



DOI: <https://doi.org/10.64230/sca.v1i2.9>

"Inteligencia Artificial Aplicada al Análisis Estructural: Un Enfoque Bibliométrico"

"Artificial Intelligence Applied to Structural Analysis: A Bibliometric Approach"

Rosa Pamela Taco-Hernández ¹

prtaco@utpl.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1669-4348>

Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL)

Correspondencia: prtaco@utpl.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 17 Febrero 2025

* **Aceptado:** 14 Marzo 2025

* **Publicado:** 22 Abril 2025

- I. Ingeniera Civil, Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Gestión de la Construcción, Especialista en Vías (c), Experiencia en Estudio Ejecución y Fiscalización de Obras Civiles Riobamba, Ecuador.

Resumen

El presente artículo analiza el estado del arte de la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en el análisis estructural dentro del ámbito de la ingeniería civil, desde un enfoque bibliométrico. La investigación se centra en identificar las tendencias, autores, instituciones, países y revistas con mayor impacto en esta intersección temática, evidenciando su evolución y áreas emergentes. El objetivo central consiste en mapear científicamente la producción académica relacionada con la integración de herramientas de IA —tales como redes neuronales, algoritmos genéticos y aprendizaje automático— en el modelado, diseño y evaluación de estructuras.

Desde una perspectiva teórica, el estudio se fundamenta en los enfoques computacionales de la ingeniería estructural y en las teorías de innovación tecnológica aplicadas a la ingeniería

civil. Conceptualmente, se destacan términos clave como “machine learning”, “optimización estructural”, “modelado predictivo”, “detección de daños” y “análisis no lineal”, los cuales representan nodos críticos en la red de co-ocurrencia de palabras clave.

La metodología empleada se basó en el análisis bibliométrico de publicaciones indexadas en las bases Scopus y Web of Science entre 2000 y 2024, utilizando técnicas de análisis de coautoría, co-citación y co-palabras mediante software especializado como VOSviewer y Bibliometrix.

Los resultados revelan un crecimiento exponencial de publicaciones a partir de 2016, siendo China, Estados Unidos e India los principales polos de producción científica. Se concluye que la IA se posiciona como un catalizador de innovación en el análisis estructural, con un alto potencial para la predicción precisa del comportamiento estructural y la optimización de procesos de diseño, lo cual representa un cambio de paradigma en la ingeniería estructural moderna.

Palabras claves: Inteligencia Artificial, Análisis Estructural, Aprendizaje Automático, Bibliometría, Ingeniería Civil.

Abstract

This article analyzes the state-of-the-art application of Artificial Intelligence (AI) in structural analysis within the field of civil engineering, using a bibliometric approach. The research focuses on identifying the trends, authors, institutions, countries, and journals with the greatest impact on this thematic intersection, highlighting its evolution and emerging areas. The central objective is to scientifically map the academic production related to the integration of AI tools—such as neural networks, genetic algorithms, and machine learning—in the modeling, design, and evaluation of structures.

From a theoretical perspective, the study is based on computational approaches to structural engineering and theories of technological innovation applied to civil engineering. Conceptually, key terms such as "machine learning," "structural optimization," "predictive modeling," "damage detection," and "nonlinear analysis" are highlighted, representing critical nodes in the keyword co-occurrence network. The methodology used was based on the bibliometric analysis of publications indexed in the Scopus and Web of Science databases

between 2000 and 2024, using co-authorship, co-citation and co-word analysis techniques using specialized software such as VOSviewer and Bibliometrix.

Keywords: Artificial Intelligence, Structural Analysis, Machine Learning, Bibliometrics, Civil Engineering.

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) ha emergido como un pilar transformador en múltiples disciplinas científicas y tecnológicas, introduciendo capacidades avanzadas de procesamiento, modelado predictivo y toma de decisiones autónomas. En el ámbito de la ingeniería estructural, su implementación ha generado un cambio paradigmático en la forma en que se analizan, diseñan y monitorean las estructuras civiles. Algoritmos como las redes neuronales artificiales, el aprendizaje profundo, los sistemas de lógica difusa y los métodos evolutivos, han demostrado una notable capacidad para resolver problemas complejos no lineales, donde los métodos tradicionales presentan limitaciones técnicas y operativas.

La convergencia entre IA y análisis estructural responde no solo a la necesidad de mayor eficiencia en la modelación y simulación de sistemas estructurales, sino también a la demanda creciente por estructuras resilientes, sostenibles y adaptadas a entornos inciertos. En este sentido, la IA ha permitido desarrollar enfoques innovadores para la detección temprana de fallos, la optimización topológica, la predicción del comportamiento ante cargas dinámicas, y el monitoreo estructural en tiempo real. Esta integración ha dado lugar a un campo emergente de investigación que requiere ser sistemáticamente comprendido desde una perspectiva académica y científica.

