



**Revisión bibliográfica sobre la inteligencia artificial (IA) y su aporte a la ingeniería estructural: avances, aplicaciones y desafíos futuros**

Jasmín Alejandra Zapata Vélez  
Dalton Morelly Guayara Roldan

Monografía presentada para optar al título de Especialistas en Análisis y Diseño de Estructuras

Asesor

Juan Carlos Vélez Cadavid, Doctor (PhD) en Ingeniería de materiales

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2024

---

Cita

(Zapata Vélez & Guayara Roldan, 2024)

---

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Zapata Vélez, J. A., & Guayara Roldan, D. M. (2024). *Revisión bibliográfica sobre la inteligencia artificial “ia” y su aporte a la ingeniería estructural: avances, aplicaciones y desafíos*. [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

---



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte 11



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

**Dedicatoria**

A Dios.

A nuestras familias.

A nuestros compañeros de estudio y amigos.

A la universidad de Antioquia.

## **Agradecimientos**

Al reflexionar sobre nuestro recorrido educativo en la Universidad de Antioquia, donde hemos sembramos las semillas de nuestro futuro, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la universidad por permitirnos hacer realidad un sueño más y por brindarnos la oportunidad de seguir forjando nuestro camino.

Este viaje de crecimiento profesional y personal no habría sido posible sin el apoyo incondicional de varias personas. En primer lugar, agradecemos a nuestras familias, quienes nos acompañan y alientan en cada paso que damos. Su amor y apoyo son el pilar que sostiene nuestras aspiraciones.

También agradecemos a Dios, que nos otorga la serenidad necesaria para enfrentar los retos y adversidades que se nos presentan a diario, recordándonos la importancia de trabajar con perseverancia por nuestro futuro.

Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a nuestros compañeros, amigos y seres queridos, quienes han estado a nuestro lado en cada etapa de este proceso tan significativo en nuestras vidas.

Un agradecimiento especial al docente Juan Carlos Vélez Cadavid, cuya orientación y apoyo constante han sido fundamentales para nuestro aprendizaje y crecimiento. Su compromiso y dedicación han dejado una huella imborrable en nuestro camino.

**Tabla de contenido**

Resumen .....	8
Abstract .....	9
Introducción .....	10
1 Justificación.....	12
2 Objetivos .....	13
2.1 Objetivo general .....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 Marco teórico .....	14
3.1 Ingeniería estructural.....	14
3.2 Sistemas computacionales en la ingeniera estructural .....	15
3.3 Inteligencia Computacional.....	16
3.4 Inteligencia Artificial (IA) .....	16
4 Metodología .....	21
5 Resultados .....	23
5.1 Gestión de la información .....	25
5.2 Análisis de la información.....	26
5.3 Aplicabilidad de la Inteligencia Artificial (IA) en la ingeniería estructural.....	29
6 Conclusiones .....	31
7 Recomendaciones.....	33
8 Referencias .....	34

**Lista de tablas**

**Tabla 1** Técnicas de inteligencia artificial (IA) aplicadas en el contexto de la ingeniería estructural. ....18

**Tabla 2** Redes de citas de autores en función del volumen de artículos .....28

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Etapas del proceso de diseño estructural .....	15
<b>Figura 2</b> Periferia de las metodologías computacionales inteligentes. ....	17
<b>Figura 3</b> Interrelación de diferentes técnicas computacionales.....	18
<b>Figura 4</b> Mapa de coocurrencia de palabras clave en artículos a lo largo de los años.....	20
<b>Figura 5</b> Diseño de investigación para el análisis de la revisión bibliográfica .....	22
<b>Figura 7</b> Nube de palabras claves de búsqueda bibliométrica .....	23
<b>Figura 6</b> Palabras claves de búsqueda bibliométrica.....	23
<b>Figura 9</b> Información por tipo de publicación.....	23
<b>Figura 8</b> Información por año de publicación .....	23
<b>Figura 10</b> Publicaciones de investigación sobre el uso de diferentes ramas de la IA en ingeniería estructural .....	24
<b>Figura 11</b> Gestión de la información mediante Zotero .....	25
<b>Figura 12</b> Mapa de coocurrencia de palabras clave .....	26
<b>Figura 13</b> Mapa de densidad de palabras clave.....	27
<b>Figura 14</b> Red de citas de autores de 10 artículos.....	28
<b>Figura 15</b> Red de citas de autores de 30 artículos.....	28
<b>Figura 16</b> Red de citas de autores de 100 artículos.....	28
<b>Figura 17</b> Red de citas de autores de 290 artículos.....	28

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre la inteligencia artificial (IA) en el campo de la ingeniería estructural. Se exploran las principales áreas del diseño estructural donde la IA aporta valor e importancia, tales como la automatización de diseños mediante Machine Learning, la integración de Building Information Modeling (BIM), la implementación de asistentes virtuales y las diferentes metodologías de IA existentes. Estas tecnologías emergentes están revolucionando la forma en que los profesionales mejoran la eficiencia y funcionalidad de las estructuras y los proyectos.

Además, se ilustran los avances y desafíos presentes en la adopción de la IA en este campo, debido a la resistencia al cambio, al desconocimiento de las nuevas tecnologías y la baja aceptabilidad por parte de los profesionales que aún desconocen el potencial de las IA's. Con esta revisión, se espera proporcionar un panorama integral fundamentado en investigaciones, que permita mostrar el potencial de la IA en la ingeniería estructural, así como enseñar una nueva metodología de abordaje del diseño y ejecución de proyectos civiles.

*Palabras clave:* Tecnologías Emergentes, Inteligencia Artificial (IA), Ingeniería Estructural, Automatización de Diseños, IA's en la construcción.



## **Abstract**

The objective of this work is to conduct a literature review on artificial intelligence (AI) in the field of structural engineering. It explores the main areas of structural design where AI adds value and significance, such as design automation through Machine Learning, the integration of Building Information Modeling (BIM), the implementation of virtual assistants, and the various existing AI methodologies. These emerging technologies are revolutionizing how professionals enhance the efficiency and functionality of structures and projects.

Additionally, the advances and challenges present in the adoption of AI in this field are illustrated, due to resistance to change, lack of knowledge about new technologies, and low acceptance by professionals who are still unaware of AI's potential. With this review, we aim to provide a comprehensive overview based on research, highlighting the potential of AI in structural engineering, as well as presenting a new methodology for approaching the design and execution of civil projects.

*Keywords:* Emerging Technologies, Artificial Intelligence (AI), Structural Engineering, Design Automation, AI in Construction.

## Introducción

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico, tanto a nivel nacional como mundial, ha generado una mayor necesidad de ingenieros civiles especializados en diseño estructural. Dado que el desarrollo de un país está generalmente ligado a la construcción, operación y mantenimiento de sus estructuras (De la colina & Ramírez, 2000), la concepción y ejecución de los proyectos actualmente se realizan con metodologías tradicionales que no permiten seguir el ritmo de desarrollo de las sociedades. Esto conlleva impactos directos e indirectos a la sociedad, al medio ambiente y a la economía de las personas. Debido al crecimiento de profesionales especializados, se han buscado herramientas y software que permitan maximizar rendimientos y reducir procesos iterativos, tiempos y recursos en el diseño de los proyectos.

Como respuesta a esta necesidad, emergen metodologías innovadoras que revolucionan la industria al aprovechar los avances informáticos, como la inteligencia artificial (IA). En la última década, la IA ha surgido como una tecnología disruptiva en la ingeniería estructural, dinamizando el diseño estructural al procesar la información de manera sistemática y eficaz (Salehi & Burgueño, 2018). La sinergia entre la inteligencia artificial y la ingeniería estructural ha permitido el desarrollo de metodologías y modelos innovadores que reducen el tiempo, el esfuerzo y las variables de falla de los proyectos. Esto se logra mediante la incorporación de sistemas como el machine learning, el aprendizaje profundo de redes neuronales, el procesamiento de lenguaje natural y el análisis de imágenes, entre otros, que permiten procesar la información de manera más objetiva, precisa y eficiente.

