

TECNOLOGÍA VERDE APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL: UN NUEVO PARADIGMA EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

**LEONARDO SARAVIA PARRA
EDWAR GARCIA AREVALO
FABRIZIO DEL CARPIO DELGADO
MARIO PEDRO RODRÍGUEZ VÁSQUEZ**

TECNOLOGÍA VERDE APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL: UN NUEVO PARADIGMA EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

**LEONARDO SARAVIA PARRA
EDWAR GARCIA AREVALO
FABRIZIO DEL CARPIO DELGADO
MARIO PEDRO RODRÍGUEZ VÁSQUEZ**

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva - UNIDAVI
Prof. Dr. Astor João Schönell Júnior - IFFAR
Prof. Dr. Alan Ricardo Costa - UFRR
Prof. Dr. Allan Diêgo Rodrigues Figueiredo - UESPI
Profa. Dra. Andréia Bulaty - UNESPAR
Profa. Dra. Carla da Conceição de Lima - UFVJM
Prof. Dr. Camilo Darsie de Souza - UNISC
Profa. Dra. Clarice Caldeira Leite - UFRGS
Profa. Dra. Cecilia Decarli - UFRGS
Prof. Dr. Carlos Adriano Martins - UNICID
Prof. Dr. Christian Dennys Monteiro de Oliveira - UFCE
Profa. Dra. Dayse Marinho Martins - UFMA
Prof. Dr. Deivid Alex dos Santos - UEL
Prof. Dr. Dioni Paulo Pastorio - UFRGS
Prof. Dr. Douglas Manoel Antonio de Abreu Pestana dos Santos - FASESP
Profa. Dra. Elane da Silva Barbosa - UERN
Profa. Dra. Elen Gomes Pereira - IFBA
Profa. Dra. Francielle Benini Agne Tybusch - UFN
Prof. Dr. Francisco Odécio Sales - IFCE
Prof. Dr. Francisco Ricardo Miranda Pinto - UFCAT
Prof. Dr. Gilvan Charles Cerqueira de Araújo - UCB
Prof. Dr. Ismar Inácio dos Santos Filho - UFAL
Prof. Dr. Leonardo Bigolin Jantsch - UFSM
Profa. Dra. Liziany Müller Medeiros - UFSM
Profa. Dra. Marcela Mary José da Silva - UFRB
Prof. Dr. Mateus Henrique Köhler - UFSM
Prof. Dr. Michel Canuto de Sena - UFMS
Profa. Dra. Mônica Aparecida Bortolotti - UNICENTRO
Prof. Nilton David Vilchez Galarza - UPLA
Prof. Dr. Olavo Barreto de Souza - UEPB
Prof. Dr. Rafael Nogueira Furtado - UFABC
Prof. Dr. Roberto Araújo da Silva Vasques Rabelo - UNISANTOS
Prof. Dr. Rodrigo Toledo - USCS
Prof. Dr. Rodolfo Rodrigues de Souza - UERJ
Prof. Dr. Sidnei Renato Silveira - UFSM
Prof. Dr. Thiago Ribeiro Rafagnin - UFOB
Prof. Dr. Tomás Raúl Gómez Hernández - UCLV

Editor Chefe: Ivania Folmer

Bibliotecária: Eliete Marques da Silva

Projeto gráfico e Diagramação: Gabriel Eldereti Machado

Imagem capa: www.canva.com

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Tecnología verde aplicada a la ingeniería civil :
un nuevo paradigma en la construcción
sostenible [livro eletrônico] / Leonardo
Saravia Parra... [et al.]. -- Santa
Maria, RS : Arco Editores, 2025.
PDF

Outros autores: Edwar Garcia Arevalo, Fabrizio
Del Carpio Delgado, Mario Pedro Rodríguez Vásquez.
Bibliografia.
ISBN 978-65-5417-500-5

1. Engenharia civil 2. Sustentabilidade
ambiental I. Saravia Parra, Leonardo. II. Garcia
Arevalo, Edwar. III. Carpio Delgado, Fabrizio Del.
IV. Rodríguez Vásquez, Mario Pedro.

25-283140

CDD-624

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia civil 624

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380



10.48209/978-65-5417-500-5

Este livro é o resultado de uma pesquisa científica em atividades de ciência e tecnologia.
O trabalho foi revisado por pares acadêmicos externo antes de ser publicado.



CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I.....	13
SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.....	13
1.1. Situación actual del medioambiente.....	14
1.2. Concepto de sostenibilidad ambiental.....	17
1.3. Importancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	19
1.4. Responsabilidad sostenible en la sociedad.....	22
1.5. Tendencias innovadoras en sostenibilidad ambiental.....	25
CAPÍTULO II.....	28
TECNOLOGÍA VERDE.....	28
2.1. Aspectos conceptuales de tecnología verde.....	30
2.2. Tipos de tecnología verde.....	32
2.3. Objetivos de la tecnología verde para la reducción del impacto ambiental	36
2.4. Importancia de la tecnología verde en la sostenibilidad ambiental.....	38
2.5. Oportunidad y desafíos actuales de la tecnología verde.....	41
CAPÍTULO III.....	44
CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE E INGENIERÍA CIVIL.....	44
3.1. Una aproximación conceptual a la construcción sostenible.....	45
3.2. Rol de la ingeniería civil en la sostenibilidad de las obras.....	48
3.2.1 Comparación entre construcción tradicional y sostenible.....	48
3.3. Alternativas de tecnología verde en la construcción sostenible.....	51

3.3.1. Techo verde como estrategia sustentable.....	51
3.3.2. El reciclaje de residuos como nuevo material de construcción.....	54
3.3.3. El bambú y su relevancia en la construcción sostenible.....	56
3.4. Retos y oportunidades de una ingeniería civil verde.....	58
CAPÍTULO IV.....	61
LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y LA TECNOLOGÍA VERDE. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.....	61
4.1. Metodología.....	63
4.1.1. Estrategias de búsqueda.....	63
4.1.2. Selección de estudios.....	64
4.1.3. Extracción de resultados del estudio.....	64
4.2. Resultados.....	67
4.3. Discusión.....	76
4.4. Conclusiones.....	83
CAPÍTULO V.....	84
CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y LA TECNOLOGÍA VERDE.....	84
5.1. Adopción de tecnologías verdes y su incidencia en la responsabilidad ambiental.....	85
5.2. Impacto de la construcción tradicional en el medioambiente.....	87
5.3. La bioconstrucción para la sostenibilidad ambiental.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
SOBRE LOS AUTORES.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Búsqueda avanzada de archivos.....	63
Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión aplicados a los resultados.....	65
Tabla 3. Cuadro de análisis de artículos seleccionados.....	68
Tabla 4. Procesos sostenibles para el preparado de mezclas de construcción	77
Tabla 5. Tecnologías sostenibles para la mejora en la producción de recursos de construcción.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo Prisma.....	66
Figura 2. Representación gráfica de la relación de términos clave en la base de datos Scopus.....	75
Figura 3. Visualización de palabras clave generados a partir de la búsqueda en Scopus.....	76

RESUMEN

En el contexto actual, marcado por los crecientes desafíos ambientales y la urgencia de transformar los procesos constructivos tradicionales, la construcción sostenible y las tecnologías verdes se han posicionado como elementos clave para lograr un desarrollo urbano responsable. Esta investigación tuvo como propósito identificar materiales, métodos y tecnologías innovadoras que contribuyen a la sostenibilidad dentro del sector de la construcción. Para cumplir con este objetivo, se llevó a cabo una revisión sistemática basada en el método Prisma, y se aplicaron criterios de selección definidos en las bases de datos Google Académico y Scopus. Del total de 1191 resultados iniciales, se seleccionaron 17 estudios, que ofrecieron hallazgos significativos. Entre ellos destacan el uso de materiales alternativos, como geopolímeros, fibras naturales y subproductos agrícolas, así como la incorporación de tecnologías emergentes, como la impresión 3D y 4D, y los sistemas BIM. La evidencia obtenida permite concluir que la ingeniería civil desempeña un papel estratégico en esta transición hacia prácticas más sostenibles. Sin embargo, aún existen barreras importantes relacionadas con la formación técnica, la digitalización y la actualización normativa del sector.

Palabras clave: construcción, sostenibilidad, ingeniería civil, tecnología, industria 4.0

ABSTRACT

In the current context, marked by growing environmental challenges and the urgency to transform traditional construction processes, sustainable construction and green technologies have positioned themselves as key elements to achieve responsible urban development. The purpose of this research was to identify innovative materials, methods and technologies that contribute to sustainability within the construction sector. To meet this objective, a systematic review based on the Prisma method was carried out, and selection criteria defined in the Google Scholar and Scopus databases were applied. From the total of 1191 initial results, 17 studies were selected, which offered significant findings. These include the use of alternative materials, such as geopolymers, natural fibers and agricultural by-products, as well as the incorporation of emerging technologies, such as 3D and 4D printing, and BIM systems. The evidence obtained leads to the conclusion that civil engineering plays a strategic role in this transition towards more sustainable practices. However, there are still significant barriers related to technical training, digitalization and regulatory updating of the sector.

Keywords: construction, sustainability, civil engineering, technology, industry 4.0

INTRODUCCIÓN

Debido al extendido uso de maquinaria, materiales como el acero y el hormigón, el transporte y la gestión ineficaz de los residuos, la construcción tradicional tiene un impacto negativo en el medioambiente, que provoca contaminación acústica, degradación estructural, riesgos para la salud y emisiones nocivas. Junto con la planificación urbana, la ingeniería civil es crucial para incorporar prácticas sostenibles, como el diseño ecológico, las energías renovables, los materiales alternativos y la tecnología digital. La adopción de estrategias como la economía circular, que exige marcos legislativos adecuados, inversiones técnicas y una cultura de la construcción más ecológica, se ve obstaculizada por factores como la escasa digitalización y la oposición al cambio. Por lo tanto, el primer paso hacia un desarrollo urbano verdaderamente sostenible es replantearse los métodos de construcción desde una perspectiva ecológicamente consciente.

Centrado en la función de la ingeniería civil, este libro ofrece un enfoque organizado de la sostenibilidad medioambiental, la tecnología verde y su uso en la construcción. El primer capítulo esboza la situación actual del medioambiente, introduce la idea de sostenibilidad medioambiental y destaca la importancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). También menciona el papel que desempeña la responsabilidad social en la protección del medioambiente y las tendencias de vanguardia que se están utilizando para ello. En el segundo capítulo se abordan las características conceptuales de la tecnología verde, sus múltiples tipologías, sus objetivos para reducir el efecto medioambiental y su importancia para la sostenibilidad, así como los obstáculos actuales para su aplicación.

El tercer capítulo desarrolla los fundamentos teóricos de la construcción sostenible y la ingeniería civil, el papel de los profesionales del sector en el cambio de los métodos de construcción y las opciones tecnológicas pertinentes, como el reciclado de residuos, los tejados verdes y el bambú como

recurso renovable. El cuarto capítulo resume los estudios pertinentes y ofrece una evaluación exhaustiva de la tecnología verde y la construcción sostenible. Finalmente, el quinto capítulo aborda la aceptación de la tecnología verde, los efectos medioambientales de la construcción convencional y la función de la bioconstrucción como medio para lograr un equilibrio entre la preservación del medioambiente y el desarrollo. En ese sentido, el propósito de esta publicación ha sido identificar materiales, métodos y tecnologías innovadoras que promuevan la sostenibilidad en el sector.

CAPÍTULO I

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

El aumento de la población, el rápido desarrollo industrial y el uso inadecuado de los recursos naturales han contribuido a la transformación medioambiental del planeta en las últimas décadas. Entre las alarmantes repercusiones de esta situación, se encuentran el cambio climático, la disminución de la biodiversidad, la contaminación de los ecosistemas y una creciente escasez de agua y suelos fértiles (Moyón *et al.*, 2024). Asimismo, informes recientes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) indican que las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por el hombre han provocado un fuerte aumento de la temperatura mundial, lo que ha incrementado la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos y puesto en peligro la seguridad del acceso de millones de personas a alimentos, agua y energía. Ante esta grave situación, ha surgido con fuerza el concepto de “sostenibilidad medioambiental”, que se define como la capacidad de satisfacer las demandas actuales sin poner en peligro los recursos y el nivel de vida de las generaciones futuras, manteniendo al mismo tiempo la salud de los ecosistemas y el equilibrio ecológico del planeta (Abril e Infante, 2022).

De acuerdo con Ordoñez-Iturralde *et al.* (2024), uno de los principios básicos del desarrollo es la sostenibilidad medioambiental, que aboga por una estrategia integrada que combine el crecimiento social, el avance económico y la preservación del medioambiente. Reconfigurar los sistemas de producción, consumo y gestión de recursos hacia modelos más responsables, regenerativos e igualitarios es tan importante como reducir la contaminación o proteger la biodiversidad. En este sentido, en 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, lo que marcó un importante punto de inflexión a escala mundial. Para que las estructuras económicas y sociales sean más resilientes y sostenibles, se está promoviendo una hoja de ruta ambiciosa y polifacética a través de los 17 Objetivos de Desarrollo

Sostenible (ODS), en particular los relacionados con el agua limpia y el saneamiento (ODS 6), la energía asequible y limpia (ODS 7), la acción por el clima (ODS 13), la vida submarina (ODS 14) y la vida de los ecosistemas terrestres (ODS 15).

En ese contexto, la responsabilidad social sostenible asume un papel fundamental dentro de este paradigma. Gobiernos, empresas, instituciones académicas y asociaciones cívicas y particulares deben demostrar una dedicación ética y pragmática a la sostenibilidad, tomando decisiones meditadas que reduzcan su impacto ambiental y fomenten un cambio ambiental constructivo. Cada actor social desempeña un papel crucial en el avance de un modelo de coexistencia pacífica con el medioambiente, desde la creación de políticas públicas medioambientales y las inversiones en infraestructuras verdes hasta la adopción de prácticas de consumo responsable y el fomento de una cultura medioambiental a través de la educación formal e informal. La sostenibilidad es ahora una tarea humana común, y no una prerrogativa exclusiva del Estado o de las organizaciones internacionales (Pernía y Sanabria, 2021).

En suma, la sostenibilidad ambiental es un campo dinámico e intrincado, crucial para la supervivencia humana actual. Para su metodología es necesario tener una visión holística, intersectorial e intensamente colaborativa. Incorporar los principios de sostenibilidad a todos los aspectos de la vida humana —económicos, sociales, políticos y culturales—, así como a todos los niveles de actuación —local, nacional e internacional— no es solo una cuestión apremiante, sino también una oportunidad para crear un futuro más resistente, equitativo y justo. A su vez, revertir la degradación medioambiental y sentar las bases de una sociedad que valore y proteja el mundo en el que vive puede lograrse fomentando las invenciones sostenibles, reforzando los marcos jurídicos y educativos e involucrando activamente a todos los agentes sociales.

1.1. Situación actual del medioambiente

Con una confluencia de crisis interconectadas que ponen en peligro tanto la estabilidad ecológica como la existencia humana, el actual estado del medioambiente mundial es preocupante. La Organización de las Naciones

Unidas (ONU) ha identificado la contaminación, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático como una “triple crisis planetaria” (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC, 2022). La acidificación de los océanos, la subida del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos extremos son consecuencia del calentamiento global causado por las emisiones de gases de efecto invernadero. Así, un millón de especies están en peligro de extinción como consecuencia de la degradación del hábitat, la sobreexplotación y el cambio climático, lo que contribuye a una pérdida de biodiversidad sin precedentes. Todas las formas de contaminación agravan los problemas medioambientales ya existentes al dañar los ecosistemas y la salud humana (Clavijo y Gutiérrez, 2023).

Según Texsi (2024), otro problema grave es la deforestación, que repercute en la biodiversidad y alimenta el cambio climático en lugares como el Gran Chaco en Sudamérica, donde enormes extensiones de bosque se han convertido en tierras agrícolas. Según la Global Footprint Network (2018), el uso excesivo de los recursos naturales ha dado lugar a un consumo 1,7 veces superior al potencial de regeneración del planeta. Por ello, la disponibilidad de recursos vitales como el agua dulce y los minerales en el futuro se ve amenazada por este uso insostenible.

Para Sánchez (2024), estos problemas globales se reflejan en la situación medioambiental de Perú, donde ciertas cuestiones exigen una atención inmediata. La minería ilegal, la tala de árboles y la agricultura migratoria son las principales causas del elevado ritmo de deforestación de la Amazonía peruana, de manera que el ciclo hidrológico, la biodiversidad y el cambio climático se ven afectados por esta pérdida de bosques. La salud pública también se ve seriamente amenazada por la contaminación del aire en ciudades como Lima y la contaminación del agua por las explotaciones mineras. A su vez, en zonas como Pataz, donde los recientes asesinatos de mineros han llamado la atención sobre la gravedad del problema, la minería ilegal —con especial atención en la extracción del oro— ha provocado daños medioambientales y derramamiento de sangre. Además de contaminar los cursos de agua con mercurio, esta práctica perjudica a la economía formal y provoca malestar social. La ausencia de

servicios básicos e infraestructuras en estos lugares, a pesar de los intentos del Gobierno, mantiene vulnerables a los residentes locales.

Asimismo, con el retroceso de los glaciares tropicales, que ponen en peligro el suministro de agua para la agricultura, la electricidad y el uso humano, el cambio climático también está generando un gran impacto en Perú. La gravedad de los fenómenos meteorológicos extremos, como sequías e inundaciones, ha aumentado, lo que repercute en la salud pública y la seguridad alimentaria; asimismo, en zonas que antes no estaban afectadas, las enfermedades transmitidas por vectores, como el dengue y la malaria, se han vuelto más frecuentes. La pérdida de biodiversidad en Perú es especialmente preocupante, ya que las especies autóctonas están en peligro debido a la destrucción de su hábitat, la caza furtiva y el tráfico ilícito de especies silvestres. La polinización y la regulación del clima son dos servicios medioambientales cruciales que se ponen en peligro cuando se deterioran ecosistemas importantes. Además, en las regiones urbanas y rurales, la mala gestión de los residuos sólidos agrava la contaminación y pone en peligro la salud pública (Gutiérrez *et al.*, 2023).

En este sentido, Perú debe fortalecer sus políticas medioambientales frente a estos obstáculos y fomentar la adopción de tecnologías limpias, la gestión sostenible de los recursos y la conservación de los ecosistemas. Para gestionar eficazmente la catástrofe medioambiental, son cruciales la colaboración internacional y la adhesión a los acuerdos medioambientales internacionales. De esta manera se garantizarán soluciones más sostenibles y equitativas cuando las comunidades locales y la sociedad civil participen activamente en la toma de decisiones medioambientales (Vargas *et al.*, 2023).

En suma, tanto la actuación nacional como la internacional deben ser rápidas y coordinadas para hacer frente a la actual crisis medioambiental, ya que además de ser una preocupación ecológica, la protección del medioambiente también es esencial para la seguridad, la salud y el bienestar de las generaciones actuales y futuras. Por lo tanto, será factible abordar los problemas medioambientales y crear un futuro sostenible para todos si se adopta una estrategia minuciosa y científicamente fundamentada.

1.2. Concepto de sostenibilidad ambiental

Uno de los principios clave para garantizar la sostenibilidad del planeta y la supervivencia de las generaciones futuras es la sostenibilidad ambiental. Esta idea se basa en el uso prudente y sensato de los recursos naturales de manera que se mantenga el equilibrio ecológico sin poner en peligro las perspectivas de crecimiento de las generaciones futuras. En ese sentido, la sostenibilidad medioambiental significa reorientar el progreso humano hacia un vínculo armonioso entre el crecimiento económico, la justicia social y la protección del medioambiente, conscientes de que estos factores no se excluyen mutuamente, sino que son muy interdependientes (Martínez *et al.*, 2024).

Para Muñoz y Enciso (2021), la conservación de los recursos naturales, que exige utilizar los recursos renovables a un ritmo que permita su regeneración a la vez que se cambian por alternativas más limpias y eficaces al uso de recursos no renovables, es uno de los principios fundamentales de la sostenibilidad. Esta estrategia fomenta una economía que da prioridad al desarrollo de tecnologías limpias, la eficiencia energética y la preservación de ecosistemas clave como humedales, bosques y fuentes de agua, todos ellos esenciales para la resiliencia ecológica frente al cambio climático y otras amenazas medioambientales.

Además, Miñarro (2021) menciona que la reducción de la contaminación en todas sus manifestaciones es otro elemento crucial. En la actualidad, actividades humanas como la industrialización, el transporte y la agricultura intensiva están exponiendo el aire, el agua y el suelo a cantidades peligrosamente elevadas de contaminantes. Para reducir estos impactos y disminuir la carga medioambiental, se deben poner en práctica métodos como la economía circular, la gestión integrada de residuos y el desarrollo de energías limpias. Además, para evitar efectos perjudiciales sobre los ecosistemas y la salud pública, los residuos sólidos y tóxicos deben gestionarse adecuadamente.

Para Suarez *et al.* (2025), otro componente esencial de la sostenibilidad medioambiental es la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad. La deforestación, la expansión agrícola, la contaminación y el cambio climático

son las principales causas de la creciente pérdida de especies, lo que perjudica el funcionamiento de los ecosistemas y pone en peligro funciones vitales como la polinización, la fertilidad del suelo y la regulación del agua. En este sentido, es crucial reforzar las leyes de conservación, aumentar el número de áreas naturales protegidas y garantizar la participación activa de las poblaciones locales en la gestión sostenible del medioambiente.

Ante la rápida intensificación del cambio climático, se necesitan desesperadamente estrategias de mitigación y adaptación para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y prepararse para las consecuencias inevitables del calentamiento global. Las comunidades que ya están en riesgo se ven progresivamente afectadas por fenómenos como las olas de calor, las sequías prolongadas, las inundaciones y el retroceso de los glaciares. Para cumplir los compromisos climáticos internacionales, como el Acuerdo de París, los planes de desarrollo nacionales y regionales deben incorporar medidas tangibles como la reforestación, la movilidad sostenible y el cambio a fuentes de energía renovables (Restrepo, 2022).

Por otro lado, autores como Clavijo y Gutiérrez (2023) señalan que el logro de la sostenibilidad requiere responsabilidad compartida y gobernanza medioambiental. Las decisiones medioambientales deben basarse en información científica, contar con la participación de todos y cumplir las normas de responsabilidad y transparencia. Construir una sociedad ambientalmente sostenible es una tarea activa de Gobiernos, empresas, organizaciones sociales e individuos. Y es que una ciudadanía concientizada y dedicada a la protección del medioambiente puede fomentarse a través de la educación ambiental y las campañas de concienciación pública.

Desde una mirada global, la sostenibilidad medioambiental brinda varias ventajas. Dado que los grupos más desfavorecidos suelen ser los más afectados por la degradación medioambiental, garantiza la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras, protege la salud humana al reducir la exposición a los contaminantes, construye una economía más resistente y fomenta una mayor justicia social. Por lo tanto, perseguir la sostenibilidad también implica perseguir sociedades más equitativas, sanas y cohesionadas (García *et al.*, 2024).

Por último, la sostenibilidad ambiental es un requisito necesario para garantizar un futuro viable en una época caracterizada por numerosas crisis medioambientales, como el deterioro del suelo, la escasez de agua, la grave contaminación y la pérdida de hábitats naturales. Para lograrlo, es necesario un replanteamiento profundo de los sistemas de producción y consumo, inversiones en ecoinnovación, la adopción de estilos de vida responsables y la formación de asociaciones estratégicas entre industrias. Invertir las tendencias actuales y proteger la integridad del planeta para las generaciones actuales y futuras solo puede ser factible con un compromiso colectivo, informado y decidido (León *et al.*, 2024).

En resumen, la sostenibilidad medioambiental es un principio crucial para abordar los problemas del siglo XXI fusionando el progreso social, el crecimiento económico y la preservación del medioambiente. Todas las facetas de la sociedad deben apoyar activamente su ejecución, lo que exige un cambio significativo en las formas de producción, consumo y gobierno. La única forma de proteger los recursos naturales, mantener un ecosistema sano y crear un futuro justo y resistente para las generaciones actuales y futuras es adoptar un comportamiento responsable, aumentar los conocimientos ecológicos y poner en marcha normativas eficaces.

1.3. Importancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Adoptados por la Asamblea General de la ONU en 2015, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) representan un esfuerzo global histórico para hacer del mundo un lugar más resiliente, inclusivo y justo. Con 17 objetivos y 169 metas específicas, esta ambiciosa agenda es un llamado a la acción para acabar con la pobreza, salvaguardar el medioambiente y garantizar la prosperidad mundial hasta 2030. Además de su amplia gama de temas, los ODS son importantes por su enfoque integrado, que reconoce la interconexión y la complejidad de las cuestiones sociales, económicas y medioambientales (Miranda *et al.*, 2022).

Según González-Campo *et al.* (2022), la capacidad de los ODS para abordar de forma articulada los problemas mundiales interrelacionados es uno

de sus principales logros. Este enfoque sistémico permite comprender que problemas como la pobreza, el hambre, la desigualdad, la degradación del medio ambiente y el cambio climático no pueden abordarse en el vacío. Por ejemplo, lograr la seguridad alimentaria requiere esfuerzos en diversos campos, como la mitigación de la pobreza, la reducción del cambio climático y la agricultura sostenible. Esta visión global fomenta la adopción de políticas públicas coherentes, cooperativas y realmente sostenibles.

Por otro lado, Suescum *et al.* (2025) señalan que los ODS también proporcionan una hoja de ruta clara y consensuada para las acciones de los Gobiernos, las organizaciones internacionales, el sector comercial, la sociedad civil y los ciudadanos. La Agenda 2030 facilita la rendición de cuentas y la transparencia, ya que permite establecer procedimientos de seguimiento y evaluación a través de sus metas cuantificables y plazos especificados. Para producir efectos significativos y duraderos, este marco de acción común promueve la coordinación interinstitucional, moviliza recursos y fomenta la cooperación internacional.

A su vez, el énfasis de los ODS en las personas es otro componente esencial. Los objetivos dan prioridad a acabar con la pobreza extrema, garantizar que todo el mundo tenga acceso a servicios básicos, como electricidad, agua potable, atención sanitaria y educación, y promover la igualdad de género y el trabajo digno. Centrado en las poblaciones más vulnerables, como las mujeres, los niños, los pueblos indígenas y las personas con discapacidad, este enfoque humanista sitúa la dignidad y el bienestar de todas las personas en el centro del desarrollo (Muñoz y Enciso, 2021).

