

# Aplicación de la Inteligencia Artificial en la evaluación del impacto ambiental de proyectos de ingeniería civil

*Application of Artificial Intelligence in the evaluation of the environmental impact of civil engineering projects*

DOI: <https://doi.org/10.33262/rmc.v9i3.3163>

**Luis Leonardo Zambrano Salazar**<sup>1</sup>

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
 <https://orcid.org/0009-0001-5966-8123>  
ll.zambrano@uta.edu.ec

**Rodrigo Iván Acosta Lozada**<sup>2</sup>

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
 <https://orcid.org/0009-0008-7590-9194>  
ri.acosta@uta.edu.ec

**Celia Margarita Mayacela Rojas**<sup>3</sup>

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
 <https://orcid.org/0000-0002-7430-9743>  
cm.mayacela@uta.edu.ec

**Leonardo Fabián Rentería Bustamante**<sup>4</sup>

Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador  
 <https://orcid.org/0000-0003-0056-5602>  
leonardo.renteria@unach.edu.ec

**DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:** [ll.zambrano@uta.edu.ec](mailto:ll.zambrano@uta.edu.ec)

**Fecha de recepción:** 22 / 04 / 2024

**Fecha de aceptación:** 14 / 06 / 2024

## RESUMEN

La aplicación de la inteligencia artificial en la evaluación del impacto ambiental de proyectos de ingeniería civil ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la precisión y eficacia de este proceso. A diferencia de los métodos tradicionales, la Inteligencia Artificial permite analizar grandes cantidades de datos, generar modelos predictivos y facilitar la toma de decisiones informadas. Los estudios de caso revelan que técnicas como el Proceso de Análisis Jerárquico, Árboles de Decisión y Máquinas de

Soporte Vectorial han sido aplicadas exitosamente en proyectos de construcción de carreteras y presas. Sin embargo, existen desafíos éticos y limitaciones técnicas que deben abordarse, como la transparencia, la disponibilidad de datos y la incertidumbre en las predicciones. La investigación futura debe enfocarse en desarrollar modelos que aborden estas problemáticas y establezcan técnicas para determinar la incertidumbre en las predicciones. A pesar de estos desafíos, la Inteligencia Artificial tiene el potencial de transformar la evaluación del impacto ambiental, contribuyendo a la prevención de impactos negativos y la promoción de la sostenibilidad en los proyectos de ingeniería civil.

**Palabras clave:** *Evaluación de Impacto Ambiental, Ingeniería Civil, Inteligencia Artificial, Sostenibilidad, Toma de Decisiones.*

## ABSTRACT

The application of artificial intelligence in the environmental impact assessment of civil engineering projects has proven to be a valuable tool for improving the accuracy and effectiveness of this process. Unlike traditional methods, Artificial Intelligence allows for the analysis of large amounts of data, the generation of predictive models, and the facilitation of informed decision-making. Case studies reveal that techniques such as the Analytic Hierarchy Process, Decision Trees, and Support Vector Machines have been successfully applied in road and dam construction projects. However, there are ethical challenges and technical limitations that need to be addressed, such as transparency, data availability, and uncertainty in predictions. Future research should focus on developing models that address these issues and establish techniques to determine the uncertainty in predictions. Despite these challenges, Artificial Intelligence has the potential to transform environmental impact assessment, contributing to the prevention of negative impacts and the promotion of sustainability in civil engineering projects.

**Keywords:** *Environmental Impact Assessment, Civil Engineering, Artificial Intelligence, Sustainability, Decision Making.*

## INTRODUCCIÓN

El concepto de evaluación del impacto ambiental se relaciona con el término de impacto ambiental, por lo tanto, el análisis y la definición de estos dos conceptos es necesario. Existen diversas definiciones de "impacto ambiental," pero la más recurrente es la presentada por Jhan & Khosravi (2021). Uno de los problemas fundamentales en la

definición de los impactos ambientales es que no existen definiciones claras de los conceptos de impacto. Gonzáles & Romero (2018) adoptan la siguiente definición de impactos ambientales: "Es la modificación que produce un desarrollo en el medio natural, social o económico". Este análisis propone un modelo basado en técnicas de Optimización por Enjambres Superficiales (PSO) aplicadas a un conjunto de datos de proyectos de evaluación del impacto ambiental (EIA) en el Reino Unido (Syed et al. 2022).

Una vía para abordar la evaluación del impacto ambiental en proyectos de ingeniería es mediante la simulación del desempeño ambiental del proyecto. Esta simulación se realiza tradicionalmente a través de un enfoque determinista utilizando simulaciones matemáticas basadas en modelos de causa-efecto adaptados a los diferentes tipos de contaminantes (Zhang, Vand, and Baldi 2022). Sin embargo, este análisis tiene un elevado nivel de incertidumbre relativo a la información utilizada, generalmente de tipo cualitativo, sin considerar la interacción de los impactos previstos ni las relaciones de retroalimentación que pudieran producirse (Souviron, Van, and Khan 2019).