En relación con lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tiene como objetivo llevar a cabo una revisión de la literatura científica en diversas bases de datos, con el fin de identificar la información disponible en publicaciones sobre el aporte de la IA en la ingeniería estructural. Esto incluye su evolución desde sus inicios en la ingeniería civil, su desarrollo y aplicabilidad en los diferentes campos civiles y sus desafíos futuros. Según Reich (1997), las técnicas de aprendizaje automático pueden verse no solo como herramientas de generación de conocimiento, sino también, de manera más general, como herramientas de análisis de datos o modelado de información, similares a las técnicas estadísticas tradicionales. Las IA's se destacan por su eficacia en el procesamiento de datos y su eficiencia en la optimización de los procesos, ofreciendo soluciones novedosas mediante el uso de métodos y algoritmos capaces de aprender y evolucionar

con el tiempo, lo que permite afrontar las problemáticas de altos recursos computacionales, así como tiempos y costos elevados de los proyectos.

Finalmente, se propone estudiar las metodologías que actualmente tienen mayor auge y aceptación entre los profesionales como herramientas y métodos de implementación para la solución de los problemas y procesos en la ejecución de los diseños estructurales, en concordancia a la normativa nacional e internacional que rige las actividades de los profesionales y que enmarcan el diseño de los proyectos. En función a lo anterior, se genera la pregunta base de la revisión bibliográfica de la presente investigación: ¿Que aporte, en términos de aplicabilidad y utilidad, tienen las IA's a la ingeniera estructural?.

## 1 Justificación

El crecimiento urbano es algo innegable. Actualmente, según reporte del Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Hábitat), más del 50% de la población mundial está asentada en centros poblados como ciudades y pueblos. Se estima que esta proporción aumentará al 70% para el año 2050, lo que resalta la estrecha vinculación entre la urbanización y el desarrollo humano (Mohd Sharif, 2022). Para lograr este objetivo, es crucial implementar políticas de desarrollo urbanístico junto con metodologías de ejecución de proyectos civiles que permitan el ordenamiento y una mayor eficacia en el desarrollo de los proyectos.

En este contexto, se genera una creciente demanda de profesionales en ingeniería civil, quienes deben poseer un sólido conocimiento de los principios técnicos estandarizados en diseño y construcción civil para enfrentar de manera efectiva los desafíos del desarrollo urbano y social. Estos profesionales deben dominar las metodologías tradicionales, así como adoptar métodos innovadores que optimicen el uso de recursos, reduzcan costos y garanticen el cumplimiento de los plazos establecidos en los proyectos. El desarrollo informático ha demostrado ser un catalizador en la ejecución de proyectos estructurales, permitiendo abordar de manera más eficiente problemas recurrentes como los retrasos, los errores en el análisis de datos y las inconsistencias en la concepción de los proyectos.

Estos avances tecnológicos, especialmente en el ámbito de la inteligencia artificial (IA), son el motor y eje central que impulsa la presente investigación. Esta no solo busca identificar la contribución de la IA en el campo del diseño estructural, sino también explorar cómo sus aportaciones innovadoras están impulsando el progreso técnico e interdisciplinario en la ingeniería estructural. Además, se destaca el enorme potencial que ofrece la unificación de procesos en los proyectos mediante la integración de tecnologías como la IA. Con ello, se vislumbra un nuevo horizonte en la ingeniería estructural, un panorama que permite una sinergia entre la tecnología y la práctica ingenieril, prometiendo resultados más eficientes y sostenibles.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Realizar una revisión literaria sobre la contribución, alcance y futuro latente de la inteligencia artificial en la ingeniería estructural.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Definir la inteligencia artificial, identificando y clasificando sus tipos y ramas para proporcionar un marco de comprensión y aplicación.
- Realizar una recopilación de investigaciones sobre la implementación y tendencias emergentes de la inteligencia artificial en la ingeniería estructural.
- Realizar un análisis metodológico de la literatura científica sobre la aplicación de la inteligencia artificial en la ingeniería civil, con enfoque en el diseño estructural.

### **3 Marco teórico**

Es crucial adoptar tendencias de desarrollo de diversos ámbitos - sociales, económicos y tecnológicos - que permitan llevar a cabo proyectos de manera sostenible. En el campo de la ingeniería estructural, es esencial fomentar prácticas innovadoras e implementar tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA), que tiene las bases y el potencial para transformar y proyectar las metodologías y estrategias de desarrollo de los proyectos. La IA puede revolucionar el sector al proporcionar herramientas más precisas y dinámicas para el análisis de datos, la predicción del comportamiento estructural y la optimización del diseño, adaptando así una nueva forma de planificar y ejecutar los proyectos de acuerdo con las necesidades actuales de las sociedades.

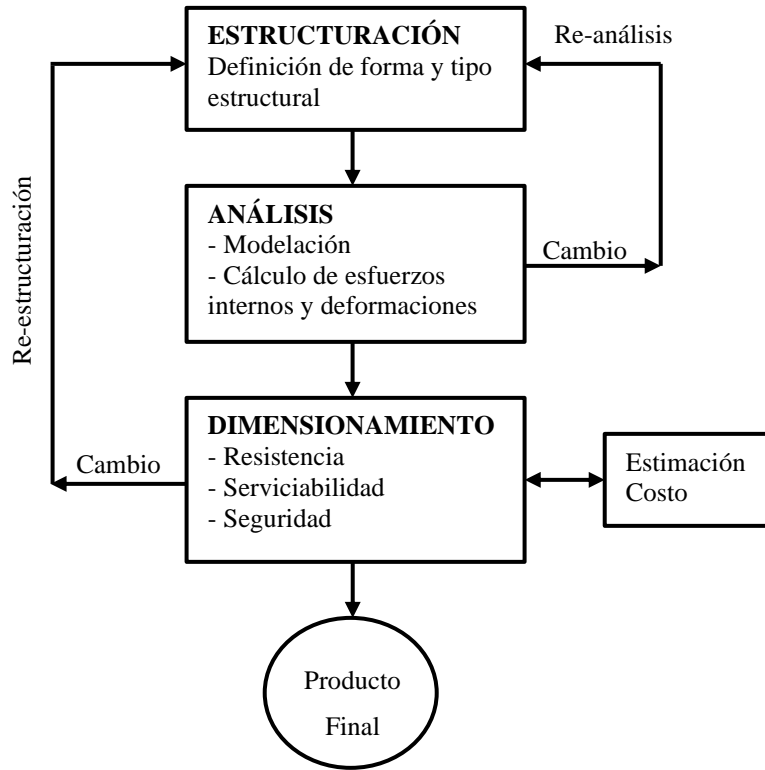
#### **3.1 Ingeniería estructural**

El objetivo final del diseño estructural es proveer una estructura segura y económica para satisfacer una necesidad específica (Ridell & Hidalgo, 2018). Este proceso considera una variedad de factores, incluyendo aspectos económicos, arquitectónicos, ambientales, sociales y tecnológicos, para desarrollar soluciones óptimas adaptadas a las necesidades del proyecto. Un proyecto se integra en las siguientes etapas: identificación de necesidad, anteproyecto (revisión de viabilidad, estudios previos, especificaciones preliminares, entre otros), proyecto (desarrollo detallado del proyecto y las especificaciones necesarias para este) y ejecución.

En ingeniería estructural, los proyectos se estructuran bajo una concepción general que contempla diversas variables de trabajo, tales como: dimensiones estructurales, recursos físicos, económicos o arquitectónicos, que son cambiantes en función a la necesidad y alcance de cada proyecto. Esto implica disponer de una amplia gama de alternativas en la forma de la estructura, las capacidades de los elementos estructurales y las solicitaciones derivadas al entorno circundante. Para esto, es necesario disponer de datos precisos para proceder con el dimensionamiento y análisis de la resistencia de la estructura, mediante procesos iterativos de cálculos que conduce a una solución más exacta en relación con los datos dados, como se evidencia en la Figura 1.

**Figura 1**

*Etapas del proceso de diseño estructural*



*Nota.* Fuente (Ridell & Hidalgo, 2018).

### 3.2 Sistemas computacionales en la ingeniería estructural

La tecnología y el crecimiento informático se han convertido en el motor y eje central del desarrollo de la ingeniería, particularmente la ingeniería estructural. La diversificación y mejora técnica de los programas y equipos informáticos genera un impacto significativo en la disponibilidad, el costo y el procesamiento de datos y cálculos, lo cual resulta fundamental en las diferentes etapas de diseño de los proyectos (Kicinger et al., 2005).