Además, la inclusión explícita del factor medioambiental es uno de los cambios más notables introducidos en los ODS respecto a sus predecesores, los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). La importancia de proteger los ecosistemas y detener la pérdida de biodiversidad se refleja en temas como la acción por el clima (ODS 13), la vida submarina (ODS 14) y la vida terrestre (ODS 15). Además, los ODS apoyan el cambio hacia el uso de energías limpias y modelos responsables de producción y consumo, reconociendo que la sostenibilidad ecológica es un requisito previo para el crecimiento económico (Mujica *et al.*, 2024).

Del mismo modo, Liarte-Vejrup *et al.* (2022) sostienen que los ODS hacen hincapié en la necesidad de crear sociedades más inclusivas, equitativas y pacíficas. Por ejemplo, el ODS 16 hace especial hincapié en la protección de los derechos humanos, la lucha contra la corrupción, el fortalecimiento del Estado de derecho y el fomento de la participación ciudadana. Dado que el desarrollo sostenible a largo plazo es imposible sin instituciones sólidas y una atmósfera pacífica, este elemento ético y político es crucial. En consecuencia, la equidad social se convierte en un requisito previo para alcanzar la prosperidad compartida.

Asimismo, los ODS fomentan una nueva asociación multilateral basada en la corresponsabilidad, la solidaridad y la cooperación. Para lograr el desarrollo sostenible, el ODS 17 subraya la necesidad de reactivar las colaboraciones internacionales, promover el comercio justo, facilitar el acceso tecnológico y fomentar la financiación para las naciones con recursos limitados. Este objetivo reconoce que la colaboración es esencial para lograr resultados revolucionarios y que ninguna nación puede abordar por sí sola los problemas acuciantes del mundo (González-Campo *et al.*, 2022).

Por último, Liarte-Vejrup *et al.* (2024) también puntualizan que la universalidad de los ODS supone un cambio de perspectiva en la gobernanza del desarrollo. A diferencia de los ODM, los ODS se aplican a todas las naciones, independientemente de su grado de riqueza o progreso. Esto sugiere que, para alcanzar los objetivos propuestos, el norte global y el sur global tienen deberes distintos pero compartidos. Por lo tanto, la Agenda 2030 anima a todas las naciones a determinar sus propias prioridades, modificar los objetivos para adaptarlos a sus circunstancias particulares y realizar un esfuerzo concertado para llevar esos objetivos hasta su culminación.

En síntesis, los ODS son una agenda global audaz, inclusiva y revolucionaria que aborda la necesidad apremiante de resolver los problemas interrelacionados que ponen en peligro el equilibrio del planeta y el bienestar humano. Los Gobiernos, las organizaciones internacionales, la sociedad civil y el sector empresarial pueden trabajar juntos para promover la justicia social, la equidad, la sostenibilidad medioambiental y el crecimiento económico integrador gra-

cias a su estrategia global centrada en las personas y el medioambiente. Los ODS son universales e independientes del contexto, y proporcionan una plataforma única para movilizar recursos y compromisos en apoyo de un desarrollo equitativo, resiliente y sostenible, fortaleciendo así una visión común de un futuro mejor para las generaciones actuales y futuras.

1.4. Responsabilidad sostenible en la sociedad

De acuerdo con Santamaría *et al.* (2024), la búsqueda de un desarrollo armonioso que equilibre los factores sociales, económicos y medioambientales se basa en la premisa subyacente de la responsabilidad sostenible. Su nacimiento es una respuesta a las profundas disparidades que definen a la sociedad moderna y al creciente conocimiento de las limitaciones planetarias. Según esta estrategia, los paradigmas de producción, consumo y gobernanza deben modificarse estructuralmente para promover la equidad intergeneracional y la restauración de los sistemas naturales. En este sentido, cada actor social —desde los ciudadanos particulares hasta las instituciones mundiales— tiene un papel crucial que desempeñar en la creación de un futuro más equitativo y sostenible.

Para Aucapiña y Teneda (2024), la responsabilidad sostenible es una solución vital a los diversos retos ecológicos a los que se enfrenta actualmente el mundo a nivel medioambiental. La explotación insostenible de los recursos naturales se manifiesta en la deforestación, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación del aire, el agua y el suelo. Es factible aminorar estos efectos mediante la aplicación de prácticas sostenibles, que incluyen la eficiencia de los recursos, la promoción de energías limpias, la conservación de los ecosistemas y el cambio hacia modelos de economía circular. De este modo, la sostenibilidad medioambiental sirve de piedra angular para el sustento de la vida y el bienestar humano a largo plazo.

Desde un punto de vista económico, Cogollo-Florez *et al.* (2024) sostienen que la sostenibilidad significa reconsiderar los modelos de crecimiento convencionales que se basan en razonamientos extractivos y a corto plazo. La innovación, la inversión en tecnologías limpias, la creación de empleos verdes y la resiliencia ante los desastres medioambientales y económicos se alimen-

tan de la responsabilidad sostenible. Además, la sostenibilidad fomenta una estrategia de valor compartido en la que las empresas ganan dinero sin poner en peligro el medioambiente ni ampliar las brechas sociales. La construcción de sistemas más igualitarios, eficaces y adaptables a escala mundial es posible gracias a este cambio de paradigma económico.

En cuanto al aspecto social, es necesaria una fuerte dedicación a la justicia, la equidad y los derechos humanos para una responsabilidad sostenida. Si una parte considerable de la población sigue estando excluida o desfavorecida, no será posible un progreso duradero. La sostenibilidad social implica eliminar los obstáculos que sostienen la pobreza y la desigualdad, garantizando al mismo tiempo que todo el mundo tenga acceso a servicios esenciales, como vivienda, trabajo digno, atención sanitaria y educación. Dado que fortalecen el tejido social y validan los procesos de transformación, la cohesión social y el compromiso ciudadano son requisitos esenciales para la sostenibilidad (Santamaría *et al.*, 2024).

En paralelo, Zambrano *et al.* (2024) resaltan que un componente clave del fomento de la sostenibilidad es la responsabilidad individual. El medioambiente y la estructura social se ven directamente afectados por las decisiones cotidianas en materia de consumo, transporte, alimentación y uso de la energía. Los ciudadanos pueden ser agentes de cambio si promueven un comportamiento ético, exigiendo prácticas responsables a los responsables políticos y demostrando una comprensión crítica y un compromiso ético a través de la educación medioambiental. La corresponsabilidad en la creación de un futuro compartido se ve reforzada por este aspecto personal de la sostenibilidad.

Por su parte, Beltrán y Sanes (2024) señalan que la responsabilidad corporativa se ha convertido en una noción más amplia, a la que se conoce como “criterios ASG” (ambientales, sociales y de gobernanza) o “responsabilidad social corporativa” (RSC). Mediante el uso de estas estrategias, las organizaciones no solo disminuyen sus efectos adversos, sino que también apoyan activamente el desarrollo sostenible siendo innovadoras, abiertas y cooperativas con otros actores sociales. La RSE consolida un modelo empresarial más moral y sostenible al mejorar la competitividad, reforzar la legitimidad corporativa y facilitar el acceso a mercados e inversiones éticos.

Además, la responsabilidad sostenible a nivel gubernamental implica crear y aplicar leyes que se adhieran a los principios del desarrollo sostenible. Esto incluye la colaboración internacional, la educación sostenible, la planificación urbana y la regulación financiera y medioambiental. Los Gobiernos deben tomar la iniciativa en la transición ecológica mediante la creación de marcos legislativos adecuados, el fomento de incentivos para las actividades sostenibles y la definición de procedimientos para el compromiso social. Garantizar el cumplimiento de las promesas realizadas, en particular las esbozadas en la Agenda 2030, requiere una gobernanza responsable y transparente (Aucapiña y Teneda, 2024).

Por último, la sociedad civil es indispensable. Los medios de comunicación, los movimientos sociales, las instituciones académicas y los grupos no gubernamentales deben contribuir a tomar conciencia sobre los problemas, aportar conocimientos, exigir responsabilidades y sugerir soluciones creativas. En una época de cambio social y urgencia climática, su capacidad para crear redes de cooperación y ejercer presión social es esencial. En resumen, para lograr un modelo de desarrollo verdaderamente equitativo que respete las limitaciones del planeta, la responsabilidad sostenible requiere una acción multisectorial, integradora y colectiva (Cogollo-Florez *et al.*, 2024).

A modo de cierre, al equilibrar las facetas medioambiental, económica y social del desarrollo, la responsabilidad sostenible se posiciona como un principio clave para abordar los problemas del mundo en el siglo XXI. Su adopción satisface tanto los requisitos morales de respeto a la vida y equidad intergeneracional, a la vez que sirve como plan viable para mantener la integridad de los ecosistemas, la resiliencia de las economías y la cohesión social. En este sentido, la sostenibilidad es una obligación compartida que exige la cooperación de Gobiernos, empresas, sociedad civil y particulares. Construir un futuro justo, próspero y medioambientalmente sostenible para las generaciones actuales y futuras únicamente será factible con este compromiso compartido.

1.5. Tendencias innovadoras en sostenibilidad ambiental

La sostenibilidad medioambiental se ha convertido en una cuestión imperativa para hacer frente a la aceleración del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento de los recursos naturales. Por ello, los nuevos enfoques de gestión y los avances técnicos se han convertido en instrumentos esenciales para redefinir nuestra interacción con el medioambiente. Este cambio es evidente en una serie de ámbitos clave, en los que los nuevos planteamientos pretenden reducir los efectos adversos de la actividad humana al tiempo que abren nuevas posibilidades para una economía verde y una sociedad más resiliente (Martínez *et al.*, 2024).

En este sentido, la energía renovable es una de las industrias más dinámicas. Al reducir los costos y aumentar la eficiencia, los avances en las tecnologías solares de nueva generación, como las células orgánicas y de perovskita, pueden transformar por completo la producción de energía renovable. La incorporación de paneles solares a elementos cotidianos y arquitectónicos facilita la descentralización de la energía. Simultáneamente, el crecimiento de la energía eólica marina flotante diversifica las fuentes de energía renovable al facilitar el acceso a regiones con mayor potencial eólico. Junto con los avances en el almacenamiento de energía, como las baterías de estado sólido y el hidrógeno verde, estos inventos están creando un sistema energético más fiable, sostenible e independiente (Figueroa-Macías *et al.*, 2024).

En paralelo, frente a los paradigmas lineales de producción y consumo, la economía circular es cada vez más popular como enfoque de cambio de paradigma. Los productos se diseñan pensando en su durabilidad, reparabilidad y reciclabilidad, lo que prolonga su ciclo de vida y reduce la producción de residuos. El reciclado químico de plásticos complejos es un ejemplo de tecnología de reciclado avanzada que está creando nuevas oportunidades para la gestión de materiales que antes se consideraban irrecuperables. Además, la biotecnología se está consolidando como un instrumento crucial para transformar los residuos en recursos útiles, como combustibles sostenibles o bioplásticos, y así

aliviar la presión sobre los ecosistemas e impulsar un modelo económico regenerativo (Imbernó y Souto, 2023).

Asimismo, Erazo *et al.* (2025) indican que la creación de ciudades inteligentes y la movilidad sostenible son componentes clave del movimiento urbano contra el cambio climático. Las emisiones de la industria automovilística se están reduciendo considerablemente gracias a la electrificación del transporte, a la que contribuye el desarrollo de infraestructuras de recarga inteligentes. Además, los sectores que suponen un reto para la electrificación disponen ahora de opciones gracias al desarrollo de combustibles alternativos sostenibles, como los biocombustibles avanzados o los combustibles sintéticos. La planificación urbana sostenible, por su parte, hace hincapié en maximizar la eficiencia energética y la calidad de vida en los entornos urbanos mediante el uso de tecnología, como sensores urbanos y análisis de datos, así como ciudades compactas, transporte activo y zonas verdes.

Para Martínez y Escolà (2023), la sostenibilidad también se aplica a la industria agroalimentaria, donde las nuevas tecnologías están permitiendo reconsiderar los métodos de producción. La agricultura de precisión está minimizando su influencia en el medioambiente y optimizando el uso de insumos agrícolas mediante la intervención de sensores, drones e inteligencia artificial. Al producir alimentos en espacios reducidos y en condiciones reguladas, modelos como la agricultura vertical y urbana reducen la presión sobre el suelo y los recursos hídricos. El sector alimentario también está cambiando como consecuencia de la promoción de proteínas alternativas, por ejemplo, las de origen vegetal, los insectos comestibles o la carne cultivada en laboratorio, que aportan soluciones con un menor impacto ambiental y una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

Al mismo tiempo, la reducción del desperdicio de alimentos se ha convertido en un importante objetivo de sostenibilidad. A lo largo de la cadena de suministro, los alimentos se previenen y recuperan mediante el uso de tecnologías logísticas inteligentes, análisis predictivos y seguimiento. Estas técnicas permiten mejorar la seguridad alimentaria y la eficacia del sistema alimentario mundial, además de reducir el impacto medioambiental de los residuos. Otra

táctica relacionada que completa el ciclo de los recursos y promueve una economía más circular es la recuperación de residuos orgánicos mediante la producción de compost o biogás (Orea-Monroy y Guillén-Guzmán, 2024).

A su vez, Ulloa *et al.* (2024) señalan que las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CAC), cuyo objetivo es compensar las emisiones acumuladas en la atmósfera, representan otra importante área de innovación. Aunque todavía posee problemas de costo y escalabilidad, la captura directa en el aire (CDA) es un método emergente para reducir el CO₂ atmosférico. Mientras que las tecnologías que convierten el CO₂ capturado en productos útiles, como combustibles sintéticos o materiales de construcción, añaden valor a estos procesos y los integran en las cadenas de producción existentes, el almacenamiento geológico de carbono ofrece una solución viable para las emisiones industriales difíciles de eliminar.

En conclusión, un ecosistema dinámico de innovaciones en sectores importantes y basado en los conceptos de eficiencia, regeneración y equidad está impulsando la sostenibilidad medioambiental en el mundo moderno. Entre los avances fundamentales para abordar los problemas medioambientales del mundo se encuentran la incorporación de fuentes de energía renovables, la adopción de modelos de economía circular, la planificación urbana, la alteración de los sistemas alimentarios y la creación de tecnologías para reducir las emisiones de carbono. La promoción de políticas públicas inclusivas, el fomento de la inversión sostenible y el impulso de una conciencia medioambiental activa en todos los niveles de la sociedad son necesarios para que estas soluciones desarrollen todo su potencial. En suma, consolidar una transición ecológica justa, inclusiva y sostenible solo será factible de esta manera.

CAPÍTULO II

TECNOLOGÍA VERDE

La tecnología verde, a menudo denominada “ecotecnología” o “tecnología medioambiental”, se ha convertido en un instrumento vital en la búsqueda de respuestas a largo plazo a los problemas medioambientales del siglo XXI (Hazim y Saadoon, 2023). En un mundo caracterizado por el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación generalizada y el agotamiento de los recursos naturales, los países deben pasar rápidamente a modelos de desarrollo más respetuosos con el medioambiente. La tecnología verde, en este contexto, se refiere a un conjunto de avances científicos, tecnológicos y aplicados destinados a detener, reducir o revertir los daños medioambientales, fomentando al mismo tiempo la eficiencia de los recursos y una economía con bajas emisiones de carbono. Sus usos se encuentran en una amplia gama de industrias, como la gestión de residuos, la construcción, la agricultura, la energía y la preservación de los ecosistemas.

Conceptualmente, la tecnología verde se define como la combinación de factores medioambientales en el diseño, la fabricación, el uso y la eliminación final, así como la integración de conceptos de sostenibilidad en todas las fases del ciclo de vida de los bienes y servicios. Esta tecnología adopta muchas formas, como los sistemas de eficiencia energética, las tecnologías de tratamiento y reutilización de residuos, los sistemas de transporte limpios, la arquitectura sostenible, la agricultura de precisión y las energías renovables (solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica), por citar algunas. Todas estas tecnologías comparten el objetivo de reducir el impacto ecológico de la actividad humana y proteger los recursos naturales para las generaciones futuras (Alvarez, 2024).

Para Martínez y Torres (2024), la tecnología verde busca mitigar las emisiones contaminantes, optimizar el uso de la energía y los recursos, frenar la destrucción ecológica y fomentar una economía circular, con el propósito de

reducir sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Además, pretende mejorar la calidad medioambiental urbana y rural, fomentar modelos sostenibles de producción y consumo, y aumentar la resiliencia de las comunidades ante las consecuencias del cambio climático. Al crear nuevas posibilidades de empleo, mejorar la calidad de vida y promover la innovación técnica, su aplicación no solo fomenta el bienestar medioambiental, sino también el progreso económico y social.

Asimismo, Ribeiro y Rocha (2024) indican que, por su importancia para la sostenibilidad medioambiental, la tecnología verde es un instrumento vital para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU. Así, esta permite acercarse al equilibrio entre justicia social, crecimiento económico y preservación del medioambiente al ofrecer soluciones eficaces y flexibles para la gestión de los problemas medioambientales. En la misma línea, la tecnología verde apoya los procesos de transición energética y transformación industrial, sentando las bases de una economía más diversificada y menos dependiente de modelos extractivistas y combustibles fósiles.

Mejía *et al.* (2024) señalan que la tecnología verde tiene diversas ventajas y ha crecido rápidamente en los últimos años, pero también se enfrenta a muchas dificultades. Entre estas figuran los elevados gastos iniciales, las deficiencias en infraestructuras y tecnología, la oposición de los sectores industriales establecidos y el acceso restringido a la financiación, sobre todo en los países pobres. La disponibilidad de recursos esenciales, la fragilidad de determinadas redes de suministro y las irregularidades de los marcos reguladores nacionales e internacionales siguen siendo retos a superar.

No obstante, también existen oportunidades inéditas para su crecimiento, como la mayor conciencia medioambiental, los avances de la ciencia y la tecnología, la creciente necesidad de soluciones sostenibles y la dedicación de Gobiernos, empresas y consumidores a la transición ecológica. Para impulsar la innovación en sectores clave como la energía limpia, la movilidad sostenible y el uso racional de los recursos naturales, el mercado mundial de la tecnología verde sigue creciendo, atrayendo inversiones públicas y privadas, y fomentando la cooperación internacional (Estévez, 2022).

2.1. Aspectos conceptuales de tecnología verde

La tecnología verde, también denominada “tecnología limpia” o “medioambiental”, es una solución polifacética e integral a los problemas medioambientales actuales. Estas tecnologías se han convertido en instrumentos esenciales para replantear los modelos de crecimiento económico y social en la dirección de planes más sostenibles, en un mundo caracterizado por la escalada del cambio climático, la degradación de los ecosistemas y el agotamiento de los recursos naturales. Con el objetivo común de reducir o eliminar las consecuencias negativas de la actividad humana sobre el medioambiente, el uso de esta tecnología abarca una amplia gama de sectores, como la gestión de residuos, la fabricación, la construcción, la agricultura, el transporte y la generación de energía (Alvarez, 2024).

Por otro lado, Hazim y Saadoon (2023) puntualizan que la reducción del efecto medioambiental es uno de los principios más cruciales de la tecnología verde. Este objetivo exige un cambio estructural en la forma de diseñar y producir productos y servicios para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuir la cantidad de contaminantes que se vierten en el aire, el agua y el suelo, y frenar la pérdida de biodiversidad. Entre los ejemplos concretos de tecnologías destinadas tanto a reducir los daños medioambientales como a restaurar y regenerar los ecosistemas afectados por la actividad humana figuran los sistemas de filtración sofisticados, los materiales biodegradables, la captura de carbono y las soluciones basadas en la naturaleza.

Al mismo tiempo, Sánchez *et al.* (2024) hacen hincapié en la eficiencia energética como elemento crucial de la tecnología verde. El objetivo es reducir la dependencia de los combustibles fósiles y el consumo total de energía mediante un uso inteligente de esta. El uso de la energía en diversos entornos puede optimizarse ahora gracias a los avances en las redes inteligentes, los sistemas de iluminación led, los electrodomésticos de alta eficiencia y el diseño de edificios de consumo de energía casi nulo. Al mismo tiempo, la incorporación de fuentes renovables como la energía solar, eólica, geotérmica y marina ha

hecho posible un cambio gradual hacia matrices energéticas más limpias, descentralizadas y resistentes.

Otro componente clave de la tecnología verde es la preservación de los recursos naturales. Como reacción a la sobreexplotación de minerales, agua, bosques y animales, se están desarrollando tecnologías que reutilizan materiales, reciclan residuos, gestionan eficazmente el agua y preservan los hábitats naturales. Por ejemplo, la minería urbana fomenta la recuperación de metales valiosos a partir de residuos tecnológicos, mientras que el uso de sensores y sistemas de riego de precisión en la agricultura permite un uso sensato del agua. Además de reducir la presión sobre los ecosistemas, estas estrategias fomentan la creatividad en la creación de bienes y materiales sostenibles (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2024).

En esencia, el objetivo de la tecnología verde es promover la sostenibilidad. Su aplicación pretende conectar los principios básicos del desarrollo sostenible, a saber: justicia social, integridad ecológica y desarrollo económico. Esta estrategia fomenta comunidades resilientes, economías circulares, redes de suministro éticas y modelos empresariales regenerativos. También fomenta el cambio a un paradigma económico en el que la cohabitación pacífica de la naturaleza y la sociedad es el principal determinante del bienestar humano, en lugar de la destrucción del medioambiente (Gesto, 2024).

Asimismo, Alvarez (2024) indica que la tecnología verde es un catalizador para el desarrollo de soluciones innovadoras y creativas a problemas medioambientales difíciles. Tecnologías emergentes como la fotocatalisis para la purificación del aire, los nanomateriales para la recuperación de suelos contaminados y los bioplásticos fabricados a partir de residuos orgánicos son el resultado de inversiones en investigación y desarrollo (I+D). Del mismo modo, los avances en el campo de los macrodatos y la inteligencia artificial están mejorando nuestra capacidad de seguimiento, previsión y control de los efectos medioambientales de las distintas actividades, lo que permite tomar decisiones más proactivas y bien informadas.

Además, Cardona (2023) afirma que el enfoque del ciclo de vida completo, que evalúa el impacto ambiental de un producto o servicio desde su creación

hasta su eventual eliminación, es una característica única de la tecnología verde. Como resultado de este punto de vista global, se han incorporado requisitos de diseño ecológico que tienen en cuenta la longevidad, reparabilidad y reciclabilidad de los artículos, los cuales fomentan comportamientos coherentes con los principios de la economía circular. Como resultado, se producen menos residuos, los productos tienen una vida útil más larga y hay menos necesidad de utilizar materias primas vírgenes.

Investigadores como Santos *et al.* (2025) sostienen que los avances más punteros en tecnología verde se centran en integrar las tecnologías digitales con los objetivos medioambientales para crear soluciones inteligentes y vinculadas. Por ejemplo, las ciudades inteligentes utilizan sensores para optimizar su eficiencia y disminuir su efecto ecológico mediante la gestión del tráfico, la calidad del aire, el uso de la energía y la basura urbana. Mientras que la agricultura digital y la bioeconomía crean nuevas oportunidades para la producción de alimentos respetuosos con el medioambiente, los vehículos eléctricos, las redes de movilidad compartida y las infraestructuras de recarga sostenibles están cambiando el modelo de movilidad urbana en el sector del transporte.

En resumen, la tecnología verde ofrece la oportunidad de cambiar los sistemas sociales, económicos y productivos en la dirección de una coexistencia más pacífica con la naturaleza, además de ser un fuerte sustituto del paradigma de desarrollo convencional. Además de los avances tecnológicos, para su aplicación son necesarios voluntad política, marcos normativos suficientes, educación ambiental y una población comprometida. Una transición ecológica justa que garantice el bienestar actual sin poner en peligro el futuro del planeta será posible en la medida en que estas tecnologías se incluyan en las políticas públicas, así como en las acciones empresariales e individuales.

2.2. Tipos de tecnología verde

De acuerdo con Naranjo y Benavides (2023), la tecnología verde ha demostrado ser una táctica crucial en la batalla contra las consecuencias negativas del cambio climático y otros problemas medioambientales. Esta tecnología se aplica principalmente en la creación y utilización de fuentes de energía reno-

vables. Al utilizar fuentes de energía naturales como el sol, el viento, el agua o el calor de la tierra, estas tecnologías pueden producir calor o electricidad sin liberar muchos gases de efecto invernadero a la atmósfera. La energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, de biomasa y, más recientemente, mareomotriz y undimotriz se incluyen en esta categoría. Además de ser un sustituto limpio de los combustibles fósiles, estas fuentes de energía también mejoran la seguridad energética y animan a las naciones a depender menos de los recursos no renovables.

Por otro lado, la eficiencia energética —una estrategia que pretende maximizar el uso de la energía en todos los ámbitos, desde los hogares hasta las empresas— es uno de los importantes beneficios de la tecnología verde. Un factor importante para reducir el consumo total de energía es la aplicación de tecnologías como la iluminación led, los electrodomésticos de bajo consumo, el aislamiento térmico de los edificios y los sistemas de gestión de la energía. Además, la instalación de contadores inteligentes permite a los clientes seguir y modificar su consumo de energía en tiempo real, fomentando comportamientos más respetuosos con el medioambiente y, en última instancia, reduciendo los gastos energéticos (Anchundia *et al.*, 2023).

De igual manera, Antayhua *et al.* (2021) postulan que el reciclaje avanzado y la gestión de residuos son dos aspectos cruciales de la tecnología verde. Las instalaciones de reciclaje automatizadas que emplean la robótica y la inteligencia artificial para seleccionar y procesar materiales de forma más eficaz se han desarrollado como consecuencia de la creciente cantidad de residuos sólidos municipales, industriales y electrónicos generados. A ello se unen las tecnologías de conversión de residuos en energía, que transforman los residuos no reciclables en combustibles, calor o electricidad. El uso de microorganismos capaces de descomponer los residuos orgánicos y producir bienes útiles es otra contribución importante de la biotecnología. El diseño de productos centrado en la circularidad también contribuye a cerrar el ciclo de fabricación, ampliar la vida útil de los recursos y reducir la producción de residuos.

A su vez, Gesto (2024) señala que la movilidad sostenible se ha convertido en una prioridad urbana y medioambiental en el sector del transporte. En ese aspecto, los vehículos de pila de combustible de hidrógeno, los híbridos y los

eléctricos son ejemplos de tecnologías de transporte ecológicas. Las emisiones de carbono de estos vehículos son muy inferiores a las de sus homólogos de combustión interna; además, se están creando infraestructuras inteligentes para facilitar la recarga de los vehículos eléctricos y promover el uso generalizado de estos vehículos. Al mismo tiempo, el fomento de la movilidad activa, como los desplazamientos a pie y en bicicleta, y la mejora de unos sistemas de transporte público eficaces, contribuyen a reducir el tráfico en las ciudades y a mejorar la calidad del aire.