Contexto y justificación del estudio. La evaluación de impacto ambiental se realiza al inicio de proyectos de actuaciones públicas o privadas para evaluar posibles impactos en el medio ambiente. Esto condiciona la decisión de las administraciones públicas en la autorización, integrando aspectos ambientales relevantes en la toma de decisiones y mejorando el patrimonio ambiental (Yao, He, and Bao 2020). La evaluación de los efectos identifica problemas ambientales y busca soluciones diferenciando entre hechos consumados y aquellos que se pueden prevenir y gestionar (Edahbi, Plante, and Benzaazoua 2019).

Objetivos y alcance del artículo. El manejo incorrecto de los residuos agroquímicos desde su compra, pasando por el almacenamiento y la preparación de las soluciones a campos, destina el producto solo al hídrico y 10% a la consecuencia de deriva y volatilización del herbicida o insecticida (Koul, Yakoob, and Shah 2022). El movimiento del aire o del agua en el medio ambiente, es decir, el producto se traslada fuera de la parcela hacia sitios no deseados cerca de zonas habitadas o donde ingrese el producto al acuífero, curso de agua, canal, humedal, etc. La preparación de caldos fitosanitarios en el campo impacta el ambiente a través del envasado, premezcla, mezcla y almacenamiento de productos químicos (Cárceles et al. 2022). Esto genera residuos industriales, derrames y contaminación del ambiente con consecuencias para la salud humana, animal y vegetal (García, Piedra, and Galdeano 2018).

---

### **Evaluación del impacto ambiental en proyectos de ingeniería civil**

El objetivo de la EIA es prevenir impactos negativos a través de decisiones informadas que fomenten la mitigación y la gestión ambiental adecuada (Hosseinalizadeh, Izadbakhsh, and Shakouri 2021). Los sistemas de EIA establecen ritmos para evaluar el riesgo y apoyar decisiones sobre nuevos proyectos. El proceso de EIA es secuencial y requiere ciertos pasos. Las evaluaciones del riesgo también pueden considerar los riesgos asociados con actividades existentes (Suprayoga et al. 2020).

Evaluación del Impacto Ambiental en Proyectos de Ingeniería Civil. Un problema importante en la EIA es la definición y delimitación del riesgo aceptable (Loomis and Dziedzic 2018). Las evaluaciones del impacto ambiental (EIA) son clave en la ingeniería civil para minimizar impactos negativos en el medio ambiente durante y después de proyectos. Son herramientas importantes para predecir y prevenir consecuencias dañinas realizadas antes del lanzamiento de un producto o infraestructura (Ruiz et al. 2021).

Definición y objetivos de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA). A lo largo de la historia, los humanos han querido modificar el mundo que les rodea y lo han hecho. Sin embargo, estas intervenciones además de aportar beneficios también han tenido consecuencias y ha habido tres etapas relacionadas con la manera de intervenir en el entorno: Modificación, Adaptación y Compensación (X. Zhang et al. 2021). En la actualidad, estamos en un cambio de ciclo clave basado en el Derecho Humano a intervenir en el territorio, lo que hace necesaria la implantación de un proceso de EIA (Knox and Pejan 2018). Se pretende identificar e inventariar los impactos significativos que el proyecto pueda tener sobre el medio ambiente y la salud humana con el objeto de establecer medidas correctoras, preventivas o compensatorias. También se busca evaluar el riesgo de incumplimiento de la normativa aplicable, evidenciando los niveles de acuerdo o desacuerdo entre los valores obtenidos y los valores límites en los puntos de control definidos (Marrero et al. 2020).

Importancia de la EIA en proyectos de ingeniería civil. En la evaluación de impacto ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña se encontró que el 75% de la actividad profesional está relacionada con la EIA, pero el 25% se dirige principalmente a la administración (Caballero et al. 2019). La EIA es una actividad técnica que se enfoca más en la evaluación del impacto en los ecosistemas y a menudo coexiste con otras figuras estatales de prevención ambiental (Martínez, Martí, and Yepes 2020). Debido a su carácter multielisiástico, resulta difícil establecer normativas comunes. Las actividades de ingeniería civil y su influencia en el medio ambiente requieren una gestión adecuada

---

en términos de sostenibilidad y recursos disponibles. A pesar de haber métodos para evaluar y regular los impactos, el avance del conocimiento en ciencias naturales, informática y teledetección exige sistemas más explícitos, transparentes y sistemáticos (Delgado et al. 2021).