La metodología implementada por la humanidad a lo largo de muchos milenios para resolver problemas estructurales sin hacer uso de herramientas analíticas, se basaba en la experimentación y la analogía (Reboredo, 2016). Aunque este enfoque era efectivo en su tiempo, no permitía la precisión y eficacia requeridas en la actualidad. Hoy en día, el diseño estructural es un proceso que integra diversas especialidades, como la arquitectura, la ingeniería y la topografía,

entre otras. Para lograr una coordinación efectiva que facilite la integración y sincronización entre las distintas disciplinas, es indispensable contar con elementos computacionales avanzados. Estos elementos permiten una comunicación detallada y exhaustiva que abarca todos los aspectos del proyecto.

### **3.3 Inteligencia Computacional**

A lo largo de los años, la humanidad ha mantenido el interés constante en la creación de máquinas y sistemas inteligentes que imiten el comportamiento de los seres vivos. Esto ha llevado a la integración de diferentes sistemas y métodos para lograr una representación más exacta y completa del comportamiento. La incertidumbre y la variabilidad de los sistemas no lineales, no deterministas y de difícil adaptabilidad han impulsado el desarrollo de procesos que satisfagan criterios más complejos y avanzados, manteniendo la sinergia de las variaciones que se presentan bajo diferentes condiciones cambiantes.

Los paradigmas de la inteligencia computacional tienen sus raíces en el siglo XX, con el auge en el desarrollo de métodos algorítmicos diseñados para procesar información a partir de datos de entrada alineados con parámetros definidos. Este enfoque ha evolucionado con el avance de la informática, proyectándose hacia metodologías que aborden procesos complejos, difícilmente representables matemáticamente y que presentan características no lineales, incompletas o estocásticas (Siddique & Adeli, 2013). Entre las metodologías más innovadoras destaca la inteligencia artificial (IA), la cual se distingue por su capacidad para mejorar la eficacia en el procesamiento de datos y la eficiencia en optimización de los procesos, ofreciendo soluciones disruptivas mediante el uso de métodos y algoritmos capaces de aprender y evolucionar con el tiempo.

### **3.4 Inteligencia Artificial (IA)**

La inteligencia artificial (IA) se define como la capacidad de las máquinas para emular la inteligencia de los seres vivos mediante patrones de datos, tanto definidos como no definidos, para realizar diversas tareas. La IA se clasifica según varios criterios – funcionalidad, complejidad y aplicabilidad –, y comprende diferentes metodologías que abarcan una amplia gama de técnicas y

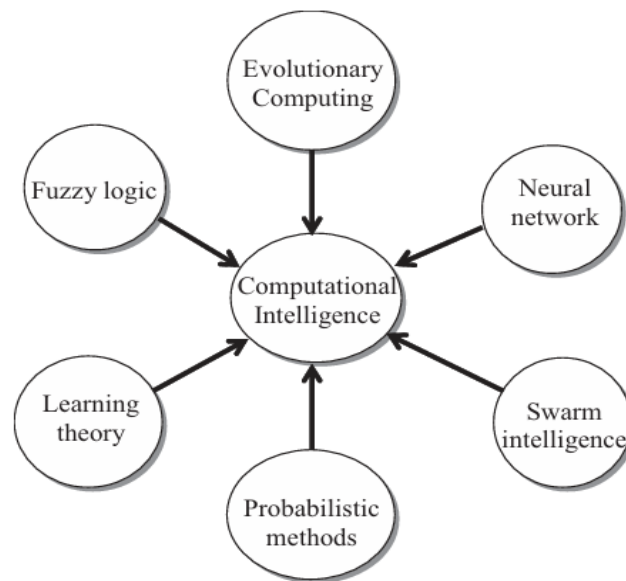


aplicaciones. Entre las metodologías más destacadas se encuentran el aprendizaje automático, el reconocimiento de patrones y el aprendizaje profundo. Cada metodología tiene sus propios métodos, algoritmos y aplicaciones específicas, lo que permite abordar una variedad de problemas complejos y proporcionar soluciones innovadoras.

Según Málaga (2022), las IA ostentan un potencial significativo debido a su capacidad para aprender, reconocer patrones en conjuntos de datos y desarrollar su propia codificación para considerar todos los escenarios potenciales del proceso. Además, Siddique & Adeli (2013) señalan que la IA es interdisciplinaria, combinando teorías y métodos de otras disciplinas, incluido el control adaptativo moderno, el control óptimo, la teoría del aprendizaje, el aprendizaje por refuerzo, la lógica difusa, las redes neuronales y la computación evolutiva, entre otras, como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2**

*Periferia de las metodologías computacionales inteligentes.*

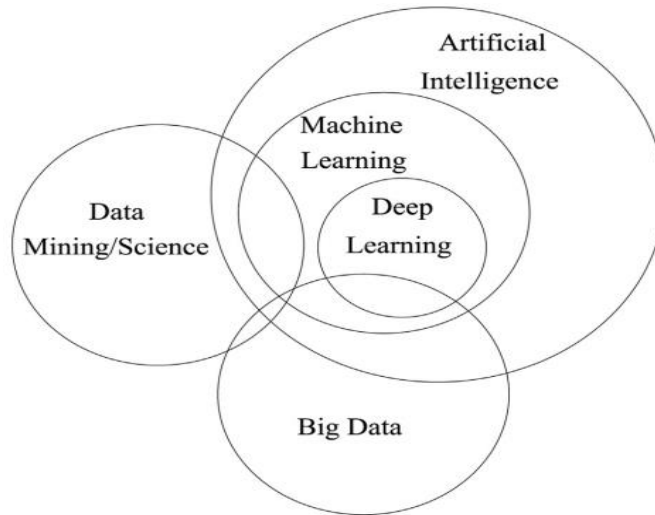


*Nota. Fuente (Siddique & Adeli, 2013).*

De manera similar, Salehi & Burgueño (2018) señalan que la IA en la ingeniería estructural se fundamenta principalmente en metodologías de aprendizaje automático (Machine Learning - ML), reconocimiento de patrones (Pattern Recognition – PR) y el aprendizaje profundo (Deep Learning – DL), así como su interrelación, como se evidencia en la Figura 3 y se profundiza en la Tabla 1.

**Figura 3**

*Interrelación de diferentes técnicas computacionales*



*Nota.* Fuente (Salehi & Burgueño, 2018).

**Tabla 1**

*Técnicas de inteligencia artificial (IA) aplicadas en el contexto de la ingeniería estructural.*

Técnica	Descripción	Aplicaciones en la ingeniería Estructural
<b>Machine Learning (ML)</b>	Este campo se enfoca en el estudio y desarrollo de algoritmos capaces de aprender a partir de los datos y realizar predicciones sin necesidad de una programación explícita. Estos modelos pueden ser predictivos o descriptivos, dependiendo de los datos disponibles (Salehi & Burgueño, 2018).	<p>Algunas de las principales aplicaciones incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagnóstico y detección de daños a través del análisis de datos de sensores, imágenes y vibraciones.</li> <li>• Monitoreo y mantenimiento preventivo mediante análisis de datos históricos.</li> <li>• Optimización de diseño mediante la mejora de configuraciones en términos de costo, tiempo, resistencia.</li> <li>• Evaluación de resistencias de materiales a través de la predicción de propiedades mecánicas, como resistencia, elasticidad y durabilidad.</li> <li>• Estimación de la vida útil de las estructuras utilizando datos operacionales y ambientales.</li> </ul>
<b>Pattern Recognition (PR)</b>	El objetivo principal es clasificar datos y objetos en diversas clases o categorías, que según las aplicaciones, pueden incluir imágenes, señales, escritura, voz o mediciones (Salehi & Burgueño, 2018).	<p>Algunas de las principales aplicaciones incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección y clasificación de datos para el reconocimiento de grietas y defectos estructurales mediante imágenes, sensores o escaneos.</li> <li>• Monitoreo de la salud estructural, identificando cambios en los patrones de vibración que puedan indicar fatiga de los</li> </ul>