Asimismo, un sector importante en el que la tecnología verde está transformando los modelos de producción convencionales es el de la alimentación y la agricultura sostenibles. Es posible optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, y a su vez reducir los efectos medioambientales mediante la agricultura de precisión, que utiliza tecnologías como sensores, drones e inteligencia artificial. Además, especialmente en entornos metropolitanos, la agricultura vertical y la urbana se están comercializando como formas de cultivar alimentos en lugares pequeños y regulados. La creación de proteínas sustitutivas, como la carne de cultivo o los insectos comestibles, y la aplicación de la tecnología para reducir el desperdicio de alimentos mediante una mejor gestión de los residuos y métodos de conservación son ejemplos de otros avances (Pineda *et al.*, 2025).

La captura y almacenamiento de carbono es una de las más importantes y nuevas tecnologías ecológicas (CAC). Estas tecnologías almacenan CO₂ de forma segura en formaciones geológicas subterráneas, o lo reutilizan en otros procesos de producción tras capturarlo del aire o de actividades industriales. La captura directa en el aire, la precombustión y la poscombustión son ejemplos de técnicas de captura. Se espera que este enfoque sea crucial para alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono, y es especialmente significativo para las industrias difíciles de descarbonizar, como el acero y el cemento (Ulloa *et al.*, 2024).

Por otro lado, mediante el uso de tejados verdes, sistemas pasivos de control climático, materiales ecológicos y el diseño de estructuras de energía

casi nula, la tecnología verde también es importante en la construcción sostenible. Estas estructuras no solo consumen menos energía, sino que también mejoran el confort de los ocupantes y la calidad del ambiente interior. En este sentido, la certificación de edificios sostenibles, como LEED o BREEAM, ha cobrado importancia a escala mundial (Callera *et al.*, 2024).

En paralelo, Yeit y Sobri (2022) sostienen que persistir en el uso de tecnologías verdes en la industria del agua es igualmente crucial. Mediante un mejor tratamiento de las aguas residuales, una desalinización respetuosa con el medioambiente, la reutilización del agua y la recogida del agua de lluvia, las tecnologías modernas permiten un uso más sostenible y eficaz de este recurso esencial. Según el ODS 6 de la ONU, estas soluciones garantizan el acceso a agua potable limpia e instalaciones sanitarias, que son cruciales en situaciones de escasez de agua.

Por último, González *et al.* (2022) afirman que la digitalización y la inteligencia artificial están impulsando el desarrollo de soluciones ecológicas en varios campos. Los macrodatos y los algoritmos de aprendizaje automático, por ejemplo, pueden utilizarse para predecir patrones de uso de la energía, optimizar las rutas de transporte para reducir las emisiones y aumentar la eficacia de las redes de distribución eléctrica. La convergencia de las tecnologías digitales y medioambientales brinda numerosas posibilidades de hacer frente a la catástrofe climática con tácticas basadas en datos y en tiempo real.

En pocas palabras, la tecnología verde se utiliza en muchos ámbitos importantes, como la gestión de residuos, el transporte, la agricultura y la producción de energía. Su adopción no solo satisface las demandas medioambientales, sino que también crea oportunidades económicas, mejora la calidad de vida y aumenta la resistencia ante los problemas del siglo XXI. El avance continuo de estas tecnologías a través de la colaboración internacional, la financiación de la investigación y las políticas públicas es necesario para el cambio hacia un futuro más sostenible.

2.3. Objetivos de la tecnología verde para la reducción del impacto ambiental

La tecnología verde es una forma inteligente de reducir los efectos negativos de la actividad humana sobre el medioambiente (Escobar *et al.*, 2024). Su principal objetivo es cambiar la forma como se fabrican, consumen y desechan las cosas para reducir el impacto ecológico mediante soluciones tecnológicas sostenibles. Al replantearse los procesos industriales, energéticos y sociales, este tipo de tecnología trata tanto de prevenir como de reparar los daños que ya se han producido. A medida que se intensifican el cambio climático, la contaminación y la pérdida de recursos naturales, la adopción de tecnologías verdes se ha convertido en un problema mundial.

Asimismo, otro de los objetivos más importantes es reducir las emisiones de contaminantes, sobre todo de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄). Los contaminantes que se producen, inevitablemente pueden reducirse gracias a tecnologías limpias como los sistemas de captura de carbono, las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y los filtros catalíticos. Del mismo modo, la creación de bienes y procedimientos que tengan escasos o nulos efectos negativos sobre el medioambiente fomenta una estrategia preventiva que mantiene la contaminación fuera de la fase de diseño. Este cambio de paradigma de lo correctivo a lo preventivo pone de manifiesto un cambio en el planteamiento de las cuestiones medioambientales (De Abreu y Sichieri, 2023).

De igual modo, Mejía-Salazar y López-Chacón (2022) señalan que el fomento de la eficiencia energética es otro componente esencial de la tecnología verde. Bajo esta premisa, se indica que el consumo mundial de energía sigue aumentando, sobre todo como consecuencia de la industrialización y la urbanización. Ante esta situación, las soluciones eficaces permiten mantener la producción consumiendo menos energía. Ejemplos concretos de esta tendencia son la calefacción, ventilación y aire acondicionado inteligentes, los sistemas de gestión de la energía en los edificios, la iluminación led y los motores eléctricos de alta eficiencia. Además, las redes y los contadores inteligentes hacen

posible una distribución más sensata de la energía, lo que contribuye a reducir las pérdidas y mejorar la sostenibilidad del sistema energético.

En paralelo, Baque *et al.* (2022) puntualizan que otro objetivo crucial es la preservación de los recursos naturales. La tecnología verde sugiere el uso prudente de los recursos ante la creciente escasez de materias primas y el deterioro del medioambiente. Esto incluye la eficiencia hídrica mediante sistemas de riego automatizados o tecnología de captación y reutilización de aguas grises, así como el reciclaje y la reutilización de materiales como táctica principal. También se fomenta la investigación de materiales alternativos biodegradables o fabricados a partir de recursos renovables, como los bioplásticos, los materiales compuestos de fibras vegetales o los nanomateriales de bajo impacto.

Además, la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad es otro elemento crucial. En este sentido, la pérdida de ecosistemas y especies naturales se ha visto muy agravada por la actividad humana, sobre todo industrial, extractiva y urbana. Soluciones como la minería responsable, la agricultura de conservación, las plataformas digitales para la vigilancia de animales y los sensores remotos para el control medioambiental son propuestas por la tecnología verde. Además, existen métodos técnicos para restaurar ecológicamente los hábitats degradados, como la bioingeniería para remediar los suelos contaminados o erosionados, los bancos de semillas autóctonas y los drones para la reforestación (Rayo *et al.*, 2022).

Para Ruiz-Sánchez *et al.* (2024), el énfasis de la tecnología verde en la sostenibilidad integral es una característica transversal. Esto significa tener en cuenta todas las fases del ciclo de vida de un producto o servicio, desde la extracción de las materias primas hasta la eliminación de los productos acabados. En cada etapa del proceso de producción, los puntos cruciales del efecto medioambiental pueden identificarse gracias a la evaluación del ciclo de vida (ACV). La aplicación de modelos de economía circular, que permiten transformar los residuos de un proceso en insumos para otro, depende de esta estrategia. Este enfoque puede avanzar con el uso de tecnologías como las plataformas de logística inversa, el ecodiseño y la impresión 3D.

No obstante, Cardona (2023) plantea que el cambio hacia una economía más ecológica depende en gran medida de la innovación técnica. Desde los materiales inteligentes hasta la inteligencia artificial utilizada en la gestión medioambiental, las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) han impulsado la creación de soluciones más limpias y eficaces. Del mismo modo, las tecnologías digitales como los sistemas de *big data*, *blockchain* y el internet de las cosas (IoT) permiten supervisar el uso de los recursos en tiempo real, optimizar los procesos industriales y garantizar la trazabilidad en las cadenas de suministro sostenibles. Estas herramientas abren nuevas posibilidades para la tecnología verde, lo que permite una gestión medioambiental más precisa y flexible.

En resumen, la tecnología verde desempeña un papel fundamental en las iniciativas para resolver los problemas medioambientales del siglo XXI. Esta tecnología sugiere una revisión significativa de las estructuras económicas y sociales existentes al abordar cuestiones importantes como la contaminación, la eficiencia energética, la preservación de la biodiversidad, la conservación de los recursos naturales y la sostenibilidad integrada. Además de proteger el medioambiente, el uso de tecnologías verdes ofrece una oportunidad para la innovación, la creación de empleos verdes y el crecimiento económico sostenible a largo plazo. Por ello, su incorporación a la planificación urbana, las políticas públicas y la educación ambiental es cada vez más crucial y esencial.

2.4. Importancia de la tecnología verde en la sostenibilidad ambiental

La tecnología verde se ha convertido en un elemento crucial debido a su capacidad de innovación y adaptación, lo que le permite abordar con mayor éxito los problemas medioambientales que ponen en peligro la estabilidad del planeta (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2024). Esta tecnología no solo pretende reducir los daños medioambientales, sino también crear un modelo de desarrollo más equitativo, resistente y sostenible en el tiempo mediante la creación de soluciones que incluyan consideraciones ecológicas en la planificación, fabricación y consumo de bienes y servicios. Su aplicación no solo es pertinente, sino también urgente a la luz de la emergencia climática, la rápida pérdida de biodiversidad y la creciente presión sobre los recursos naturales.

La capacidad de la tecnología verde para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es uno de sus aportes más importantes. Entre las alternativas a los combustibles fósiles que han demostrado ser prometedoras y eficientes figuran la energía solar fotovoltaica, la energía eólica terrestre y marina, la energía geotérmica y la energía hidroeléctrica a pequeña escala. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2021) afirma que la inversión constante en energías renovables ha mejorado el acceso a la energía en poblaciones vulnerables, ha creado puestos de trabajo y ha evitado millones de toneladas de emisiones de CO₂. Estas tecnologías contribuyen activamente a mitigar el cambio climático porque no emiten gases de efecto invernadero mientras se utilizan (Anchundia *et al.*, 2023).

A su vez, la eficiencia energética es otro ámbito importante en el que la tecnología verde ha desencadenado avances que permiten un uso eficiente de la energía en las tareas productivas cotidianas. Los dispositivos energéticamente eficientes, como los electrodomésticos inteligentes y los edificios con aislamiento térmico y aire acondicionado pasivo, alivian la presión sobre los combustibles fósiles y las infraestructuras eléctricas. Al mismo tiempo, innovaciones como los sofisticados sistemas de tratamiento de aguas residuales y la recogida y reutilización de las precipitaciones han revolucionado la gestión de los recursos hídricos, fomentando su uso sostenible en las industrias, el consumo urbano y la agricultura (Algashamy *et al.*, 2024).

Además, la tecnología verde se ha mostrado prometedora para prevenir y reducir la contaminación en muchas de sus formas. La gestión medioambiental ha visto aumentar el uso de tecnologías como los sistemas fotocatalíticos de purificación del aire, los filtros de aire nanotecnológicos, los biorreactores para el tratamiento del agua y las técnicas de biorremediación de suelos contaminados. Estas herramientas mejoran directamente la salud pública y el equilibrio de los ecosistemas, ya que no solo permiten el tratamiento de los contaminantes actuales, sino también la prevención de su creación mediante operaciones industriales más limpias (Pineda *et al.*, 2025).

En ese contexto, Arreaga (2023) señala que la tecnología verde es crucial para ayudar a convertir los paradigmas de producción lineal en sistemas más

sostenibles en el contexto de la economía circular. Con el fin de ampliar el ciclo de vida de los artículos y reducir drásticamente la generación de basura, el diseño ecológico, la fabricación aditiva (impresión 3D), la robótica para la clasificación de residuos y las plataformas digitales para compartir bienes y servicios han sido cruciales. Además de proteger los recursos naturales, esta estrategia crea nuevas perspectivas de negocio a través de la eficiencia de los recursos y la innovación.

De acuerdo con Ordoñez-Iturralde *et al.* (2024), los avances tecnológicos también están impulsando la revolución verde en la agricultura. El uso de insumos se ha maximizado, y los efectos adversos sobre el suelo y el agua se han minimizado gracias a tecnologías como los sistemas de riego automatizados, los drones para la pulverización de precisión, las imágenes por satélite para el seguimiento de los cultivos y los sensores de humedad y nutrientes. Mientras tanto, nuevas tecnologías como la agricultura vertical y la fabricación de carne cultivada están cambiando los paradigmas de la producción de alimentos y ofreciendo respuestas a largo plazo a las crecientes necesidades alimentarias del mundo.

Autores como García-Arce *et al.* (2021) sostienen que con la aparición de los coches eléctricos, los híbridos enchufables y las tecnologías ecológicas basadas en el hidrógeno, la movilidad limpia se ha acelerado en el sector del transporte. Asimismo, se está digitalizando el transporte público y se están fomentando las infraestructuras para bicicletas y peatones. Además de reducir las emisiones contaminantes en las áreas metropolitanas, estos avances también disminuyen el tráfico y mejoran el nivel de vida urbano. El cambio de la industria del transporte es crucial para la agenda climática, ya que, según las estadísticas actuales, representa más del 25 % de las emisiones mundiales de CO₂.

Por último, las tácticas de conservación se han transformado gracias al uso de tecnologías verdes para la preservación de la biodiversidad. Los científicos pueden vigilar especies amenazadas, evaluar el estado de los ecosistemas e identificar cambios ambientales en tiempo real mediante sensores remotos, cámaras trampa, modelos predictivos de inteligencia artificial y sistemas de información geográfica (SIG). Los Gobiernos y las organizaciones

han podido conservar los recursos biológicos y naturales de forma más precisa y adaptable gracias al uso de estas herramientas en la creación de planes de acción y estrategias más eficaces. Combinadas, las tecnologías verdes son una vía transformadora hacia la sostenibilidad planetaria, y no solo una herramienta (Moreno-Torres *et al.*, 2022).

En síntesis, la tecnología verde es un elemento fundamental en la creación de un modelo de desarrollo realmente sostenible, que ofrece respuestas globales y eficaces a los diversos problemas medioambientales a los que se enfrenta el mundo. Su aplicación abarca todos los ámbitos importantes para lograr el equilibrio entre el avance humano y la preservación del medioambiente, desde la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la optimización del uso de los recursos hasta la mitigación de la contaminación, el fomento de la economía circular, la agricultura sostenible, la movilidad limpia y la protección de la biodiversidad. Invertir en innovación verde y fomentar su aceptación generalizada no es solo una alternativa deseable a la luz de la catástrofe ecológica mundial, sino también un imperativo apremiante para garantizar un futuro resiliente, justo y saludable tanto para las generaciones actuales como para las venideras.

2.5. Oportunidad y desafíos actuales de la tecnología verde

Como señalan Ojeda *et al.* (2024), la tecnología verde se encuentra en un punto de inflexión en su desarrollo en el que tiene el mayor potencial para cambiar los sistemas de producción y consumo por otros más sostenibles. La creciente atención política y económica, la demanda social de sostenibilidad y los avances científicos contribuyen a este punto de inflexión. Sin embargo, para aprovechar plenamente sus beneficios es necesario superar los obstáculos institucionales, económicos y culturales que limitan su desarrollo y adopción. Analizar las perspectivas de su consolidación, así como los obstáculos que pueden limitar su influencia, es crucial en este sentido.

Para Toledo (2024), el mercado de la tecnología ecológica se está expandiendo a un ritmo exponencial, debido al aumento de la demanda de soluciones sostenibles en todo el mundo. Los compromisos internacionales en materia de

cambio climático, la legislación sobre descarbonización y la presión de accionistas y consumidores están impulsando el crecimiento histórico del sector. Para 2030, se prevé que la industria mundial de las tecnologías limpias alcance un valor de más de tres billones de dólares, creando así nuevas posibilidades de negocio y estableciendo a las empresas con visión de futuro como pioneras de la revolución verde.

A su vez, Vinueza *et al.* (2024) indican que los continuos avances técnicos que aumentan la eficacia, la asequibilidad y el rendimiento de las soluciones ecológicas están impulsando este aumento. Las perspectivas técnicas del desarrollo con bajas emisiones de carbono están viviendo una revolución debido a los avances en la captura de carbono, las baterías de larga duración, la energía solar y eólica, y la biotecnología aplicada a la gestión de residuos. Además, la integración de tecnologías digitales como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de macrodatos permite gestionar los recursos naturales de forma más inteligente y precisa, y tomar mejores decisiones medioambientales.

Asimismo, el sector también se ha beneficiado enormemente del aumento constante de la inversión. Las infraestructuras ecológicas, las empresas de nueva creación relacionadas con el clima y los proyectos de energías renovables reciben cada vez más financiación de Gobiernos, fondos soberanos, bancos de desarrollo y empresas de capital riesgo. Además de fomentar la innovación, esta inyección de liquidez reduce los riesgos tecnológicos y financieros asociados a las nuevas soluciones, lo que facilita su entrada en el mercado (Ojeda *et al.*, 2024).

Además, se está produciendo un importante cambio cultural debido a la evolución de los gustos de los consumidores y a la dedicación de las empresas a los criterios ASG. Mientras se insta a las empresas a que cambien sus cadenas de valor, adopten la energía sostenible y mejoren su comportamiento medioambiental, los ciudadanos esperan bienes transparentes y responsables. La adopción de tecnología se ve influida significativamente por este clima social cada vez más sensible al medioambiente, que también presiona a los responsables políticos para que refuercen la normativa medioambiental (Vega y Machado, 2024).

No obstante, Ojeda *et al.* (2022) puntualizan que esta perspectiva positiva conlleva serias dificultades. Una de las principales es que muchas tecnologías verdes tienen grandes costos iniciales, lo que las hace inaccesibles para los grupos de renta baja o las zonas con recursos financieros limitados. Los obstáculos económicos para la adopción de estas tecnologías siguen siendo un factor restrictivo, sobre todo para las pequeñas y medianas empresas, aunque el costo global de la propiedad acabe siendo más barato. Las limitaciones en infraestructura, como la insuficiencia de redes eléctricas para dar cabida a fuentes esporádicas de energía renovable o la falta de estaciones de recarga de vehículos eléctricos, agravan esta situación. Además, debido a intereses arraigados y a la complejidad de los procesos técnicos de conversión, las empresas convencionales que dependen en gran medida de los combustibles fósiles siguen ejerciendo una influencia económica y política que podría bloquear o aplazar el cambio.

Además, Pérez *et al.* (2022) afirman que la dependencia de recursos esenciales para el desarrollo de la tecnología verde, los fallos en las cadenas de suministro internacionales y la ausencia de marcos reguladores claros y agresivos son los últimos problemas fundamentales. Los inversores pueden inquietarse debido a la fragmentación normativa y a la falta de visión a largo plazo, lo que también puede retrasar la adopción de soluciones prácticas. Por lo tanto, para aprovechar plenamente el potencial de la tecnología verde, los Gobiernos, las empresas y los ciudadanos deben trabajar juntos para crear un entorno propicio y resistente que impulse un auténtico cambio sistémico. Esto requerirá más inventiva y financiación, así como una acción coordinada.

En síntesis, la tecnología verde se está convirtiendo en un componente clave en la búsqueda de un modelo de desarrollo genuinamente sostenible, ya que aporta respuestas creativas a los problemas medioambientales más acuciantes de nuestros días. Su enorme potencial revolucionario queda demostrado por su alcance cada vez mayor, que se ve respaldado por los avances científicos, unos gastos considerables y un cambio en la conciencia empresarial y social. No obstante, para que estos beneficios se materialicen plenamente, es preciso resolver con contundencia los obstáculos que aún persisten, como los elevados gastos iniciales, las deficiencias de las infraestructuras, la oposición de las industrias establecidas y la incoherencia de los marcos normativos.

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE E INGENIERÍA CIVIL

La industria de la construcción, que históricamente se ha considerado una de las más contaminantes del mundo, ha experimentado un cambio significativo como consecuencia de la creciente preocupación por el cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación ambiental (Alvarado *et al.*, 2021). En vista de ello, la construcción sostenible se está convirtiendo en un sustituto vital que pretende minimizar los efectos negativos de los proyectos de edificación sobre el medioambiente, aumentar la eficiencia energética, maximizar el uso de los recursos y garantizar el bienestar de las generaciones actuales y futuras. Además de sugerir modificaciones en las tecnologías y materiales empleados, esta visión integrada incorpora factores ecológicos, sociales y económicos desde el punto de vista del ciclo de vida completo en los procesos de planificación, diseño, construcción y mantenimiento de las infraestructuras (Huangal, 2025).

De acuerdo con Zavala *et al.* (2024), la aplicación de prácticas sostenibles en la construcción depende sobre todo de la ingeniería civil, un campo crucial en el desarrollo de infraestructuras. Su deber va más allá de garantizar el funcionamiento y la seguridad de las obras; también implica asumir el compromiso de diseñar y construir utilizando normas sostenibles. Esto involucra contrastar los enfoques sostenibles que fomentan la eficiencia energética, el uso de materiales ecológicos, la gestión responsable del agua y la minimización del impacto ambiental con las prácticas tradicionales de construcción, que se caracterizan por un uso intensivo de recursos, altos niveles de generación de residuos y una elevada huella de carbono. La comparación de ambos modelos permite ilustrar mejor las ventajas sociales, económicas y medioambientales de optar por prácticas de construcción sostenibles.

Cabe señalar que la creación y el uso de tecnologías verdes son cruciales para este nuevo paradigma (Cárdenas *et al.*, 2024). Estas tecnologías ofrecen

opciones tangibles para cambiar la forma en que se contruye, mejorando el comportamiento medioambiental de los edificios sin sacrificar su utilidad o calidad. Las más conocidas son el uso del bambú, un material natural, renovable, resistente y de bajo impacto ambiental que sirve como sustituto sostenible de materiales tradicionales como el acero y el hormigón; el reciclaje de residuos de construcción y demolición, que permite su reutilización como materiales en nuevos proyectos, reduciendo la demanda de recursos vírgenes; y los tejados verdes, que sirven como aislantes térmicos naturales y favorecen la biodiversidad urbana.

Por último, es esencial abordar el potencial y los problemas de la ingeniería civil ecológica para solidificar este paradigma de construcción responsable. Cambiar la cultura conservadora del sector, modernizar los marcos normativos, eliminar los primeros obstáculos financieros y mejorar la formación profesional son algunos de los principales obstáculos. Pero también hay muchas oportunidades para innovar, crear empleo verde, hacer que las infraestructuras sean más resilientes y atraer financiación centrada en la ESG. Así pues, la ingeniería civil ecológica está consolidando su papel como fuerza principal en el cambio hacia ciudades más resilientes, sostenibles y habitables, contribuyendo activamente a la consecución de los ODS y protegiendo el medioambiente (Callera *et al.*, 2024).

3.1. Una aproximación conceptual a la construcción sostenible

En el ámbito de la ingeniería civil, la construcción sostenible se ha convertido en una respuesta completa y esencial a las preocupaciones sociales, económicas y medioambientales de las infraestructuras y el crecimiento urbano (Cárdenas *et al.*, 2024). Al integrar los conceptos de sostenibilidad desde el inicio del proyecto hasta el final de su vida útil, este enfoque sugiere un cambio de paradigma que va más allá de las técnicas de construcción tradicionales. Para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del entorno construido, no basta con atenuar los efectos, sino que hay que cambiar la forma de diseñar, planificar, construir y gestionar las infraestructuras y los edificios, combinando factores ecológicos, económicos y humanos.

Por otro lado, Zavala *et al.* (2024) señalan que la reducción del efecto medioambiental del proyecto en todas las fases de su ciclo de vida es uno de los principios básicos de la construcción sostenible. Esto implica poner en práctica ideas para el uso eficaz de los recursos naturales, dar prioridad a los materiales reciclables, reciclados o renovables, y fomentar la eficiencia energética e hídrica en los sistemas de construcción. Además, pretende reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de actividades que actualmente contribuyen considerablemente a las emisiones mundiales de carbono, como la producción de cemento, el transporte de materiales y la energía utilizada durante las operaciones de construcción.

Alvarado *et al.* (2021) mencionan que la sostenibilidad en el contexto de los recursos materiales exige una elección meditada y metódica de los materiales de construcción. Además de reducir las emisiones relacionadas con el transporte, el uso de productos locales y respetuosos con el medioambiente favorece las economías locales. En consonancia con los postulados de la economía circular, también se fomenta el uso de tecnologías de construcción modulares y desmontables, que facilitan la reutilización y el reciclaje de la infraestructura cuando termina su vida útil. Nuevas técnicas como el diseño para el desmontaje, que permite planificar proactivamente la deconstrucción sin producir cantidades significativas de basura, han sustituido esta tendencia.

Asimismo, la sostenibilidad en la construcción también requiere viabilidad económica a largo plazo. Aunque algunas soluciones sostenibles pueden requerir un mayor gasto inicial, a veces estos gastos se ven compensados con creces por los beneficios económicos del proyecto a largo plazo. Por ejemplo, los gastos de funcionamiento de un edificio pueden reducirse significativamente si se instalan equipos energéticamente eficientes, como iluminación led, aislamiento térmico eficaz o energías renovables. Este método del costo total de propiedad incluye los costos de mantenimiento, reparación, actualización y posible demolición, lo que permite una visión más planificada y realista de la inversión en infraestructuras (Callera *et al.*, 2024).

Por otro lado, Huangal (2025) indica que los avances técnicos han desempeñado un papel importante en la sostenibilidad de la ingeniería civil. La cre-

ación de materiales de construcción respetuosos con el medioambiente, como los biocomposites, el aislamiento reciclado y el hormigón de bajo CO₂, junto con la digitalización mediante el modelado de información de construcción (BIM), han aumentado la eficiencia de los recursos y la precisión del diseño. Al reducir los errores, optimizar los tiempos de ejecución y minimizar los residuos *in situ*, esta modernización de los procesos de construcción en línea con la sostenibilidad mejora la competitividad del sector y lo alinea con los objetivos climáticos globales.

No obstante, Salazar (2024) puntualiza que el aspecto social de la construcción sostenible es igual de importante. Este método reconoce que el bienestar de las comunidades y los usuarios debe mejorarse con los entornos construidos. Así, se fomentan métodos como la creación de zonas higiénicas, bien ventiladas y libres de contaminantes interiores, que proporcionen un confort térmico y acústico suficiente, y garanticen la accesibilidad universal. Para construir comunidades resistentes, igualitarias y cohesionadas, el diseño centrado en las personas también debe tener en cuenta elementos como la conexión, la seguridad, la accesibilidad a los servicios y los espacios verdes.