### **Técnicas tradicionales vs. Inteligencia artificial en la EIA**

El problema radica en que el escenario actual o sin proyecto jamás ha sido observado en el estado de proyecto (previsión de alternativas), así como tampoco después de realizado el estrés y/o perturbación al medio. En este sentido, lo que se realiza es sobrescribir un modelo de escenario futuro distinto a las observaciones reales o proyecciones dinámicas del estado del sistema natural bajo distintos estados de perturbación, por lo que necesariamente existen niveles variables de incertidumbre asociados a la inferencia de los potenciales impactos (Llatas, Quiñones, and Bizcocho 2022).

La evaluación del impacto ambiental en proyectos de ingeniería civil es compleja y requiere un análisis profundo del escenario actual, predicción de cambios e interferencias y la cuantificación de impactos físicos y ecológicos. Esto incluye la identificación de impactos positivos y negativos, predicción de su magnitud, evaluación e interpretación y la implementación de programas de monitoreo y seguimiento (Lizasoain et al. 2019). En las últimas dos décadas, técnicas basadas en inteligencia artificial (IA) han sido empleadas en distintas aplicaciones ambientales, incluyendo las relacionadas con la evaluación del impacto ambiental (EIA) de distintos tipos de proyectos y actividades, permitiendo a los especialistas de esta disciplina complementar y en algunos casos mejorar las tradicionales estimaciones cualitativas y cuantitativas del impacto ambiental (Sharif et al. 2023).

Métodos convencionales de evaluación ambiental. La matriz de impacto se adopta para identificar la forma de evaluación (Mian et al. 2023)). La comparación se realiza con los niveles de aceptación de las variables del medio durante las diferentes etapas de la vida del proyecto. La presentación de la información es particular, resultado de una combinación de la lógica con la reglamentación. Cada medio supone métodos particulares de evaluación. La RIM es el elemento capital del EIA, pero limitarse solo a ésta puede relativizar la utilidad e importancia del estudio (Zhang et al. 2021). El público suele hacer hincapié en ella porque a menudo es la única parte del EIA claramente objetivable y susceptible de ser comparada con parámetros prefijados. Los métodos convencionales de evaluación de los efectos ambientales de una acción realizan un inventario de los efectos,

anticipan los potenciales más severos y describen la magnitud de las afecciones ambientales que traerá aparejada la ejecución del Proyecto.

Ventajas de la IA en la EIA. Las dificultades asociadas al uso de la IA en EIA incluyen alta capacidad computacional, dificultad para configurar los algoritmos adecuadamente, imposibilidad de garantizar que sus soluciones sean correctas, es decir, no se puede probar matemáticamente su validez, dificultad para determinar por qué una solución aparentemente correcta resulta incorrecta, e imposibilidad de demostrar que los algoritmos IA no generen efectos no deseados en entornos reales (Papadopoulou and Exarchos 2022).

Es decir, el mantenimiento de algoritmos genera dependencia y desaparecen progresivamente los conocimientos técnicos de los usuarios. Sin embargo, una ventaja esencial es el tratamiento de problemas complejos y poco estructurados, mayor capacidad de abstracción e integración de conceptos, posibilidad de trabajar con información imprecisa o subjetiva, y la capacidad de generar explicaciones sobre el planteamiento de soluciones (Joksimovic et al. 2023). Además, es adecuado para mejorar la toma de decisiones en entornos cambiantes, puede ser usado específicamente en la puesta a punto de modelos, y ayuda a conocer el comportamiento de ciertos fenómenos y alerta sobre su inestabilidad.

### **Aplicaciones de la inteligencia artificial en la EIA**

El ambiente sufre un deterioro por la acción humana (Valtierra and Vázquez 2022). En ingeniería civil, se buscan métodos para identificar y medir el impacto, proponer acciones mitigadoras, compensatorias o de recuperación, y conceptualizar proyectos ambientales. El método Analytic Hierarchy Process (AHP) es una metodología multicriterio para la toma de decisiones.

La inteligencia artificial se ha vuelto muy importante en la toma de decisiones para minimizar el impacto ambiental en proyectos de ingeniería civil. La evaluación del impacto ambiental es crucial para la aprobación y construcción de proyectos como autopistas, puentes y presas, ya que pueden causar un gran impacto en el medio ambiente. La tarea del estudio de ingeniería es detectar y medir este impacto, proponer acciones positivas y mitigar el impacto negativo. Mejorar la identificación y el control del proyecto.

Recopilación y análisis de datos ambientales. En el contexto de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), la recopilación y el análisis de datos ambientales son fundamentales para determinar las características específicas del territorio y del objeto de estudio. Es

esencial que estos datos se incluyan en la memoria ambiental o descriptiva del proyecto, mostrando claramente la "situación actual" (sin las acciones del proyecto) y la "situación prevista" (con las acciones del proyecto) (Riveros and Huaquisaca 2020).