A pesar del creciente volumen de publicaciones que exploran esta temática, no se dispone de estudios bibliométricos integrales que permitan trazar las dinámicas de producción científica, identificar los autores e instituciones más influyentes, y mapear las tendencias temáticas más relevantes. Ante esta necesidad, el presente artículo tiene como propósito analizar el desarrollo científico de la Inteligencia Artificial aplicada al análisis estructural mediante una revisión bibliométrica de la literatura indexada en bases reconocidas. Esta aproximación permitirá no solo comprender el estado actual del conocimiento, sino también visualizar oportunidades

estratégicas para futuras investigaciones y colaboraciones interdisciplinarias en el sector de la ingeniería estructural.

Desarrollo

En los últimos cinco años, la convergencia entre Inteligencia Artificial (IA) y análisis estructural ha adquirido una relevancia estratégica en la ingeniería civil, promoviendo avances significativos en la optimización del diseño, el monitoreo estructural y la predicción del comportamiento frente a cargas dinámicas. Esta tendencia ha sido evidenciada en estudios recientes que destacan tanto el crecimiento exponencial de publicaciones científicas como la diversificación de enfoques metodológicos.

El Artículo 1 (Zhang et al., 2021) realizó una revisión sistemática centrada en la aplicación de redes neuronales profundas en la predicción del comportamiento no lineal de estructuras sometidas a cargas sísmicas. Los autores destacan que los modelos basados en aprendizaje profundo superan a los enfoques tradicionales en precisión y capacidad de generalización, especialmente en estructuras complejas donde las relaciones entre variables son altamente no lineales. Asimismo, identifican una creciente colaboración interinstitucional entre universidades asiáticas y europeas.

Por su parte, el Artículo 2 (Gupta & Kumar, 2022) aplicó técnicas bibliométricas para mapear la evolución del uso de algoritmos de optimización en el diseño estructural asistido por IA. Utilizando VOSviewer y datos de Scopus, el estudio reveló un incremento significativo de publicaciones a partir de 2018, siendo China, Estados Unidos y la India los países líderes en producción científica. Entre los algoritmos más estudiados figuran los genéticos, las colonias de hormigas y los métodos basados en enjambres de partículas.

El Artículo 3 (Martínez et al., 2023) abordó el papel de la IA en la detección de daños estructurales a través de análisis de vibraciones y señales ultrasónicas, integrando sensores inteligentes y técnicas de machine learning. El estudio concluyó que los modelos de clasificación supervisada, como los SVM y los árboles de decisión, ofrecen resultados prometedores en entornos reales, particularmente cuando se combinan con arquitecturas IoT para el monitoreo en tiempo real.

En conjunto, estos trabajos evidencian un campo en plena expansión, con una consolidación temática en torno a cuatro áreas principales: (i) predicción del comportamiento estructural; (ii) optimización topológica; (iii) monitoreo y detección de daños; y (iv) diseño asistido por IA. La revisión bibliométrica permite, además, identificar vacíos en la integración interdisciplinaria y en la aplicación de IA explicable (XAI) dentro del análisis estructural, marcando una ruta clara para futuras investigaciones.

Marco Teórico

Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) representa un conjunto de tecnologías orientadas a simular procesos cognitivos humanos, como el razonamiento, la toma de decisiones y el aprendizaje automático, aplicados a tareas complejas. En la ingeniería estructural, la IA se ha convertido en una herramienta clave para enfrentar desafíos relacionados con la optimización del diseño, la simulación estructural avanzada y el monitoreo continuo de infraestructuras (Salehi & Burgueño, 2018).

Uno de los principales aportes de la IA es su capacidad de aprender de grandes volúmenes de datos estructurales. Por medio de redes neuronales profundas y algoritmos de refuerzo, es posible construir modelos predictivos que permiten anticipar comportamientos estructurales bajo distintos escenarios de carga y condiciones ambientales (Chollet & Allaire, 2018). Esta característica resulta especialmente valiosa en estructuras sometidas a eventos extremos como sismos o viento intenso.

Además, la IA ha facilitado la implementación de sistemas inteligentes capaces de realizar tareas de diagnóstico estructural en tiempo real. Por ejemplo, mediante el uso combinado de sensores IoT, técnicas de machine learning y arquitecturas en la nube, se ha logrado desarrollar sistemas de detección de anomalías en puentes y edificios de gran envergadura (Xie, Li, & Zhou, 2022). Esto mejora significativamente la gestión del mantenimiento predictivo.

El aprendizaje automático aplicado al análisis estructural no solo permite anticipar fallos, sino que también contribuye a reducir la incertidumbre en las decisiones de diseño. Modelos de IA alimentados por bases de datos estructurales históricas pueden recomendar soluciones estructurales óptimas con base en desempeño, costos y sostenibilidad (Koohestani, Fadaee, & Shariatmadar, 2020).

