


**EL ROL DE LA INGENIERÍA CIVIL EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE:  
TENDENCIAS Y DESAFÍOS**

**CIVIL ENGINEERING'S EVOLVING ROLE IN SUSTAINABLE  
DEVELOPMENT: TRENDS AND CHALLENGES**

Carlos José Zavala Vásquez. <sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-6265-2651>

Víctor Lino Calle. <sup>2</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-2302-3489>

Manuel Octavio Cordero Garcés. <sup>3</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-4709-5874>

Diego Sornoza-Parrales. <sup>4\*</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-9319-9298>

<sup>1</sup>Colegio de Ingenieros Civiles de Manabí.  
[carlos.zavala@unesum.edu.ec](mailto:carlos.zavala@unesum.edu.ec)

<sup>2</sup>Unidad Educativa Ciudad de Jipijapa  
[victor.lino@unesum.edu.ec](mailto:victor.lino@unesum.edu.ec)

<sup>3</sup>Programa de Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles –  
Instituto de Posgrado Universidad Estatal del Sur de Manabí  
[manuel.cordero@unesum.edu.ec](mailto:manuel.cordero@unesum.edu.ec)

<sup>4</sup>Asociación de Becarios del Ecuador (ABREC)  
[diego@sornoza.com](mailto:diego@sornoza.com)

\*Autor para correspondencia: [diego@sornoza.com](mailto:diego@sornoza.com)

**Recibido:**14-01-2024

**Aprobado:**04-03-2024

**Publicado:** 28-03-2024

## RESUMEN:

La ingeniería civil desempeña un papel fundamental en la configuración del entorno construido y en la promoción del desarrollo sostenible. Este artículo presenta una revisión crítica del papel actual y las perspectivas futuras de la ingeniería civil en el contexto de la sostenibilidad. Mediante un análisis de la literatura contemporánea, se exploran los avances en la adopción de materiales y tecnologías de bajo impacto ambiental en el sector de la construcción. Asimismo, se discuten las tendencias en el diseño y planificación urbana sostenible, la integración de energías renovables y la gestión de recursos y residuos desde una óptica de la economía circular. El artículo también examina las barreras y desafíos que obstaculizan la implementación efectiva de prácticas sostenibles en la ingeniería civil. Se concluye que, si bien existen innovaciones prometedoras, se requiere un esfuerzo sostenido en distintos ámbitos para lograr la plena incorporación de la sostenibilidad en este campo.

**Palabras Clave:** construcción, desarrollo sostenible, construcción sostenible, economía circular, energías renovables

## Abstract:

Civil engineering plays a fundamental role in shaping the built environment and promoting sustainable development. This article presents a critical review of the current role and future perspectives of civil engineering in the context of sustainability. Through an analysis of contemporary literature, it explores advances in the adoption of low environmental impact materials and technologies in the construction sector. It also discusses trends in sustainable urban design and planning, integration of renewable energies, and management of resources and waste from a circular economy perspective. The article also examines barriers and challenges that hinder the effective implementation of sustainable practices in civil engineering. It concludes that, although promising innovations exist, a sustained effort is required in different areas to achieve the full incorporation of sustainability in this field.

**Keywords:** construction, sustainable development, sustainable construction, circular economy, renewable energies

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil desempeña un papel fundamental en la configuración de nuestro entorno construido y en la promoción del desarrollo sostenible a nivel global. En un mundo en constante evolución, donde los desafíos ambientales, sociales y económicos son cada vez más apremiantes, la ingeniería civil emerge como un campo crucial para abordar estos problemas de manera integral y sostenible. Este artículo se propone realizar una revisión crítica del papel actual de la ingeniería civil en el contexto del desarrollo sostenible, así como explorar las perspectivas futuras que guiarán la práctica de esta disciplina hacia un futuro más sostenible y equitativo.