Técnica	Descripción	Aplicaciones en la ingeniería Estructural
		<p>materiales, así como analizando los datos obtenidos de sensores instalados en las estructuras para detectar anomalías.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificación de materiales.</li> <li>• Predicción de respuestas estructurales e identificación de modos de fallas.</li> <li>• Monitoreo del progreso en la ejecución de los proyectos, identificando patrones que permitan evitar desviaciones o errores.</li> </ul>
<b>Artificial Neural Networks (RNA)</b>	<p>Herramienta computacional que pretende emular el proceso de trabajo de las neuronas del cerebro. Una RNA está constituida por: i) un conjunto de entradas y/o de salidas, ii) los pesos sinápticos, iii) la regla de propagación, iv) la función de activación y v) la función de salida (Zea et al., 2014)</p>	<p>Algunas de las principales aplicaciones incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Predicción del comportamiento estructural para evaluar el rendimiento y seguridad de las estructuras.</li> <li>• Optimización del diseño estructural, permitiendo encontrar configuraciones óptimas en términos de costo, tiempo y eficiencia computacional.</li> <li>• Monitoreo de salud estructural, analizando información proveniente de sensores que facilita el mantenimiento y reduce la probabilidad de fallos estructurales.</li> <li>• Reconocimiento de patrones en datos estructurales, identificando y clasificando patrones en grandes conjuntos de datos de acuerdo con criterios específicos.</li> </ul>
<b>Deep Learning (DL)</b>	<p>Métodos que aprenden representaciones de datos con múltiples niveles de abstracción mediante recomposición de múltiples capas de procesamiento (Lin et al., 2017).</p>	<p>Algunas de las principales aplicaciones incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño automatizado de estructuras, permitiendo la optimización y automatización del diseño.</li> <li>• Detección de daños y diagnóstico de estructuras, mediante el análisis de imágenes, señales y vibraciones capturadas por sensores en las estructuras.</li> <li>• Predicción del comportamiento estructural a través de modelamiento bajo diferentes condiciones de carga o condiciones ambientales, aplicable a sistemas simples o complejos.</li> <li>• Seguimiento y control de las estructuras, mediante el monitoreo en tiempo real de los datos generados por sensores y equipos integrados a la estructura.</li> </ul>
<b>Decision Trees</b>	<p>Modelo lógico representado como un árbol binario (división bidireccional) que muestra cómo puede variar el valor de una variable (Quijada-Alarcón &amp; González, 2012).</p>	<p>Algunas de las principales aplicaciones incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de riesgos, mediante el análisis de probabilidad de fallos bajo diversas condiciones.</li> <li>• Mantenimiento preventivo, identificando patrones para prever y evitar fallos.</li> <li>• Diseño estructural, seleccionando recursos, costos y datos de análisis de manera óptima.</li> </ul>

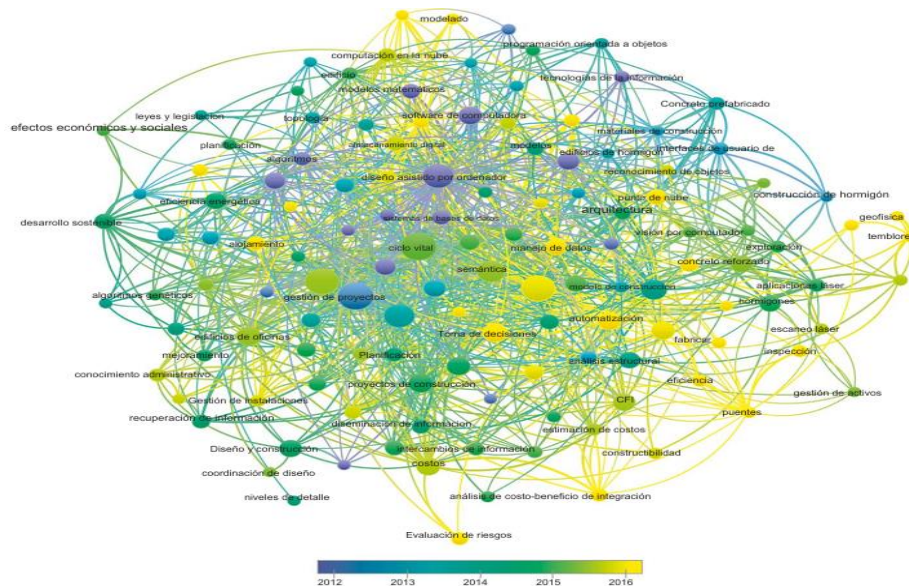
Técnica	Descripción	Aplicaciones en la ingeniería Estructural
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de carga, clasificando los diferentes tipos de cargas y evaluando su impacto en la estructura.</li> <li>• Optimización de costos, mejorando la comparación de estrategias, precios, tiempos, rendimientos, y procesos en la planificación de los proyectos.</li> </ul>

\* Se describen algunas metodologías y ramas de la inteligencia artificial (IA) que se utilizan en la ingeniería estructural. Para un detalle más exhaustivo en estas y otras metodologías, se recomienda consultar las referencias correspondientes.

Fuente. Propia.

Por último, Vilutiene et al. (2019) indican que el Building Information Modeling (BIM) es el enfoque metodológico más ampliamente utilizado por los profesionales estructurales que implementa IA para la gestión de la información de un proyecto. Su investigación se destacó en el análisis literario sobre el método BIM para identificar tendencias y patrones, como muestra en la Figura 4, donde se relacionan la coocurrencia de palabras clave usadas a lo largo de los años para la implementación del modelo BIM.

**Figura 4**  
Mapa de coocurrencia de palabras clave en artículos a lo largo de los años.



Nota. Fuente (Vilutiene et al., 2019).

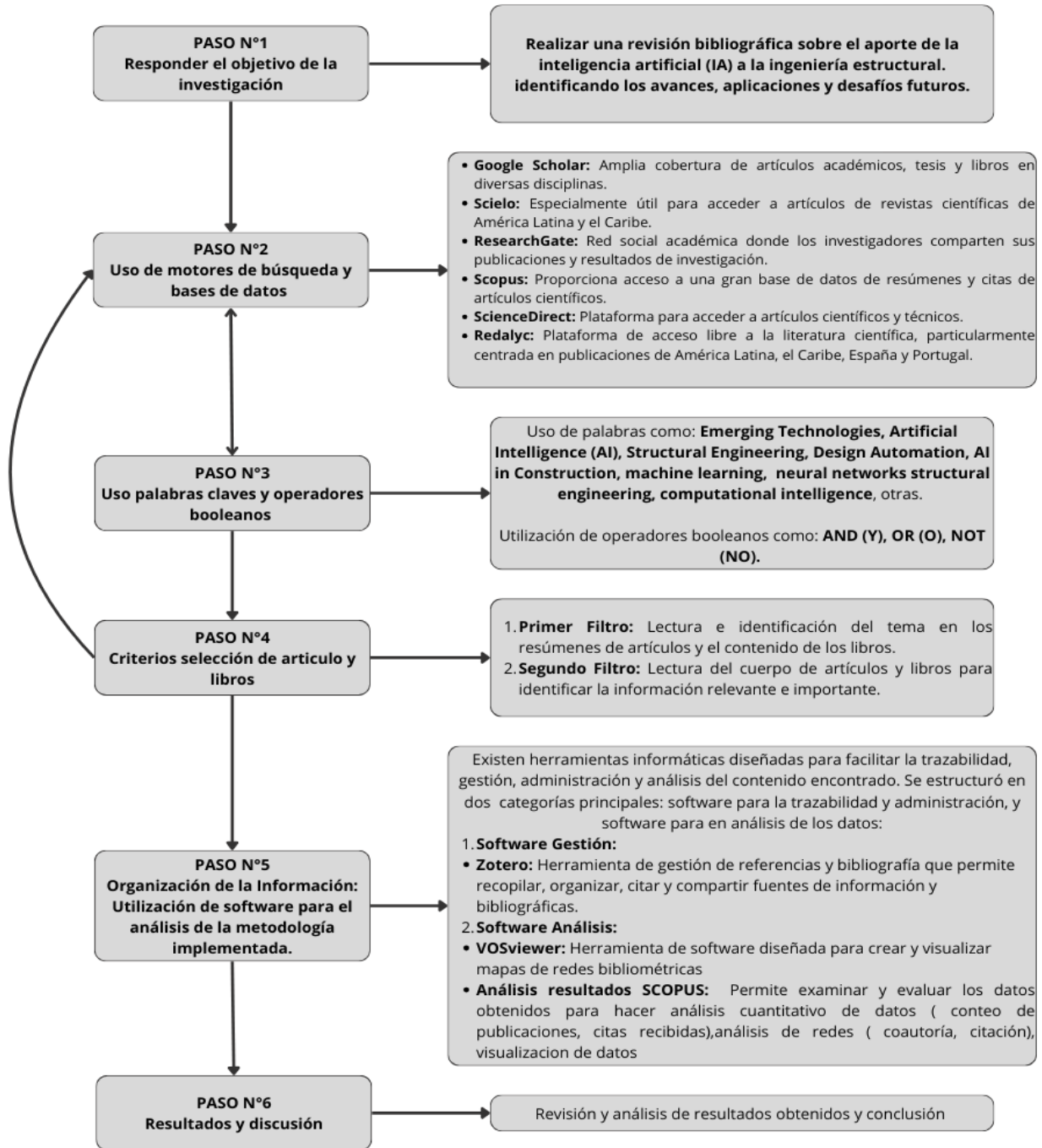
## **4 Metodología**

Para dar cumplimiento con los objetivos planteados en la revisión bibliográfica, se utilizó la metodología de análisis de contenido, para responder a la pregunta central: ¿Qué aporte, en términos de aplicabilidad y utilidad, tienen las IA's a la ingeniería estructural?. Esta metodología trabaja con la interpretación y organización de datos cualitativos y cuantitativos en diversos contextos, permitiendo inferir objetivamente los datos recopilados para obtener una comprensión integral y estructural del tema analizado.