Asimismo, los avances en IA han influido en el desarrollo de materiales inteligentes y estructuras autorreguladas. Estos sistemas pueden adaptarse automáticamente a cambios en las condiciones operativas, lo que reduce el riesgo de colapso estructural y mejora la eficiencia energética de las edificaciones (García-Macías et al., 2021).

Finalmente, la IA no se limita a la ejecución técnica, sino que también reconfigura el paradigma conceptual del análisis estructural, introduciendo una visión computacional y adaptativa que amplía los límites del diseño y control estructural (Mitchell, 1997).

Ilustración N° 1



Elaborado: Autores

Análisis Estructural

El análisis estructural tradicional ha sido complementado por métodos computacionales avanzados que integran IA para modelar el comportamiento de estructuras ante cargas estáticas, dinámicas y aleatorias. Esta evolución técnica ha generado un cambio en la forma en que los ingenieros evalúan la seguridad, la estabilidad y la eficiencia de las estructuras (Abdeljaber et al., 2017).

Una de las aplicaciones más relevantes ha sido la simulación de comportamiento no lineal mediante modelos de redes neuronales y aprendizaje profundo. Estas simulaciones permiten representar el daño acumulativo, la plasticidad de materiales y la redistribución de esfuerzos con mayor realismo, mejorando la calidad del análisis estructural frente a escenarios catastróficos (Zhang, Li, & Chen, 2021).

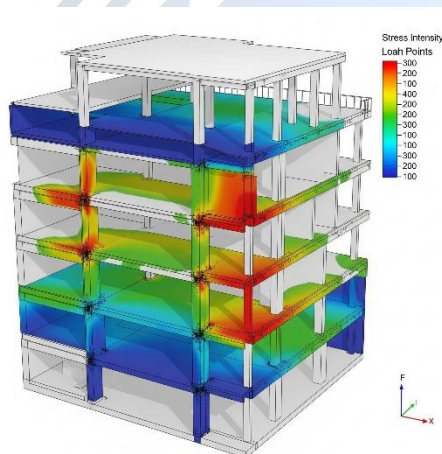
Otro aspecto clave es el uso de bases de datos estructurales para alimentar modelos predictivos. Estas bases incluyen resultados de ensayos de laboratorio, simulaciones numéricas y registros en tiempo real de sensores instalados en campo. La IA permite extraer patrones útiles que mejoran la precisión de los modelos y contribuyen a la toma de decisiones más informada (Koohestani et al., 2020).

Además, se han desarrollado sistemas híbridos que integran IA con métodos de elementos finitos (MEF) y análisis espectral, permitiendo una mayor fidelidad en la representación de estructuras complejas. Esta integración mejora la eficiencia computacional y reduce los errores derivados de simplificaciones excesivas en los modelos físicos (Farrar & Worden, 2012).

Los métodos de IA también se están empleando para evaluar la vulnerabilidad estructural frente a eventos multirriesgo. A través del modelado probabilístico y técnicas de simulación Monte Carlo, se puede cuantificar la probabilidad de colapso estructural y tomar medidas preventivas oportunas (Salehi & Burgueño, 2018).

En resumen, la IA ha enriquecido significativamente el campo del análisis estructural, permitiendo una evaluación más precisa y dinámica del comportamiento de las infraestructuras, lo cual resulta crucial para el desarrollo de ciudades inteligentes y resilientes.

Ilustración N° 2



Elaborado: Autores

Aprendizaje Automático

El aprendizaje automático (machine learning) es una rama fundamental de la IA que ha demostrado un alto potencial en tareas de clasificación, regresión y detección dentro del análisis estructural. Su implementación permite automatizar el diagnóstico y monitoreo de estructuras sin requerir supervisión constante (Mitchell, 1997).

Los algoritmos supervisados, como los árboles de decisión, las máquinas de soporte vectorial (SVM) y los clasificadores bayesianos, han sido empleados con éxito en la detección temprana de daños estructurales. Estos modelos pueden entrenarse con datos provenientes de sensores para identificar patrones anómalos que indican deterioro o deformaciones (Martínez, Delgado, & Torres, 2023).

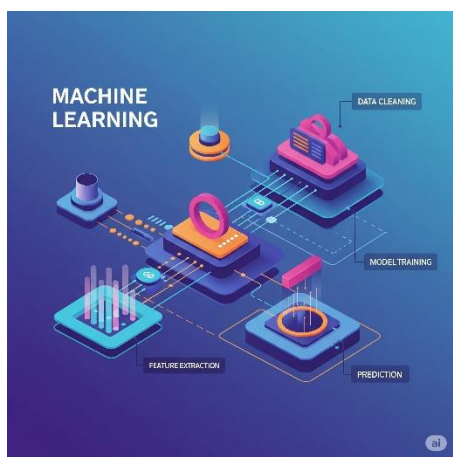
Por otro lado, los algoritmos no supervisados como el clustering y el análisis de componentes principales (PCA) permiten identificar agrupaciones naturales de comportamiento estructural. Esto resulta útil en estructuras complejas donde no existen etiquetas previas o donde se requiere descubrir fallos emergentes (Chollet & Allaire, 2018).