El desarrollo sostenible se ha convertido en un imperativo global en respuesta a la creciente conciencia sobre los impactos negativos de las actividades humanas en el medio ambiente y en las comunidades. En este sentido, la ingeniería civil, como una disciplina que se ocupa del diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras y sistemas que sustentan la vida moderna, juega un papel crucial en la transición hacia un desarrollo más sostenible. Desde la planificación de ciudades y transporte, hasta la gestión de recursos hídricos y la construcción de edificaciones resistentes y eficientes, la ingeniería civil tiene el potencial de influir significativamente en la forma en que interactuamos con nuestro entorno y en cómo abordamos los desafíos del siglo XXI.

La relevancia de este tema radica en la necesidad imperiosa de repensar la forma en que concebimos, diseñamos y construimos nuestras infraestructuras y entornos urbanos. La insostenibilidad de los modelos actuales de desarrollo, caracterizados por el agotamiento de recursos naturales, la degradación ambiental y la desigualdad social, exige un enfoque más holístico y sostenible por parte de los profesionales de la ingeniería civil. Es crucial reflexionar sobre cómo podemos integrar principios de sostenibilidad en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto de ingeniería civil, desde la concepción y planificación, hasta la ejecución y operación.

En este contexto, esta revisión crítica se propone analizar cómo la ingeniería civil aborda los desafíos del desarrollo sostenible e identificar las limitaciones existentes con la intención de orientar la práctica de la ingeniería civil hacia un enfoque más sostenible y resiliente. Al hacerlo, se espera contribuir al debate académico y profesional sobre el papel transformador que la ingeniería civil puede desempeñar en la construcción de un futuro más sostenible para las generaciones presentes y futuras.

### **Definición de desarrollo sostenible en el contexto de la ingeniería civil**

La definición de desarrollo sostenible en el contexto de la ingeniería civil es un aspecto fundamental que guía las prácticas y decisiones en esta disciplina hacia un enfoque más equilibrado y responsable. El concepto de desarrollo sostenible busca satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Zavadskas et al., 2017). Esta definición implica la integración de consideraciones ambientales, sociales y económicas en todas las etapas de un

proyecto de ingeniería civil, desde la planificación hasta la operación, con el objetivo de minimizar los impactos negativos y maximizar los beneficios a largo plazo.

La literatura académica ha destacado la importancia de incorporar conceptos de sostenibilidad en la formación de ingenieros civiles, con el fin de fomentar una visión más holística y ética de la profesión (Byrne, 2012). La enseñanza de la ética y la sostenibilidad como contextos interrelacionados ha surgido como una estrategia clave para sensibilizar a los futuros ingenieros sobre la responsabilidad social y ambiental de sus decisiones (Byrne, 2012). Además, se ha observado que la conciencia de sostenibilidad y ética profesional entre los estudiantes de ingeniería civil es un factor determinante en la adopción de prácticas más sostenibles en el ejercicio de la profesión (Mares-Nasarre et al., 2023).

En el ámbito académico, la integración de la sostenibilidad en los currículos de ingeniería civil ha sido un tema de interés creciente, con estudios que analizan la presencia y el enfoque de la sostenibilidad en los planes de estudio de diferentes programas de ingeniería (Carracedo et al., 2019). Se ha identificado que la visión de los estudiantes de ingeniería civil tiende a ser muy antropocéntrica, lo que resalta la necesidad de ampliar la perspectiva hacia un enfoque más integral que considere los impactos a largo plazo en el medio ambiente y la sociedad (Carracedo et al., 2019). Asimismo, se ha señalado que la incorporación de conceptos de sostenibilidad en los currículos de ingeniería civil enfrenta tanto incentivos como barreras, lo que destaca la importancia de abordar estos desafíos para promover una educación más orientada hacia la sostenibilidad (Chau, 2007).

De acuerdo con lo expuesto, la definición de desarrollo sostenible en el contexto de la ingeniería civil implica la integración de consideraciones ambientales, sociales y económicas en todas las fases de un proyecto, con el objetivo de garantizar la viabilidad a largo plazo de las intervenciones humanas en el entorno construido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta revisión sistemática, los estudios fueron seleccionados según los siguientes criterios: (a) publicaciones en revistas científicas indexadas, (b) artículos escritos en inglés y español, (c) estudios que abordan explícitamente la sostenibilidad dentro del contexto de la ingeniería civil, y (d) trabajos que incluyen revisiones teóricas, análisis de casos, estudios comparativos o aplicaciones de teorías. Se excluyeron las publicaciones que no estaban directamente relacionadas con la ingeniería civil o el desarrollo sostenible, así como las que requerían acceso a datos empíricos no disponibles públicamente.