Además, mediante el fomento de la participación comunitaria, el desarrollo de empleo verde y la formación técnica local, los proyectos de infraestructuras sostenibles tendrán la capacidad de mejorar el tejido social. Si estos proyectos se desarrollan de forma inclusiva y participativa, pueden servir como aceleradores del crecimiento socioeconómico en comunidades que se encuentran en situación de riesgo. Por lo tanto, la sostenibilidad puede definirse no solo en términos de medioambiente o economía, sino también como una forma de promover el cambio social y mejorar el nivel de vida (Squella, 2021).

En conclusión, la construcción sostenible en ingeniería civil es un avance tecnológico y moral que satisface los llamamientos actuales en favor de un crecimiento más responsable y equilibrado. Además de mejorar el rendimiento global de los proyectos, esta idea apoya activamente los ODS y la resiliencia urbana frente al cambio climático mediante la fusión del respeto medioambiental, la eficiencia económica y el compromiso social. Un enfoque multidisciplinar, normas precisas, incentivos adecuados y una cultura del lugar de trabajo dedicada a la sostenibilidad y la innovación son necesarios para su aplicación con éxito.

3.2. Rol de la ingeniería civil en la sostenibilidad de las obras

Para hacer frente a los problemas medioambientales, económicos y sociales del siglo XXI, la ingeniería civil ha tenido que hacer un enorme cambio en su papel integrador dentro del desarrollo sostenible (Rojas y Ruiz, 2024). En la actualidad, los proyectos de infraestructuras necesitan una visión amplia que tenga en cuenta la sostenibilidad a lo largo de todo su ciclo de vida; en ese sentido, ya no pueden desarrollarse únicamente desde una lógica técnica o funcional. Esto implica responsabilizarse por los efectos de las obras sobre el medioambiente y la comunidad que las habita, además de su longevidad y eficacia. En esta situación, el ingeniero civil se convierte en un agente de cambio que puede alterar el diseño, la construcción y el funcionamiento de los entornos construidos.

3.2.1 Comparación entre construcción tradicional y sostenible

Para Avendaño *et al.* (2021), el diseño sostenible y bioclimático, cuyo objetivo es adaptar los edificios al entorno natural y utilizar los recursos climáticos locales, es uno de los principios básicos de este enfoque. Los ingenieros civiles pueden reducir drásticamente el consumo energético de un edificio aplicando técnicas como la orientación del edificio, la ventilación cruzada, el sombreado natural y la maximización de la luz solar. Al mejorar el confort térmico de los usuarios, sin depender excesivamente de los sistemas mecánicos, el diseño bioclimático puede ahorrar costos de funcionamiento y emisiones de GEI.

En paralelo, Delgado *et al.* (2024) sostienen que otro eje crucial en la sostenibilidad de las obras es la elección y aplicación de materiales sostenibles. El uso de materiales de bajo impacto ambiental, ya sean reciclables o reciclados, de baja energía incorporada u obtenidos localmente, es cada vez más importante para los ingenieros civiles. La creación y el uso de materiales de vanguardia, como el asfalto reciclado, los biocomposites, el hormigón mezclado con subproductos industriales y la madera procedente de fuentes sostenibles, ayudan a promover una economía circular en el sector de la construcción, además de reducir la huella de carbono de las obras.

Asimismo, la gestión eficaz de los recursos es otro objetivo primordial, ya sea durante el desarrollo de las infraestructuras como durante su explotación. En las obras civiles deben incorporarse estrategias para reducir el consumo de energía y agua, así como sistemas integrados de reutilización de recursos. Durante la fase de explotación, el impacto ambiental puede reducirse considerablemente aplicando prácticas como el uso de inodoros de bajo caudal, sistemas de recogida de agua de lluvia, paneles solares y tecnología de eficiencia energética. Además, recoger, reutilizar y reciclar la basura procedente de la construcción y la demolición ayuda a poner fin al ciclo de los materiales y a evitar el uso excesivo de los recursos naturales (Salazar, 2024).

En este sentido, la combinación de soluciones basadas en la naturaleza con infraestructuras verdes ofrece formas creativas y eficaces de abordar los problemas medioambientales urbanos. Los tejados verdes, los corredores biológicos, los muros con vegetación y los sistemas de drenaje sostenible (SUDS) son ejemplos de elementos de ingeniería civil que pueden incluirse para mejorar la calidad del aire, mitigar el cambio climático y regular las inundaciones, además de hacer que el entorno construido sea más agradable estéticamente. Al fomentar una conexión entre los entornos naturales y los construidos, estas soluciones favorecen la biodiversidad urbana y hacen que las ciudades sean más resistentes a las catástrofes (Aizpurúa y Rivera, 2025).

Por otra parte, Cuenca (2025) postula que un instrumento vital para evaluar y controlar la sostenibilidad de los proyectos de ingeniería civil es la evaluación del ciclo de vida (ACV). Con esta técnica se identifican y miden los efectos ambientales de cada fase de un proyecto, desde la extracción de materias primas hasta la deconstrucción. Los ingenieros civiles pueden elegir opciones de construcción que minimicen los efectos adversos y maximicen la eficiencia medioambiental, económica y social del proyecto, integrando la evaluación del ciclo de vida (ECV) en la toma de decisiones.

A su vez, la construcción de infraestructuras resistentes es uno de los papeles fundamentales que desempeñan los ingenieros civiles en la adaptación al cambio climático. Para diseñar estructuras que puedan soportar sucesos graves, como terremotos, sequías o inundaciones, es necesario un enfoque multidiscipli-

plinar que tenga en cuenta la topografía local, los factores de riesgo climático y la modelización predictiva. La ingeniería civil puede prever los peligros climáticos y proteger a las personas y los ecosistemas creando infraestructuras, como autopistas elevadas, sistemas de drenaje, diques y edificios con mayor aislamiento térmico (Semanate *et al.*, 2024).

Además, el diseño y la gestión de proyectos de ingeniería civil también se han visto completamente transformados por el desarrollo de la innovación tecnológica y la digitalización. Una mejor coordinación interdisciplinar, una utilización más precisa de los materiales y una gestión más eficaz del tiempo y los costos son posibles gracias al uso de tecnologías como el modelado de información para la construcción (BIM), la inteligencia artificial, los sistemas de supervisión en tiempo real y la automatización de procesos. Además de optimizar los recursos, estas técnicas ayudan a minimizar los errores de diseño y construcción, y permiten hacer una evaluación más precisa del comportamiento medioambiental de las infraestructuras (Cárcel-Carrasco *et al.*, 2022).

Por último, Rojas y Ruiz (2024) puntualizan que es imposible exponer sobre la sostenibilidad sin considerar cómo los proyectos de ingeniería civil afectan a la sociedad. Las iniciativas que apoyan la accesibilidad, la equidad y la mejora del bienestar de la comunidad son cruciales. Esto implica fomentar la participación pública en el proceso de planificación, crear espacios públicos inclusivos, garantizar la seguridad y el bienestar de los usuarios, y crear puestos de trabajo a nivel local, ya sea durante la construcción como durante la explotación. La sostenibilidad social debe incluirse desde el principio del proyecto, ya que es una parte esencial del desarrollo integrado.

En conclusión, es deber de la ingeniería civil encabezar el cambio hacia un paradigma de infraestructuras sostenibles en el siglo XXI. Para lograrlo, es necesario contar con una estrategia global que combine los conocimientos técnicos con una perspectiva medioambiental y social. Esta estrategia debe ser capaz de prever los obstáculos futuros y contribuir activamente al bienestar de la Tierra y sus habitantes. La sostenibilidad es ahora una necesidad global, ética y profesional para todas las partes implicadas en la industria.

3.3. Alternativas de tecnología verde en la construcción sostenible

Leiva (2022) indica que las alternativas tecnológicas ecológicas son formas creativas de disminuir el efecto medioambiental de los edificios y fomentar un uso más económico de los recursos naturales en el marco del desarrollo sostenible. Estos sustitutos ayudan a construir entornos urbanos más resistentes y saludables, además de cumplir con el requisito de frenar el cambio climático. Entre las alternativas más conocidas están el uso del bambú, un recurso natural renovable que se distingue por su gran resistencia, bajo costo y rápida regeneración, lo que lo convierte en una opción viable y sostenible para diversas aplicaciones en la construcción; el reciclaje de residuos, que convierte los desechos en nuevos materiales de construcción y fomenta la economía circular; y los tejados verdes, que sirven como aislantes térmicos y mejoran la calidad del aire y la gestión de las aguas pluviales.

3.3.1. Techo verde como estrategia sustentable

En el ámbito de la construcción sostenible, la cubierta vegetal —también conocida como “tejado verde”— es una solución creativa y polivalente. Superficies tradicionalmente inertes se transforman en zonas vivas mediante esta técnica, que mejora el entorno urbano. Además de mejorar la estética del edificio y añadir flora a una cubierta impermeabilizada, tiene efectos beneficiosos para el medioambiente, la economía y la sociedad. En entornos metropolitanos muy poblados, donde la reducción del cambio climático, la mejora de la calidad del aire y la optimización del uso del suelo son prioridades absolutas, este planteamiento es especialmente pertinente (Giuliano *et al.*, 2022).

Para Zilli *et al.* (2024), la conceptualización técnica de un tejado verde incluye una serie de elementos esenciales que garantizan su longevidad y funcionamiento. La capa de impermeabilización es uno de ellos, pues protege la estructura del edificio actuando como barrera contra la humedad. Mientras que la capa filtrante impide el arrastre de partículas del sustrato que puedan obstruir el sistema, la capa de drenaje permite que el agua sobrante se escurra y proteja

contra los daños por encharcamiento. El sustrato de crecimiento proporciona a las plantas una base nutritiva, y está hecho para retener la humedad sin sobrecargar la cubierta. Por último, pero no por ello menos importante, la elección de la vegetación depende de factores como el clima, la resistencia estructural y el uso previsto de la cubierta, que permite desde sistemas de agricultura urbana hasta jardines decorativos.

Desde el punto de vista medioambiental, los tejados verdes son cruciales para reducir el efecto isla de calor urbano, un fenómeno en el que superficies duras como el hormigón y el asfalto absorben calor, elevando las temperaturas en las regiones pobladas. Esta acumulación de calor disminuye en parte gracias a la evapotranspiración de las plantas y a la sombra que ofrecen. Al liberar oxígeno y absorber dióxido de carbono y otros contaminantes, la vegetación también mejora la calidad del aire, lo que es especialmente beneficioso en zonas urbanas con altos niveles de contaminación atmosférica (Ziaee *et al.*, 2022).

Asimismo, la capacidad de las cubiertas verdes para controlar las precipitaciones es una de sus ventajas más notables. Al retener y ralentizar la escorrentía de las aguas pluviales, las cubiertas verdes alivian la presión sobre los sistemas de drenaje urbano y reducen la probabilidad de inundaciones. Esta función es especialmente importante en zonas con infraestructuras pluviales inadecuadas o donde el cambio climático está aumentando la frecuencia de las lluvias torrenciales. Este tipo de infraestructura verde también ayuda al ciclo hidrológico urbano al favorecer la filtración natural del agua y la recarga de los acuíferos (Cascone, 2024).

Desde el punto de vista ecológico, los tejados verdes favorecen la biodiversidad en zonas urbanas con poco espacio natural. Sirven de hogares sustitutos para aves polinizadoras, insectos y otras especies, y fomentan la resistencia de la ecología urbana, preservando los equilibrios ecológicos. Cuando las cubiertas verdes están conectadas a otras infraestructuras verdes, crean corredores biológicos dentro del tejido urbano, lo que potencia aún más esta función ecológica (Zulkifly y Liu, 2024).

Por otro lado, Dule y Kaming (2023) señalan que, con el tiempo, los tejados verdes adquieren un gran impacto positivo en la economía. Al servir de

aislamiento térmico adicional y reducir la necesidad de calefacción y refrigeración, aumentan la eficiencia energética de la edificación. La reducción de los gastos operativos es un resultado directo de esta eficiencia energética. También prolongan la vida de la capa impermeabilizante del tejado al protegerla de los cambios de calor y de la luz solar. Estas características pueden aumentar el valor de la propiedad en algunos mercados inmobiliarios y atraer a compradores que buscan estructuras respetuosas con el medioambiente.

Además, cabe destacar las ventajas sociales de los tejados verdes. En dicho aspecto, Ziaee *et al.* (2022) han demostrado que tener flora alrededor mejora el bienestar psicológico, ya que reduce el estrés y aumenta la concentración. Además, cuando se planifican como zonas accesibles, estas azoteas pueden servir como lugares de relajación, ocio o incluso jardinería comunitaria, pues mejoran la cohesión social y fomentan una vida sana. Los tejados verdes también pueden servir como plataformas de instrucción que apoyen la educación ambiental en contextos institucionales o educativos.

No obstante, implementar los tejados verdes exige superar algunos obstáculos financieros y tecnológicos. Dado que se requieren materiales especializados y personal experimentado, los precios iniciales pueden ser mucho más elevados que los de un tejado típico. Además, el peso añadido del sistema vegetal debe ser soportado por la estructura del edificio, lo que puede exigir refuerzos. Para que el sistema sobreviva a largo plazo, el mantenimiento continuo, como el riego, la poda y el control de plagas, requiere una gestión adecuada. A pesar de estas dificultades, las ventajas globales de los tejados verdes los convierten en un sustituto viable en el paradigma moderno de la construcción sostenible (Zilli *et al.*, 2024).

En pocas palabras, la cubierta verde es un enfoque sostenible integral que combina diseño y naturaleza en un sistema unificado, revolucionando el paradigma de la construcción tradicional. Debido a sus muchas ventajas sociales económicas y medioambientales, es una buena forma de abordar los problemas urbanos modernos, como la contaminación atmosférica, el cambio climático, la falta de espacios verdes y el uso excesivo de energía. Las cubiertas verdes son un elemento importante en el cambio hacia ciudades más resilientes y sos-

tenibles porque aumentan la eficiencia térmica de los edificios, favorecen la biodiversidad, reducen el efecto isla de calor y mejoran el bienestar humano. Sin embargo, para garantizar su funcionamiento y durabilidad, su despliegue requiere un diseño técnico minucioso, un desembolso financiero único y un mantenimiento especializado.

3.3.2. El reciclaje de residuos como nuevo material de construcción

Según Koessler *et al.* (2022), una táctica importante para transformar el sector en uno más sostenible y acorde con los principios de la economía circular es reciclar la basura para convertirla en material de construcción. Al convertir la basura en recursos útiles, este método reduce la dependencia de materias primas vírgenes, así como el daño medioambiental causado por la extracción y el procesamiento de materias primas convencionales.

En la construcción se pueden reciclar diversos materiales de desecho. Hormigón, ladrillos, cerámica, asfalto, madera, metales, vidrio y otros residuos de construcción y demolición (RCD) pueden triturarse y reciclarse para su uso en nuevos proyectos. En el proceso de fabricación de cemento, hormigón y asfalto modificado también se utilizan residuos industriales, como cenizas volantes, escorias de fundición y neumáticos usados. Incluso se fabrican materiales a base de fibras naturales y paneles aislantes a partir de residuos agrícolas y forestales como el bambú y la paja. La producción de bloques, pavimentos y mobiliario urbano también utiliza basura urbana, como vidrio y plástico reciclados (Knezevich *et al.*, 2025).

Martin (2025) indica que la construcción con materiales reciclados tiene varias ventajas para el medioambiente, entre ellas, una menor huella de carbono, menos basura en los vertederos y una menor necesidad de recursos naturales vírgenes. La fabricación de materiales reciclados suele utilizar menos energía que la producción de materias primas, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la reducción de la extracción de recursos y de la contaminación ligada a la fabricación de materiales tradicionales favorece la conservación del medioambiente.

A pesar de sus ventajas, existen obstáculos para el uso generalizado del reciclado de residuos en la industria de la construcción. Para obtener materiales reciclados de alta calidad, la basura debe clasificarse y separarse con eficacia. A su vez, para garantizar el rendimiento y la seguridad de estos materiales, también es necesario cumplir con ciertos requisitos y leyes de calidad precisos. Dado que algunas industrias de la construcción pueden tener dudas a la hora de emplear materiales reciclados por preocupaciones sobre la durabilidad o la estética, la percepción y la aceptabilidad del mercado también son muy importantes. Por último, la transformación de la basura en materiales de construcción requiere inversiones en tecnología e infraestructuras (Chen *et al.*, 2024).

Al respecto, Mohammed *et al.* (2021) sostienen que el reciclaje en la construcción se ha mostrado prometedor gracias a recientes mejoras. Por ejemplo, en la Bienal de Arquitectura de Venecia de 2025 se expusieron conceptos como la descarbonización del hormigón a partir de residuos orgánicos y la fabricación de ladrillos a partir de estiércol de elefante; esto evidenció la existencia de métodos multidisciplinarios y prácticos para abordar el reto climático. Además, empresas como Gjenge Makers en Kenia han creado ladrillos y adoquines de plástico reciclado, más resistentes que el hormigón convencional, y que además ayudan a reducir los residuos plásticos.

Para Knezevich *et al.* (2025), el tratamiento eficaz de la basura también ha sido posible gracias al uso de tecnologías de vanguardia. Basada en la hidrólisis térmica, la tecnología BIOMAK®, creada por la empresa española Econward, puede procesar hasta 8 toneladas de residuos orgánicos en tan solo 20 minutos, convirtiéndolos en biomasa esterilizada y uniforme. Este invento potencia la generación de biogás y reduce drásticamente las emisiones de CO₂, pues apoya un modelo de economía circular que tiene tres efectos: social, económico y medioambiental.

En resumen, una táctica clave para transformar el sector de la construcción en uno más circular y sostenible es reciclar la basura en nuevos materiales de construcción. Se preservan los recursos naturales, se reducen los efectos medioambientales adversos y se producen ventajas sociales y económicas al convertir la basura en recursos útiles. Además de ser necesarios desde el punto

de vista medioambiental, los procesos de reciclaje en la construcción ofrecen una oportunidad para la innovación, la generación de empleo y la creación de un futuro más resistente y en equilibrio con el medioambiente.

3.3.3. El bambú y su relevancia en la construcción sostenible

El bambú es una planta perenne que crece rápidamente, y es originario de zonas tropicales y subtropicales. Se ha dado a conocer en todo el mundo como material alternativo para el diseño sostenible. Su apodo de “acero vegetal” no es casual, ya que combina una gran resistencia mecánica, flexibilidad y ligereza, lo que lo hace estructuralmente equivalente a materiales como el hormigón y el acero. El bambú es una sabia elección para la construcción de estructuras robustas y respetuosas con el medioambiente, tanto por estas cualidades como por su escasa influencia en el entorno (Madhushan *et al.*, 2023).

Asimismo, Sewar *et al.* (2024) plantean que el extraordinario ritmo de crecimiento del bambú es una de sus características más esenciales para la sostenibilidad. En circunstancias ideales, algunas especies, como *Phyllostachys edulis*, pueden crecer más de un metro cada día y alcanzar la madurez morfológica en tan solo tres o cinco años. Debido a su rápido ciclo de renovación, el bambú es un recurso altamente renovable que la industria de la construcción puede utilizar, a diferencia de los árboles de madera estándar, que necesitan ser plantados durante veinte años o más. Además, el bambú es un eficaz sumidero de carbono. Según estudios recientes, puede absorber entre un 30 % y un 50 % más de dióxido de carbono que los árboles tradicionales, lo que contribuye en gran medida a mitigar el cambio climático. Incluso después de utilizar el material en estructuras, el carbono absorbido se mantiene almacenado, prolongando las ventajas climáticas del edificio a lo largo del tiempo.

Desde una perspectiva medioambiental, el cultivo del bambú utiliza muy pocos fertilizantes y pesticidas, y como la planta puede rebrotar de sus raíces, su recolección no la destruye por completo. En contraste con métodos extractivos más intrusivos, como la tala de bosques autóctonos, el cultivo de bambú permite una gestión forestal más sostenible, reduciendo la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad. Asimismo, todos los aspectos del bambú

pueden aprovecharse en términos de consumo integral. Esta planta facilita una economía de residuo cero con sus tallos estructurales, brotes comestibles y residuos que pueden convertirse en biocombustibles o biomateriales. Esta característica maximiza el valor de cada recurso utilizado, lo que lo hace perfecto para iniciativas basadas en los principios de la economía circular (Tiza *et al.*, 2021).

A su vez, la adopción del bambú también presenta ventajas económicas observables. El crecimiento de las cadenas de valor centradas en la producción, transformación y comercialización del bambú ha creado puestos de trabajo en las zonas rurales, a la vez que ha fomentado la integración de las comunidades indígenas y reforzado las economías locales de países productores como Colombia, India, China y Etiopía a través de iniciativas de infraestructuras sostenibles de vivienda, educación y turismo. En este sentido, el bambú es único en la construcción tanto por sus usos estéticos como por sus cualidades estructurales. En ciertas especies, su comportamiento a la compresión es similar al del hormigón, y su resistencia a la tracción puede superar los 280 MPa. Especialmente en zonas sísmicas, donde su flexibilidad absorbe eficazmente las tensiones dinámicas, estas propiedades permiten su aplicación en estructuras portantes como pilares, vigas, tejados, puentes peatonales y viviendas completas (Koessler *et al.*, 2022).

En paralelo, se señala que el bambú se utiliza con frecuencia para tratamientos exteriores e interiores, además de su aplicación estructural. En este contexto, suelos, paneles de pared, techos, contraventanas, puertas y muebles lo incluyen. El bambú es un material popular en la arquitectura bioclimática, donde la compatibilidad con el entorno natural es esencial por su textura inherente y su calidez visual. Por sus múltiples usos, es un recurso deseable tanto para los avances modernos del diseño ecológico como para los edificios tradicionales. Sin embargo, el uso generalizado del bambú en la construcción tropieza con varios obstáculos. Su popularidad en grandes proyectos se ve limitada por la falta de normas técnicas coherentes en muchos países. Además, es esencial formar a trabajadores cualificados y proporcionar métodos de tratamiento que mejoren la resistencia del material al fuego, la humedad y las plagas; al mismo tiempo, es importante mantener el equilibrio ecológico que lo define (Madhushan *et al.*, 2023).

En conclusión, el bambú se está consolidando como un material respetuoso con el medioambiente y muy prometedor para la construcción sostenible. Su rápido desarrollo, su capacidad para absorber carbono, su flexibilidad, su estabilidad estructural y sus ventajas sociales lo convierten en una respuesta viable a los problemas actuales de vivienda, medioambiente y clima. Para aumentar su uso y consolidar el bambú como una de las piedras angulares del futuro de la arquitectura ecológica, son necesarias políticas públicas, códigos de construcción particulares e iniciativas de educación técnica.

3.4. Retos y oportunidades de una ingeniería civil verde

De acuerdo con Liu *et al.* (2024), a la luz del problema medioambiental mundial, la ingeniería civil ecológica es un cambio vital. Su objetivo es incluir conceptos de sostenibilidad en las fases de diseño, construcción y desmantelamiento del ciclo de vida de las infraestructuras. Este enfoque integral da prioridad al bienestar social y a la protección del medioambiente, además de cuidar la eficiencia técnica y financiera. De este modo, la ingeniería verde sugiere formas de reducir el impacto ambiental y aumentar la resistencia al cambio climático.

A su vez, Yao y Hong (2024) señalan que el cambio de mentalidad entre los profesionales del sector es uno de los mayores obstáculos para esta transición. Las consideraciones medioambientales han quedado marginadas en la ingeniería civil tradicional, que se basaba en consideraciones técnicas y financieras. Pasar a un planteamiento ecológico exige una visión a largo plazo que cuestione los métodos establecidos, así como una reevaluación de los efectos ecológicos y sociales de las obras. Ingenieros, constructores, clientes, responsables políticos y comunidades locales deben participar en este cambio cultural.

A su vez, Liu *et al.* (2025) postulan que la necesidad de integrar nueva información y capacidades tecnológicas es otro obstáculo importante. Comprender los principios del análisis del ciclo de vida, el diseño bioclimático, la gestión de los recursos energéticos e hídricos y la evaluación del impacto ambiental es necesario para una ingeniería civil ecológica. Para que las universidades y los centros de formación técnica formen a personas capaces de hacer

frente a las dificultades de la sostenibilidad, es necesario actualizar sus planes de estudios. Además, para seguir el ritmo de los avances tecnológicos, también es necesario fomentar la formación continua de los trabajadores.

En paralelo, el costo inicial también representa otro obstáculo importante para las empresas sostenibles. Inicialmente, las soluciones ecológicas pueden ser más caras de implantar que las opciones tradicionales, aunque muchas de ellas reporten beneficios a largo plazo. Esto disuade a la gente de adoptarlas, sobre todo en situaciones de escasez de dinero. El análisis del ciclo de vida y la elaboración de modelos financieros que evalúen los futuros beneficios operativos y medioambientales son cruciales para demostrar la viabilidad económica de estas iniciativas (Poblocki *et al.*, 2024).

Asimismo, otro reto es que muchos países carecen de normas precisas y de una legislación inequívoca. Los indicadores de sostenibilidad suelen pasarse por alto en favor de los requisitos estructurales y de seguridad de las normas vigentes. Esta carencia arroja dudas sobre la aplicación de iniciativas ecológicas y dificulta su evaluación y comparación objetiva. La creación de marcos legislativos rigurosos y programas de certificación medioambiental es esencial para dirigir y promover prácticas éticas de diseño y construcción (Liu *et al.*, 2024).

A pesar de estas dificultades, la ingeniería civil ecológica tiene una pléthora de opciones. En primer lugar, al utilizar materiales con bajas emisiones de carbono, eficiencia energética e integración de energías renovables, contribuye sustancialmente a mitigar los efectos del cambio climático. Una de las industrias más contaminantes del mundo, la de la construcción, puede reducir drásticamente sus emisiones de gases de efecto invernadero utilizando prácticas de construcción y obras públicas sostenibles (Liu *et al.*, 2025).

Sandoval y Pieralisi (2023) señalan que entre las prácticas que reducen el consumo de insumos y producen beneficios económicos figuran la reutilización de materiales, el reciclaje *in situ*, el aprovechamiento del agua de lluvia y la optimización energética. Además de tener conciencia ecológica, esta eficiencia aumenta la rentabilidad a largo plazo de los proyectos, lo que cada vez es más importante en las licitaciones públicas y comerciales. Asimismo, la ingeniería civil ecológica también puede mejorar la calidad de vida en los entornos urba-

nos. Los entornos contruidos se vuelven más sanos y habitables al dar prioridad al confort térmico, la ventilación natural, la integración de la vegetación y la accesibilidad universal. Sobre todo en las zonas desfavorecidas sometidas al estrés urbano y al deterioro ambiental, esto tiene un buen efecto en la cohesión social y en la salud física y mental de las personas.