La metodología se estructuró siguiendo los lineamientos planteados en la Figura 5. Se realiza un análisis cualitativo que permita mostrar las contribuciones de la IA en la ingeniería estructural, correlacionando la información encontrada para determinar un análisis más visual de los datos examinados.

**Figura 5**

*Diseño de investigación para el análisis de la revisión bibliográfica*



Nota. Fuente Propia.

## 5 Resultados

La búsqueda bibliométrica se centró en el objetivo de la revisión: “Conocer la contribución de la inteligencia artificial en la ingeniería estructural”. En las siguientes figuras se ilustran las palabras claves encontradas en los diferentes artículos y libros consultados, los cuales fueron buscados en diversas fuentes, como Elsevier, Scopus, ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, Google Scholar, entre otros. Además, la información seleccionada para la revisión se filtró según el área del tema, las palabras claves, la fecha de publicación y la coautoría de las publicaciones.

**Figura 7**

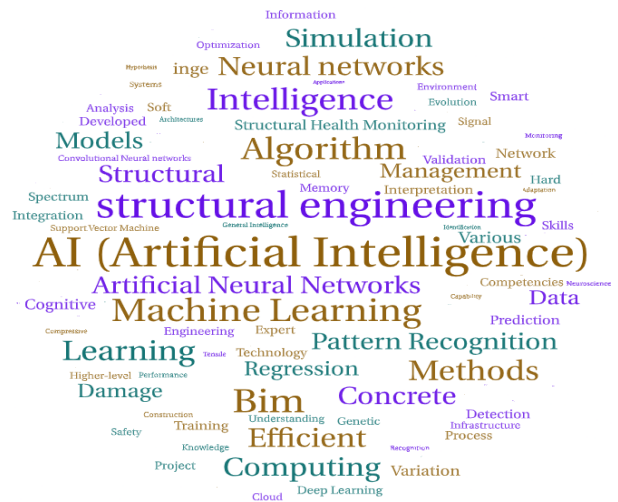
*Palabras claves de búsqueda bibliométrica*

Acoustic emission AGI **AI (Artificial Intelligence)**  
 AI challenges AI opportunities Analysis  
 artificial intelligence Artificial intelligence  
 Artificial Neural Networks Autoregressive models  
 Bayesian network big data BIM  
 Case-based reasoning Civil infrastructure  
 Civil structures cluster analysis cognitive science  
 Compressive Computing Concrete construction  
 Construction engineering and management  
 Construction industry crack classification  
 Critical review Damage classification  
 Damage detection Damage estimation  
 damage identification damage quantification Data  
 deep belief system Deep Learning deep learning  
 Detection Efficient Fracture mechanics frequency

Nota. Fuente Propia.

**Figura 6**

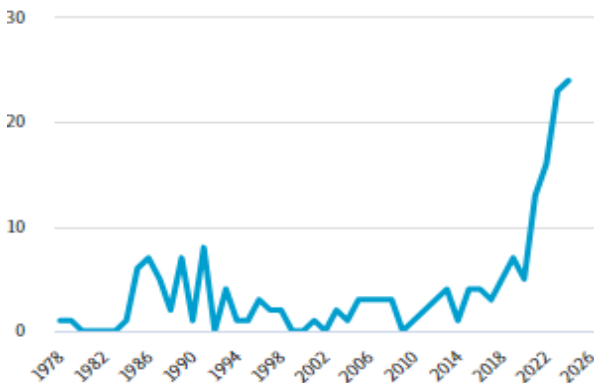
*Nube de palabras claves de búsqueda bibliométrica*



Nota. Fuente Propia.

**Figura 9**

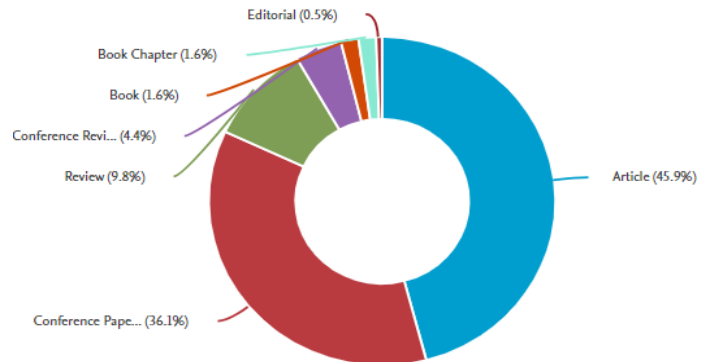
*Información por año de publicación*



Nota. Fuente Propia.

**Figura 8**

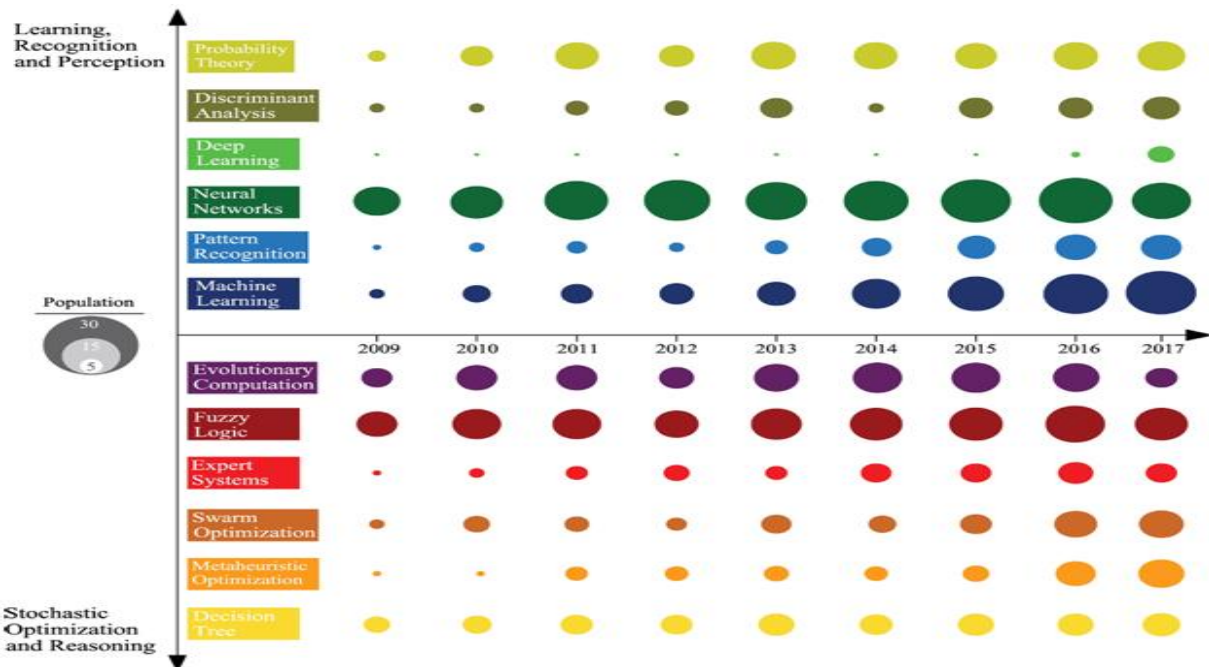
*Información por tipo de publicación*



Nota. Fuente Propia.