La búsqueda se realizó en varias bases de datos académicas, incluyendo *Web of Science*, *Scopus*, y *Google Scholar*, utilizando una combinación de palabras clave y frases como "ingeniería civil", "desarrollo sostenible", "sostenibilidad en construcción", y "prácticas ecológicas en ingeniería". Las búsquedas se limitaron a títulos, resúmenes y palabras clave para maximizar la relevancia.

Inicialmente, se identificaron 72 artículos, de los cuales 47 fueron preseleccionados tras eliminar duplicados y revisar títulos y resúmenes. Posteriormente, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión en una revisión completa de texto, resultando en 25 estudios para análisis detallado. Dos revisores independientes realizaron la selección de estudios, y las discrepancias se resolvieron mediante discusión o la intervención de un tercer y un cuarto revisor. Para cada estudio seleccionado, se extrajeron datos sobre su metodología, principales hallazgos y contribuciones al campo de la sostenibilidad en la ingeniería civil. La síntesis de los datos se realizó mediante análisis de contenido temático, agrupando los hallazgos en categorías emergentes relacionadas con las tendencias y desafíos en la implementación de prácticas sostenibles en la ingeniería civil.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección aborda las tendencias emergentes y los retos persistentes en la incorporación de prácticas sostenibles dentro del campo de la ingeniería civil. Este apartado sintetiza y examina los hallazgos clave de la literatura contemporánea, destacando el progreso hacia la adopción de materiales eco-amigables y la implementación de tecnologías de bajo impacto ambiental. Al analizar una variedad de estudios, reportes y análisis de caso, se revela una imagen compleja y matizada de la innovación en la selección de materiales y de las estrategias de diseño que contribuyen a la sostenibilidad en la construcción de infraestructuras.

A medida que se despliega el discurso, se discute cómo la ingeniería civil está evolucionando desde su tradicional enfoque en la durabilidad y la seguridad, hacia una consideración integral de la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética. Los resultados indican un cambio paradigmático hacia la economía circular y la biocompatibilidad de los materiales, lo cual no solo aboga por la protección ambiental sino también por la viabilidad económica a largo plazo y la responsabilidad social. Además, se evalúan las sinergias y los conflictos entre los avances tecnológicos y las normativas existentes, y cómo estos influyen en el diseño y la planificación urbana sostenible. Este análisis crítico no solo subraya las innovaciones y prácticas prometedoras, sino que también identifica las barreras significativas que impiden la plena realización de un desarrollo sostenible en la ingeniería civil, ofreciendo así una base para futuras investigaciones y políticas en el sector.

### Adopción de Materiales Eco-amigables y Tecnologías de Bajo Impacto

En el contexto de la ingeniería civil y el desarrollo sostenible, la adopción de materiales eco-amigables y tecnologías de bajo impacto se ha convertido en un aspecto crucial para promover prácticas más responsables y sostenibles en la construcción de infraestructuras y edificaciones. La búsqueda de alternativas que minimicen el impacto ambiental y fomenten la eficiencia energética ha llevado a un creciente interés en el uso de materiales eco-amigables en la ingeniería civil.

La literatura especializada ha abordado la importancia de los materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diversos sectores industriales como una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Jaén-Posada & Montes-Florez, 2021). La tendencia hacia el uso de biopolímeros de matriz polimérica con fibra natural refleja un enfoque innovador en la selección de materiales que buscan reducir la huella ambiental de los proyectos de ingeniería civil. La adopción de estos materiales no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede impulsar la economía circular al fomentar la reutilización y el reciclaje de recursos.