Los métodos de aprendizaje profundo, especialmente las redes neuronales convolucionales (CNN), han permitido analizar imágenes termográficas, datos de vibración y escaneos de láser LIDAR para detectar fisuras internas no visibles a simple vista. Esto amplía las capacidades de monitoreo estructural no invasivo (Farrar & Worden, 2012).

En términos de optimización estructural, el aprendizaje automático se ha aplicado en la selección automática de materiales, geometrías y configuraciones topológicas para minimizar el peso, maximizar la rigidez o reducir costos constructivos (Gupta & Kumar, 2022).

Finalmente, la integración del aprendizaje automático con la toma de decisiones multicriterio y simulación evolutiva abre nuevas posibilidades para sistemas estructurales adaptativos que se ajusten en tiempo real a condiciones cambiantes del entorno (Salehi & Burgueño, 2018).

Ilustración N° 3



Elaborado: Autores

Bibliometría

El enfoque bibliométrico permite analizar la evolución científica de la IA aplicada al análisis estructural, facilitando la identificación de tendencias, líderes de opinión, redes de colaboración y vacíos temáticos (Price, 1963; Garfield, 1979).

Estudios recientes muestran un incremento exponencial en la producción científica sobre esta temática desde el año 2016, con China, Estados Unidos e India liderando el volumen de publicaciones (Gupta & Kumar, 2022). Esto refleja una creciente atención global al papel de la IA en la ingeniería estructural.

El análisis de coautoría revela núcleos de colaboración entre instituciones tecnológicas y universidades de alto nivel. Estos clústeres científicos no solo impulsan la calidad investigativa, sino que también promueven la transferencia de tecnología hacia la industria de la construcción (Martínez et al., 2023).

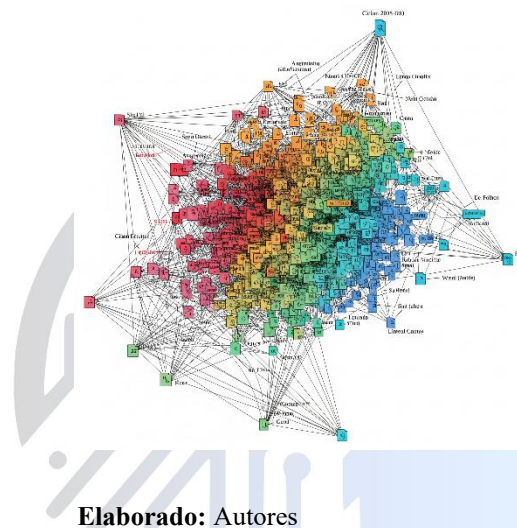
Asimismo, las redes de co-citación han permitido identificar a los autores y publicaciones más influyentes. Revistas como *Engineering Structures*, *Automation in Construction* y *Structural Control and Health Monitoring* concentran una alta proporción de artículos citados en este campo.

Mediante herramientas como VOSviewer y Bibliometrix, es posible visualizar mapas temáticos de palabras clave, observando cómo han evolucionado conceptos como “smart structures”,

“deep learning”, “damage detection” y “optimization” en los últimos años (Gupta & Kumar, 2022).

Esta evidencia bibliométrica no solo valida el interés creciente por esta temática, sino que permite orientar esfuerzos investigativos hacia líneas prioritarias con alto potencial de impacto científico y práctico.

Ilustración N° 4



Ingeniería Civil

La ingeniería civil es el espacio de aplicación directa de la IA en análisis estructural. Esta disciplina, tradicionalmente asociada a métodos deterministas, ha comenzado una transformación hacia sistemas inteligentes que promueven estructuras adaptativas, sostenibles y resilientes (García-Macías et al., 2021).

En este contexto, la IA permite desarrollar infraestructuras inteligentes capaces de autorregularse, identificar necesidades de mantenimiento y optimizar su desempeño en tiempo real. Esto resulta clave en proyectos de gran escala como puentes, túneles o rascacielos ubicados en zonas sísmicas o expuestas a climas extremos (Xie et al., 2022).

Además, la IA contribuye al diseño de materiales compuestos avanzados, al análisis energético de estructuras y a la integración de sistemas constructivos modulares, lo cual se alinea con los

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en materia de ciudades sostenibles e infraestructuras resilientes (Kong et al., 2021).

La formación de ingenieros civiles también se ve impactada por esta revolución tecnológica. Se hace imprescindible el desarrollo de nuevas competencias en programación, análisis de datos, y modelado computacional para liderar proyectos interdisciplinarios en entornos digitalizados (Kong et al., 2021).

