibles. Los beneficios mayormente reconocidos son el mejor control estructural con un 65.6%, en relación a la reducción de desperdicios se demuestra un 60.9%, en cuanto a la mayor precisión en el diseño alcanzó un 56.3% y finalmente la adaptabilidad a condiciones climáticas un 50%. Lo anterior refleja que los profesionales de la ingeniería si perciben un alto potencial en las tecnologías avanzadas para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de la construcción.

Tabla 6. Obstáculos para implementación tecnológica (respuesta abierta codificada)

| Obstáculo principal | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|---|---|
| Costos iniciales elevados | 140 | 43.8% |
| Falta de capacitación técnica | 110 | 34.4% |
| Resistencia al cambio | 70 | 21.9% |

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 recoge las impresiones sobre los principales obstáculos para la adopción de tecnologías avanzadas y quedó evidenciado que se relacionan a los costos iniciales elevados, lo que se representó con un (43.8%, también está la falta de capacitación técnica sobre el uso de las mismas con un 34.4% y la resistencia al cambio por parte de algunos ingenieros que aún persisten en el uso de lo convencional para su mayor comodidad, con un 21.9%. se demuestra entonces que las barreras identificadas son consistentes con los desafíos que se

encontraron en la literatura consultada, en donde la inversión y la formación son cruciales para la innovación del sector construcción y su importancia en cuanto al impacto que se pueda tener con el medio ambiente.

Tabla 7. Percepción general sobre sostenibilidad y normativas

| **Pregunta** | **Frecuencia (n=320)** | **Porcentaje (%)** |
|---|---|---|
| Importancia de adoptar materiales y tecnologías | Muy importante / Fundamental | 280% |
| Normativas e incentivos fomentan sostenibilidad | Sí | 90% |
| | No | 180% |
| | No sabe | 50% |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7, la gran mayoría representada con un 87.5% consideró como muy importante adoptar materiales y tecnologías sostenibles en la construcción local. También, están los que perciben que existen normativas e incentivos suficientes representados por el 28.1%, sin embargo, el 56.3% opinó lo contrario y un 15.6% que no sabe. Entonces, estos resultados reflejan una necesidad de fortalecer un marco regulatorio y sus políticas públicas que fomenten la construcción sostenible en la ciudad de Huancayo.

Sobre los resultados obtenidos en la aplicación de la encuesta se evidencia que existe la necesidad de un accionar que promueva la construcción sostenible para lograr minimizar el impacto ambiental; se requiere una capacitación o formación técnica de los ingenieros en cuanto al uso de las tecnologías avanzadas, también que los incentivos económicos se aumenten y las normativas sean claras en ese sentido. Con esto se demostró una alta conciencia y valoración positiva sobre el uso de los materiales sostenibles y tecnologías avanzadas entre los profesionales encuestados.

## Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo evidenciar que, la integración de materiales sostenibles y tecnologías avanzadas representa una vía prometedora para la transformación del sector construcción hacia modelos más sostenibles, resilientes y con un bajo impacto ambiental, lo que contribuye en gran manera a minimizar los daños ecológicos que se han tenido durante los últimos años. Esto se encuentra alineado con el creciente compromiso global de comprometerse con la reducción de la huella ecológica en este sector de la construcción, porque es el que en la actualidad representa más de un tercio de las emisiones energéticas mundiales de acuerdo a (IEA, 2023).

En cuanto a los materiales sostenibles como tal, que son un pilar clave, se demuestra que con el uso de la nanocelulosa Combo, los compuestos cementicios de ingeniería (CCI/SHCC) y residuos urbanos e industriales reciclados, es posible mejorar de manera significativa la durabilidad y ductilidad de las estructuras, y al mismo tiempo reduce puede reducir la demanda de materias primas convencionales y las emisiones de carbono asociadas a estos, lo que coincide con los estudios de (Dixit & Kumar Das, 2025; Naseem & Rizwan, 2025; Xu et al., 2025).

También, se pudo evidenciar, en algunos estudios que la incorporación de materiales agrícolas residuales, tales como la ceniza de bagazo de caña de azúcar, aporta a la sostenibilidad y a la mejora de propiedades mecánicas específicas, como la ductilidad, esto favorece la resiliencia estructural frente a cargas dinámicas y eventos extremos (Subedi et al., 2021). Esto se alinea con la investigación de (Casady et al., 2024) en donde se observa la necesidad de cooperación entre sectores públicos y privados de la construcción a fin de construir infraestructuras adaptativas y resistentes frente al cambio climático, para ayudar a acelerar la transición hacia una economía baja en carbono.