Además, la investigación en hidrogeles basados en colágeno acoplados con hidroxiapatita para aplicaciones en ingeniería tisular destaca la importancia de desarrollar materiales que sean biocompatibles y que promuevan la regeneración de tejidos dañados (Lara-Rico et al., 2020). Estos avances en la ingeniería de materiales no solo tienen implicaciones en el campo de la medicina, sino que también pueden ser relevantes para la ingeniería civil, especialmente en la construcción de estructuras que requieran materiales resistentes y biodegradables.

La reutilización de materiales como la fibra de plátano en la fabricación de elementos deportivos ilustra cómo la ingeniería civil puede incorporar prácticas de economía circular y sostenibilidad en la selección de materiales de construcción (Murcia & Tovar, 2019). Esta iniciativa no solo reduce la cantidad de residuos desechados, sino que también promueve la innovación en el diseño de infraestructuras y la adopción de materiales biodegradables en la industria de la construcción.

En la búsqueda de un desarrollo más sostenible y responsable, la adopción de materiales eco-amigables y tecnologías de bajo impacto en la ingeniería civil es fundamental. La investigación y aplicación de materiales biodegradables, y la reutilización de recursos naturales en la construcción son ejemplos de cómo la ingeniería civil puede contribuir a la mitigación de impactos ambientales y a la promoción de prácticas más sostenibles en el sector de la construcción.

## **Diseño y Planificación Urbana Sostenible**

La planificación y el diseño urbano sostenible son necesarios para promover ciudades resilientes, eficientes y equitativas dentro del contexto del desarrollo sostenible. La literatura enfatiza la importancia de adoptar enfoques innovadores y sostenibles en la planificación urbana para abordar los desafíos actuales relacionados con el crecimiento urbano, la degradación ambiental y la calidad de vida de los ciudadanos.

La integración de los conceptos de ciudades inteligentes y el uso de datos masivos en la planificación urbana se han convertido en estrategias clave para mejorar la eficiencia de los servicios urbanos, optimizar la toma de decisiones y promover la participación ciudadana en la gestión de la ciudad (Hashem et al., 2016). La aplicación de tecnologías inteligentes en el diseño urbano puede contribuir a crear entornos urbanos más sostenibles, conectados y habitables para los residentes.

La transición hacia ciudades más sostenibles y resilientes requiere la colaboración entre diferentes partes interesadas, incluida la sociedad civil (Frantzeskaki et al., 2016). La participación activa de la sociedad civil en la planificación urbana puede fomentar la adopción de ideas progresistas y radicales que promuevan la sostenibilidad ambiental y social en el desarrollo urbano. Esta colaboración entre diversos sectores de la sociedad puede enriquecer los procesos de toma de decisiones y garantizar que las necesidades e inquietudes de la comunidad se tengan en cuenta en el diseño de las ciudades del futuro.

La evaluación del desempeño de las obras de ingeniería civil desde una perspectiva del ciclo de vida y la sostenibilidad ha ganado relevancia en la planificación urbana en los últimos años (Ek et al., 2020). Considerar los aspectos ambientales, sociales y económicos en todas las etapas de un proyecto de construcción, como la selección de materiales, la eficiencia energética y la gestión de residuos, es esencial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las infraestructuras urbanas.

### **Estrategias de Gestión de Recursos y Residuos en la Construcción**

La gestión eficiente de recursos y residuos en la construcción es un aspecto fundamental para promover la sostenibilidad en el sector de la ingeniería civil. La adopción de estrategias innovadoras y sostenibles en la gestión de recursos y residuos no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental de las obras, sino que también puede generar beneficios económicos y sociales a largo plazo.

Un estudio realizado en la Región Metropolitana, Chile, evaluó económicamente y clasificó los residuos de construcción y demolición (RCD) en un proyecto real de edificación en altura (Bravo et al., 2019). Este análisis resaltó la importancia de cuantificar y clasificar adecuadamente los residuos generados en la construcción para implementar medidas de reducción, reutilización y reciclaje que contribuyan a minimizar el impacto ambiental y los costos asociados a la gestión de residuos.