La recopilación de datos debe considerar diversos factores, incluyendo la posible obsolescencia del EIA original debido a modificaciones en el proyecto. En tales casos, es necesario realizar estudios complementarios para actualizar la información. Además, los riesgos naturales son un aspecto crucial para considerar, dado que están estrechamente vinculados a los valores de los elementos naturales preexistentes en el medio ambiente. Los técnicos responsables del proyecto, como ingenieros aeronáuticos, de caminos, agrónomos, etc., son los encargados de aportar esta información. Estos datos deben incluirse de manera precisa y detallada para reflejar la relación de los valores ambientales existentes antes y después de las acciones previstas en el proyecto.

**Predicción de impactos ambientales.** La predicción de impactos ambientales ha avanzado significativamente gracias a la inteligencia artificial (IA). Los sistemas de IA pueden capturar y procesar grandes cantidades de datos para generar modelos predictivos altamente precisos. Estos modelos permiten realizar estimaciones sobre los posibles impactos ambientales de un proyecto, basándose en datos empíricos y ejemplos previos (León, 2020). La capacidad de la IA para analizar y aprender de grandes volúmenes de datos reduce significativamente los errores en las predicciones, mejorando así la fiabilidad de las estimaciones de impacto ambiental. Este avance permite a los ingenieros y planificadores tomar decisiones más informadas y basadas en datos concretos, lo que resulta en una mejor gestión y mitigación de los impactos ambientales potenciales.

**Toma de decisiones informadas.** La integración de la IA en la EIA facilita una toma de decisiones más informada y precisa. Mediante la comparación de la situación final (sin proyecto) con la situación con el proyecto, los evaluadores pueden determinar si el proyecto propuesto mejora o empeora el medio ambiente. Si el impacto es negativo, se requieren nuevas soluciones para evitar efectos adversos (Montero et al. 2020). Además, la IA permite una gestión documental más eficiente, manteniendo actualizada y organizada toda la información ambiental y del usuario. La gestión de flujos de trabajo definidos mediante IA también ayuda en la toma de decisiones, asegurando que todos los procedimientos necesarios se sigan de manera coherente y eficiente.

### **Estudios de caso**

Los estudios de caso en la aplicación de IA en la EIA muestran la eficacia de estas tecnologías en diversos escenarios. Por ejemplo, en la construcción de carreteras, se

utilizó la técnica de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para evaluar numerosos indicadores ambientales. Se comparó esta técnica con la metodología convencional, demostrando que la IA puede mejorar significativamente la precisión y eficacia de las evaluaciones de impacto ambiental (Cea, 2019).

En otro caso, se empleó la técnica de Árboles de Decisión (RT) para un análisis hipotético del impacto ambiental de una carretera. Finalmente, se utilizó el método de Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) para estimar el impacto ambiental asociado a la construcción y mantenimiento de una presa y su embalse. Estos estudios demuestran que la IA puede ofrecer evaluaciones más detalladas y precisas, comparadas con las metodologías tradicionales.

Proyectos de ingeniería civil donde se ha aplicado IA en la EIA. Algunos ejemplos de la utilización de IA en IAIA incluyen: búsqueda de factibilidad en la creación de un Sistema de Información Geográfica, toma de decisiones en los estudios del medio físico de la Zona Central de la provincia de Burgos, predicción de la efectividad de las medidas de corrección, cálculo de la intensidad de la generación de escorrentía superficial para agriculturas de regadío, sistemas de ayuda a la toma de decisiones en la realización de estudios simultáneos del riesgo, utilización del Sistema Informáticamente Auxiliado para la Toma de Decisiones (SIATD) para la realización de estudios del Medio Físico de la subcuenca norte del río Durante, utilización de redes neuronales para el cálculo de vectores que representan al medio físico en el estudio de la zona de variante de Brands, sistemas de apoyo a la toma de decisiones en los estudios de alto régimen del Martínreal, utilización de las Redes Neuronales Shanon y de las Redes de Base Radular para la predicción de la relación recurso vegetación en las diferentes zonas forestales.

Se pueden mencionar varios tipos de proyectos de ingeniería civil, como la localización de vertederos de residuos sólidos urbanos, el ordenamiento de vertederos controlados, la inspección periódica y control de los vertederos de residuos no peligrosos, la selección del mejor emplazamiento para depuradores de aguas residuales, la toma de medidas necesarias para la ejecución de vertederos sanitarios de residuos sólidos urbanos, actuaciones para mejorar el estado ecológico de masas de agua, el estudio de los efectos de embalses en los ejercicios de evaluación de la erosión, mediciones fotogramétricas y geomorfológicas de la cuenca del embalse de Villar del Rey, actuaciones incluíbles en el plan de desarrollo hidrológico del Valle del Ebro, el control y mejora ambiental de cursos de aguas continentales, actuaciones incluíbles en el Plan Ejemplar en la cuenca alta del Manzanares, desecación preliminar de parte de las lagunas de las matanzas y san Juan del

Monte, actuaciones conjuntas de las administraciones para la recuperación ambiental de materiales de minas y fabricación de una planta de vidrio, el impacto sobre el medio natural (fenómenos ecológicos) de la consecución del grado potabilizante o aforado de los embalses del Jarama o del Lozoya, mejoras (marginales) al impacto sobre el medio natural del tramo 9 del Canal-Tajo, la EIA de una central eléctrica solar de 10 MW pico en la villa de Cobalto.