Junto a ello, Ghazanfari *et al.* (2025) afirman que otro ámbito influido por la sostenibilidad es la innovación. Los nuevos métodos de construcción, materiales y herramientas de modelado digital se han visto impulsados por la necesidad de obtener soluciones más eficaces. Ejemplos de innovaciones que muestran cómo la ingeniería ecológica es también un motor de avance técnico y de creación de puestos de trabajo especializados son el uso de hormigón reciclado, los sensores inteligentes para la monitorización estructural o la tecnología BIM con perspectiva ecológica.

Por último, las empresas y los profesionales que utilizan prácticas sostenibles mejoran su competitividad y su reputación. La responsabilidad medioambiental y social se valora cada vez más en el mercado, y muchos inversores dan preferencia a los proyectos que satisfacen los criterios ASG (medioambientales, sociales y de gobernanza). Esto crea nuevas vías de financiación y posicionamiento, sobre todo con fondos verdes internacionales y organizaciones multilaterales. En resumen, la ingeniería civil ecológica presenta una vía realista hacia un paradigma de desarrollo más equitativo, resiliente y ecológicamente sostenible, a pesar de los retos (Poblocki *et al.*, 2024).

Para resumir, la ingeniería civil ecológica ofrece una solución urgente y calculada a los problemas medioambientales, sociales y económicos del siglo XXI. Tiene muchas posibilidades de revolucionar la forma en que concebimos y construimos las infraestructuras, a pesar de grandes retos como los cambios culturales en todo el sector, la necesidad de formación especializada, los gastos iniciales y la ausencia de normas concretas. Su capacidad para reducir las emisiones, maximizar los recursos, mejorar la calidad de vida urbana, estimular el avance tecnológico e impulsar la competitividad empresarial la convierte en un facilitador crucial de un desarrollo más resiliente y sostenible. Por consiguiente, no solo es deseable, sino también necesario avanzar hacia una ingeniería civil verde para garantizar un futuro que logre un equilibrio entre la preservación del medioambiente y el avance humano.

CAPÍTULO IV

LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y LA TECNOLOGÍA VERDE. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

La contaminación ambiental generada por las actividades constructivas, como el uso de maquinaria pesada, la producción de materiales, el transporte y el movimiento de tierras, contribuye significativamente a la emisión de partículas en suspensión, gases tóxicos y ruido excesivo (Wieser *et al.*, 2021; Alsheyab, 2022). Además, la acumulación de polvo, residuos sólidos y aguas contaminadas impacta negativamente en la durabilidad de las estructuras, acelera procesos de corrosión y envejecimiento de materiales, y exige mayores esfuerzos de mantenimiento, lo que incrementa los costos y disminuye la sostenibilidad de las edificaciones (Carrasco-Jocope, *et al.*, 2023; Oloruntobi *et al.*, 2023).

La ingeniería civil desempeña un rol clave en el desarrollo de soluciones sostenibles y resilientes. Su labor abarca desde el diseño y mantenimiento de infraestructura hasta la incorporación de prácticas verdes y planificación urbana adaptativa. Los ingenieros civiles promueven el desarrollo urbano sostenible integrando prácticas de construcción ecológica, como eficiencia energética, uso de energías renovables y reducción de residuos (Kantsepolsky y Aviv, 2024). Además, trabajan en conjunto con urbanistas en la planificación de ciudades compactas, resilientes y socialmente inclusivas, capaces de afrontar riesgos climáticos de todo tipo (Ajirotutu *et al.*, 2024).

La producción de materiales de construcción, como el acero y el hormigón, así como los medios de transporte y el alto consumo energético que deriva de estas son las principales causas de las emisiones globales de CO₂ en el sector de construcción (Gómez-Ospina *et al.*, 2024; Ma *et al.*, 2023). Por ello, se requiere de una modernización en las políticas de construcción, y que esté dirigida a un enfoque sostenible, el cual debe priorizar el uso de materiales alternativos con menor impacto en el medio ambiente (Marzouk y Elshaboury, 2022).

El proceso de construcción requiere de la extracción, fabricación, uso y descarte de recursos naturales, que contribuye al agotamiento de las materias primas y al daño ambiental (Sornoza-Tituanos *et al.*, 2022). A tal efecto, la economía circular propone un método de uso continuo de los recursos; sin embargo, entre los obstáculos para su adopción se encuentran el bajo nivel de digitalización de la industria y su aversión al cambio. Para superar estos obstáculos, se necesita una cultura de la construcción más sostenible, marcos legales adecuados y avances técnicos (Illankoon y Vithanage, 2023).

Además, las actividades de construcción generan altas cantidades de basura, polvo y emisiones gaseosas que contaminan el aire y, por ende, compromete la salud de las personas (Cook *et al.*, 2022; Tong *et al.*, 2023). La gestión eficaz de residuos, el uso de tecnologías limpias y la implementación de herramientas digitales que permiten la monitorización y minimización del impacto ambiental pueden contribuir a mitigar los efectos adversos del proceso de construcción (Oviedo-Cogollo y Vega-Sánchez, 2021). Asimismo, el cambio de enfoque y la inversión en tecnologías verdes fortalece el vínculo entre la ingeniería civil y el medioambiente, reduciendo los impactos negativos e implementando un estilo de construcción más respetuoso con el entorno (Sizirici *et al.*, 2021).

El desarrollo sostenible en los proyectos de construcción y la tecnología incorporada en estos procesos son temas que constantemente aparecen en diversos estudios. De estos derivan diferentes subtemas como la elaboración de materiales sostenibles, ahorro de energía, gestión sostenible de residuos, ecodiseño, innovación tecnológica, planificación urbana, entre otros. Un análisis exhaustivo de todos estos aspectos no es posible debido a que superan el alcance de este trabajo. Por esta razón, en este estudio se priorizarán objetivos a partir de las siguientes preguntas de investigación: ¿qué materiales y métodos innovadores se están incorporando en la construcción sostenible y en su impacto en la reducción del daño ambiental?; ¿qué tendencias emergentes se observan en el desarrollo de tecnologías verdes aplicadas a la infraestructura urbana y edificaciones? y ¿cuál es el rol de la ingeniería civil en el desarrollo de enfoques sostenibles en construcción?

4.1. Metodología

Para esta revisión se ha utilizado el método Prisma (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Mishra y Mishra, 2023; Rethlefsen *et al.*, 2021) para la organización del estudio, por lo que fue pertinente la elaboración de preguntas de investigación, criterios de selección, presentación de resultados y su análisis. Es así que se han estructurado palabras clave con los siguientes términos: ingeniería civil, sostenibilidad, construcción, obras públicas, tecnología verde, modernización, entre otros.

4.1.1. Estrategias de búsqueda

Para la búsqueda bibliográfica, las bases de datos utilizadas fueron Google Académico y Scopus. Se realizaron las siguientes búsquedas avanzadas:

Tabla 1. *Búsqueda avanzada de archivos*

Bases de datos	Palabras clave	Resultados
Scopus	TITLE-ABS-KEY (sustainable AND engineering AND green AND development AND technologies) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE , “re”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , “English”) OR LIMIT-TO (LANGUAGE , “Spanish”))	587
	TITLE-ABS-KEY (objectives AND sustainable AND development AND of AND the AND construction AND sector) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE , “re”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , “English”) OR LIMIT-TO (LANGUAGE , “Spanish”))	244
Google Académico	“green technologies” AND “civil engineering” AND (“practices” OR “ecological materials”)	360
TOTAL		1191

Nota. Elaboración propia

Estas palabras clave se estructuraron a partir de operadores booleanos (AND, OR), con los cuales se realizó la limitación de años de publicación, así como el idioma. Scopus fue utilizado para la incluir artículos específicamente de ingeniería civil y sostenibilidad, debido a la variedad de temas encontrados allí, y su visualización permitió descartar con mayor facilidad diversos resultados. A su vez, Google Académico fue usado para visualizar las prácticas y los materiales de construcción que son elaborados bajo un enfoque sostenible.

4.1.2. Selección de estudios

Este proceso consistió en la revisión de los textos según los términos en los títulos, resúmenes y palabras clave. Después se organizaron los estudios a partir de los temas principales: tecnología, materiales ecológicos, procesos de construcción sostenible e impacto en el medioambiente. Esto sirvió para poder gestionar la información de forma efectiva, con lo cual se obtuvo un resultado de 1191 fuentes entre las dos bases de datos utilizadas. A partir de este proceso, también se logró organizar las fuentes para aplicar los criterios de inclusión y exclusión.

4.1.3. Extracción de resultados del estudio

Los resultados de esta investigación pasaron por etapas en las cuales se filtraron y delimitaron características que estuvieran relacionadas con los objetivos principales del estudio. Es necesario que las fuentes puedan señalar de forma explícita los términos empleados en los operadores booleanos para identificar vínculos temáticos entre los artículos. En la Tabla 2 se hace mención de los criterios de selección utilizados en las bases de datos.

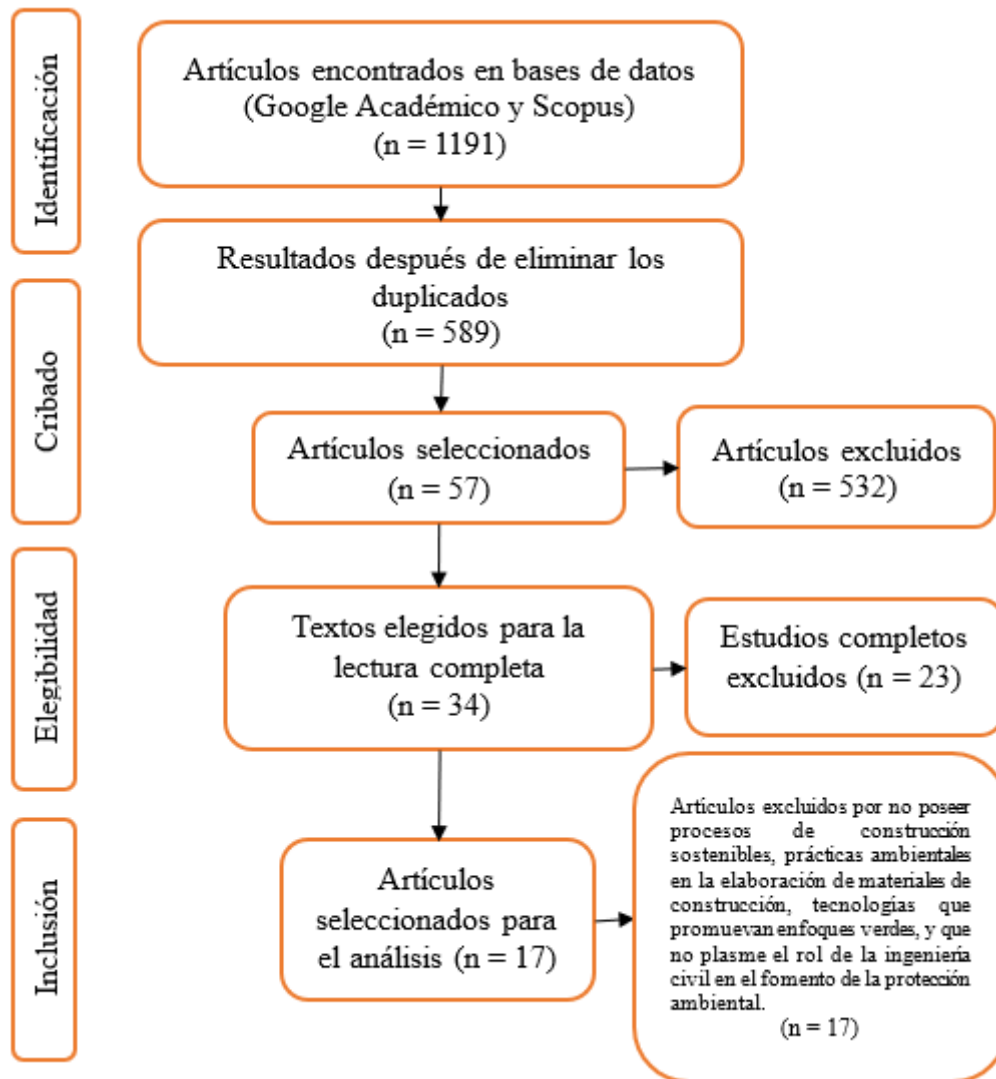
Tabla 2. *Criterios de inclusión y exclusión aplicados a los resultados*

Indicadores	Inclusión	Exclusión
Fecha de publicación	2021 hasta 2025	Artículos publicados antes del 2021
Idioma	Inglés y español	Cualquier otro idioma extranjero
Metodología	Artículos científicos y de revisión sistemática. Estos estudios pueden ser cualitativos, cuantitativos o mixtos.	Tesis de grado, ensayos, capítulos de libro, y conferencias.
Contenido	Estudios que cuenten con hallazgos resaltantes en cuanto al enfoque sostenible dentro del proceso de los materiales de construcción, diseño arquitectónico, tecnologías verdes, rol de la ingeniería civil en la sostenibilidad y la ejecución de prácticas innovadoras vinculadas con el desarrollo sostenible.	Artículos que no guarden relación con la ingeniería civil, el sector de la construcción y la protección del medioambiente.

Nota. Elaboración propia

Para la visualización del descarte de fuentes mediante los criterios de selección, a continuación, se representa el diagrama de flujo Prisma, el cual describe de manera sistemática el proceso de identificación, selección, evaluación y síntesis de los estudios incluidos en esta revisión. Este esquema permite visualizar con claridad las etapas desde la búsqueda inicial en bases de datos hasta la inclusión final de los artículos:

Figura 1. Diagrama de flujo Prisma



Nota. Elaboración propia

El diagrama de flujo Prisma sintetiza de forma estructurada el proceso de selección de artículos científicos para esta revisión. La etapa inicial, que corresponde a la identificación de estudios, permitió adquirir un total de 1191 estudios provenientes de las bases de datos académicas Google Académico y Scopus. Esta búsqueda se centró exclusivamente en artículos de revisión tal como fue establecido en los criterios de elegibilidad, con el fin de garantizar un enfoque analítico y sistemático sobre el tema en cuestión.

Luego, se procedió a la eliminación de duplicados, que redujo el número total a 589 documentos. Este proceso se llevó a cabo mediante herramientas de gestión bibliográfica, complementadas por una verificación manual. Esto per-

mitió mantener los textos que no fueran redundantes, evitando así distorsiones en el análisis posterior.

Posteriormente, se efectuó la evaluación de la elegibilidad mediante la lectura completa de los 57 artículos seleccionados, esta revisión consistió en profundizar la consistencia metodológica y en la pertinencia de sus aportes. A partir de este análisis, se excluyeron 23 estudios, mayormente por no presentar propuestas concretas relacionadas con la protección ambiental, la economía circular o la gestión sostenible de materiales de construcción.

En la etapa de inclusión, se requiere de estudios con enfoques relevantes y actualizados, que permiten explorar con mayor profundidad el papel de la ingeniería civil en la sostenibilidad ambiental. Por este motivo, se seleccionaron 17 artículos para ser analizados y contrastados, procesos que se realizarán en los apartados siguientes.

4.2. Resultados

La Tabla 3 resume los hallazgos fundamentales derivados del análisis sistemático de la literatura recopilada. En esta se presenta una síntesis estructurada de las tendencias identificadas, metodologías empleadas y los hallazgos principales que emergen de los estudios relevantes para la presente investigación.

Tabla 3. *Cuadro de análisis de artículos seleccionados*

N.º	Autores	Título	Revista	Hallazgos
1	Milad et al. (2022).	A Comparative Review of Hot and WarmMix-Asphalt Technologies from Environmental and Economic Perspectives: Towards a Sustainable Asphalt Pavement.	<i>International Journal Environmental Research Public Health</i>	La mezcla asfáltica tibia es una alternativa sostenible en la construcción vial, ya que se produce a temperaturas más bajas, lo que reduce el consumo energético, las emisiones y los costos de producción. Mejora la trabajabilidad, genera menos desgaste y envejecimiento del ligante, y permite incorporar materiales reciclados como pavimento asfáltico recuperado. Aunque requiere aditivos especiales que elevan su costo inicial, estos favorecen su comportamiento a bajas temperaturas, consolidándola como una opción eficiente y ambientalmente favorable.
2	Firoozi y Firoozi (2023).	A systematic review of the role of 4D printing in sustainable civil engineering solutions	<i>Heliyon</i>	La impresión en 4D aplicada a la construcción ofrece un enfoque innovador y sostenible al permitir que las estructuras cambien de forma o función con el tiempo y respondan a estímulo ambientales como el calor o la humedad. No obstante, presenta desafíos relacionados con el consumo energético, los costos económicos y el tiempo de ejecución, esta tecnología destaca por su capacidad de autoensamblarse, autorrepararse y adaptarse a entornos climáticos adversos, lo que prolonga la vida útil de los componentes y mejora la eficiencia en contextos variables.

3	Hao et al. (2023).	Towards next generation design of sustainable, durable, multi-hazard resistant, resilient, and smart civil engineering structures	<i>Engineering Structures</i>	La tecnología verde aplicada a la construcción integra disciplinas como la ingeniería civil, ambiental y energética, promoviendo estructuras resilientes y sostenibles. El monitoreo estructural inteligente, apoyado en inteligencia artificial, <i>big data</i> y drones, permite evaluar en tiempo real el desempeño de infraestructuras, planificar su mantenimiento y extender su vida útil. Este enfoque reduce costos y mejora la seguridad, aunque enfrenta desafíos como la incertidumbre de los datos y la necesidad de supervisión especializada para garantizar un análisis fiable y eficaz.
4	Jagaba et al. (2021).	Systematic Literature Review on Waste-to-Resource Potential of Palm Oil Clinker for Sustainable Engineering and Environmental Applications.	<i>Materials</i>	El clinker de aceite de palma, es un subproducto agrícola que, al utilizarse como agregado en geopolímeros, mejora la resistencia y durabilidad del material, reduce el peso estructural y disminuye las emisiones de CO ₂ . Su carácter liviano, permeable y autocompactante lo convierte en una opción sostenible que sustituye recursos naturales y contribuye a la construcción verde al transformar residuos contaminantes en insumos útiles.
5	Khan y McNally (2023).	A holistic review on the contribution of civil engineers for driving sustainable concrete construction in the built environment.	<i>Developments in the Built Environment</i>	La construcción sostenible tiene un impacto económico, ambiental y social, especialmente mediante la valorización de residuos en el concreto, lo que favorece la economía circular. En este contexto, el ingeniero civil cumple un rol clave en la creación de infraestructuras resilientes y sostenibles. La impresión 3D en hormigón se destaca por su rapidez, precisión y capacidad para utilizar materiales reciclados o subindustriales, optimizando recursos y reduciendo emisiones. Sin embargo, su adopción enfrenta barreras financieras, normativas y educativas que requieren políticas públicas, formación especializada y cooperación entre los actores del sector.

6	Nilimaa (2023).	Smart materials and technologies for sustainable concrete construction.	<i>Developments in the Built Environment</i>	La construcción sostenible integra materiales y tecnologías como el concreto auto-reparable, el concreto en 3D y el fotocatalítico, que mejoran la durabilidad, reducen emisiones y optimizan recursos. También se emplean encofrados aislantes, electrificación de maquinaria, combustibles alternativos y sistemas de captura de carbono. Además, los materiales de cambio de fase aportan eficiencia energética y confort térmico, fortaleciendo un enfoque integral y ambientalmente responsable.
7	Sangmesh et al. (2023).	Development of sustainable alternative materials for the construction of green buildings using agricultural residues: A review.	<i>Construction and Building Materials</i>	El uso de fibras naturales y residuos agrícolas, como el sisal o el bagazo de caña, mejora las propiedades mecánicas y térmicas del concreto, aportando resistencia y durabilidad. Estos materiales reducen emisiones, fomentan la economía circular y promueven un enfoque ecológico en la construcción sostenible.
8	Singh et al. (2021).	Cloud Manufacturing, Internet of Things-Assisted Manufacturing and 3DPrinting Technology: Reliable Tools for Sustainable Construction.	<i>Sustainability</i>	La impresión 3D en construcción permite crear estructuras sostenibles capa por capa, reduciendo el desperdicio de materiales y las emisiones. El uso de aditivos minerales y materiales avanzados que mejoran la durabilidad, flexibilidad y resistencia. Esta tecnología disminuye el tiempo y la mano de obra, facilita diseños complejos y puede operar con energía solar en zonas remotas. Al integrarse con manufactura en la nube, optimiza recursos y reduce costos, consolidando procesos arquitectónicos innovadores y eficientes.

9	Vijayan et al. (2023).	Advancements in Solar Panel Technology in Civil Engineering for Revolutionizing Renewable Energy Solutions—A Review.	<i>Energies</i>	El uso de paneles solares en la construcción impulsa la generación de energía limpia e integra sistemas fotovoltaicos/térmicos que optimizan el flujo de aire y evitan el uso de baterías o bombas de calor. Esta tecnología también apoya la gestión del agua y su integración en infraestructuras urbanas, promoviendo ciudades más resilientes e independientes energéticamente.
10	Latorre (2024).	Avances en el uso del hormigón armado en ingeniería civil: una revisión sistemática.	<i>Magazine de las Ciencias</i>	El desarrollo del hormigón armado ha avanzado con el uso de compuestos cementosos innovadores y áridos reciclados, mejorando su durabilidad y sostenibilidad. En ingeniería civil, se emplean herramientas tecnológicas como el método de elementos finitos, la optimización topológica, sensores incorporados e inteligencia artificial, que optimizan el diseño, reducen el uso de materiales y permiten un monitoreo eficiente del estado estructural.
11	Utsev et al. (2022).	Sustainability in the civil engineering and construction industry: A review.	<i>Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies</i>	Las actividades de construcción generan un alto impacto ambiental por las emisiones de CO ₂ , partículas PM ₁₀ y la pérdida de la biodiversidad. Estas alteraciones afectan la salud y el comportamiento de especies animales. Para frenar estos efectos, se promueve el uso de tecnologías emergentes como la impresión 3D, materiales biodegradables y el reciclaje de áridos provenientes de residuos de construcción, reduciendo el uso de recursos naturales y la generación de desechos.

12	Manzoor et al. (2021).	Strategies for Adopting Building Information Modeling (BIM) in Sustainable Building Projects—A Case of Malaysia.	<i>Buildings</i>	El denominado Building Information Modeling (BIM) es una herramienta digital que optimiza la planificación, diseño y gestión de edificaciones mediante modelos 3D con información técnica, ambiental y financiera. Facilita la colaboración entre profesionales, reduce errores y mejora la eficiencia. En sostenibilidad, permite analizar impactos desde etapas tempranas, optimizar el uso de materiales y energía, y apoyar construcciones resilientes.
13	Ayarkwa et al. (2022).	Sustainable building processes' challenges and strategies: The relative important index approach.	<i>Cleaner Engineering and Technology</i>	En este estudio se resalta la relación entre la ingeniería civil y la sostenibilidad, la cual está influenciada por factores sociales y económicos que impactan en el diseño y ejecución de obras. No obstante, su implementación enfrenta retos como la falta de formación, el desconocimiento de tecnologías verdes, los altos costos iniciales y la resistencia al cambio, por lo que se requieren capacitaciones, especialistas en construcción verde y enfoques colaborativos.
14	Shukra y Zhau (2021).	Holistic green BIM: a scientometrics and mixed review.	<i>Engineering, Construction and Architectural Management</i>	Se aborda la aplicación del enfoque Green BIM, que promueve prácticas sostenibles en la construcción al mejorar el rendimiento ambiental de los edificios, desde la elección del sitio hasta el uso eficiente de recursos y la reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo, su aplicación enfrenta retos técnicos como la baja interoperabilidad entre softwares y la falta de herramientas específicas orientadas a la sostenibilidad.

15	Patil et al. (2022).	A comprehensive review on emerging trends in smart green building technologies and sustainable materials.	<i>Materials Today: Proceedings</i>	Se analiza cómo el uso de materiales ecológicos y tecnologías inteligentes puede contribuir a la disminución del impacto ambiental de la construcción, específicamente a través de la fabricación de bloques sostenibles a partir de escoria de alto horno activada con ceniza de biomasa de hueso de oliva, lo que permite una notable reducción de estos gases perjudiciales.
16	Chen et al. (2022).	Developing green and sustainable concrete in integrating with different urban wastes.	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Se propone el uso de materiales reciclados como plásticos, aceite usado y vidrio desechado para producir concreto de forma más sostenible, reduciendo emisiones de carbono, costos y el uso de recursos no renovables. Para ello, se emplean tecnologías de filtrado de aceites, pulverización de vidrio y tratamiento de plásticos.
17	De Almeida et al. (2022).	Sustainability in the Civil Construction Sector Supported by Industry 4.0 Technologies: Challenges and Opportunities.	<i>Infrastructures</i>	El sector de construcción representa desafíos significativos relacionados con el consumo desmedido de recursos, la gran cantidad de residuos generados y la limitada adopción de enfoques sostenibles. En este contexto, el estudio subraya el valor de incorporar tecnologías propias de la industria 4.0, como sensores inteligentes, dispositivos conectados mediante Internet de las Cosas y sistemas BIM mejorados con herramientas digitales. Esta integración permite avanzar hacia un enfoque Green BIM, orientado al seguimiento y control ambiental en su totalidad.