La economía circular ha surgido como un enfoque clave para promover el desarrollo sostenible en el sector productivo, donde el vertido, la incineración y el reciclaje son métodos fundamentales para tratar los residuos posconsumo (Morocho, 2018). La implementación de prácticas circulares en la gestión de residuos de construcción puede fomentar la reutilización de materiales, reducir la generación de desechos y optimizar los recursos disponibles en el proceso constructivo.

La evaluación del impacto ambiental a través de indicadores en un modelo de *Building Information Modeling* (BIM) para vivienda social ha permitido identificar los principales componentes de los RCD en la modernización de edificios (Mercader-Moyano et al., 2019). Esta evaluación detallada de los impactos ambientales asociados a la construcción puede orientar la toma de decisiones hacia prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de recursos y residuos.

La gestión de residuos de construcción y demolición en Villavicencio, Colombia, ha sido objeto de estudio para identificar el estado actual, las barreras y los instrumentos de gestión necesarios para mejorar la eficiencia en la gestión de residuos en la ciudad (Suárez-Silgado et al., 2019). Este análisis destaca la importancia de implementar estrategias adaptadas a las características específicas de cada obra y ciudad para garantizar una gestión efectiva de los residuos generados en el sector de la construcción. Los documentos analizados resaltan que la adopción de enfoques circulares, la evaluación detallada de impactos ambientales y la implementación de medidas específicas a nivel local son clave para promover prácticas más eficientes, responsables y sostenibles en la gestión de recursos y residuos en la construcción.

### **Integración de Energías Renovables en Proyectos de Ingeniería Civil**

El logro de un modelo energético más sostenible y resiliente depende de la integración de energías renovables en proyectos de ingeniería civil. La adopción de tecnologías renovables en la infraestructura civil no solo contribuye a la mitigación del cambio climático, sino que también puede generar beneficios económicos y sociales a largo plazo.

Un estudio realizado en Sudáfrica evaluó la implementación de micro redes como enfoque para la electrificación rural, resaltando la importancia de un marco de políticas que promueva la adopción de energías renovables y la mejora del acceso a la electricidad en áreas rurales Motjoadi et al. (2020). La integración de micro redes basadas en energías renovables puede contribuir significativamente a la reducción de emisiones de carbono, la seguridad energética y el acceso a la electricidad en zonas remotas.

La educación en energías renovables ha sido objeto de análisis en diferentes contextos, como en Turquía, donde se identificó la falta de programas especializados en energías renovables como un desafío para la formación de expertos en este campo (Karabulut et al., 2011). La capacitación de profesionales en energías renovables es fundamental para impulsar la transición hacia un sistema energético más sostenible y promover la innovación en el sector de la ingeniería civil.

Otros estudios en cambio destacan la importancia de optimizar el almacenamiento y la integración de fuentes renovables para garantizar la estabilidad y eficiencia del sistema (Etxeberria et al., 2010). La combinación de diferentes tecnologías de almacenamiento puede mejorar la gestión de la energía generada a partir de fuentes renovables y facilitar la transición hacia un sistema energético más limpio y resiliente.

En Colombia, se ha observado un aumento significativo en la participación de la energía solar fotovoltaica en la matriz energética, lo que ha impulsado la demanda de esta fuente de energía en el país (Bonilla et al., 2021). La expansión de la energía solar fotovoltaica en la matriz energética refleja el potencial de las energías renovables para diversificar la oferta energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en las actividades de construcción.



En esta sección se observa que la literatura muestra que la adopción de tecnologías renovables, la formulación de políticas adecuadas y la capacitación de profesionales en energías limpias son aspectos clave para promover la transición hacia un sistema energético más sostenible y contribuir a la mitigación del cambio climático.

### **Normativas y Políticas para el Fomento de la Sostenibilidad**

La implementación de normativas y políticas que fomenten la sostenibilidad en el sector de la ingeniería civil es clave para promover prácticas responsables y avanzar hacia un desarrollo más sostenible. La adopción de marcos regulatorios y directrices orientadas a la sostenibilidad puede guiar la planificación, diseño y ejecución de proyectos de ingeniería civil de manera que se minimice el impacto ambiental y se promueva el bienestar social.