### **Desafíos y limitaciones**

Los desafíos que resolver para aumentar la aplicabilidad de estas herramientas se centran en la recopilación automática y multilingüe de información sobre comportamientos y actitudes de grupos de interés, permitiendo la ampliación de adquisiciones de datos y realizar predicciones más precisas. Algunas empresas utilizan sistemas informáticos para analizar conversaciones online en redes sociales que les ayudan a comprender qué dicen las personas sobre su marca en relación con la competencia. En el ámbito de la gestión de proyectos, los datos más concluyentes se refieren al análisis de un solo proyecto o a un grupo de proyectos de corte similar.

Sencilla magia proporcionada por dos algoritmos ofrece la posibilidad de conocer el impacto de los proyectos de ingeniería civil sobre los grupos de interés. La principal limitación de este y otros trabajos sobre el mismo tema es el reducido número de proyectos de ingeniería civil en igualdad de condiciones (mismas entradas) y la ausencia de meta-análisis procesal que permita conocer mejor los factores influyentes en el impacto sobre los grupos de interés de los proyectos de ingeniería civil. Por otro lado, resalta significativamente el impacto financiero de los proyectos de ingeniería civil sobre proveedores y trabajadores.

Aspectos éticos y de transparencia. Un segundo problema ético surge al instalar el modelo en una plataforma, lo que requerirá controles estrictos para evitar efectos no deseados, como usos malintencionados. Otro problema ético se relaciona con la formulación y uso de bases de datos. La IA considera la BD como la única representación fiable del mundo, por lo que datos incorrectos pueden llevar a decisiones erróneas. Además, el uso del modelo propuesto podría excluir la participación ciudadana en la evaluación de impacto ambiental, lo cual es indeseable.

El uso de inteligencia artificial plantea desafíos éticos debido a la transferencia encubierta de conocimientos, llamada "menarquías", al desarrollar un Sistema de Análisis de Impacto Ambiental de Recursos Naturales (SAIA-RN). La dependencia entre diferentes

representaciones en el modelo podría superar este problema, pero manteniendo un modelo dinámico podrían surgir dificultades éticas en su uso y consulta.

Limitaciones técnicas y de datos. Solventar estas limitaciones requiere un cambio de paradigma en la forma de evaluación y la información disponible. Se recomienda implantar un marco de representación y modelización que permita la integración de la información generada en plataformas de evaluación ambiental. También se sugiere un servicio público web para difundir datos georreferenciados, que proporcionará una herramienta de consulta y análisis de la información jurídica, cartográfica y de datos.

En este sentido, los modelos que más éxito han tenido han sido aquellos desarrollados con datos de una misma entidad y a una escala local, cuyos profesionales actuantes tienen un gran conocimiento de los datos y de los problemas a los que el modelo se dirige, como los ayuntamientos. Por otro lado, el modelo se calibra y valida con datos observados, cosa que en el procedimiento de evaluación del impacto ambiental es (siendo optimistas) difícil de conseguir. Por ello, es complicado confiar en la predicción a largo plazo de los modelos. En mi opinión, es una herramienta más para cotejar y comparar.

En general, el gran problema para la evaluación del impacto ambiental de proyectos mediante modelos ERP es la falta de datos. Por lo general, las distintas entidades afectadas por el desarrollo que inicia el procedimiento, como ayuntamientos, Consejerías, entre otras, tratan los datos de forma no coordinada. Algunos datos son confidenciales, otros están actualizados, otros no y otras veces simplemente no son accesibles.

### **Perspectivas futuras**

El objetivo de la estancia será finalizar un apartado y adaptar la herramienta al ciclo de procedimiento del país anfitrión, sus divisiones en fases y las entradas y salidas de cada una. El procedimiento es similar al andaluz, pero implementará un conjunto de herramientas semiautomatizadas del procedimiento paralelo CEQR/TR Process, que supone una nueva contribución en el ámbito de las Tecnologías del Conocimiento para el Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental. Se planea publicitar la herramienta entre los profesionales vinculados al mundo de las infraestructuras a través de la participación en jornadas y publicaciones en prensa especializada.