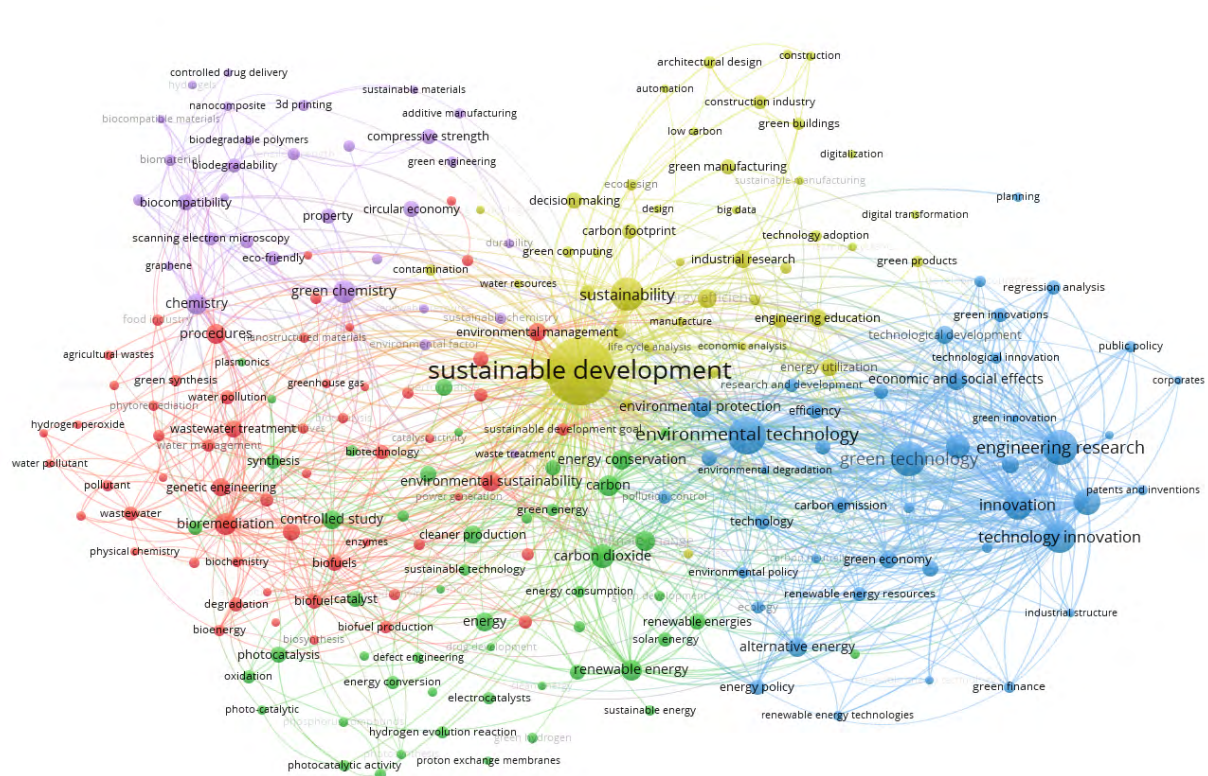
Nota. Elaboración propia

La Figura 2, generada mediante VOSviewer, presenta un análisis de co-ocurrencia de palabras clave asociadas a la investigación en sostenibilidad, y reflejan un mapa temático denso y altamente interconectado. En el centro del grafo, términos como “sustainable development”, “environmental technology” y “green technology” actúan como nodos de alta frecuencia relevancia que articulan el discurso académico en torno a la sostenibilidad desde diversas disciplinas.

El mapa se organiza en clústeres de palabras clave, que permiten distinguir líneas temáticas especializadas. El clúster azul se orienta hacia los estudios en innovación tecnológica, investigación en ingeniería y desarrollo sostenible, y destacan términos como “technology innovation”, “engineering research” o “green economy”.

En el clúster verde se agrupan investigaciones vinculadas a la energía sostenible, eficiencia energética y reducción de emisiones. Aquí, conceptos como “renewable energy”, “carbon dioxide” y “energy conservation” evidencian una orientación hacia soluciones tecnológicas aplicadas al problema del cambio climático y el consumo energético. A su vez, el clúster rojo aborda cuestiones relacionadas con el tratamiento de aguas residuales, biorremediación y tecnologías limpias, utilizando términos como “biodegradation”, y “wastewater treatment”, lo que remite a un enfoque más experimental y biotecnológico.

Figura 2. Representación gráfica de la relación de términos clave en la base de datos Scopus

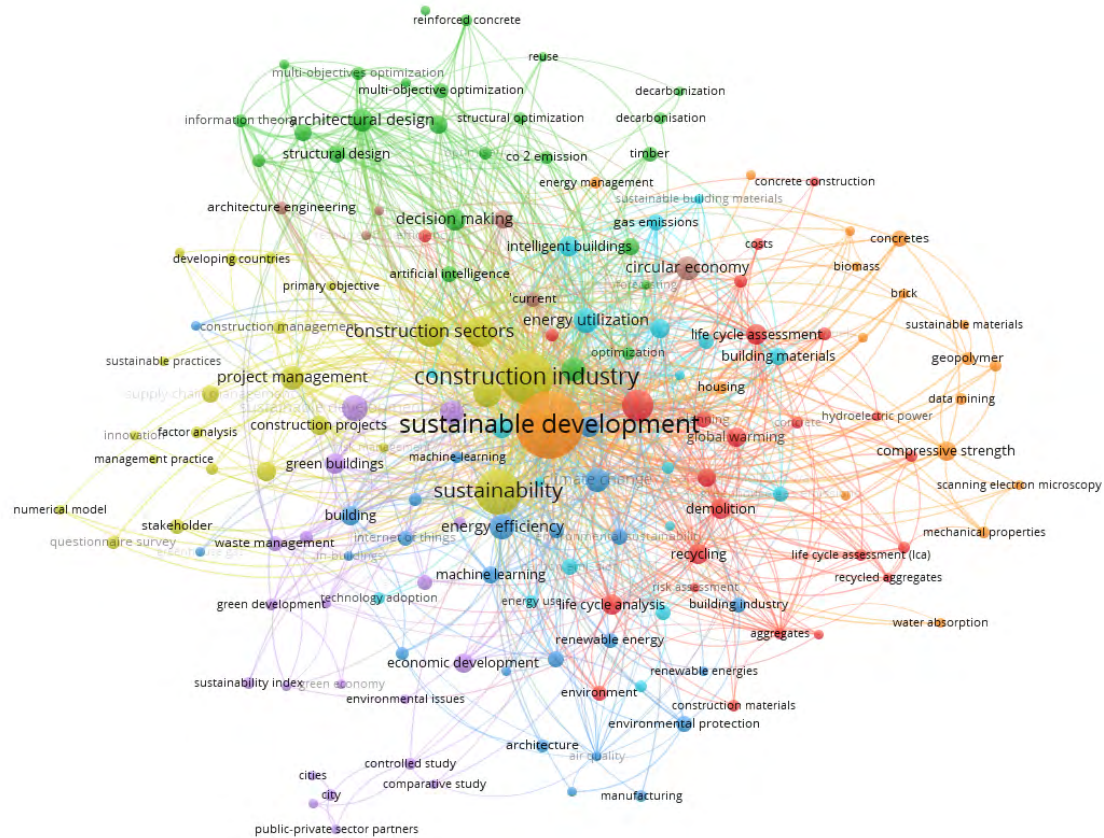


Nota. Elaboración propia

Esta figura representa un mapeo de co-ocurrencia de palabras clave en estudios sobre sostenibilidad en la industria de la construcción. Los nodos reflejan términos extraídos de los documentos revisados, cuyo tamaño indica su frecuencia, mientras que las conexiones muestran la fuerza de su asociación. Palabras como “sustainable development”, “construction industry” y “sustainability” ocupan posiciones centrales por su alta recurrencia y vinculación temática.

El clúster rojo agrupa investigaciones centradas en propiedades de materiales sostenibles, como “recycled aggregates”, “mechanical properties” o “cement replacement”. El clúster morado vincula términos relacionados con el diseño verde y las estrategias urbanas sostenibles, mientras que otros grupos más pequeños abordan temas técnicos específicos como el rendimiento térmico, el uso de energías renovables o el análisis estructural.

Figura 3. *Visualización de palabras clave generados a partir de la búsqueda en Scopus*



Nota. Elaboración propia

4.3. Discusión

La sostenibilidad se establece mediante diferentes procesos de protección ambiental, en los que la construcción de las estructuras requiere del uso de materiales provenientes del reciclaje (Sangmesh *et al.*, 2023). Para ello es necesario el mantenimiento inteligente del ciclo de vida de aquellas estructuras, evaluar su desempeño y planificar la rehabilitación y mantenimiento de estas (Singh *et al.*, 2021). Esto mejora el desempeño de los ingenieros civiles y reduce el costo de mantenimiento debido al uso de tecnologías como la inteligencia artificial, la *big data*, las plataformas de la nube y la realidad virtual para el análisis de datos del estado de los materiales (Hao *et al.*, 2023).

Sin embargo, estas no son las únicas tecnologías que se utilizan en el sector de la construcción, ya que diversas tecnologías como la impresión en 3D

y en 4D han tenido relevancia en estos últimos años debido a su capacidad de generar estructuras moldeables, adaptables y duraderas en el tiempo (Latorre, 2024; Shukra y Zhau, 2021). Estas estructuras permiten que se puedan autor-reparar y autoensamblar, extendiendo la vida útil de estos componentes. La adaptabilidad también se observa en el fácil montaje en entornos climáticos adversos, ya que brinda mayor seguridad en entornos variables (Firoozi y Firoozi, 2023). Estas tecnologías pueden observarse en la Tabla 4 de forma concreta y sistemática:

Tabla 4. *Procesos sostenibles para el preparado de mezclas de construcción*

Concreto autorreparable	Se trata de concreto capaz de reparar de forma autónoma grietas y daños. Su carácter autor-reparador permite que las estructuras prolonguen su vida útil sin la necesidad de constantes inspecciones, evaluación y mantenimiento de estas. Este tipo de hormigón puede causar inicialmente altos costos de producción, no obstante, a largo plazo resulta un elemento útil para la generación de estructuras de asfalto.
Concreto impreso en 3D	Requiere de usos de sistemas robóticos controlados digitalmente para construir estructuras capa por capa. Esto permite que se reduzca el tiempo de construcción, así como el desperdicio de material y aumenta la posibilidad de generar formas geométricas complejas. La sostenibilidad se visualiza con el uso de material reciclado.
Concreto fotocatalítico	Elaborado con dióxido de titanio (TiO ₂) que, al recibir luz solar, degrada contaminantes atmosféricos y compuestos orgánicos volátiles. Tiene diversos beneficios como purificar el aire y poseer propiedades autolimpiantes, y larga duración en la vida útil.
Encofrados aislantes	Se presentan como moldes de espuma interconectados para permanecer en la estructura y ofrecer aislamiento térmico. Este tipo de moldes mejora la eficiencia energética, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y aumenta la resistencia a climas extremos.
Electrificación de equipos y vehículos	Esta tecnología sustituye la maquinaria y vehículos de obra que funcionan con diésel por alternativas eléctricas. Esto disminuye las emisiones de gases contaminantes, el ruido y mejora la eficiencia energética. Brinda sostenibilidad debido al apoyo a la transición y reducción de la huella de carbono de las obras.
Combustibles derivados de residuos	Son combustibles alternativos obtenidos de residuos sólidos urbanos, agrícolas, industriales o neumáticos fuera de uso. Los beneficios sostenibles que se observan aquí se dan en la sustitución de los combustibles fósiles en la producción de cemento, reducción de emisión de CO ₂ y disminución de costos de combustible.

Captura, utilización y almacenamiento de carbono	Se trata de una tecnología que captura CO ₂ , de procesos industriales (como fábricas de cemento), lo reutiliza o lo almacena en formaciones geológicas. Es fundamental verlo como alternativa debido a la reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero.
Materiales de cambio de fase	Son materiales que almacenan y liberan energía térmica al cambiar de fase. Se aplica mediante la integración de agregados, paneles, cemento o estructuras huecas. Estos materiales mejoran el aislamiento térmico y reducen el consumo de energía en edificios, prolongando la vida útil del edificio reduciendo el estrés térmico.

Nota. Adaptado de Nilimaa (2023).

Estas tecnologías sirven para otorgar características renovables a las mezclas; estas permiten que las emisiones de CO₂ sean bajas, además de fomentar la reutilización de materiales para evitar la contaminación ambiental (Patil *et al.*, 2022; Mazoor *et al.*, 2021). El uso de materiales desechables, así como los productos subindustriales pueden mejorar la sostenibilidad ambiental, ya que se sustituyen productos nocivos como la escoria, cenizas volantes y áridos reciclados (Khan y McNally, 2023).

Tecnologías como la captura y almacenamiento de carbono, y el uso de residuos como combustibles alternativos, reflejan un claro avance hacia la descarbonización del proceso constructivo. Esto demuestra cómo la innovación en materiales y procesos puede transformar la industria de la construcción hacia un modelo sostenible a futuro (Chen *et al.*, 2022; De Almeida *et al.*, 2022; Utsev *et al.*, 2022).

Un aspecto a destacar del proceso de generación de estructuras en impresión 3D es que tiende a adquirir aditivos minerales para la mejora en la eficiencia ambiental, así como un incremento en la durabilidad y resistencia (Jagaba *et al.* 2021). Estos aditivos también proporcionan flexibilidad a partir de la incorporación de materiales avanzados como el concreto reforzado con fibras (FRC) o compuestos cementicios flexibles (ECC). Aquellos materiales le otorgan maleabilidad y resistencia a la tracción y flexión, algo esencial para estructuras complejas (Singh *et al.*, 2021).

El concreto autorreparable, fotocatalítico y los encofrados aislantes presentan la característica de la maleabilidad y la regulación térmica como una ca-

racterística esencial, la cual se complementa con otros aditivos como el clinker de aceite de palma (Latorre, 2024; Shukra y Zhau, 2021). Este es un recurso para construir asfalto de manera sostenible y que enriquece las mezclas para generar impactos ambientales importantes; su adición colabora en la reducción del calor y en la estabilización de los suelos debido a su carácter adaptativo y permeable (Jagaba *et al.*, 2021).

Las aplicaciones sostenibles de este recurso se observan en los geopolímeros, ya que se usan como un agregado con grandes beneficios en la resistencia química, compresión y durabilidad (Chen *et al.*, 2022). Así también, son recursos que sirven como alternativa a agregados naturales (grava, arena y cemento), pues reducen el peso muerto de las estructuras y las emisiones de CO₂ hasta un 20 % en su composición (Milad *et al.*, 2022; Latorre, 2024).

La tecnología verde se complementa con este recurso debido a que convierte el subproducto agrícola altamente contaminante en un insumo útil para la construcción sostenible. El clinker de aceite de palma no solo reduce el uso de recursos naturales o renovables, sino que también mejora propiedades mecánicas y disminuye emisiones de carbono, especialmente en concretos geopoliméricos y de baja densidad (Jagaba *et al.*, 2021; Ayarkwa *et al.*, 2022).

En cuanto a la mezcla de hormigón, es indispensable elegir correctamente el tipo de materiales para abordar la sostenibilidad en la construcción de la mejor manera. Los materiales como las fibras naturales y el lignocelulósicos agrícolas son refuerzos beneficiosos para los materiales de construcción sostenibles y ecológicos (Utsev *et al.*, 2022; Manzoor *et al.*, 2021). Estas fibras, como la fibra de sisal, y residuos, como el bagazo de caña de azúcar, se utilizan para mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de diferentes materiales, incluyendo concreto, tableros y ladrillos.

Estos materiales naturales mejoran la resistencia a la tracción, compresión y flexión del concreto, además de conferir propiedades resistentes agentes de degradación como sulfatos y sales (Ayarkwa *et al.*, 2022; Patil *et al.*, 2022). Aquellas soluciones contribuyen a la economía circular, reducen las emisiones de carbono y minimizan la dependencia de recursos no reno-

vables, transformando el proceso de construcción hacia un enfoque ecológico (Sangmesh *et al.*, 2023).

A su vez, el uso de la escoria de horno alto activada con ceniza de biomasa de hueso de oliva ayuda a disminuir las emisiones de CO₂, produciendo así bloques sostenibles que son ideales para las estructuras de construcción por su alta durabilidad y bajo costo de producción. Además, otras alternativas como el uso de ceniza de cáscara de arroz y ceniza de bagazo de caña proveen de propiedades que aumentan el rendimiento de la mezcla (Patil *et al.*, 2022; De Almeida *et al.*, 2022).

Otro recurso sostenible en construcción es la mezcla asfáltica tibia, que provee de diversos beneficios como el ahorro de energía al producirse en baja temperatura; a su vez, tiene condiciones favorables como el poco desgaste del ligante lo cual enriquece el proceso de mantenimiento de la estructura (Utsev *et al.*, 2022). No obstante, al ser elaborada en bajas temperaturas, esta mezcla puede verse perjudicada por su poca durabilidad, lo que requiere de aditivos que tienen un costo elevado (Milad *et al.*, 2022; Manzoor *et al.*, 2021).

Con la presentación de estos procesos de mezcla, es necesario señalar las capacidades de las tecnologías que hacen posible la integración de enfoques sostenibles. Una de las que ha tenido mayor presencia en los artículos revisados es la impresión en 3D. Esta tecnología marca una enorme diferencia con los métodos tradicionales de construcción, puesto que su rapidez de producción permite construir completamente un edificio en cuestión de días (Khan y McNally, 2023; Chen *et al.*, 2022; Sangmesh *et al.*, 2023).

Esta tecnología brinda facilidades en torno a la rapidez de las construcciones que pueden extenderse en tiempo muy prolongados de desarrollo. Esta tecnología de impresión 3D permite diseñar formas geométricas complejas y personalizadas con una precisión elevada, optimizando el uso de materiales mediante diseños que minimizan el volumen necesario sin comprometer la resistencia estructural. Estos resultan en estructuras más ligeras y eficientes, reduciendo el consumo de materiales y energía en producción y transporte (Khan y McNally, 2023; Vilayan *et al.*, 2023; Utsev *et al.*, 2022).

La sostenibilidad de esta tecnología radica en la reducción del tiempo de construcción y de mano de obra, y aumenta las posibilidades de generar diseños geométricos avanzados (Nilimaa, 2023). La impresión en 3D puede realizarse en zonas remotas mediante el uso de energía solar, lo cual disminuye significativamente el consumo de combustible, e innova la logística del proceso constructivo (Singh, *et al.*, 2021).

A este tipo de impresión se le une la manufactura en la nube como tecnologías sostenibles en la construcción. Esto genera una producción personalizada y eficiente, que optimiza el diseño estructural y reduce el uso de materiales mediante técnicas de fabricación aditiva (Sagnmesh *et al.*, 2023; Firoozi y Firoozi, 2023).

Los sistemas computacionales avanzados permiten la mejora de estas técnicas de fabricación, con las cuales se puede personalizar el diseño del hormigón, otorgándole mejoras en la durabilidad y sostenibilidad. Este incremento en la calidad de la producción de materiales de construcción se realiza con las siguientes herramientas inteligentes:

Tabla 5. *Tecnologías sostenibles para la mejora en la producción de recursos de construcción*

Método de elementos finitos	Tecnología computacional usada para simular el comportamiento estructural del hormigón armado bajo diversas condiciones de carga.
Optimización topológica	Técnica avanzada de diseño que permite reducir el uso de materiales sin afectar el rendimiento estructural.
Sensores incorporados	Dispositivos embebidos en las estructuras que permiten monitorear en tiempo real su estado y detectar posibles.
Inteligencia artificial (IA)	Se plantea como una tecnología emergente para mejorar el monitoreo, mantenimiento y toma de decisiones en la gestión de estructuras de hormigón armado.
BIM (<i>Building Information Modeling</i> -Modelado de Información de Edificación)	Permite evaluar los impactos ambientales de un proyecto desde las primeras fases, esto facilita la selección de materiales más sostenibles, el análisis del consumo energético y la reducción de residuos.

Nota. Adaptado de Utsev *et al.* (2022) y Manzoor *et al.* (2021).

La Tabla 5 destaca el rol de las tecnologías de la industria 4.0, como sensores inteligentes, dispositivos basados en el internet de las cosas y plataformas BIM, en la transición hacia un modelo de Green BIM para el monitoreo ambiental del ciclo de vida del edificio. La nanotecnología se destaca también como una herramienta eficaz para mejorar la durabilidad del concreto sostenible mediante el uso de nanopartículas sin aumentar el contenido del cemento (Chen *et al.*, 2022; Firoozi y Firoozi, 2023; Shukra y Zhau, 2021).

Otra tecnología verde utilizada en la construcción son los paneles solares, que tienen relevancia porque promueven la generación de electricidad limpia y renovable. Una tendencia actual es la construcción de edificios que lleven integrado un sistema fotovoltaico/térmicos, para lo cual es necesario la implementación de cavidades de solución doble para dejar salir el flujo de aire, con lo cual esos sistemas pueden rendir eficientemente en la adquisición de energía renovable (Vijayan *et al.*, 2023; Jagaba *et al.*, 2021; Hao *et al.*, 2023).

Estos sistemas fotovoltaicos/térmicos poseen un proceso de bombeo de energía que evita el uso de baterías y bombas de calor que pueden generar aumento en el consumo de energía eléctrica. Este tipo de tecnología también actúa en la gestión del agua y la integración en infraestructuras urbanas, como parques y sistemas de transporte (Milad *et al.*, 2022; Latorre, 2024). Esto facilita la creación de ciudades más verdes y resilientes. Además, la capacidad de las instalaciones solares para contribuir a la red mediante *net metering* refuerza la independencia energética de los edificios y fomenta el uso de energías renovable (Vijayan *et al.* 2023).

Las tecnologías impulsan la transición hacia una construcción más sostenible, pero su implementación efectiva depende en gran medida del rol del ingeniero civil, quien es clave en el diseño, ejecución y mantenimiento de infraestructuras resilientes (Ayarkwa *et al.*, 2022; Nilimaa, 2023). Este liderazgo técnico permite integrar soluciones sostenibles de forma coherente, como la valorización de residuos industriales y agrícolas en la mezcla de concreto, lo que no solo mejora su rendimiento estructural, sino que también reduce la huella de carbono y refuerza la economía circular dentro de un enfoque integral que abarca los ámbitos económico, ambiental y social (Khan y McNally, 2023).

En este contexto, la relación entre ingeniería civil y sostenibilidad se ve influida por factores sociales y económicos que condicionan el diseño y ejecución de proyectos. Los principales desafíos para aplicar tecnologías verdes incluyen la falta de formación, los altos costos iniciales y la resistencia al cambio. Para ello es necesario recurrir a estrategias de capacitación, incorporación de especialistas en construcción sostenible y enfoques colaborativos que mejoren la comunicación dentro del equipo de trabajo (Ayarkwa *et al.*, 2022; Shukra y Zhau, 2021).

4.4. Conclusiones

Los resultados de esta revisión sistemática muestran que los recursos utilizados para orientar al sector de construcción hacia un enfoque sostenible se relacionan con materiales innovadores y tecnologías verdes. La incorporación de materiales como concretos geopoliméricos, mezclas asfálticas tibias, fibras naturales y aditivos derivados de subproductos agrícolas, así como el uso de áridos reciclados, ha demostrado mejorar el rendimiento estructural y reducir las emisiones de CO₂.

Del mismo modo, los métodos emergentes, como la impresión 3D y 4D, el concreto autorreparable y fotocatalítico, y los sistemas de captura y almacenamiento de carbono, se consolidan como herramientas clave para una mayor eficiencia energética. Se destaca la integración de plataformas BIM y sensores inteligentes en modelos de Green BIM, junto con tecnologías propias de la Industria 4.0, como la inteligencia artificial, la nanotecnología y el Internet de las Cosas.

La ingeniería civil ocupa un rol estratégico en esta transformación, puesto que enfrenta el desafío de superar obstáculos económicos, normativos y formativos que limitan la adopción de estas tecnologías innovadoras. Esta actividad es esencial para generar modelos constructivos vinculados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y LA TECNOLOGÍA VERDE

De acuerdo con Callera *et al.* (2024), la construcción sostenible se ha convertido en una necesidad esencial para aminorar los efectos adversos de la industria de la construcción sobre los ecosistemas, ello en el actual contexto de emergencia climática y degradación medioambiental. El sector de la construcción ha sido históricamente uno de los más contaminantes, ya que es responsable de alrededor del 40 % de las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo, así como del uso significativo de recursos naturales y la producción de basura. En vista de ello, el uso de tecnologías ecológicas en el sector de la construcción ha surgido como una táctica crucial para fomentar métodos más eficaces y conscientes desde el punto de vista financiero, social y ecológico.

Desde sistemas energéticamente eficientes y materiales reciclados hasta soluciones digitales para el diseño y la administración inteligente de edificios, las tecnologías de construcción ecológica abarcan un amplio espectro de avances. Estas tecnologías no solo reducen el impacto ambiental de un edificio, sino que también mejoran la calidad de vida de sus ocupantes y aumentan la resistencia al cambio climático. Pero ponerlas en práctica exige un cambio de paradigma en los modelos de construcción convencionales, que siguen contribuyendo en gran medida al deterioro del medioambiente debido a su elevado consumo de energía, el uso de recursos no renovables y el desprecio por el entorno (Giuliano *et al.*, 2022).

Desde un punto de vista ecológico e integral, la bioconstrucción se posiciona en este entorno como una opción crucial que integra principios de sostenibilidad e innovación tecnológica. Este enfoque pretende mejorar la salud, el bienestar y la armonía ambiental, además de disminuir el efecto medioambiental de los edificios mediante la utilización de materiales naturales, métodos tradicionales y diseños bioclimáticos. En este sentido, la bioconstrucción es un medio práctico y flexible para transformar el sector de la construcción en uno dedicado al crecimiento sostenible y al futuro del planeta (Salazar, 2024).

5.1. Adopción de tecnologías verdes y su incidencia en la responsabilidad ambiental

En todo el mundo, el uso de tecnologías verdes se ha convertido en un componente clave de los planes de desarrollo sostenible. Su aplicación responde a la creciente necesidad de que las personas, las empresas, los Gobiernos y las comunidades asuman una responsabilidad medioambiental compartida. Al fomentar actividades productivas y de consumo coherentes con la preservación de los ecosistemas y el bienestar de las generaciones futuras, estas tecnologías están especialmente hechas para disminuir o erradicar por completo los efectos adversos sobre el medioambiente. En una época de escasez de recursos, degradación del medioambiente y crisis climáticas, en la que los remedios tradicionales han demostrado ser inadecuados, su papel es vital (Avendaño *et al.*, 2021).

La capacidad de la tecnología verde para disminuir la huella ecológica es uno de sus efectos más importantes. Las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyen considerablemente gracias al cambio energético hacia fuentes de energía limpias y renovables, como la hidroeléctrica, la geotérmica, la eólica y la solar. La utilización de paneles solares, calentadores de agua solares y sistemas fotovoltaicos en el hogar y la empresa no solo aumenta la eficiencia energética, sino que también sirve para mitigar el cambio climático. Además, estas tecnologías reducen los gastos energéticos a largo plazo, lo que fomenta su adopción en toda una serie de industrias (Zilli *et al.*, 2024).

Por otra parte, Escobar *et al.* (2024) plantean que las tecnologías verdes hacen posible un uso más eficaz de los recursos naturales, lo que es crucial para mantener la sostenibilidad medioambiental. Los electrodomésticos energéticamente eficientes, los sistemas de iluminación LED y los sistemas inteligentes de supervisión y control son algunos ejemplos de herramientas que maximizan el uso de la energía en hogares, lugares de trabajo y empresas. La reutilización de aguas grises y los sistemas de riego por goteo son dos ejemplos de tecnología agrícola que minimizan el desperdicio de agua, algo crucial en zonas con graves restricciones hídricas. Sin sacrificar la calidad de vida, esta eficiencia de los recursos ayuda a disminuir el impacto sobre el medio ambiente.