Diferentes autores han destacado la importancia de las políticas de sostenibilidad en el contexto de los proyectos de infraestructura, donde la integración de criterios ambientales, sociales y económicos en las decisiones de planificación y ejecución es fundamental para garantizar la viabilidad a largo plazo de las obras (Aarseth et al., 2017). En países en desarrollo, la implementación efectiva de políticas de sostenibilidad a nivel gubernamental es fundamental para abordar los desafíos asociados con la implementación y control de las directrices de sostenibilidad en la práctica.

La promoción de la sostenibilidad en el sector de la ingeniería civil también requiere la formulación de políticas educativas que fomenten la integración de conceptos de sostenibilidad en los planes de estudio de ingeniería (Carracedo et al., 2019). La capacitación de futuros ingenieros desde una perspectiva sostenible es esencial para preparar a los profesionales del sector para abordar los desafíos actuales y futuros en materia de sostenibilidad.

La identificación de indicadores de sostenibilidad en sectores específicos, como la aviación civil, ha sido objeto de estudio para comprender las perspectivas de los diferentes actores involucrados en la definición de estrategias de sostenibilidad a largo plazo (Sarrah et al., 2020). La colaboración entre los distintos actores del sector y la definición de una estrategia común de sostenibilidad son aspectos clave para garantizar la implementación efectiva de políticas que promuevan la sostenibilidad en la aviación civil.

En el ámbito académico, la incorporación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en los planes de estudio de ingeniería civil ha surgido como una estrategia para sensibilizar a los estudiantes sobre la importancia de abordar los desafíos globales desde una perspectiva sostenible (Álvarez et al., 2021). La inclusión de los ODS en la formación de ingenieros civiles puede contribuir a la formación de profesionales comprometidos con la sostenibilidad y capaces de diseñar soluciones innovadoras y sostenibles.

---

## Desafíos y barreras para la implementación de prácticas sostenibles

Pese a todos los potenciales beneficios identificados en secciones anteriores, la implementación de prácticas sostenibles en el campo de la ingeniería civil se enfrenta a diversos desafíos y barreras que pueden obstaculizar la transición hacia un desarrollo más sostenible. Estos obstáculos pueden abarcar desde aspectos educativos y regulatorios hasta limitaciones tecnológicas y culturales que deben abordarse para promover eficazmente la sostenibilidad en el sector.

La falta de integración de competencias en materia de sostenibilidad en los planes de estudio de ingeniería civil se ha identificado como una barrera importante para la formación de profesionales preparados para afrontar los desafíos actuales de sostenibilidad (Álvarez et al., 2021). La necesidad de incluir de manera más amplia y profunda los conceptos de sostenibilidad en la formación académica de los ingenieros civiles es fundamental para preparar a los profesionales del futuro para enfrentar los desafíos de un mundo en constante evolución.

Además, la escasez de políticas y marcos regulatorios que promuevan la sostenibilidad en el sector de la ingeniería civil puede limitar la adopción de prácticas sostenibles en la planificación y ejecución de proyectos (Karji et al., 2020). La falta de directrices claras e incentivos para la implementación de medidas sostenibles puede obstaculizar la integración efectiva de criterios ambientales, sociales y económicos en las obras de ingeniería civil.

La resistencia al cambio y la falta de conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad en la industria de la construcción también representan desafíos importantes para la implementación de prácticas sostenibles (Trindade et al., 2020). La necesidad de sensibilizar a los principales actores de la industria sobre los beneficios de la sostenibilidad y fomentar una cultura organizacional orientada hacia la sostenibilidad son aspectos fundamentales para superar estas barreras.

La disponibilidad limitada de tecnologías y materiales sostenibles, así como la falta de capacitación especializada en el uso de estas soluciones, también pueden obstaculizar la adopción de prácticas sostenibles en la ingeniería civil (Shi et al., 2014). La necesidad de desarrollar e implementar tecnologías innovadoras y promover la formación continua en sostenibilidad son aspectos clave para superar estas limitaciones y avanzar hacia un enfoque más sostenible en el sector.