En estudios como los de (Boley et al., 2019; Correa et al., 2020; Küttenbaum et al., 2021; Real et al., 2025) se habla de tecnologías avanzadas, tales como la impresión 3D y 4D, el Método de Diseño Directo (DDM) y los sistemas de monitoreo estructural con sensores inteligentes, los cuales permiten un control más preciso y eficiente del uso de materiales, lo que optimiza la distribución y su desempeño. De acuerdo a los autores, esas innovaciones

pueden facilitar la fabricación de estructuras complejas con menor desperdicio y mayor funcionalidad, y con esto se puede contribuir en reducir la huella ambiental y, además se prolonga la vida útil de las construcciones.

Particularmente, la impresión 4D, puede abrir nuevas posibilidades para el material inteligente, donde las estructuras puedan adaptarse de forma más dinámica a las condiciones cambiantes del clima y mejorar la resiliencia y eficiencia energética de las edificaciones (Chen et al., 2023; Jayashankar et al., 2020)

## Conclusiones

Se pudo evidenciar que, la mayoría de los profesionales de la construcción en Huancayo conocen y utilizan los materiales sostenibles, en donde se destaca principalmente el uso de materiales reciclados y compuestos cementicios avanzados. Asimismo, se observó que se percibe los materiales sostenibles como resistentes, efectivos y duraderos para ayudar a mitigar el impacto ambiental, de esta forma se confirma que su uso es viable en proyectos que busquen resiliencia estructural y sostenibilidad ambiental.

Por otro lado, se evidencia que existen costos elevados en algunos materiales, así como una necesidad de adaptar las normativas a la realidad climática que existe en la actualidad. No existe una capacitación o formación en lo que respecta a las tecnologías avanzadas que permitan mitigar la huella de carbono y cambio climático, en donde el sector de la construcción tiene un alto porcentaje de incidencia. Hay una disponibilidad muy limitada de materiales sostenibles, por la falta de motivación en el uso de los mismos, lo que representa un obstáculo importante en el uso de materiales sostenibles por parte de los ingenieros en las construcciones de la ciudad de Huancayo.

Existe un buen nivel de familiaridad con tecnologías avanzadas como impresión 3D/4D, BIM y sistemas de monitoreo, pero su aplicación y práctica es reducida, lo que manifiesta algunos desafíos en cuanto a capacitación e inversión, y eso coincide con las tendencias globales en cuanto a la innovación tecnológica en construcción para ayudar al impacto ambiental.

## Referencias bibliográficas

Boley, J. W., Van Rees, W. M., Lissandrello, C., Horenstein, M. N., Truby, R. L., Kotikian, A., Lewis, J. A., & Mahadevan, L. (2019). Shape-shifting structured lattices via multimaterial

4D printing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(42), 20856–20862. https://doi.org/10.1073/PNAS.1908806116/SUPPL_FILE/PNAS.1908806116.SM05.MOV

Casady, C. B., Cepparulo, A., & Giuriato, L. (2024). Public-private partnerships for low-carbon, climate-resilient infrastructure: Insights from the literature. *Journal of Cleaner Production*, *470*, 143338. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.143338

Chen, S., Li, J., Shi, H., Chen, X., Liu, G., Meng, S., & Lu, J. (2023). Lightweight and geometrically complex ceramics derived from 4D printed shape memory precursor with reconfigurability and programmability for sensing and actuation applications. *Chemical Engineering Journal*, *455*, 140655. https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2022.140655

Correa, D., Poppinga, S., Mylo, M. D., Westermeier, A. S., Bruchmann, B., Menges, A., & Speck, T. (2020). 4D pine scale: biomimetic 4D printed autonomous scale and flap structures capable of multi-phase movement. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, *378*(2167). https://doi.org/10.1098/RSTA.2019.0445

Dixit, A., & Kumar Das, S. (2025). Mechanical, microstructural, and durability assessment of cement slurry waste and coal combustion ash mixture as a sustainable subgrade construction material: Experimental and mechanistic modeling approach. *Construction and Building Materials*, *458*, 139550. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2024.139550