De igual modo, Moreno-Torres *et al.* (2022) resaltan que las tecnologías verdes son esenciales tanto para prevenir como para atenuar las consecuencias de la contaminación. La contaminación del agua, el aire y el suelo ha disminuido gracias al desarrollo de sofisticados sistemas de tratamiento de aguas residuales, a la tecnología de captura y almacenamiento de carbono (CAC) y a operaciones industriales más limpias y eficaces. Además, la movilidad eléctrica —que incluye coches eléctricos y estaciones de recarga— se ha convertido en una opción viable para reducir las emisiones relacionadas con el transporte, mejorar la calidad del aire urbano y reducir los riesgos para la salud.

Otro ámbito en el que las tecnologías verdes demuestran su enorme potencial transformador es el paso a una economía circular. Para reducir la producción de residuos y el uso de recursos vírgenes, este modelo económico fomenta el rediseño, el reciclaje y la reutilización de productos. La gestión de materiales en varios sectores está siendo revolucionada por tecnologías como las plataformas digitales para la economía colaborativa, la impresión 3D con materiales reciclados y los sistemas inteligentes para la separación y recuperación de residuos sólidos urbanos. La innovación tecnológica está impulsando este cambio, que permite cerrar los ciclos de producción y desarrollar sistemas más robustos y regenerativos (Miñarro, 2021).

A su vez, el desarrollo de la tecnología verde también ha contribuido en gran medida a la vigilancia del medioambiente. Los datos en tiempo real sobre temperatura, biodiversidad, calidad del aire y estado de los recursos naturales pueden recopilarse y analizarse mediante el uso de drones, imágenes por satélite, teledetección y técnicas de *big data*. Estos recursos ofrecen datos útiles para una planificación urbana sostenible, una toma de decisiones bien informada y la ejecución de políticas públicas más acertadas. También permiten una mayor apertura y participación pública en la protección y vigilancia del medio ambiente (Hazim y Saadoon, 2023).

No obstante, el desarrollo de estas tecnologías no está exento de dificultades. Entre los principales obstáculos a su aceptación generalizada figuran la disparidad tecnológica entre países desarrollados y pobres, los elevados costos iniciales de muchas soluciones, la falta de infraestructuras y el acceso restrin-

gido a la financiación. Para superar estas limitaciones, son necesarias políticas públicas que fomenten la transferencia de tecnología, incentivos financieros y fiscales, y una mayor inversión en I+D. Para permitir su uso y apropiación adecuados, también es crucial mejorar las capacidades técnicas y educativas de la población (Wang *et al.*, 2024).

En pocas palabras, las tecnologías verdes son instrumentos esenciales para garantizar el cumplimiento de las responsabilidades medioambientales a todos los niveles de la sociedad. Además de proteger los ecosistemas y atenuar las consecuencias del cambio climático, su aplicación crea nuevas oportunidades de innovación, competitividad y crecimiento económico sostenible. La adopción de estas soluciones e incorporar la sostenibilidad como concepto rector en todas las acciones personales, empresariales y gubernamentales será necesario para allanar el camino hacia un futuro más equitativo y verde.

5.2. Impacto de la construcción tradicional en el medioambiente

El auge y el desarrollo de las civilizaciones contemporáneas se han visto influidos por la construcción tradicional, fundamento histórico de la ingeniería civil; sin embargo, este paradigma constructivo ha producido un importante efecto medioambiental que abarca todas las fases de su ciclo de vida (Huangal, 2025). Cada etapa, desde la extracción de materias primas hasta el funcionamiento, el mantenimiento y la destrucción de edificios e infraestructuras, ejerce una presión considerable sobre los ecosistemas y los recursos naturales. Los efectos medioambientales de este método tradicional de construcción deben examinarse con rigor a la luz del hecho de que la degradación del medioambiente y el cambio climático se han convertido en problemas mundiales.

En este escenario, Muñoz y Enciso (2021) señalan que el uso excesivo y el agotamiento de los recursos naturales es uno de los principales efectos de la construcción tradicional. Un enfoque extractivo que pone en peligro la sostenibilidad de los ecosistemas se manifiesta en la intensa demanda de minerales metálicos como el hierro, el aluminio y el cobre, áridos como la arena y la grava, combustibles fósiles y grandes cantidades de agua. Mientras que la deforestación para obtener madera sin una gestión forestal adecuada provoca la

pérdida de biodiversidad, la alteración de los ciclos hidrológicos y el aumento de las emisiones de carbono, la extracción de áridos, por ejemplo, modifica el curso de los ríos, daña los ecosistemas ribereños y provoca erosión. Esta extracción descuidada agrava los efectos del cambio climático y pone en peligro la capacidad de regeneración del planeta.

En paralelo, Giuliano *et al.* (2022) determinan que otro factor importante es el elevado consumo de energía que conlleva la construcción tradicional, que genera importantes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Materiales como el acero y el cemento requieren mucha energía para su producción. Se cree que el sector del cemento es responsable de alrededor del 7 % de las emisiones de CO₂ en todo el mundo. Además, la huella de carbono de la industria se ve incrementada por el transporte de estos materiales, normalmente a grandes distancias, y el uso de maquinaria de gran tamaño en las obras de construcción. Esta estrategia energética es insostenible y va en contra de los compromisos mundiales para mitigar el cambio climático.

De igual modo, los residuos de construcción y demolición (RCD) son una de las mayores fuentes de residuos del mundo como parte de la construcción convencional. Estos residuos, que con frecuencia se tiran en vertederos sin ser tratados previamente, incluyen escombros, restos de cemento, madera, plásticos, envases y basura peligrosa. Los efectos negativos de esta práctica incluyen la contaminación del suelo y el agua, la ocupación de terrenos para su eventual eliminación y la liberación de gases como el metano, un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento superior al del CO₂. Este problema se agrava por la inadecuada infraestructura para el reciclaje de RCD en muchos países (Cárdenas *et al.*, 2024).

Unido a ello, Sánchez (2024) detalla que los métodos de construcción convencionales pueden contaminar el aire, el agua y la tierra. La salud respiratoria de los residentes y empleados adyacentes puede verse afectada significativamente por las partículas suspendidas en el aire producidas por operaciones como la demolición, el movimiento de tierras y el transporte de materiales. Sin embargo, la calidad de los recursos hídricos se pone en peligro cuando los vertidos de materiales peligrosos y los productos químicos mal gestionados

se infiltran en las masas de agua superficiales y subsuperficiales. De forma similar, la contaminación acústica provocada por el uso de maquinaria pesada y equipos es una causa de estrés ambiental que repercute negativamente en el bienestar físico y emocional de las personas expuestas.

Miñarro (2021) plantea que otro componente crucial de la evaluación medioambiental de la construcción tradicional es el efecto sobre los ecosistemas y la biodiversidad. La urbanización extensiva y el desarrollo de infraestructuras en regiones naturales fragmentan los ecosistemas, destruyen los hábitats y modifican las rutas biológicas. Junto a la extinción directa de especies vegetales y animales, esto también conlleva la perturbación de procesos ecológicos vitales como la polinización, la formación del suelo y el control del agua. La base natural que sustenta la existencia humana y no humana se deteriora gradualmente como resultado de una actividad antropogénica que carece de planificación ecológica.

Asimismo, estos efectos medioambientales también afectan a la calidad de vida de las personas a nivel social. La inseguridad vial, la contaminación acústica, la contaminación del aire y del agua, y, en determinadas situaciones, la reubicación forzosa o la restricción del acceso a los recursos naturales son solo algunas de las externalidades perjudiciales con las que a menudo tienen que lidiar las comunidades cercanas a las obras. Esta circunstancia pone de relieve lo importante que es incorporar normas de sostenibilidad y justicia ambiental en el diseño y la ejecución de los proyectos de infraestructuras, sobre todo en los entornos metropolitanos, donde las presiones ambientales son mayores (Escobar *et al.*, 2024).

En pocas palabras, la construcción tradicional es una estrategia que ha promovido la expansión económica a un costo social y medioambiental cada vez más insostenible. Según los datos disponibles, es fundamental reconsiderar los métodos de construcción para incluir la sostenibilidad, la eficiencia energética, la economía circular y la responsabilidad social. Para hacer frente a los problemas medioambientales del siglo XXI y garantizar un verdadero crecimiento sostenible para las generaciones actuales y futuras, el sector de la construcción debe cambiar hacia modelos más ecológicos, resilientes y regenerativos.

5.3. La bioconstrucción para la sostenibilidad ambiental

Según Liu *et al.* (2024), una solución tangible a los problemas ecológicos que plantea la construcción tradicional es la bioconstrucción, que se define como un tipo de edificación centrada en la sostenibilidad medioambiental. Este método fomenta un punto de vista integral que tiene en cuenta los efectos de un edificio sobre el medioambiente, el bienestar de sus habitantes y la regeneración del ecosistema, además de su eficiencia técnica y financiera. La bioconstrucción se posiciona como una táctica clave para avanzar hacia una transición ecológica en los campos de la arquitectura y la ingeniería civil, utilizando materiales naturales, renovables y locales y diseñando con base en el entorno climático y sociocultural.

Además, Yao y Hong (2024) señalan que el uso responsable de los recursos es uno de los principios básicos de la bioconstrucción. La bioconstrucción fomenta el uso de materiales de bajo impacto ambiental, a diferencia de la construcción tradicional, que depende sobre todo de insumos intensivos en carbono como el acero, el cemento y los derivados del petróleo. Se trata de piedra natural, cal, bambú, paja, tierra cruda, madera sostenible y materiales reciclados. Además de utilizar menos energía para su extracción y procesamiento, estos insumos pueden reciclarse o biodegradarse fácilmente al final de su vida útil, lo que completa el ciclo de los materiales.

A su vez, la eficiencia energética se posiciona como otro componente crucial de la bioconstrucción. Los edificios se orientan y construyen para aprovechar los factores ambientales naturales, como la radiación solar, la ventilación cruzada y la inercia térmica, mediante el uso del diseño bioclimático. Al reducir considerablemente la demanda de iluminación artificial y aire acondicionado, esta táctica disminuye el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. En este caso, se emplean aislantes térmicos naturales como la celulosa, la paja o el cáñamo, y el control pasivo de la temperatura interna es posible gracias a elementos como las chimeneas solares o los muros trombe (A'zamovich, 2022).

En la bioconstrucción, la gestión sostenible del agua es también una de las principales preocupaciones. Fomenta la adopción de tecnologías eficientes en el uso del agua, como los sistemas de doble descarga o los inodoros secos, la recogida de agua de lluvia y el tratamiento natural de las aguas residuales mediante biodigestores o humedales artificiales. Estos métodos disminuyen la presión sobre las fuentes de agua potable, reducen la producción de aguas residuales y preservan los recursos hídricos en zonas donde la contaminación y la escasez son cada vez más peligrosas (Myroniuk *et al.*, 2024).

De igual manera, la bioconstrucción se centra en crear entornos saludables para sus ocupantes, además de sus efectos sobre el medioambiente. Evita el uso de sustancias peligrosas o emisores de compuestos orgánicos volátiles (COV), habituales en pinturas, colas y materiales sintéticos utilizados en la construcción tradicional. En su lugar, fomenta el uso de materiales naturales que mejoran la calidad del aire interior al controlar la humedad y permitir que las paredes respiren. En un mundo en el que las alergias y las afecciones respiratorias son cada vez más frecuentes y suelen estar relacionadas con una mala calidad del aire interior, este factor cobra importancia (Chen *et al.*, 2024).

Como sostienen Callera *et al.* (2024), la idea de integración con el entorno es lo que distingue a la bioconstrucción. La geografía del terreno, la vegetación existente y el legado cultural local se tienen en cuenta a la hora de diseñar los edificios. Esta integración refuerza el sentimiento de identidad y pertenencia de las comunidades, fomenta la biodiversidad y atenúa el efecto ecológico. El restablecimiento de la relación entre el ser humano y la naturaleza —un componente crucial de la salud psicológica y emocional— se ve facilitado por el uso de especies vegetales autóctonas en el paisajismo y el desarrollo de zonas verdes accesibles.

Para Cárdenas *et al.* (2024), otro componente importante de la sostenibilidad de las estructuras bioclimáticas es su longevidad. Los métodos de construcción tradicionales y los cuidados rutinarios permiten que las estructuras perduren durante décadas o incluso siglos, aunque empleen materiales perecederos. Por ejemplo, en muchas partes del mundo aún se conservan estruc-

turas de adobe y tierra apisonada. Además, su diseño facilita la reparación, el desmontaje y la reutilización de los materiales, lo que reduce drásticamente la cantidad de basura producida cuando llegan al final de su vida útil.

Por último, la bioconstrucción es un enfoque práctico para abordar los problemas de la escasez de recursos, la degradación del medioambiente y el cambio climático. Este método reinterpreta la noción de desarrollo arquitectónico reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, minimizando el uso de recursos no renovables, previniendo la contaminación y mejorando el bienestar humano. En un mundo que necesita cambios significativos en la dirección de la sostenibilidad, la bioconstrucción es un ejemplo alentador que combina conocimientos tradicionales, tecnología punta y conciencia medioambiental. En el siglo XXI, su aplicación generalizada puede resultar crucial en las estrategias de desarrollo urbano sostenible (Liu *et al.*, 2024).

Para resumir, uno de los pasos más importantes para reducir el impacto ambiental que ha tenido tradicionalmente la construcción tradicional es el cambio a la construcción sostenible, que se basa en el uso de tecnología verde y técnicas como la bioconstrucción. La incorporación de tecnología respetuosa con el medioambiente con métodos de construcción que hacen hincapié en el uso de materiales naturales, renovables y de bajo impacto no solo ayuda a frenar el cambio climático, sino que también promueve ecosistemas resistentes, sanos y eficientes. Además de satisfacer una necesidad medioambiental acuciante, este cambio de paradigma en la industria de la construcción presenta oportunidades tangibles de mejorar el nivel de vida, proteger los recursos naturales y crear un futuro más pacífico para las personas y el medioambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A'zamovich, S. K. (2022). The Determination of Rational Values of the Parameters of an Unventilated Trombe Wall Using the Method of Multicriteria Optimization for the Climatic Conditions of Uzbekistan. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 13(3), 123-134. <https://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/IJSCET/article/view/10248>
- Abril, R. S. y Infante, C. E. (2022). Percepción y adaptación del cambio climático en habitantes del Centro Poblado de Caribayona en el Municipio de Villanueva, Casanare. *UCV-Scientia*, 14(2), 7-20. <https://doi.org/10.18050/RevUcv-Scientia.v14n2a1>
- Aizpurúa, P. L. y Rivera Santacruz, A. A. (2025). Arquitectura Sostenible en Panamá: Innovación y Uso de Materiales Reciclados en la Construcción. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(1), 12075-12096. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16776
- Ajirotutu, R. O., Adeyemi, A. B., Ifechukwu, G. O., Iwuanyanwu, O., Ohakawa, T. C. y Garba, B. M. P. (2024). Future cities and sustainable development: Integrating renewable energy, advanced materials, and civil engineering for urban resilience. *International Journal of Sustainable Urban Development*, 12(2), 235-250. <https://doi.org/10.30574/msarr.2024.12.2.0204>
- Algashamy, H. A. A., Abbas, S. Q., Ghassan, A. y Chornomordenko, (2024). The carbon footprint of Iraqi industry: navigating the path to sustainability. *Revista Investigación Operacional*, 45(2), 181-202. <https://rev-inv-ope.pantheon-sorbonne.fr/sites/default/files/inline-files/45224-10.pdf>
- Alsheyab, M. A. T. (2022). Recycling of construction and demolition waste and its impact on climate change and sustainable development. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(3), 2129-2138. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03217-1>
- Alvarado, A. J., Torres, J. A. T. y Benítez, A. W. V. (2021). Prototipo de bloque con base en materiales reciclados para el desarrollo de la construcción sostenible. *Dominio de las Ciencias*, 7(3), 291-303. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8229637>
- Alvarez, P. A. (2024). CTV cambio climático y la tecnología verde. *Revista Técnica de Extensión Universitaria*, 3(1), 1-9. <https://extension.una.py/index.php/IF/article/view/48>

- Anchundia, A. F., Barzola, E. S. y Tomala, R. A. (2023). Programación verde en el software. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(1), 187–196. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v7.n1.2023.419>
- Antayhua, E. A., Atoche, L. A., Cañari, I. A. y Gamboa, B. V. (2021). Factores Críticos para la Adopción de la Gestión Inteligente de Residuos en una Ciudad en Vías de Desarrollo en América Latina. *Information Systems in Latin America*, 1-11. <https://core.ac.uk/download/pdf/479740886.pdf>
- Arreaga, G. A. (2023). Influencia de la gestión verde en el cooperativismo: reclutamiento, formación y compensación. *Maya-Revista de Administración y Turismo*, 5(2), 26-38. <https://doi.org/10.33996/>
- Aucapiña, T. D. L. A. y Teneda, W. F. (2024). Sostenibilidad y sustentabilidad de las cadenas productivas. *Revista Multidisciplinaria de Desarrollo Agropecuario, Tecnológico, Empresarial y Humanista.*, 6(2), 11-11. <https://doi.org/10.61236/dateh.v6i2.961>
- Avendaño, W. R. y Velasco, B. M. (2021). Construcción sostenible en Colombia: Análisis a partir del Proyecto de Ley No. 208/2019 Cámara. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(4), 1-14. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6574>
- Ayarkwa, J., Opoku, D.-G.J., Antwi-Afari, P. y Man, R.Y. (2022). Sustainable building processes' challenges and strategies: The relative important index approach. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100455. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100455>
- Baque, R. I., Mendez, K. A., Maldonado, K. y Macías, T. M. (2022). La tecnología y uso productivo sin afectar el entorno. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(3), 4–12. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v5.n6.2021.478>
- Beltrán, J. E. y Sanes, A. (2024). Una revisión crítica de la sostenibilidad social en los marcos de la responsabilidad social corporativa y el valor compartido. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–19. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-908>
- Callera, G. A., De Marco, G. y Florian, F. (2024). Tecnologias verdes na construção civil: impacto ambiental e sustentabilidade. *Revista Foco*, 17(12), e7180. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n12-086>

- Cárcel-Carrasco, F. J., Martínez-Corral, A. M., Linares, J. y Kaur, J. (2022). Alternativas ecológicas de los materiales tradicionales en la construcción sostenible. *3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 11(1), 17-29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8360465>
- Cárdenas, K. J., Cárdenas, J. E., Cárdenas, J. C., Flores, I. G. y Aguado, U. I. (2024). Tecnologías verdes para mitigar el cambio climático. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(11), 1-16. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-195>
- Cardona, J. R. (2023). Tecnología verde democratizada, la clave para un futuro Solarpunk. *Tecnológico de Costa Rica*, (3), 11-14. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/delzacate/article/view/7793>
- Carrasco-Jocope, Renso Rodrish, Vigil-Requena, Susana Vanessa, Valiente-Saldaña, Yoni Mateo y González-González, Dionicio Godofredo. (2023). Contaminación urbano ambiental y espacio público del centro de Piura, Perú: Revisión sistemática. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(16), 171-183. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i16.2542>
- Cascone, S. (2024). Eco-Innovative Construction: Integrating Green Roofs Design within the BIM Framework. *Sustainability*, 16(5), 1967. <https://doi.org/10.3390/su16051967>
- Chen, H., Luun, C. y Lau, D. (2022). Developing green and sustainable concrete in integrating with different urban wastes. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133057. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133057>
- Chen, L., Yang, M., Chen, Z., Xie, Z., Huang, L., Osman, A. I., Farghali, M., Sandayanake, M., Liu, E., Ahn, Y., Al-Muhtaseb, A., Rooney, D. y Yap, P. S. (2024). Conversion of waste into sustainable construction materials: A review of recent developments and prospects. *Materials Today Sustainability*, 100930. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100930>
- Clavijo, M. P. y Gutiérrez, K. V. (2023). Sistema de indicadores de sostenibilidad ambiental para la conservación del cerro Putzalahua, Ecuador. *Revista Espamciencia*, 14(1), 15-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9138799>
- Cogollo, A. R. O. y Suárez, J. C. V. (2021). Manejo de residuos de construcción y demolición y economía circular: una revisión narrativa. *Lámpsakos*, (26), 1-11. <https://doi.org/10.21501/21454086.4232>

- Cogollo-Florez, J. M., Olarte, A. C. R. y Montoya, Y. R. (2024). Despliegue de una política de Net Zero para la reducción de emisiones en la cadena de suministro. *Prospectiva*, 22(1). <https://doi.org/10.15665/rp.v22i1.3371>
- Cook, E., Velis, CA y Black, L. (2022). Gestión de residuos de construcción y demolición: una revisión sistemática del alcance de los riesgos para la salud ocupacional y pública. *Frontiers in Sustainability*, 3, 924926. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.924926>
- Cuenca, J. (2025). *Diseño de prototipo de Centro de Integración Comunitaria para la ciudad de Cuenca (cero huella de carbono)* [tesis de titulación, Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/19781>
- De Abreu, I. A. y Sichieri, D. A. (2023). Tecnologia verde: conceitos e aplicações. *Revista Interface Tecnológica*, 20(2), 112–121. <https://doi.org/10.31510/inf.v20i2.1772>
- De Almeida, J., Mariele, A., De Almeida, N., Mattos, R. y Gomes, R.A. (2022). Sustainability in the Civil Construction Sector Supported by Industry 4.0 Technologies: Challenges and Opportunities. *Infrastructures*, 7, 43. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7030043>
- Delgado, J. A., Gupioc, O. S., Olivera, D. y Quiroz Montoya, T. M. (2024). Análisis comparativo de costos en proyectos de viviendas con el sistema Drywall y la construcción tradicional. *Revista Científica I+D Aswan Science*, 2(2). <https://www.revistascience.enterprisesadeg.org.pe/index.php/sciencie/article/view/21>
- Dos Santos, R. R. y de Souza, A. L. R. (2024). O papel do consórcio nordeste para enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil: um estudo exploratório no contexto dos ODS. *Revista De Gestão E Secretariado*, 15(2), e3517. <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i2.3517>
- Dule, M. M. y Kaming, P. (20 de septiembre de 2023). *A theoretical mapping of green roofs on building for sustainable constructions*. The Third International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials (ICCIM 2023), Yogyakarta, Indonesia. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342901003>
- Erazo, J. C., Narváez, C. I. y Bermeo, K. V. (2025). Gestión de innovación sostenible en MiPymes turísticas. En C. Severiche, F. Jiménez, A. Castro, J. Bernal y M. de la Hoz, *Sistemas integrados de gestión: Enfoques Transdisciplinarios* (pp. 83-96). Corporación de Educación Superior del Litoral.

- Escobar, E., García, S. J., Ruiz, J., Ramírez, I. y Gómez, H. H. (2024). La inteligencia artificial (IA) y la tecnología verde (Green tech): ¿Cómo benefician los hogares en México? Artificial intelligence (AI) and green technology (Green tech): How do they benefit homes in Mexico? *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 5(4), 99 – 113. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i4.2234>
- Estévez, A. T. (2022). La naturaleza es la solución. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (105), 183-216. <https://dx.doi.org/10.18682/cdc.vi105.4194>
- Figuerola-Macias, C. G., Falcones-Molina, E. L., Suarez-Villa, A. J. y Figuerola-Vélez, M. J. (2024). Sostenibilidad ambiental en escenarios tecnológicos de educación superior. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 7(13 Ed. esp.), 2-8. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/186>
- Firoozi, A. y Firoozi, A. (2023). A systematic review of the role of 4D printing in sustainable civil engineering solutions. *Heliyon*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20982>
- García-Arce, J. G., Pérez-Ramírez, C. A. y Gutiérrez Barba, B. E. (2021). Objetivos de Desarrollo Sustentable y funciones sustantivas en las Instituciones de Educación Superior. *Actualidades Investigativas en Educación*, 21(3), 516-551. <http://dx.doi.org/10.15517/aie.v21i3.48160>
- Garcia, M. G., Garcia, M. P., Tejada, K. A. y Gaibor, F. M. (2024). Economía social y transición ecológica: el papel de las empresas sociales en la mitigación del cambio climático. *Sapiens Management Journal*, 1(1), 41-54. https://revistasapiensec.com/index.php/sapiens_management_j/article/view/17
- Gesto, J. (2024). Ingeniería verde: Tecnología para la sostenibilidad. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 24(1). <https://doi.org/10.19053/uptc.1900771X.v24.n1.2024.16859>
- Ghazanfari, A., Malzl, L., Pramreiter, M., Myna, R., Konnerth, J. y Kromoser, B. (2025). Shear performance of single-layer unidirectional strand board (USB): modified testing methods. *Wood Material Science & Engineering*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/17480272.2025.2478600>
- Giuliano, G., Saez, V. y Garzón, B. (2022). Edificio universitario con energía y carbono casi nulo: Caso Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. *Arquisur revista*, 12(22), 56-65. <https://dx.doi.org/https://doi.org/10.14409/ar.v12i22.11196>

Global Footprint Network. (13 de junio de 2018). *Earth Overshoot Day 2018 is August 1, the earliest date since ecological overshoot started in the early 1970s*. <https://www.footprintnetwork.org/2018/06/13/earth-overshoot-day-2018-is-august-1-the-earliest-date-since-ecological-overshoot-started-in-the-early-1970s/>

Gómez-Ospina, J. H., Herrera-Herrera, S., Rodríguez-Rojas, C. F. y Arbelaez-Pérez, O. F. (2024). Emisiones de dióxido de carbono y ecoeficiencia del hormigón tradicional y modificado. Revisión de literatura. *Revista Politécnica*, 20(40), 62-80.

González, B. M., Véliz, R. E. y Reyes, A. (2022). Crecimiento verde y digitalización de la economía: CJ Group como paradigma de desarrollo sostenible a la coreana. *México y la Cuenca del Pacífico*, 11(32), 133-157. <https://doi.org/10.32870/mycp.v11i32.792>

González-Campo, C. H., Ico-Brath, D. y Murillo-Vargas, G. (2022). Integración de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para el cumplimiento de la agenda 2030 en las universidades públicas colombianas. *Formación Universitaria*, 15(2), 53-60. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062022000200053>

Gutiérrez, N. P., Reyes, L. y Vera, D. (2023). Amenazas, riesgos y desafíos de la región amazónica. En E. Pastrana, F. Cabrera y J. Sandner (eds.), *Estrategias de seguridad ambiental en América Latina y el Caribe: construyendo resiliencia* (pp. 247-298). Konrad Adenauer Stiftung.