Los principales desafíos y barreras para la implementación de prácticas sostenibles en la ingeniería civil se enfocan en aspectos educativos y regulatorios, así como limitaciones tecnológicas y culturales. Superar estas barreras requiere un enfoque integral que incluya la actualización de los planes de estudio, el fortalecimiento de los marcos regulatorios, la sensibilización de los principales actores y la promoción de la innovación en tecnologías sostenibles para impulsar eficazmente la transición hacia un desarrollo más sostenible en el sector de la ingeniería civil.

## CONCLUSIONES

La revisión crítica realizada en este artículo pone de manifiesto que el campo de la ingeniería civil se encuentra en una encrucijada frente a los desafíos del desarrollo sostenible. Si bien se han identificado avances significativos en la adopción de materiales y tecnologías de bajo impacto ambiental, así como en el diseño y planificación urbana sostenible, la implementación efectiva de prácticas sostenibles en el sector construcción enfrenta aún barreras importantes.

La integración de competencias en sostenibilidad en la formación de los ingenieros civiles es un factor clave para formar profesionales con una visión holística, ética y comprometida con la responsabilidad social y ambiental. Del mismo modo, el fortalecimiento de políticas y marcos regulatorios que incentiven la sostenibilidad es fundamental para guiar las prácticas del sector.

La transición hacia un modelo de economía circular en la gestión de recursos y residuos de construcción, así como la integración de energías renovables en los proyectos de infraestructura, son áreas que ofrecen un alto potencial para avanzar en sostenibilidad. Sin embargo, se requiere superar barreras tecnológicas y culturales, como la resistencia al cambio en la industria.

Para finalizar, se concluye que, si bien se observan avances significativos, la plena incorporación de la sostenibilidad en la ingeniería civil está aún en una etapa incipiente. Es necesario un esfuerzo sostenido que incluya la formación de profesionales, el desarrollo tecnológico, el fortalecimiento de políticas y la transformación cultural en el sector de la construcción para garantizar su viabilidad a largo plazo y su contribución a un futuro ambientalmente sano y socialmente justo.

## REFERENCIAS

- Álvarez, I., Etxeberria, P., Alberdi, E., Pérez-Acebo, H., Eguía, I., & García, M. (2021). Sustainable civil engineering: incorporating sustainable development goals in higher education curricula. *Sustainability*, 13(16), 8967. <https://doi.org/10.3390/su13168967>
- Aarseth, W., Ahola, T., Aaltonen, K., Økland, A., & Andersen, B. (2017). Project sustainability strategies: a systematic literature review. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1071-1083. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.11.006>
- Bonilla, I., Cruz, D., & Álvarez, H. (2021). Evolución de las energías renovables en la matriz energética de honduras en la última década, 2010-2020. *Revista De La Escuela De Física*, 9(2), 60-77. <https://doi.org/10.5377/ref.v9i2.13906>
- Bravo, J., Valderrama, C., & Ossio, F. (2019). Cuantificación económica de los residuos de construcción de una edificación en altura: un caso de estudio. *Información Tecnológica*, 30(2), 85-94. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000200085>