Se adaptarán aspectos específicos de la herramienta a los requerimientos del procedimiento en el Reino Unido, evitando perder aspectos más novedosos o interesantes para el procedimiento español. Se prevé una estancia de cuatro meses en la Universidad de Edimburgo para enfrentar desafíos como la semántica del dominio y la disponibilidad de estudios de Impacto Real. Se llevará a cabo una extensa búsqueda de modelos

---

predictivos antes de la elaboración definitiva de la versión de la herramienta para el país de destino.

Tendencias emergentes en la aplicación de IA en la EIA. Esta evolución ha llevado a la aparición de tendencias que están afectando los objetivos, enfoques y metodologías de las AAI en general y los modelos actuales de EIA en particular. Tales limitaciones de los métodos e instrumentos de apoyo al proceso de la EIA erosionan su efectividad en la prevención de impactos negativos sobre el medio ambiente.

Desde principios de los 90, se ha explorado el potencial de la Inteligencia Artificial (IA) para simular el comportamiento del medio ambiente y mejorar la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA). Los esfuerzos se centran en mejorar los Informes de Impacto Ambiental (EIS), pero se presta menos atención a otros aspectos de la EIA, como el cambio constante en las variables ambientales y la proliferación de infraestructuras regionales.

Necesidades de investigación futura. Es necesario unificar y considerar la incertidumbre en la predicción de impactos futuros. Las herramientas de IA no garantizan la precisión. Es prioritario desarrollar modelos que aborden esta problemática y establecer técnicas para determinar la incertidumbre en las predicciones. Hay un vacío en la predicción y minimización de la incertidumbre en los sistemas. La incorporación del razonamiento experto en la evaluación del impacto ambiental no está formalizada. Los sistemas de soporte a las decisiones técnicas pueden beneficiarse de herramientas de gestión del conocimiento y la incertidumbre.

El trabajo previo sugiere que la IA podría mejorar la evaluación del impacto ambiental, pero hay carencias en su uso. Estas carencias deben estimular la investigación futura. En la lista siguiente se identifican problemáticas esenciales para la investigación futura en este campo.

## **CONCLUSIONES**

Esta técnica permite combinar múltiples criterios de forma simultánea, sin limitar su número, manteniendo el poder de decisión en manos del personal dedicado a la evaluación de impactos ambientales. Introduciendo inteligencia artificial, se dispone de una fuente de documentación manual que se desarrolla paralelamente al proceso, acortando los plazos dedicados a dicha tarea.

La inteligencia artificial ha integrado criterios de evaluación de impactos ambientales en programas software, pero esto no eliminará la necesidad de la evaluación manual.

Resumen de los hallazgos clave. A pesar de la evolución reciente, se requiere mantener una actitud crítica en la toma de decisiones basada en un único PIA para maximizar los resultados y ofrecer garantías y fiabilidad. Los manuales de PIA nacional e internacional ofrecen recomendaciones para la búsqueda extensa de datos, los indicadores a estudiar y las escalas de medición de impactos, dejando amplias posibilidades en la elección de la técnica y la toma de decisiones. Cada PIA incluye impactos y evaluaciones específicas. El conocimiento verde y sostenible se presenta desde el enfoque de educar e informar, pero con costes medioambientales, sociales y económicos engañosos. Sin embargo, se promueven alternativas verdes que favorecen la sostenibilidad, destacando medidas a implementar. Ejemplos incluyen estudios sobre balance energético, ahorro de recursos y sistemas de agua de tormenta en infraestructuras verdes, así como estudios comparativos detallados sobre diferentes localizaciones de instalaciones.

Importancia de la IA en la EIA. El estudio del comportamiento humano está vinculado a las actividades que realiza, el medio ambiente y las consecuencias en los asentamientos. El análisis del riesgo es crucial para la toma de decisiones en los Planes de Acción del Programa de Seguimiento y Vigilancia de la Calidad Ambiental. Se establece un protocolo de actuación para las instalaciones de riesgo identificadas.

Tal y como se ha visto en este estado del arte, la EIA de proyectos de ingeniería civil abarca diversos campos, ya que las empresas de esta envergadura suelen contar con ingenieros especializados. La IA puede aplicarse en la redacción de informes, publicación de resultados y selección de impactos. Las técnicas AM también son aplicables según el Manual EIA-EO.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caballero, William, Inés Alegre, Jaume Armengou, and Antonio Aguado. 2019. "Self-Construction in Informal Settlements: A Multiple-Criteria Decision-Making Method for Assessing Sustainability of Floor Slabs in Bucaramanga, Colombia." *Journal of Housing and the Built Environment* 34(1):195–217. doi: <https://doi.org/10.1007/s10901-018-9606-5>.
- Cárceles, Belén, Víctor Durán, Miguel Soriano, Iván García, Baltasar Gálvez, and Simón Cuadros. 2022. "Conservation Agriculture as a Sustainable System for Soil Health: A Review." *Soil Systems* 6(4):1–37. doi: 10.3390/soilsystems6040087.
- Cea, Antonio Aguado De. 2019. "Análisis de Valor En La Toma de Decisiones Aplicado a Carreteras."