El número de publicaciones sobre la contribución y alcance de la IA en la ingeniería estructural ha aumentado en los últimos años. Salehi & Burgueño (2018), argumentan que las IA tienen la capacidad de abordar problemas de incertidumbre relacionados con el diseño, el análisis de datos, el monitoreo de condiciones y estados de las estructuras mediante mapeo y revisión de imágenes, así como el análisis histórico de datos obtenidos mediante metodologías tradicionales como sensores, la gestión de la ejecución y la toma de decisiones, entre otros. Estos problemas requieren un alto grado de capacidad computacional y análisis para resolver cálculos matemáticos, físicos y mecánicos. Entre las ramas de la IA más relevantes en la ingeniería estructural, se encuentran: machine learning (ML), pattern recognition (PR), neural networks, fuzzy logic, evolutionary computation, deep learning (DL), expert systems, probability theory, discriminant analysis, swarm optimization, metaheuristic optimization, y decision trees, como se plasma en la Figura 10.

**Figura 10**  
Publicaciones de investigación sobre el uso de diferentes ramas de la IA en ingeniería estructural



Nota. Fuente (Salehi & Burgueño, 2018).

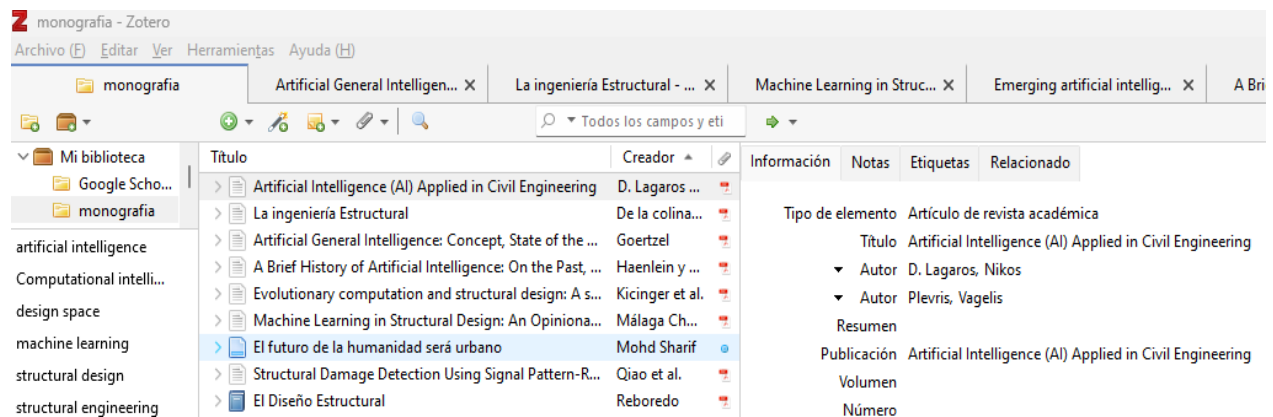


Como se puede observar, la aplicación de diferentes ramas y metodologías de IA en la ingeniería estructural varía según la utilidad del proceso o actividad en curso. Este enfoque permite adaptar soluciones específicas a las necesidades particulares de cada proyecto. En este contexto, la consulta bibliométrica sobre la IA en la ingeniería estructural proporciona una visión integral de las tendencias y avances en el campo, convirtiéndose en una herramienta crucial para orientar futuras investigaciones.

### 5.1 Gestión de la información

Utilizando el software Zotero, que permite recopilar, organizar, anotar, citar y compartir investigaciones, así como colaborar en la coescritura del material trabajado (Zotero, 2014), se logra abordar la problemática existente de la citación y referencias en investigaciones; un desafío que afecta a muchos profesionales. Este es un ejemplo claro de cómo la tecnología puede enfrentar y superar las dificultades en el ámbito de la investigación mediante diversas herramientas disponibles (Idri, 2015).

**Figura 11**  
*Gestión de la información mediante Zotero*

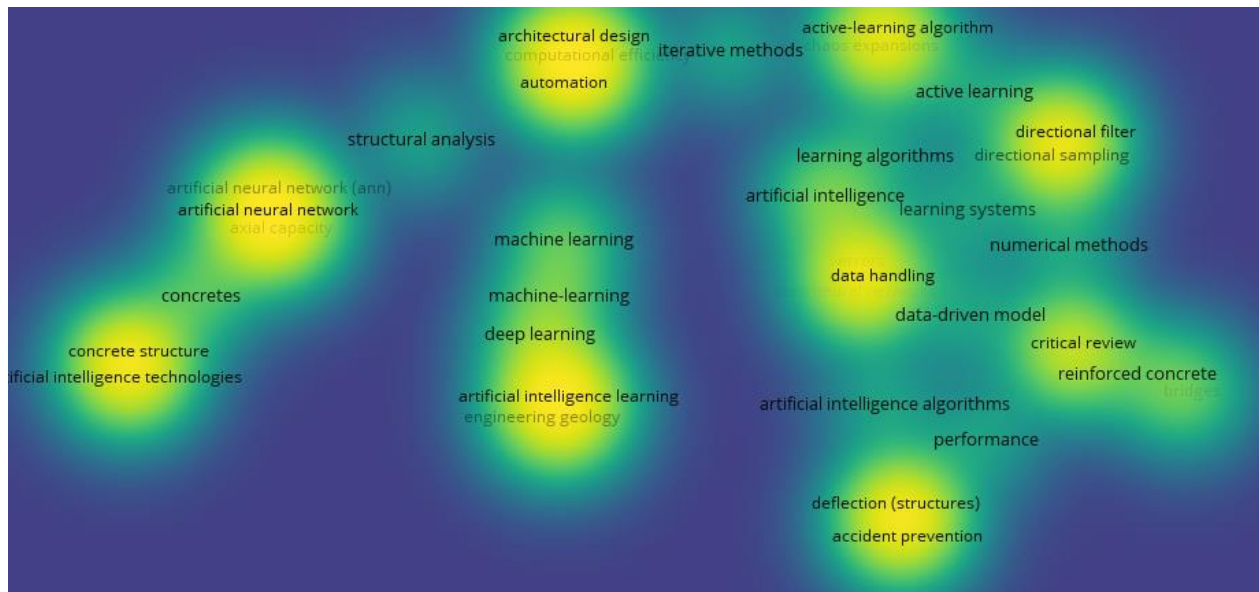


*Nota.* Fuente Propia.



**Figura 13**

*Mapa de densidad de palabras clave*



*Nota.* Fuente Propia.

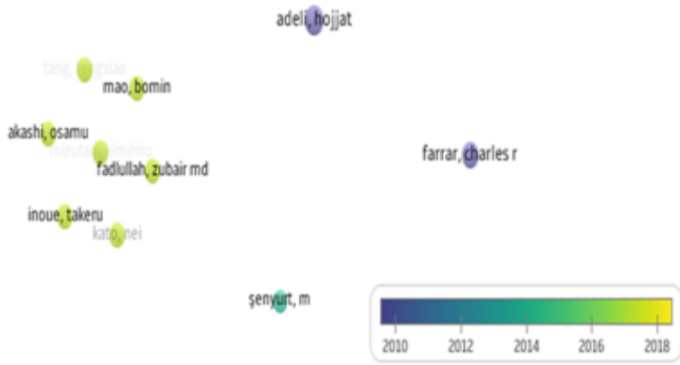
Como resultado del análisis de la información consultada, se realizaron mapeos de redes de citas de autores que mostraban interrelaciones en sus referencias y citaciones. En la Tabla 2 se presenta el análisis y desarrollo de cuatro redes de citas de autores con diferente número de publicaciones, las cuales correlacionan el total de vínculos de coautoría con otros investigadores, así como el año donde las investigaciones han tenido mayor cobertura del tema. Este análisis permite comprender el desarrollo y las conexiones entre las publicaciones e investigaciones consultadas. Asimismo, este enfoque facilita una comprensión más profunda del impacto de la IA en la ingeniería estructural, al resaltar como los temas abordados en las publicaciones existentes fomentan nuevas investigaciones, lo que impulsa el desarrollo de nuevas metodologías y ramas de la IA en beneficio de su implementación en la ingeniería estructural.