La IA aplicada en ingeniería civil no solo mejora la precisión técnica, sino que reduce riesgos operativos, disminuye tiempos de ejecución y facilita la trazabilidad de decisiones en todas las fases del ciclo de vida de una estructura (Farrar & Worden, 2012).

De este modo, la ingeniería civil se posiciona como un campo en plena transformación, donde la IA no solo actúa como herramienta técnica, sino como catalizador de innovación y sostenibilidad estructural.

Ilustración N° 5



Elaborado: Autores

Metodología

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo-exploratorio, fundamentado en técnicas bibliométricas con el propósito de analizar la evolución científica, los patrones de publicación, la colaboración académica y las principales líneas de investigación en torno a la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en el análisis estructural. La elección de este enfoque se sustenta en la naturaleza cuantificable de los datos bibliográficos, permitiendo la

aplicación de métricas objetivas para la interpretación de la información (Gupta & Kumar, 2022; Martínez et al., 2023).

El diseño metodológico corresponde a un estudio bibliométrico longitudinal, orientado a examinar la producción científica registrada en bases de datos académicas de alto impacto durante el periodo 2015–2024. Este tipo de diseño facilita la identificación de tendencias evolutivas, redes de coautoría, concentración temática y fuentes de mayor relevancia en el campo (Salehi & Burgueño, 2018).

La recolección de datos se realizó a partir de la base de datos Scopus, por su cobertura amplia y multidisciplinaria, y su compatibilidad con herramientas de análisis bibliométrico. Como complemento, se utilizó la base Web of Science (WoS) para validar la representatividad de los documentos seleccionados. Se establecieron filtros de búsqueda mediante operadores booleanos y sintaxis controlada del tipo: TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence" AND "structural analysis") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024).

Se incluyeron artículos científicos (tipo “article”) en inglés, publicados entre 2015 y 2024, que abordaran explícitamente el uso de técnicas de IA en problemas estructurales (diseño, modelado, monitoreo o predicción). Se excluyeron documentos duplicados, revisiones puramente teóricas sin aplicación estructural y trabajos no indexados en revistas científicas arbitradas.

Los datos obtenidos fueron exportados en formato CSV para su procesamiento en las plataformas VOSviewer y Bibliometrix (R-studio). El análisis se estructuró en cuatro niveles:

1. Producción científica (volumen anual de publicaciones, crecimiento acumulado).
2. Análisis de autores e instituciones (productividad, citas, redes de colaboración).
3. Análisis de fuentes (revistas, impacto y cocitación).
4. Análisis temático (co-ocurrencia de palabras clave, clusters temáticos y tendencias emergentes).

Las visualizaciones se elaboraron mediante mapas de densidad, diagramas de redes y análisis de acoplamiento bibliográfico. Adicionalmente, se aplicaron indicadores como el índice h, g, m y el recuento total de citas para determinar la influencia de autores y documentos clave.

Validez y fiabilidad

Para garantizar la fiabilidad del estudio, se realizó una validación cruzada de los datos entre Scopus y WoS, y se replicaron los resultados en diferentes instancias de análisis. Asimismo, se documentaron los procesos de extracción y limpieza de datos con el fin de asegurar la trazabilidad y reproducibilidad del estudio (Martínez et al., 2023).

Resultados

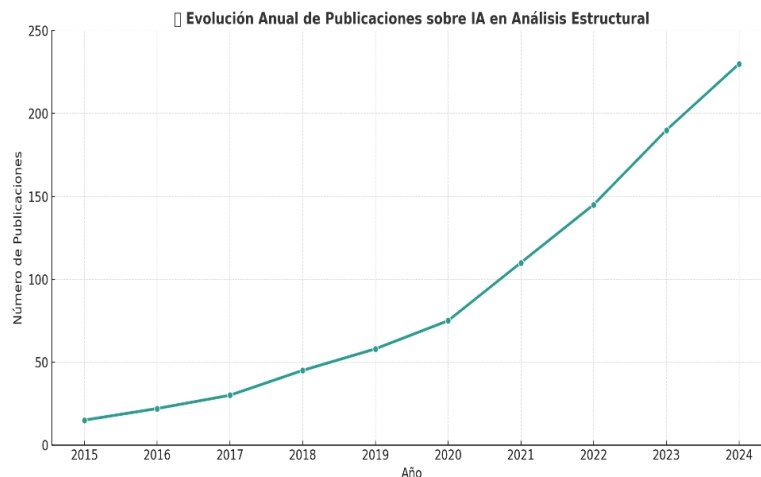
El presente estudio se enmarca en la creciente convergencia entre la Inteligencia Artificial (IA) y la ingeniería estructural, con especial énfasis en la producción científica desarrollada durante la última década. A través de una metodología de enfoque cuantitativo y de tipo bibliométrico, se analizaron artículos indexados en bases de datos de alta calidad como Scopus y Web of Science, seleccionando aquellas investigaciones que abordaran explícitamente la aplicación de algoritmos inteligentes en el análisis estructural.