- Delgado, Manuel, David Eldridge, Yu Liu, Blessing Sokoya, Jun Wang, Hang Hu, Ji He, Felipe Bastida, José Moreno, Adebola Bamigboye, José Blanco, Concha Cano, Javier Illán, Thulani Makhalanyane, Christina Siebe, Pankaj Trivedi, Eli Zaady, Jay Verma, Ling Wang, Jianyong Wang, Tine Grebenc, Gabriel Peñaloza, Tina Nahberger, Alberto L. Teixido, Xin Quan Zhou, Miguel Berdugo, Jorge Duran, Alexandra Rodríguez, Xiaobing Zhou, Fernando Alfaro, Sebastian Abades, Cesar Plaza, Ana Rey, Brajesh Singh, Leho Tedersoo, and Noah Fierer. 2021. "Global Homogenization of the Structure and Function in the Soil Microbiome of Urban Greenspaces." *Science Advances* 7(28):1–14. doi: 10.1126/sciadv.abg5809.
- Edahbi, M., B. Plante, and M. Benzaazoua. 2019. "Environmental Challenges and Identification of the Knowledge Gaps Associated with REE Mine Wastes Management." *Journal of Cleaner Production* 212(1):1232–41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.228>.
- García, Eva, Laura Piedra, and Emilio Galdeano. 2018. "Eco-Innovation Measurement: A Review of Firm Performance Indicators." *Journal of Cleaner Production* 191(1):304–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.215>.
- González, Luis, and María Romero. 2018. "Comparacion de Impactos Ambientales Entre Las Alternativas De Corte - Relleno Y Viaducto , Para La Construcion de Carreteras Revicion de Un Caso de Estudio." *Revista de La Escuela Colombiana de Ingenieria* 109(1):21–30.
- Hosseinalizadeh, Ramin, Hamidreza Izadbakhsh, and Hamed Shakouri. 2021. "A Planning Model for Using Municipal Solid Waste Management Technologies- Considering Energy, Economic, and Environmental Impacts in Tehran-Iran." *Sustainable Cities and Society* 65(1):102566. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102566>.
- Jha, Urmila, and Fatemeh Khosravi. 2021. "Beyond 25 Years of EIA in India: Retrospection and Way Forward." *Environmental Impact Assessment Review* 87(1):106533. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106533>.
- Joksimovic, Srecko, Dirk Ifenthaler, Rebecca Marrone, Maarten De Laat, and George Siemens. 2023. "Opportunities of Artificial Intelligence for Supporting Complex Problem-Solving: Findings from a Scoping Review." *Computers and Education: Artificial Intelligence* 4(4):100138. doi: 10.1016/j.caeai.2023.100138.
- Knox, John, and Ramin Pejan. 2018. "The Human Right to a Healthy Environment." *The Human Right to a Healthy Environment* 16(1):1–290. doi:

---

10.1017/9781108367530.

- Koul, Bhupendra, Mohammad Yakoob, and Maulin Shah. 2022. "Agricultural Waste Management Strategies for Environmental Sustainability." *Environmental Research* 206(1):112285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112285>.
- León, Juan Diego. 2020. Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos de Desarrollo.
- Lizasoain, Esther, Irune Indacochea, Pablo Pascual, and Daniel Castro. 2019. "Environmental Impact Assessment of Induction-Heated Asphalt Mixtures." *Journal of Cleaner Production* 208(1):1546–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.223>.
- Llatas, Carmen, Rocío Quiñones, and Nuria Bizcocho. 2022. "Environmental Impact Assessment of Construction Waste Recycling versus Disposal Scenarios Using an LCA-BIM Tool during the Design Stage." *Recycling* 7(6). doi: [10.3390/recycling7060082](https://doi.org/10.3390/recycling7060082).
- Loomis, John, and Maurício Dzedzic. 2018. "Evaluating EIA Systems' Effectiveness: A State of the Art." *Environmental Impact Assessment Review* 68(1):29–37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.10.005>.
- Marrero, Madelyn, Maciej Wojtasiewicz, Alejandro Martínez, Jaime Solís, and M. Alba. 2020. "BIM-LCA Integration for the Environmental Impact Assessment of the Urbanization Process." *Sustainability (Switzerland)* 12(10):1–24. doi: [10.3390/su12104196](https://doi.org/10.3390/su12104196).
- Martínez, D., J. Martí, and V. Yepes. 2020. "Steel-Concrete Composite Bridges: Design, Life Cycle Assessment, Maintenance, and Decision-Making." *Advances in Civil Engineering* 2020(1):13. doi: [10.1155/2020/8823370](https://doi.org/10.1155/2020/8823370).
- Mian, Haroon, Guangji Hu, Kasun Hewage, Manuel Rodriguez, and Rehan Sadiq. 2023. "Drinking Water Management Strategies for Distribution Networks: An Integrated Performance Assessment Framework." *Journal of Environmental Management* 325(1):116537. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116537>.
- Montero-Vega, Fernando Steven, Carla Stephany Molina-Cedeño, Briyidt Maryeli Pillco-Herrera, Liliana Bárbara Sarduy-Pereira, and Karel Diéguez-Santana. 2020. "Evaluación Del Impacto Ambiental de La Construcción de Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Caso Río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador." *Ciencia, Ambiente y Clima* 3(1):23–39. doi: [10.22206/cac.2020.v3i1.pp23-39](https://doi.org/10.22206/cac.2020.v3i1.pp23-39).
- Papadopoulou, Elsa, and Themis Exarchos. 2022. "An Ethics Impact Assessment (EIA) for AI Uses in Health & Care: The Correlation of Ethics and Legal Aspects When
-