**Tabla 2**

*Redes de citas de autores en función del volumen de artículos*

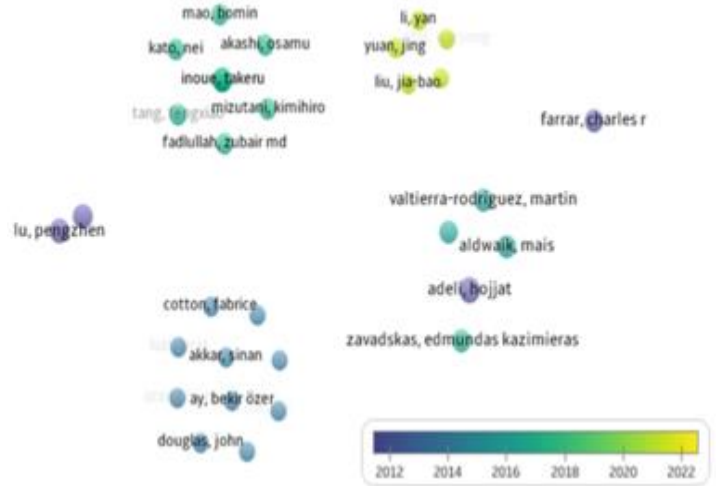
**Figura 14**

*Red de citas de autores de 10 artículos.*



**Figura 15**

*Red de citas de autores de 30 artículos.*

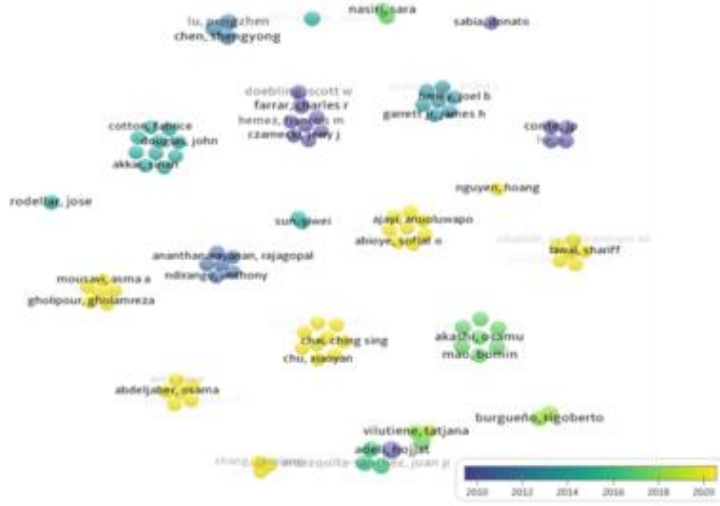


*Nota.* Fuente Propia.

*Nota.* Fuente Propia.

**Figura 16**

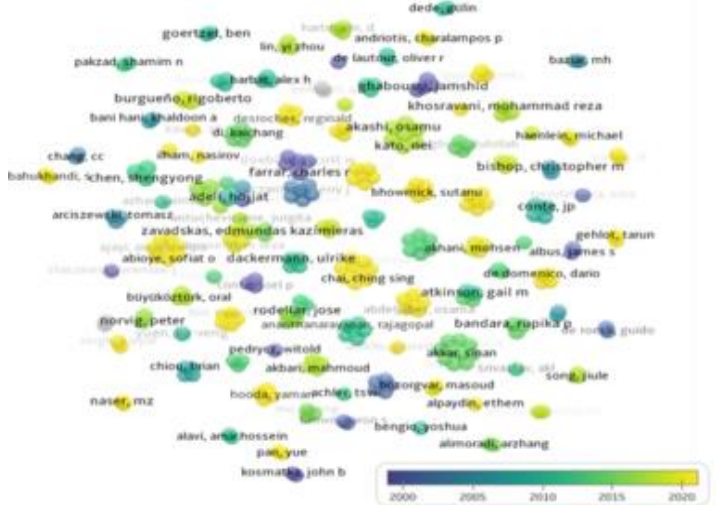
*Red de citas de autores de 100 artículos.*



*Nota.* Fuente Propia.

**Figura 17**

*Red de citas de autores de 290 artículos.*



*Nota.* Fuente Propia.

\* Los artículos fueron seleccionados siguiendo el criterio de “Palabras claves” de búsqueda bibliométrica de la Figura 7 y Figura 12.

*Fuente.* Propia.

### **5.3 Aplicabilidad de la Inteligencia Artificial (IA) en la ingeniería estructural**

La inteligencia artificial (IA) se proyecta hoy en día como unos de los mayores avances informáticos a nivel global. Diversos campos de estudio y áreas profesionales están incorporando las IA's a sus respectivos ámbitos, y la ingeniería estructural se encuentra a la vanguardia en esta implementación. En este ámbito, la IA está impulsando la automatización de diseños mediante algoritmos avanzados que incorporan aprendizaje supervisado, no supervisado y aprendizaje profundo. Estas tecnologías permiten optimizar el diseño de puentes y edificaciones, equilibrando de manera eficiente el costo y el rendimiento en la ejecución de los proyectos. Asimismo, la implementación de machine learning ha permitido modelar el comportamiento de los elementos estructurales frente a simulaciones sísmicas, utilizando datos históricos de sismos, lo que permite conocer y estudiar la respuesta sísmica de las estructuras.

Además, la IA se aplica en la ingeniería estructural de manera más amplia, abarcando diversos aspectos como la utilización de asistentes virtuales y la optimización de procesos. Estas metodologías ofrecen a los profesionales herramientas para realizar análisis más dinámicos del progreso de las obras, permitiendo la proyección de soluciones basadas en datos en tiempo real. Esto no solo permite la automatización de procesos repetitivos que suelen generar retrasos, sino que también mejora la precisión y reduce costos. Una de las implementaciones más versátiles radica en la integración de los diferentes profesionales que participan en los proyectos. Esta colaboración en tiempo real, desde el diseño hasta la ejecución, se materializa a través del Building Information Modeling (BIM), una metodología que simplifica la identificación y resolución de conflictos entre los sistemas estructurales, eléctricos, mecánicos e hidráulicos, entre otros.

La integración de la IA en la revisión y análisis del estado de las estructuras es una opción poderosa y viable. Lin et al. (2017), estudiaron el deterioro de las estructuras para evaluar el rendimiento y la seguridad, implementando técnicas de Deep Learning (DL) para extraer automáticamente características de bajo nivel de sensores y transformarlas en señales significativas y sensibles al daño, lo que permite identificar la ubicación de daños en la estructura. Según Qiao et al. (2008), los métodos para detectar daños estructurales se clasifican en dos categorías: la primera, basada en parámetros modales (como frecuencias resonantes, amortiguamiento modal, formas modales, etc.), y la segunda, basada en señales (que examinan los cambios en las características derivadas directamente de los historiales temporales medidos o sus espectros). En

este contexto, el uso de metodologías de IA permite reducir el ruido y las interferencias causadas por condiciones ambientales, brindando viabilidad en el monitoreo de la integridad estructural y el desempeño operativo.

De igual manera, es crucial buscar soluciones más integrales que las actuales. La metodología BIM se destaca como una de las herramientas más completas para estructurar proyectos, al integrar en un solo entorno diferentes modelos, disciplinas, frentes de trabajo, áreas de intervención, cronogramas y recursos. La implementación de asistentes de diseño inteligentes, como BIMBOT, que generan soluciones de diseño a través de modelos BIM optimizados, permite definir restricciones y prioridades de diseño. Impulsado por diferentes métodos de IA, BIMBOT facilita un entrenamiento continuo del algoritmo, mejorando así la eficiencia y precisión en futuros diseños (Frías et al., 2020).

Según Zea et al.(2014), las técnicas de IA más utilizadas en la ingeniería estructural incluyen los Algoritmos Genéticos (AG), las Redes Neuronales Artificiales (RNA), los Algoritmos Inteligentes de Enjambre(AIE) y los Algoritmos de Temple Simulado (ATS). Estas técnicas se han aplicado en el análisis de la normativa colombiana, como se muestra en su estudio, donde presentaron los resultados del uso de RNA para optimizar sesiones de vigas y columnas de concreto reforzado de 1 y 6 pisos, de acuerdo a los lineamientos de la NSR-10. En esta investigación, se empleó el modelo de RNA Perceptrón Multicapa (MLP en inglés), compuesto por capas de neuronas organizadas en capas de entrada, salida y ocultas. La capa de entrada recibe los datos a analizar, la capa de salida proporciona los resultados deseados, y las capas ocultas gestionan los parámetros de convergencia y entrenamiento del modelo. Esta metodología permite obtener diseños óptimos que sirven como guía para realizar predimensionamientos confiables, rápidos y sencillos, lo que contribuye a aligerar y reducir procesos repetitivos utilizados actualmente.