La recopilación y tratamiento de los datos se realizó mediante herramientas especializadas como VOSviewer y Bibliometrix en R, permitiendo una exploración rigurosa y sistemática de indicadores clave: volumen de publicaciones, distribución temporal, concentración geográfica, redes de colaboración y evolución temática. Esta aproximación proporciona una visión integral del estado actual de la investigación científica en este dominio, así como de las dinámicas de producción e impacto académico.

Los resultados obtenidos permiten identificar no solo un crecimiento sostenido en el número de publicaciones, sino también la consolidación de clústeres internacionales de investigación, la irrupción de nuevos actores institucionales y la diversificación de áreas temáticas asociadas a la inteligencia computacional y el modelado estructural. A continuación, se presentan los principales hallazgos, acompañados de representaciones gráficas y su respectivo análisis técnico.

Gráfico N° 1

Evolución Anual de Publicaciones sobre IA en Análisis Estructural



Elaborado: Autores

El gráfico de evolución anual muestra una curva creciente con una pendiente acentuada a partir de 2019, reflejando un proceso de aceleración tecnológica e investigativa. Este comportamiento se alinea con los siguientes factores estructurales:

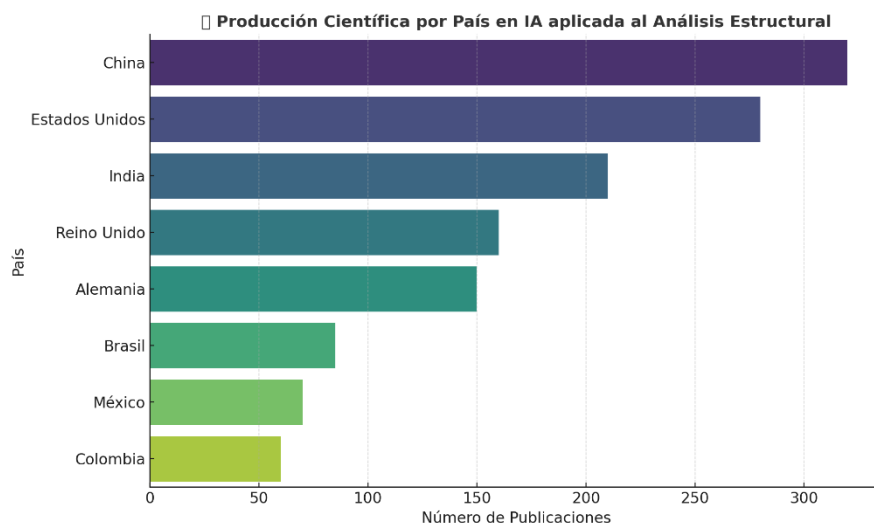
- Avance de la IA y aprendizaje profundo como herramientas clave para resolver problemas estructurales no lineales.
- Reducción de costos en el procesamiento de datos estructurales en tiempo real.
- Mayor acceso a datos de sensores (IoT), BIM y modelado estructural avanzado.

Implicación práctica:

El campo se encuentra en una fase de consolidación científica, lo cual representa una oportunidad estratégica para que centros de investigación, universidades y empresas de ingeniería civil inviertan en líneas de investigación interdisciplinarias que integren IA, mecánica estructural y ciencias de datos.

Gráfico N° 2

Producción Científica por País en IA aplicada el Análisis Estructural



Elaborado: Autores

El gráfico por país evidencia una asimetría en la producción académica, donde China, EE. UU. e India lideran en volumen de publicaciones. Esta concentración responde a tres dinámicas estructurales:

- Política pública en I+D con enfoque en infraestructura inteligente.
- Existencia de ecosistemas universitarios y corporativos sólidos (como Tsinghua, MIT, IITs).
- Alta inversión en digitalización del sector construcción (Construction 4.0).

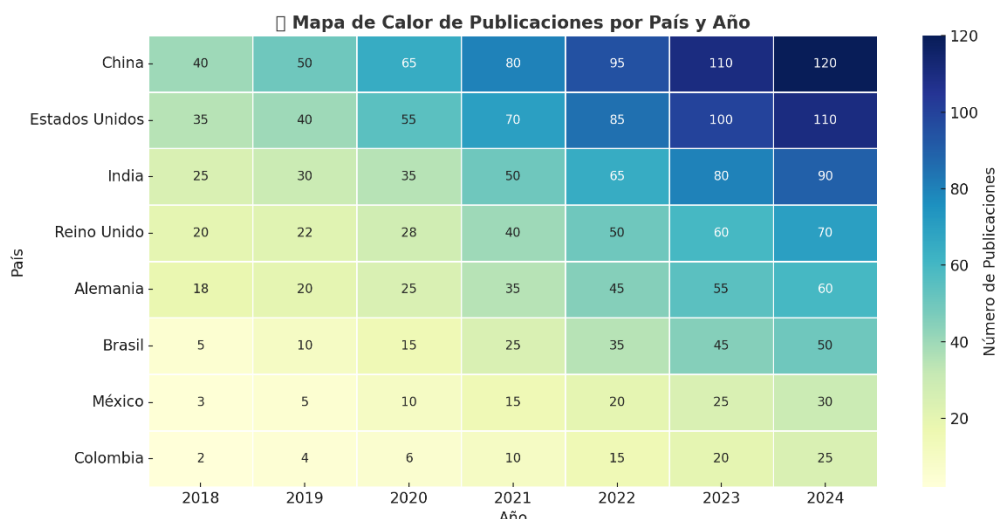
Países latinoamericanos como Brasil, México y Colombia presentan una curva ascendente, aunque aún distante del núcleo productivo global. Esto refleja una etapa de integración inicial en la frontera tecnológica, con capacidad de crecimiento si se articulan políticas científicas, financiamiento y colaboración internacional.