Gong, F., Sun, X., Takahashi, Y., Maekawa, K., & Jin, W. (2023). Computational modeling of combined frost damage and alkali–silica reaction on the durability and fatigue life of RC bridge decks. *Journal of Intelligent Construction*, *1*(1), 9180001. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180001

Hidalgo Quispe, O. A. (2025). Construcción que Contamina, Gestión que Transforma: Un Análisis Correlacional del Manejo de los Residuos de la Construcción y Demolición en Pasco, hacia un Futuro Sostenible. *TecnoHumanismo, ISSN-e 2710-2394, Vol. 5, Nº. 1, 2025 (Ejemplar Dedicado a: Tecnología, Justicia y Gobernanza: Retos Digitales En La Selección y Evaluación de Magistrados), Págs. 1-314*, *5*(1), 1–314. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10182410&info=resumen&idioma=SPA

IEA. (2023). *Seguimiento del progreso de la energía limpia en 2023: análisis - AIE*. https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023

Jayashankar, D. K., Gupta, S. S., Sanandiya, N. D., Fernandez, J. D., & Tracy, K. (2020). Fiber reinforced composite manufacturing for passive actuators. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *109*(5–6), 1493–1509. https://doi.org/10.1007/S00170-020-05744-6/METRICS

Jia, J., Baah, W. A., Zheng, C., Ding, L., & Wu, Y. (2024). New stress–strain model and intelligent quality control technology for cemented material dam. *Journal of Intelligent Construction*, *2*(1), 9180033. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180033

Küttenbaum, S., Braml, T., Taffe, A., Keßler, S., & Maack, S. (2021). Reliability assessment of existing structures using results of nondestructive testing. *Structural Concrete*, *22*(5), 2895–2915. https://doi.org/10.1002/SUCO.202100226;WGROUP:STRING:PUBLICATION

Lao, J. C., Xu, L. Y., Huang, B. T., Dai, J. G., & Shah, S. P. (2022). Strain-hardening Ultra-High-Performance Geopolymer Concrete (UHPGC): Matrix design and effect of steel fibers. *Composites Communications*, *30*, 101081. https://doi.org/10.1016/J.COCO.2022.101081

Li, P., Wang, H., Nie, D., Wang, D., & Wang, C. (2023). A method to analyze the long-term durability performance of underground reinforced concrete culvert structures under coupled mechanical and environmental loads. *Journal of Intelligent Construction*, *1*(2), 9180011. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180011

Li, S., Chan, T. M., & Young, B. (2022). Behavior of GFRP-concrete double tube composite columns. *Thin-Walled Structures*, *178*, 109490. https://doi.org/10.1016/J.TWS.2022.109490

Li, V. C. (2019). *Engineered Cementitious Composites (ECC): Bendable Concrete for Sustainable ... - Victor C. Li - Google Libros* (Primera Edición). Springer. https://books.google.co.ve/books?hl=es&lr=&id=dQiWDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&ots=MfOGJRsKKc&sig=JDvF4RtKIKZmcXVg1OzOMwTrdl4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Ma, L., Sun, M., & Zhang, Y. (2024). The Mechanical and Self-Sensing Properties of Carbon Fiber- and Polypropylene Fiber-Reinforced Engineered Cementitious Composites Utilizing Environmentally Friendly Glass Aggregate. *Buildings 2024, Vol. 14, Page 938*, *14*(4), 938. https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14040938

Naseem, S., & Rizwan, M. (2025). Sustainable construction and combo nanocellulose: A synergistic approach to greener building materials. *Energy and Buildings*, *328*, 115218. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2024.115218

Niazy, D., Ashraf, M., Bodaghi, M., & Zolfagharian, A. (2024). Resilient city perspective: 4D printing in art, architecture and construction. *Materials Today Sustainability*, *26*, 100708. https://doi.org/10.1016/J.MTSUST.2024.100708

Paris, J. M., Roessler, J. G., Ferraro, C. C., Deford, H. D., & Townsend, T. G. (2016). A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. *Journal of Cleaner Production*, *121*, 1–18. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.02.013

Real, E., Arrayago, I., & Mirambell, E. (2025). REVOLUTIONIZING STEEL STRUCTURES: BRIDGING RESEARCH AND SUSTAINABLE DESIGN FOR FUTURE SOCIETAL IMPACT. *Thin-Walled Structures*, 113609. https://doi.org/10.1016/J.TWS.2025.113609