## 6 Conclusiones

Aunque el desarrollo informático se encuentra en cúspide, con la inteligencia artificial posicionándose como la mejor carta de presentación por su implementación en diversos campos laborales y educativos, persisten muchas preguntas sin respuestas que generan inquietud sobre su alcance, control, seguridad y funcionalidad. El avance multifacético de la IA en múltiples áreas, sumado a su rápida evolución, puede conducir a malas prácticas en la aplicación de sus funcionalidades por parte de los profesionales que hacen uso de estas. Es evidente que este avance está acompañado de un grado de incertidumbre y preguntas que se van resolviendo con el tiempo y mediante investigaciones que impulsan la búsqueda constante de respuestas más idóneas y sensatas de las cosas, a través de nuevos estudios y desarrollos.

Este mismo principio ha regido el avance de la ingeniería civil, y específicamente de la ingeniería estructural, donde el entendimiento de la naturaleza y el comportamiento de las estructuras se reflejan en modelos, métodos, cálculos e hipótesis que intentan representar su funcionamiento. Es en este contexto que el desarrollo, especialmente en el ámbito informático y con enfoque particular en las IA, se convierte en un recurso revolucionario para los profesionales estructurales que trabajan constantemente en solventar los grandes retos que se presentan a la sociedad.

Las metodologías de las IA descritas en esta revisión literaria demuestran la contribución, el alcance y el potencial futuro de estos avances informáticos en los procesos llevados a cabo en la ingeniería estructural. Es crucial reconocer que la concepción, estructuración y ejecución de un diseño estructural es un proceso complejo que involucra a diversos profesionales y varios aspectos políticos, ambientales, económicos, sociales, entre otros. En este contexto, la implementación de la IA debe considerarse como una herramienta adicional que ofrece grandes beneficios en el procesamiento de datos, el análisis de resultados, la gestión de tiempos y recursos. Sin embargo, también es fundamental comprender la complejidad inherente que conlleva realizar un diseño estructural que respete los principios de la física y el comportamiento de los materiales y elementos que componen las estructuras, así como las normativas y reglamentos nacionales e internacionales que se deben cumplir para garantizar estructuras seguras.

Más que simplemente enumerar las investigaciones y aplicaciones de la IA en la ingeniería estructural, el objetivo de esta revisión es incentivar la investigación y el desarrollo de estas nuevas

tecnologías emergentes. Se busca establecer un hilo conductor que oriente a futuras investigaciones, proporcionando una base sólida basada en los desarrollos y resultados obtenidos en investigaciones anteriores, que contribuyan a mejorar los avances en el campo, y en última instancia mejorar el proceso de diseño de estructuras civiles.



## 7 Recomendaciones

Para avanzar en la comprensión del aporte y futuro de la inteligencia artificial (IA) en la ingeniería estructural, es esencial llevar a cabo casos de estudios que profundicen en la implementación de las diversas metodologías y algoritmos desarrollados para abordar problemáticas específicas en la ingeniería estructural. Estas investigaciones deben garantizar y estar focalizadas en el cumplimiento de las normativas vigentes de seguridad y confiabilidad, como la Norma Sismo Resistente (NSR-10), las American Society for Testing and Materials (ASTM), las American Concrete Institute (ACI), las International Building Code (IBC), y otras normas pertinentes según el país, los materiales y la estructura diseñada.

Además, es crucial aplicar desarrollos informáticos, como la IA, en el estudio de estructuras que presenten patologías, así como en nuevos proyectos que permitan evaluar su aplicabilidad. Esto incluye su implementación en casos de estudios locales específicos, enfocándose en estructuras diseñadas y construidas que no cumplen con la normativa o que presentan problemas estructurales, con el objetivo de analizar los datos obtenidos en campo para identificar y comprender las vulnerabilidades presentes en dichas estructuras. Esto tiene el objetivo de generar nuevas investigaciones que contribuyan al crecimiento de conocimiento, y al mismo tiempo, ofrecer un aporte social a las comunidades afectadas por prácticas civiles deficientes. La implementación de la IA permite optimizar recursos, tiempos y buscar soluciones, factores determinante en países en desarrollo como Colombia, donde aun se presentan casos de prácticas civiles inadecuadas y falta de supervisión por parte de las instituciones nacionales responsables.

Finalmente, es fundamental integrar diversos campos de formación académica para mejorar la comunicación global y la formulación de proyectos estructurales. Esto permitirá establecer una ruta de trabajo integrada que abarque aspectos clave como el componente social, la administración de recursos, el acompañamiento ambiental y la selección de materiales óptimos, asegurando una ejecución adecuada del diseño y de los proyectos. En este contexto, la implementación de herramientas informáticas, como la IA, se convierte en un pilar sólido para la adopción de buenas prácticas.

## 8 Referencias

- Cascella, M., Perri, F., Ottaiano, A., Cuomo, A., Wirz, S., & Coluccia, S. (2022). Trends in Research on Artificial Intelligence in Anesthesia: A VOSviewer -Based Bibliometric Analysis. *Inteligencia Artificial*, 25(70), Article 70. <https://doi.org/10.4114/intartif.vol25iss70pp126-137>
- De la colina, J., & Ramírez, H. (2000). *La ingeniería Estructural*. 7(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401812>
- Frías, C., Peña, J. M., Sánchez, É., & Almeida, L. (2020). BIMBOT-(Artificial intelligence applied to BIM design). *EGE-Expresión Gráfica En La Edificación*, 12, 45. <https://doi.org/10.4995/ege.2020.13942>
- Idri, N. (2015). *Zotero Software: A Means of Bibliographic Research and Data Organisation; Teaching Bibliographic Research* (SSRN Scholarly Paper 2843984). <https://doi.org/ISSN:2229-9327>
- Kicinger, R., Arciszewski, T., & Jong, K. D. (2005). Evolutionary computation and structural design: A survey of the state-of-the-art. *Computers & Structures*, 83(23–24), 1943–1978. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2005.03.002>
- Lin, Y., Nie, Z., & Ma, H. (2017). Structural damage detection with automatic feature-extraction through deep learning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(12), 1025–1046.
- Málaga Chuquitaype, C. (2022). Machine Learning in Structural Design: An Opinionated Review. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.815717>

- Mohd Sharif, M. (2022, noviembre 18). *El futuro de la humanidad será urbano*. ONU-Habitat - El futuro de la humanidad será urbano. <https://onu-habitat.org/index.php/el-futuro-de-la-humanidad-sera-urbano>
- Qiao, L., Esmaeily, A., & Melhem, H. G. (2008). Structural Damage Detection Using Signal Pattern-Recognition. *Key Engineering Materials*, 400–402, 465–470. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.400-402.465>
- Quijada-Alarcón, J., & González, N. (2012). *Investigación—Use of decision trees algorithm for the territorial logistic planning*. 3(2). [https://oa.upm.es/21299/1/INVE\\_MEM\\_2013\\_144531.pdf](https://oa.upm.es/21299/1/INVE_MEM_2013_144531.pdf)
- Reboredo, A. (2016). *El Diseño Estructural* (1a ed.). Diseño. [https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781643601267\\_A42058532/preview-9781643601267\\_A42058532.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781643601267_A42058532/preview-9781643601267_A42058532.pdf)
- Reich, Y. (1997). Machine Learning Techniques for Civil Engineering Problems. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 12(4), 295–310. <https://doi.org/10.1111/0885-9507.00065>
- Ridell, R., & Hidalgo, P. (2018). *Diseño estructural* (6a ed.). Ediciones UC.
- Salehi, H., & Burgueño, R. (2018). Emerging artificial intelligence methods in structural engineering. *Engineering Structures*, 171, 170–189. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.084>
- Siddique, N. H., & Adeli, H. (2013). *Computational intelligence: Synergies of fuzzy logic, neural networks, and evolutionary computing*. John Wiley & Sons.
- Vilutiene, T., Kalibatiene, D., Hosseini, M. R., Pellicer, E., & Zavadskas, E. K. (2019). Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering: A Bibliometric Analysis of the

Literature. *Advances in Civil Engineering*, 2019, 1–19.  
<https://doi.org/10.1155/2019/5290690>

Zea, J. A., Jerez, C. A. R., & Jerez, J. E. R. (2014). Optimization of beam and column sections for compliance drift of reinforced concrete buildings using Artificial Neural Networks. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 70, Article 70.  
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.16382>

Zotero. (2014, octubre). Zotero, Your personal research assistant. <https://www.zotero.org/>