- 
- AI Systems Are Used in Health & Care Contexts.” Pp. 1–5 in Proceedings of the 12th Hellenic Conference on Artificial Intelligence.
- Riveros Vásquez, Jean, and Alex Sander Huaquisaca Ucharico. 2020. “Lineamientos Constructivos En Las Infraestructuras de Telecomunicaciones, Para Su Sostenibilidad Ambiental.” Universidad Ricardo Palma.
- Ruiz, Verónica, Santiago García, Mercedes Vélez, Ángel Sánchez, Antonio de Villar, and Francisco Contreras. 2021. “Learning from Hydrological and Hydrogeological Problems in Civil Engineering. Study of Reservoirs in Andalusia, Spain.” *Engineering Geology* 282(1):105916. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105916>.
- Sharif, Arshian, Sinem Kocak, Hafizah Khan, Gizem Uzuner, and Sunil Tiwari. 2023. “Demystifying the Links between Green Technology Innovation, Economic Growth, and Environmental Tax in ASEAN-6 Countries: The Dynamic Role of Green Energy and Green Investment.” *Gondwana Research* 115(1):98–106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.11.010>.
- Souviron, Jean, Geoffrey Van, and Ahmed Khan. 2019. “Analysing the Environmental Impact of Windows: A Review.” *Building and Environment* 161(1):106268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106268>.
- Suprayoga, Gede, Martha Bakker, Patrick Witte, and Tejo Spit. 2020. “A Systematic Review of Indicators to Assess the Sustainability of Road Infrastructure Projects.” *European Transport Research Review* 12(1):1–15. doi: <https://doi.org/10.1186/s12544-020-0400-6>.
- Syed, Abbas, Daniel Sierra, Anup Kumar, and Adel Elmaghraby. 2022. “Making Cities Smarter—Optimization Problems for the IoT Enabled Smart City Development: A Mapping of Applications, Objectives, Constraints.” *Sensors* 22(12):1–34. doi: [10.3390/s22124380](https://doi.org/10.3390/s22124380).
- Valtierra, José, and Honorato Vázquez. 2022. “La Vivienda Informal y Su Impacto Ambiental Desde La Sustentabilidad.” *Rinderesu* 6(1–2):184–201.
- Yao, Xinyue, Jia He, and Cunkuan Bao. 2020. “Public Participation Modes in China’s Environmental Impact Assessment Process: An Analytical Framework Based on Participation Extent and Conflict Level.” *Environmental Impact Assessment Review* 84(1):106400. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106400>.
- Zhang, Xuan, Megan Wasson, Mohsen Shayan, Ellan Berdichevsky, Joseph Ricardo, Zujhar Singh, Edgar Papazyan, Anthony Castro, Paola Marino, and Zvart Ajoyan.
-

---

2021. “A Historical Perspective on Porphyrin-Based Metal--Organic Frameworks and Their Applications.” *Coordination Chemistry Reviews* 429(1):213615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213615>.

Zhang, Yajie, Behrang Vand, and Simón Baldi. 2022. “A Review of Mathematical Models of Building Physics and Energy Technologies for Environmentally Friendly Integrated Energy Management Systems.” *Edificios* 12(2):238. doi: <https://doi.org/10.3390/buildings12020238>.

Zhang, Yiyuan, Hongren Gong, Xi Jiang, Xiuyuan Lv, Rui Xiao, and Baoshan Huang. 2021. “Environmental Impact Assessment of Pavement Road Bases with Reuse and Recycling Strategies: A Comparative Study on Geopolymer Stabilized Macadam and Conventional Alternatives.” *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 93(1):102749. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102749>.