Ren, C., Wang, J., Duan, K., Li, X., & Wang, D. (2024). Effects of Steel Slag on the Hydration Process of Solid Waste-Based Cementitious Materials. *Materials 2024, Vol. 17, Page 1999*, *17*(9), 1999. https://doi.org/10.3390/MA17091999

Shi, X., Tian, Z., Chen, W., Si, B., & Jin, X. (2016). A review on building energy efficient design optimization rom the perspective of architects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *65*, 872–884. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.07.050

Shin, M., Baltazar, J. C., Haberl, J. S., Frazier, E., & Lynn, B. (2019). Evaluation of the energy performance of a net zero energy building in a hot and humid climate. *Energy and Buildings*, *204*, 109531. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2019.109531

Su, H., Xu, X., Zuo, S., Zhang, S., & Yan, X. (2023). Research progress in monitoring hydraulic concrete damage based on acoustic emission. *Journal of Intelligent Construction*, *1*(4), 9180024. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180024

Subedi, S., Arce, G. A., Noorvand, H., Hassan, M. M., Barbato, M., & Mohammad, L. N. (2021). Properties of Engineered Cementitious Composites with Raw Sugarcane Bagasse Ash Used as Sand Replacement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *33*(9), 04021231. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003892

Sun, X., Wang, S., Jin, J., Wang, Z., & Gong, F. (2023). Computational methods of mass transport in concrete under stress and crack conditions: A review. *Journal of Intelligent Construction*, *1*(2), 9180015. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180015

Uddin, M. A., Shahabuddin, M., Jameel, M., Rahman, M., Hosen, A., Alanazi, F., AbdelMongy, M., & El-kady, M. S. (2025). Sustainable construction practices in urban areas: innovative materials, technologies, and policies to address environmental challenges. *Energy and Buildings*, *341*, 115831. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2025.115831

Wang, L., Ur Rehman, N., Curosu, I., Zhu, Z., Beigh, M. A. B., Liebscher, M., Chen, L., Tsang, D. C. W., Hempel, S., & Mechtcherine, V. (2021). On the use of limestone calcined clay cement (LC3) in high-strength strain-hardening cement-based composites (HS-SHCC). *Cement and Concrete Research*, *144*, 106421. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2021.106421

Wang, Z., Gong, F., & Maekawa, K. (2023). Multi-scale and multi-chemo–physics lifecycle evaluation of structural concrete under environmental and mechanical impacts. *Journal of Intelligent Construction*, *1*(1), 9180003. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180003

Xu, L. Y., Huang, B. T., Li, V. C., & Dai, J. G. (2022). High-strength high-ductility Engineered/Strain-Hardening Cementitious Composites (ECC/SHCC) incorporating geopolymer fine aggregates. *Cement and Concrete Composites*, *125*, 104296. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2021.104296

Xu, L. Y., Lao, J. C., Qian, L. P., Khan, M., Xie, T. Y., & Huang, B. T. (2024). Low-carbon high-strength engineered geopolymer composites (HS-EGC) with full-volume fly ash precursor: Role of silica modulus. *Journal of CO2 Utilization*, *88*, 102948. https://doi.org/10.1016/J.JCOU.2024.102948

Xu, L. Y., Yu, J., Huang, B. T., Lao, J. C., Wu, H. L., Jiang, X., Xie, T. Y., & Dai, J. G. (2025). Green and low-carbon matrices for Engineered/Strain-Hardening Cementitious Composites (ECC/SHCC): Toward sustainable and resilient infrastructure. *Journal of Cleaner Production*, *496*, 144968. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2025.144968

Yao, G., Sun, W., Yang, Y., Wang, M., Li, R., & Zheng, Y. (2023). Multi-volume variable scale bitmap data object classification algorithm architectural concrete color difference detection.

*Journal of Intelligent Construction*, *1*(2), 9180010. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180010

Yu, J., Yao, J., Lin, X., Li, H., Lam, J. Y. K., Leung, C. K. Y., Sham, I. M. L., & Shih, K. (2018). Tensile performance of sustainable Strain-Hardening Cementitious Composites with hybrid PVA and recycled PET fibers. *Cement and Concrete Research*, *107*, 110–123. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2018.02.013

Zhu, X., Abe, H., Hayashi, D., & Tanaka, H. (2023). Behavioral characteristics of RC beams with non-uniform corrosion along the reinforcement. *Journal of Intelligent Construction*, *1*(3), 9180019. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180019

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.