- Byrne, E. (2012). Teaching engineering ethics with sustainability as context. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(3), 232-248. <https://doi.org/10.1108/14676371211242553>
- Carracedo, F., Moreno-Pino, F., Carbonell, B., Antúnez, M., & Gutiérrez, I. (2019). A methodology to analyze the presence of sustainability in engineering curricula. case of study: ten spanish engineering degree curricula. *Sustainability*, 11(17), 4553. <https://doi.org/10.3390/su11174553>
- Chau, K. (2007). Incorporation of sustainability concepts into a civil engineering curriculum. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 133(3), 188-191. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1052-3928\(2007\)133:3\(188\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1052-3928(2007)133:3(188))
- Ek, K., Mathern, A., Rempling, R., Brinkhoff, P., Karlsson, M., & Norin, M. (2020). Life cycle sustainability performance assessment method for comparison of civil engineering works design concepts: case study of a bridge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7909. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217909>
- Etxeberria, A., Vechiu, I., Vinassa, J., & Camblong, H. (2010). Hybrid energy storage systems for renewable energy sources integration in microgrids: a review.. <https://doi.org/10.1109/ipecon.2010.5697053>
- Frantzeskaki, N., Dumitru, A., Anguelovski, I., Avelino, F., Bach, M., Best, B., ... & Rauschmayer, F. (2016). Elucidating the changing roles of civil society in urban sustainability transitions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 22, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.04.008>
- Hashem, M., Chang, V., Anuar, N., Adewole, K., Yaqoob, I., Gani, A., ... & Chiroma, H. (2016). The role of big data in smart city. *International Journal of Information Management*, 36(5), 748-758. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.002>
- Jaén-Posada, J. and Montes-Florez, E. (2021). Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales. *Informador Técnico*, 86(1). <https://doi.org/10.23850/22565035.3417>
- Karabulut, A., Gedik, E., Keçebaş, A., & Alkan, M. (2011). An investigation on renewable energy education at the university level in turkey. *Renewable Energy*, 36(4), 1293-1297. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.006>
- Karji, A., Namian, M., & Tafazzoli, M. (2020). Identifying the key barriers to promote sustainable construction in the United States: a principal component analysis. *Sustainability*, 12(12), 5088. <https://doi.org/10.3390/su12125088>
- Lara-Rico, R., Claudio-Rizo, J., Múzquiz-Ramos, E., & Lopez-Badillo, C. (2020). Hidrogeles de colágeno acoplados con hidroxapatita para aplicaciones en ingeniería tisular. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.224>
- Mares-Nasarre, P., Martínez-Ibáñez, V., & Sanz-Benlloch, A. (2023). Analyzing sustainability awareness and professional ethics of civil engineering bachelor's degree students. *Sustainability*, 15(7), 6263. <https://doi.org/10.3390/su15076263>
- Mercader-Moyano, P., Camporeale, P., & Cózar-Cózar, E. (2019). Evaluación de impacto ambiental mediante la introducción de indicadores a un modelo bim de vivienda

social. *Revista Hábitat Sustentable*, 9(2), 78-93.

<https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.02.07>

Morocho, F. (2018). La economía circular como factor de desarrollo sustentable del sector productivo. *Innova Research Journal*, 78-98.

<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n12.2018.786>

Motjoadi, V., Bokoro, P., & Onibonoje, M. (2020). A review of microgrid-based approach to rural electrification in south africa: architecture and policy framework.

*Energies*, 13(9), 2193. <https://doi.org/10.3390/en13092193>

Murcia, B. and Tovar, A. (2019). La calceta de plátano como materia prima en la implementación de elementos deportivos. *Revista Agunkuyâa*, 9(2), 17-28.

<https://doi.org/10.33132/27114260.1786>

Sarrah, M., Ajmal, M., & Mertzanis, C. (2020). Identification of sustainability indicators in the civil aviation sector in dubai: a stakeholders' perspective. *Social Responsibility Journal*, 17(5), 648-668. <https://doi.org/10.1108/srj-06-2019-0203>

Suárez-Silgado, S., Quiroga, C., Molina, J., & Vanegas, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, 15(1), 224-244. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>

Shi, L., Ye, K., Lu, W., & Hu, X. (2014). Improving the competence of construction management consultants to underpin sustainable construction in china. *Habitat International*, 41, 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.08.002>

Trindade, E., Lima, L., Alencar, L., & Alencar, M. (2020). Identification of obstacles to implementing sustainability in the civil construction industry using bow-tie tool. *Buildings*, 10(9), 165. <https://doi.org/10.3390/buildings10090165>

Zavadskas, E., Antucheviciene, J., Vilotienė, T., & Adeli, H. (2017). Sustainable decision-making in civil engineering, construction and building technology. *Sustainability*, 10(2), 14. <https://doi.org/10.3390/su10010014>