Hao, H., Bi, K., Chen, W., Pham, T.M. y Li, J. (2023). Towards next generation design of sustainable, durable, multi-hazard resistant, resilient, and smart civil engineering structures. *Engineering Structures*, 277, 115477. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115477>

Hazim, A. W. y Saadoon, T. A. (2023). Prácticas de gestión de la cadena de suministro verde y sus impactos en el rendimiento sostenible / evaluación del papel mediador de la tecnología verde. *Nexo Revista Científica*, 36(06), 941–955. <https://doi.org/10.5377/nexo.v36i06.17450>

Huangal, N. E. (2025). Conocimiento científico sobre tecnología de la información y construcción sostenible. Una revisión bibliométrica. *Revista Reflexiones de la Sociedad y Economía*, 2(1), 94–113. <https://doi.org/10.62776/rse.v2i1.34>

Illankoon, C. & Vithanage, S. (2023). Closing the loop in the construction industry: A systematic literature review on the development of circular economy. *Journal of Building Engineering*, 76, 107362. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107362>

Imbernó, A. L. y Souto, L. (2023). Innovación y economía circular, un binomio perfecto. *Economía y Desarrollo*, 167(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0252-85842023000200007&script=sci_arttext&tlng=pt

IRENA. (2021). *World Energy Transitions Outlook: 1.5 °C Pathway*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/March/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf

Jagaba, A.H., Kutty, S.R.M., Hayder, G., Baloo, L., Noor, A., Yaro, N.S.A., Saeed, A.A.H., Lawal, I.M., Birniwa, A.H. y Usman, A.K. (2021). A Systematic Literature Review on Waste-to-Resource Potential of Palm Oil Clinker for Sustainable Engineering and Environmental Applications. *Materials*, 14, 4456. <https://doi.org/10.3390/ma14164456>

Kantsepolsky, B., y Aviv, I. (2024). Sensores en ingeniería civil: De las brechas existentes a las oportunidades cuánticas. *Ciudades inteligentes*, 7(1), 277-301. <https://doi.org/10.3390/smartcities7010012>

Khan, M. y McNally, C. (2023). A holistic review on the contribution of civil engineers for driving sustainable concrete construction in the built environment. *Developments in the Built Environment*, 16, 100273. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100273>

Knezevich, C. A., Plúa, A. J., Murillo, P. F. & Salgado, B. A. (2025). Uso de materiales reciclados en la construcción sostenible. *Revista Social Fronteriza*, 5(2). [https://doi.org/10.59814/resofro.2025.5\(2\)638](https://doi.org/10.59814/resofro.2025.5(2)638)

Koessler, A-K., Vorlaufer, T. y Fiebelkorn, F. (2022). Social norms and climate-friendly behavior of adolescents. *PLoS ONE* 17(4): e0266847. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.026684>

Latorre, H.J. (2024). Avances en el Uso del Hormigón Armado en Ingeniería Civil: Una revisión sistemática. *Magazine de las Ciencias*, 9(3), 47-68. <https://doi.org/10.33262/rmc.v9i3.3161>

Leiva, A. (2022). *Diseño de una herramienta para la valoración del aporte de medidas de diseño y de construcción sostenible en edificaciones en Costa Rica* [Tesis de titulación, Universidad de Costa Rica]. <https://cedi.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/1659/46/IC-8570.pdf>

León, L. M., Cazañas, J. I., Acosta, B. S., Martínez, J. A. y Guevara, M. B. (2025). Impacto de la Gestión de Riesgos en la Sostenibilidad de Proyectos Públicos. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 4(4), 1575–1604. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i4.750>

Liarte-Vejrup, N., Carignano, M. J. y Álvarez-Nobell, A. (2022). Estrategia de sostenibilidad y Cultura de la paz: la economía circular en el sector empresarial en la Argentina. *Revista De Cultura De Paz*, 6, 402–425. <https://doi.org/10.58508/cultpaz.v6.174>

Liarte-Vejrup, N., Bermúdez, G., y Álvarez, A. (2024). Industria 4.0 y sostenibilidad: evaluación del compromiso organizacional con la agenda 2030 desde un enfoque bibliométrico: Industry 4.0 and sustainability: assessing organizational commitment to the 2030 agenda from a bibliometric approach. *Revista De Ciencias Empresariales | Universidad Blas Pascal*, (9), 9-22. [https://doi.org/10.37767/2468-9785\(2024\)001](https://doi.org/10.37767/2468-9785(2024)001)

Liu, J., Xu, W., Li, G., Chen, B., Xiao, Y., Huang, H. y Chen, J. (2025). Performance and Applications of Polymer Fiber Rubber-Reinforced Concrete in Civil Engineering: A State-of-the-Art Review. *Polymers*, 17(7), 970. <https://doi.org/10.3390/polym17070970>

Liu, P., Lovegrove, G. y Nehdi, M. L. (2024). Climate change in Canadian civil engineering curricula: gaps and best practices. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 52(3). <https://doi.org/10.1139/cjce-2024-0141>

Ma, Z., Awan, MB, Lu, M., Li, S., Aziz, MS, Zhou, X., Du, H., Sha, X. & Li, Y. (2023). Panorama general de las tecnologías emergentes y sostenibles para aumentar la eficiencia energética y mitigar las emisiones de carbono en edificios. *Buildings*, 13(10), 2658. <https://doi.org/10.3390/buildings13102658>

Madhushan, S., Buddika, S., Bandara, S., Navaratnam, S. y Abeysuriya, N. (2023). Uses of Bamboo for Sustainable Construction—A Structural and Durability Perspective—A Review. *Sustainability*, 15(14), 11137. <https://doi.org/10.3390/su151411137>

Manzoor, B., Othman, I., Gardezi, S.S.S. y Harirchian, E. (2021). Strategies for Adopting Building Information Modeling (BIM) in Sustainable Building Projects—A Case of Malaysia. *Buildings*, 11, 249. <https://doi.org/10.3390/buildings11060249>

Martin, L. (11 de mayo de 2025). Así se procesan 8 toneladas de residuos en 20 minutos. *Diario AS*. https://as.com/actualidad/ciencia/asi-se-procesan-8-toneladas-de-residuos-en-20-minutos-n/?utm_source=chatgpt.com

Martínez, C., y Torres, O. (2024). Transición hacia la generación de empleos verdes desde la formación educativa en la Universidad Virtual CNCI de México. *Revista CNCI*, 3(8). <https://doi.org/10.59142/rcnci.v3i8.35>

Martínez, C. D., Gómez, D. T., Barbosa, E. M. y Avellaneda, Z. J. (2024). Tendencias emergentes: diálogos entre la sostenibilidad ambiental en la gestión de proyectos de innovación social para un futuro sostenible. *Ciencia y Sociedad: República Dominicana*, 49(2), 77-87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9701713>

Martínez, J. y Escolà, A. (2023). Avances en la aplicabilidad de tecnologías en la agricultura de precisión en fruticultura. *Revista de Fruticultura*, (92), 64-73. <https://repositori.udl.cat/bitstreams/f6c432fa-2797-4751-a777-7e41fc523c3c/download>

Marzouk, M. y Elshaboury, N. (2022). Science mapping analysis of embodied energy in the construction industry. *Energy Reports*, 8, 1362-1376. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.049>

Mejía, F. J., Sánchez, I. y Morales, U. A. . (2024). Investigaciones en Desarrollo Sustentable: Metaanálisis de un Lustro. *Investigación y Ciencia Aplicada a La Ingeniería*, 7(43). <https://ojsincaing.com.mx/index.php/ediciones/article/view/339>

Mejía-Salazar, G. y López-Chacón, T. (2022). La percepción social de los problemas ambientales a partir de la tecnología verde. *593 Digital Publisher CEIT*, 7(4), 97-104. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8514898>

Milad, A., Babalghaith, A.M., Al-Sabaei, A.M., Dulaimi, A., Ali, A., Reddy, S.S., Bilema, M. y Yusoff, N.I.M. (2022). A Comparative Review of Hot and Warm Mix Asphalt Technologies from Environmental and Economic Perspectives: Towards a Sustainable Asphalt Pavement. *International Journal Environmental Research Public Health*, 19, 14863. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214863>

Miñarro, M. (2021). Innovación tecnológica, organización del trabajo y sostenibilidad ambiental: ¿es el teletrabajo una forma de empleo verde? *Revista De Trabajo Y Seguridad Social. CEF*, (454), 5–16. <https://doi.org/10.51302/rtss.2021.2296>

Miranda, R., Oliet, M., Hopson, C., Espada, E., Villalba, M., Batanero, E., Cambero, I., Fernández, M., Peña, J., Ramos, M., Sánchez, P., López, R., Gómez, C., Cabañas, A. y Montero, J. (11-13 de julio de 2022). *Actividades de formación y sensibilización en sostenibilidad ambiental y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030*. VI Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química, Madrid. https://www.coddig.es/cidig/wp-content/uploads/2022/PDF_Sala2_Orales_Lunes11/15-T5_Oral_Miranda.pdf

Mishra, V. y Mishra, MP (2023). PRISMA para la revisión de la literatura de gestión: método, méritos y limitaciones: una revisión académica. *Metodologías avanzadas para la realización de revisiones de la literatura en el ámbito de la gestión*, 125-136.

Mohammed, M., Shafiq, N., Elmansoury, A., Al-Mekhlafi, A.-B. A., Rached, E. F., Zawawi, N. A., Haruna, A., Rafindadi, A. D. y Ibrahim, M. B. (2021). Modeling of 3R (Reduce, Reuse and Recycle) for Sustainable Construction Waste Reduction: A Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). *Sustainability*, 13(19), 10660. <https://doi.org/10.3390/su131910660>

Moreno-Torres, I. P., Gallegos-Niola, J. G., Solorzano-Solorzano, S. S. y Gonzalez-Illescas, M. L. (2022). La logística ambiental como ventaja competitiva en el mercado internacional. *Polo del Conocimiento*, 7(1). <https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.3563>

Moyón, C. del R., Gavilanes, L. A., Huilca, L. Á. y Lema, J. D. (2024). State of the art of the prospective use of lithium-ion batteries in hybrid cars: environmental evaluations and sustainable industrial development in Latin America. *ConcienciaDigital*, 7(2), 141-155. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i2.2994>

Mujica, B. E., Sánchez, Y., Vargas-Canales, J. M. y Ortiz, R. (2024). El agua y su interrelación con los objetivos de desarrollo sostenible. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 29, 1–8. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4610>

Muñoz, M. y Enciso, V. (2021). La Contabilidad ambiental como herramienta para la incorporación de la sostenibilidad ambiental en las empresas de Economía Social. CIRIEC-España, *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, (103), 149–277. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.103.17838>

- Myroniuk, K., Furdas, Y., Zhelykh, V., Adamski, M., Gumen, O., Savin, V. y Mitoulis, S.-A. (2024). Passive Ventilation of Residential Buildings Using the Trombe Wall. *Buildings*, 14(10), 3154. <https://doi.org/10.3390/buildings14103154>
- Naranjo, A. y Benavides, L. (2023). Tecnología verde en los medios de transporte. *Tecnológico de Costa Rica*, (2), 35-37. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/delzacate/article/view/7784>
- Nilimaa, J. (2023). Smart materials and technologies for sustainable concrete construction. *Developments in the Built Environment*, 15, 100177. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100177>
- Ojeda, M. L., Pérez, J. G., Cuero, C. A., Guevara, J. E. y Pérez, M. A. (2024). Construir una cultura científica popularizando la Ciencia Verde: retos y oportunidades. *Journal of Latin American Sciences and Culture*, 6(9), 22–32. <https://doi.org/10.52428/27888991.v6i9.1195>
- Ojeda, M. L., Pérez, J. G., Ospina, S., Rivera, M. A. y Restrepo, J. S. (2022). Sensibilizar frente al cambio climático, tarea de todos para salvar al planeta. Una iniciativa de la academia y la ciencia verde. *Journal of Latin American Sciences and Culture*, 4(6), 46-53. <https://doi.org/10.52428/27888991.v4i6.364>
- Oloruntobi, O., Mokhtar, K., Rozar, N. M., Gohari, A., Asif, S. y Chuah, LF (2023). Tecnologías y prácticas eficaces para reducir la contaminación en almacenes: una revisión. *Ingeniería y tecnología más limpias*, 13, 100622. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100622>
- Ordoñez-Iturralde, D. D., Proaño-Piedra, C. X., y Villegas-Sánchez, C. L. (2024). Desvelando el Nexo: Urbanismo, Economía Circular y Desarrollo Sostenible. *Revista Venezolana De Gerencia*, 29(107), 1025-1039. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.107.2>
- Orea-Monroy, R. J. y Guillén-Guzmán, J. F. G. (2024). Innovación Sostenible en Elastómeros Poliolefinicos: Modelo Predictivo para Dureza, Índice de Fluidez y Expansión en Espumas Reticuladas. *Scientia et PRAXIS*, 4(8), 192-230. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9816129>
- Patil, M., Boraste, S. y Minde, P. (2022). A comprehensive review on emerging trends in smart green building technologies and sustainable materials. *Materials Today: Proceedings*, 65, 1813-1822. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.866>

Pérez, J. G., Ojeda, M. L., Ospina, S., Rivera, M. Á. y Restrepo, J. S. (2022). Raise awareness of climate change, everyone's task to save the planet. An initiative of academia and green science. *Journal of Latin American Sciences and Culture*, 4(6), 46–53. <https://doi.org/10.52428/27888991.v4i6.364>

Pernía, J. C. y Sanabria, M. E. (2021). El manejo integral de plagas y enfermedades en cultivos como una alternativa de compromiso para el cumplimiento de la Responsabilidad Social Ambiental en la agricultura. *Dissertare Revista de Investigación En Ciencias Sociales*, 6(1), 1-21. <https://revistas.uclave.org/index.php/dissertare/article/view/3170>

Pineda, J. C., Pineda, J. A. y Larrañaga, S. C. L. (2025). Avances en paisajismo sostenible: innovación y técnicas de bioingeniería para la conservación de medio ambiente y la sostenibilidad urbana. En A. M. Torres, R. Castellanos, C. Bonilla y A. Villa, *Transformaciones y desafíos* (pp. 149-182). Digicopy. https://www.researchgate.net/profile/Aura-Torres-5/publication/390415288_TRANSFORMACIONES_Y_DESAFIOS_CHANGES_AND_CHALLENGES/links/67f6316e95231d5ba5bd3f2e/TRANSFORMACIONES-Y-DESAFIOS-CHANGES-AND-CHALLENGES.pdf#page=149

Pobłocki, K., Pawlak, M., Drzeżdżon, J., Gawdzik, B. y Jacewicz, D. (2024). Clean production of geopolymers as an opportunity for sustainable development of the construction industry. *Science of The Total Environment*, 928, 172579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172579>

Rayo, F. J.; Blandón, M.; Almendarez, R. A., y Altamirano, J. D. (2022). Prácticas con enfoque en tecnología verde que se implementan en residencial Molino Verde, Matagalpa. *Revista de investigación, REVINUCC*, 1(1), 1-20. <http://repositorio.ucc.edu.ni/id/eprint/1105>

Restrepo, E. J. (2022). Análisis de las estrategias ambientales que implementan las ecouniversidades de Antioquia y su influencia en la mitigación de la huella de carbono. *Revista CINTEX*, 27(1), 13–20. <https://doi.org/10.33131/24222208.387>

Rethlefsen, M., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A., Moher, D., Page, M., Koffel, J., De Kock Fa, H., Blunt, H., Brigham, T., Chang, S., Clark, J., Conway, A., Couban, R., De Kock, S., Farrah, K., Fehrmann, P., Foster, M., Fowler, S., Glanville, J., Harris, E., Hoeffcker, L., Isojarvi, J., Kaunelis, D., Ket, H., Levay, P., Lyon, J., McGowan, J., Murad, M., Nicholson, J., Pannabecker, V., Paynter, R., Pinotti, R., Ross-White, A., Sampson, M., Shields, T., Stevens, A., Sutton, A., Weinfurter, E., Wright, K. y Young, S. (2021). PRISMA-S: an extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews. *Systematic Reviews*, 10. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01542-z>.

- Rojas, L. Á. y Ruiz, J. (2024). Construcción de viviendas de interés social desde la perspectiva de los materiales sostenibles en Cuilapam de Guerrero, Oaxaca. *SAPIENS International Multidisciplinary Journal*, 1(3), 198-213. <https://doi.org/10.71068/9px99j13>
- Ruiz-Sánchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J. y Beltrán-Conlago, A. C. (2024). Tecnología Verde para la Adsorción de Cromo (III): Aplicación del Polvo de Vicia faba en Aguas Residuales de Curtiembre. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(1), 473–486. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/393>
- Salazar, P. A. (2024). Optimización de tecnologías de construcción sostenible para mejorar tiempos y costos en la construcción ejemplos de comunidades rurales en América Latina. *Revista Ingenio Global*, 3(2), 119–137. <https://doi.org/10.62943/rig.v3n2.2024.114>
- Sandoval, G. F. y Pieralisi, R. (2023). Sustainable aggregate impact on pervious concrete abrasion resistance. *Results in Engineering*, 20, 101384. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101384>
- Sangmesh, B., Patil, N., Kumar, K., Gowrishankar, T. P., Selvakumar, K. K., Jyothi, M. S., Jyothilakshmi, R. y Kumar, S. (2023). Development of sustainable alternative materials for the construction of green buildings using agricultural residues: A review. *Construction and Building Materials*, 368, 130457. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130457>
- Santamaría, D. A., Guzmán, M. D. y Lascano, L. F. (2024). Supply chain management (SCM) para el desarrollo sostenible en avícolas. *Polo del Conocimiento*, 9(7), 2546-2562. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i7.7649>
- Santos, L. C., Solleiro, J. L. y Álvarez, I. (2025). Modelo ibero-americano de transferencia de tecnología entre universidades públicas por intermedio de tecnologías digitales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 97(2), 63-82. <https://doi.org/10.35362/rie9726340>
- Sánchez, V. A., Sosisky, L. y Alberti, I. (5 de diciembre de 2024). *Sostenibilidad en inversiones: cómo integrar los factores ASG*. XX Simposio Regional de Investigación Contable, La Plata, Argentina. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/175513>
- Sánchez, I. (2024). La fiebre del oro artesanal en el Perú, peligro social y ambiental. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 12(1), 50-61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9744144>

- Semanate, J., Flores, C. D., Barba, K. J. y Bustamante, S. I. (2024). Análisis de reducción del impacto ambiental con base en la construcción en Steel Framing. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*, 6(1), 234–240. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.989>
- Sewar, Y., Amran, M., Avudaiappan, S., Gamil, Y. y Rashid, R. S. (2024). Bonding strength performance of bamboo-based composite materials: An in-depth insight for sustainable construction applications. *Heliyon*, 10(13). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)08186-6](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)08186-6)
- Shukra, Z. A. y Zhau, Y. (2021). Holistic green BIM: a scientometrics and mixed review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(9), 2273-2299. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0377>
- Singh, R., Gehlot, A., Akram, S. V., Gupta, L. R., Jena, M. K., Prakash, C., Singh, S. y Kumar, R. (2021). Cloud Manufacturing, Internet of Things-Assisted Manufacturing and 3DPrinting Technology: Reliable Tools for Sustainable Construction. *Sustainability*, 13, 7327. <https://doi.org/10.3390/su13137327>
- Sizirici, B., Fseha, Y., Cho, C.-S., Yildiz, I. y Byon, Y.-J. (2021). Una revisión de la reducción de la huella de carbono en la industria de la construcción, desde el diseño hasta la operación. *Materials*, 14 (20), 6094. <https://doi.org/10.3390/ma14206094>
- Sornoza-Tituano, J.A., Zambrano-Sacón, R.W., Caballero-Giler, B.I. y Veliz-Párraga, J.F. (2022). Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: una revisión. *Polo del Conocimiento*, 7(4), 1072-1097. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3875>
- Squella, R. (2021). Conflicto socioambiental, participación ciudadana y disputa territorial: La mirada de la Psicología Ambiental Comunitaria. *Psicoperspectivas*, 20(2), 79-90. <http://dx.doi.org/10.5027/psicoperspectivas-vol20-issue2-fulltext-2211>
- Suarez, L. M., Maestre, K. y Oyaga, R. F. (2025). Análisis de la calidad ambiental de Laguna Salá y su integración en propuestas curriculares transversales: Enfoques desde la educación y la sostenibilidad en La Guajira. *Derrotero*, 19(01), 1–14. <https://doi.org/10.70554/Derrotero2025.v19n01.01>
- Suescum, C., Suescum, C.-E., Suescum, C., Suescum, C. y Coelho, C. M. (2025). Transformación digital y ODS: una revisión sistemática de sinergias y riesgos. *SAPIENS International Multidisciplinary Journal*, 2(3), e-23001. <https://doi.org/10.71068/regfc279>

Texsi, H. Y. (2024). El Estado y la escuela como caballos de batalla en la defensa del medio ambiente. *Journal of Humanities Titicaca*, 2(1), 55-65. <https://doi.org/10.70123/jht.75>

Tiza, T. M., Singh, S. K., Kumar, L., Shettar, M. P. y Singh, S. P. (2021). Assessing the potentials of Bamboo and sheep wool fiber as sustainable construction materials: A review. *materials today: Proceedings*, 47, 4484-4489. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.322>

Toledo, J. F. (2024). Políticas para el desarrollo regional sobre la base de competencias STEM: La región de Ñuble, Chile. *Riaices*, 6(1), 5–10. <https://doi.org/10.17811/ria.6.1.2024.5-10>

Tong, D.Q., Gill, T.E., Sprigg, W.A., Van Pelt, R.S., Baklanov, A.A., Barker, B.M., ... & Vimic, AV (2023). Efectos del polvo del suelo en suspensión en el aire sobre la salud y la seguridad en las Américas y otros lugares. *Reviews of Geophysics*, 61(2), e2021RG000763. <https://doi.org/10.1029/2021RG000763>

Ulloa de Souza, R. C. ., Quiñónez Guagua, E. F. ., Cambindo Quiñonez, B. K. . y Revelo Ojeda, D. R. . (2024). Combustibles Sintéticos y los Nuevos Desafíos Actuales. *Reincisol.*, 3(6), 592–609. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)592-609](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)592-609)

United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC. (19 de diciembre de 2022). *What is the triple planetary crisis?* <https://unfccc.int/news/what-is-the-triple-planetary-crisis>

Utsev, S., Tiza, M., Sani, H.A. y Sesugh, T. (2022). Sustainability in the civil engineering and construction industry: A review. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 7(1), 30-39. <https://doi.org/10.14744/jscmt.2022.11>

Vargas, R., Abramonte-Rugel, D. A., Atto, S. R. y Castillo, R. T. (2023). Economía Verde en el Perú: Una Evaluación con enfoque en la costa norte. *Revista Pensamiento Transformacional*, 2(7), 66–84. https://revistapensamientotransformacional.editorialpiensadiferente.com/index.php/pensamiento_transformacional/article/view/45

Vega, P. E. y Machado, F. A. (2024). El Impacto de los Tratados de Libre Comercio en el Desarrollo Económico: Un Análisis Comparativo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 734-753. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.14786

Vijayan, D.S., Koda, E., Sivasuriyan, A., Winkler, J., Devarajan, P., Kumar, R.S., Jakimiuk, A., Osinski, P., Podlasek, A. y Vaverková, M.D. (2023). Advancements in Solar Panel Technology in Civil Engineering for Revolutionizing Renewable Energy Solutions—A Review. *Energies*, 16, 6579. <https://doi.org/10.3390/en16186579>

Vinueza, D. B., León, A. C., Guamán, M. D. y Guamán, L. F. (2024). Motivaciones para la responsabilidad social medioambiental en las empresas bananeras ecuatorianas. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 28(122), 40-52. <https://doi.org/10.47460/uct.v28i122.764>

Wang, M., Zhang, X., Feng, C. y Wen, S. (2024). Towards a sustainable construction: A newly proposed Tapio-global meta-frontier DEA framework for decoupling China's construction economy from its carbon emissions. *Science of The Total Environment*, 929, 172727. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172727>

Wieser, A. A., Scherz, M., Passer, A. y Kreiner, H. (2021). Challenges of a healthy built environment: Air pollution in construction industry. *Sustainability*, 13(18), 10469.

Yao, Y. y Hong, B. (2024). Evolution of recycled concrete research: a data-driven scientometric review. *Low-carbon Mater. Green Constr.* 2, 16. <https://doi.org/10.1007/s44242-024-00047-5>

Yeit, T. y Sobri, M. (2022). Tecnologías de residuos cero para el desarrollo sostenible en las plantas de beneficio de aceite de palma. *Palmas*, 43(3), 40–55. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13915>

Zambrano, K. G., Vera, D. L., Párraga, L. A. y Ávila, F. M. (2024). La responsabilidad social empresarial y el impacto socioambiental de los pequeños negocios de comida rápida. *Revista Desafío Organizacional*, 2(1), 49-56. <https://core.ac.uk/download/pdf/618333000.pdf>

Zavala, C. J., L., V., Cordero, M. O. y Sornoza, D. (2024). El rol de la ingeniería civil en el desarrollo sostenible: tendencias y desafíos. *Revista Alcance*, 7(1). <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.57>

Ziaee, S., Gholampour, Z., Soleymani, M., Doraj, P., Eskandani, O. H. y Kaddaei, S. (2022). Optimization of energy in sustainable architecture and green roofs in construction: a review of challenges and advantages. *Complexity*, (1), 8534810. <https://doi.org/10.1155/2022/8534810>

Zilli, G., Vázquez, L. A. y Salazar, B. L. (2024). Asentamientos Humanos y Áreas Naturales Protegidas. Retos en el hábitat actual en concordancia con los ODS. Caso de estudio: Región Capital del estado de Veracruz: Estudio de Caso Região Capital do Estado de Veracruz. *Hábitat y Sociedad*, (17), 287–318. <https://doi.org/10.12795/HabitatySociedad.2024.i17.13>

Zulkifly, M. H. y Liu, M. (2024). Urban Environmental Management Practices and Green Roof Technologies in Malaysia: A Path to Sustainable Development. *Civil and Sustainable Urban Engineering*, 4(2), 112–124. <https://doi.org/10.53623/csue.v4i2.530>

SOBRE LOS AUTORES

Leonardo Saravia Parra

Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba

<https://orcid.org/0009-0001-3367-1121>

Edwar Garcia Arevalo

Universidad César Vallejo

<https://orcid.org/0000-0002-6827-2411>

Fabrizio Del Carpio Delgado

Universidad Nacional de Moquegua

<https://orcid.org/0000-0002-6334-7867>

Mario Pedro Rodríguez Vásquez

Universidad Nacional de Moquegua

<https://orcid.org/0000-0003-0218-0140>

TECNOLOGÍA VERDE APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL: UN NUEVO PARADIGMA EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

**www.arcoeditores.com
contato@arcoeditores.com
(55)99723-4952**