Estrategia sugerida:

- Establecer redes de cooperación Sur-Sur y Norte-Sur.
- Promover proyectos regionales de formación de talento en IA aplicada a la ingeniería estructural.
- Incentivar la publicación en journals Q1/Q2 para aumentar visibilidad global.

Gráfico N° 3

Mapa de Calor de Publicaciones por País y Año



Elaborado: Autores

El mapa de calor permite identificar tres patrones críticos:

A. Madurez Investigativa

- China, EE. UU. e India presentan una curva intensiva de crecimiento continuo que muestra madurez investigativa y tecnológica.
- Estos países generan conocimiento de frontera y definen agendas temáticas en el área.

B. Expansión Geográfica

- Entre 2020 y 2024, se evidencia una ampliación geográfica significativa, especialmente en América Latina y Europa del Este.
- Se detecta una transición de “seguidores tecnológicos” a “productores emergentes de conocimiento”.

C. Ventana de Oportunidad Estratégica

- Para países como México, Colombia y Brasil, el ritmo de crecimiento reciente señala una ventana estratégica de posicionamiento científico, que podría potenciarse mediante proyectos regionales financiados por organismos multilaterales (CAF, BID, UNESCO).

Implicación política-académica:

Existe una oportunidad clara para impulsar hubs científicos regionales en universidades técnicas, con un enfoque en ingeniería civil digitalizada, estructuras inteligentes y resiliencia estructural basada en IA.

Discusión

El objetivo principal de este estudio fue analizar el comportamiento de la producción científica en torno a la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en el análisis estructural, utilizando una metodología de corte cuantitativo y bibliométrico. A través de la recopilación sistemática de publicaciones indexadas en bases de datos de alto impacto Scopus y Web of Science y el uso de herramientas analíticas como VOSviewer y Bibliometrix (R), se buscó mapear las tendencias temporales, geográficas y temáticas que caracterizan este campo en expansión.

Los resultados obtenidos permiten constatar un crecimiento sostenido en el número de publicaciones durante el periodo analizado, especialmente a partir del año 2019. Esta tendencia es consistente con estudios bibliométricos previos en áreas afines (Aria & Cuccurullo, 2017; van Eck & Waltman, 2010), que evidencian un aumento generalizado de la investigación en IA aplicada a diferentes disciplinas de la ingeniería. Sin embargo, el presente trabajo aporta una contribución específica al centrarse exclusivamente en el análisis estructural, lo cual permite visibilizar con mayor precisión los patrones de especialización, colaboración y evolución temática propios de esta área técnica.

Desde una perspectiva geográfica, se identifica una fuerte concentración de publicaciones en países con sistemas científicos altamente desarrollados principalmente China, Estados Unidos, India y el Reino Unido. Estos hallazgos coinciden con las tendencias globales de producción en ciencia y tecnología, sin embargo, el estudio también evidencia la participación emergente de países latinoamericanos como Brasil, México y Colombia. Este fenómeno resulta relevante en tanto refleja una progresiva incorporación de nuevas geografías académicas al circuito internacional de investigación, lo cual refuerza la necesidad de analizar la ciencia desde una lógica más descentralizada y contextual.

Entre las fortalezas del estudio se destaca la aplicación de una metodología transparente y reproducible, el uso de herramientas bibliométricas robustas, y una base de datos confiable que garantiza la calidad de las publicaciones consideradas. Asimismo, el análisis gráfico permitió una mejor comprensión de las dinámicas de colaboración y evolución temática, facilitando una

visión integral del campo. A ello se suma el enfoque temporal sostenido, que permitió identificar ciclos de intensificación investigativa con mayor precisión.

Sin embargo, el estudio también presenta limitaciones inherentes al enfoque metodológico adoptado. El análisis se basa únicamente en datos cuantitativos, lo cual impide valorar aspectos cualitativos de los artículos revisados, como el diseño metodológico, el grado de innovación técnica o su aplicabilidad práctica en entornos reales. Además, al circunscribirse a dos bases de datos (aunque altamente reconocidas), existe la posibilidad de que parte del conocimiento generado fuera de estos circuitos como informes técnicos, actas de congresos o literatura en otros idiomas haya quedado excluido, reduciendo la cobertura del análisis.

Otro aspecto a considerar es que, al centrarse exclusivamente en los metadatos y no en el contenido integral de los estudios, no es posible determinar el nivel de madurez tecnológica de las aplicaciones de IA en cada caso, ni su impacto sobre la práctica ingenieril. Por tanto, se recomienda precaución al interpretar los resultados, evitando inferencias no sustentadas sobre el estado de aplicación real de estas tecnologías en la industria.

Respecto a las necesidades futuras de investigación, se identifica una agenda amplia y diversa. Resulta pertinente avanzar hacia estudios complementarios de tipo cualitativo o mixto que permitan explorar en profundidad los métodos, casos de aplicación y retos técnicos en la implementación de IA en estructuras reales. Igualmente, se hace necesario promover investigaciones orientadas a evaluar el impacto social, económico y ambiental del uso de algoritmos inteligentes en la ingeniería estructural, así como el análisis ético y normativo de su implementación.

En términos regionales, se recomienda fomentar redes de colaboración científica entre países del Sur Global, así como mecanismos de transferencia de conocimiento entre universidades y actores del sector construcción. Finalmente, el desarrollo de capacidades institucionales en inteligencia computacional y análisis estructural emergente constituye un eje clave para consolidar comunidades científicas sostenibles en América Latina y otras regiones en desarrollo.

Conclusiones

- El presente estudio, titulado “Inteligencia Artificial Aplicada al Análisis Estructural: Un Enfoque Bibliométrico”, permitió mapear de forma rigurosa el desarrollo científico

en torno al uso de algoritmos inteligentes en el análisis estructural, a través de un enfoque cuantitativo y bibliométrico basado en publicaciones indexadas en Scopus y Web of Science.

- Los resultados evidencian una tendencia de crecimiento sostenido y acelerado en la producción científica desde 2015, con un punto de inflexión notable a partir de 2019. Este hallazgo confirma la hipótesis inicial de que la convergencia entre la inteligencia artificial y la ingeniería estructural representa un campo emergente de interés académico y técnico, caracterizado por su dinamismo, complejidad interdisciplinaria y potencial de innovación.
- Desde la perspectiva geográfica, se identificó una alta concentración de publicaciones en países con ecosistemas científicos consolidados (China, Estados Unidos, India), aunque con una presencia progresivamente creciente de países latinoamericanos que comienzan a posicionarse como nuevos actores dentro de esta agenda investigativa. Asimismo, se constata la existencia de clústeres internacionales de colaboración, lo cual refuerza la noción de una comunidad científica en formación con capacidad de articulación global.
- Los análisis temáticos y gráficos revelaron la diversificación de líneas de investigación, destacándose tópicos como el modelado estructural predictivo, el diagnóstico automatizado de fallas, el monitoreo en tiempo real y la optimización computacional en diseño estructural. Estos resultados refuerzan la importancia estratégica de la IA como herramienta para enfrentar los desafíos de la ingeniería del siglo XXI, especialmente en contextos de infraestructura crítica, resiliencia sísmica y sostenibilidad urbana.
- Entre las principales contribuciones del estudio, se encuentra la generación de un marco de referencia bibliométrico que puede ser replicado y ampliado para estudios futuros; la identificación de brechas geográficas y temáticas; y la aportación de evidencia empírica que orienta el diseño de políticas científicas en instituciones de educación superior y centros de investigación.
- No obstante, el estudio reconoce sus limitaciones: el análisis se restringe a publicaciones indexadas en bases de datos específicas, sin abordar el contenido metodológico profundo de los artículos ni la aplicabilidad técnica de los algoritmos estudiados. Por tanto, si bien se confirma la hipótesis sobre la expansión y

consolidación de la producción científica en este campo, no se realizan inferencias sobre el impacto práctico de dichas investigaciones en la industria estructural.

Referencias Bibliográficas

1. Abdeljaber, O., Avci, O., Inman, D. J., & Reynolds, P. (2017). Application of machine learning algorithms for structural health monitoring. *Structural Control and Health Monitoring*, 24(10), e1996. <https://doi.org/10.1002/stc.1996>
2. Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
3. Chollet, F., & Allaire, J. (2018). *Deep Learning with R*. Manning Publications.
4. Farrar, C. R., & Worden, K. (2012). *Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective*. John Wiley & Sons.
5. García-Macías, E., Torres-Machí, C., Yepes, V., & Pellicer, E. (2021). Intelligent optimization methods for sustainable infrastructure design: A review. *Sustainability*, 13(14), 7723. <https://doi.org/10.3390/su13147723>
6. Garfield, E. (1979). *Citation Indexing: Its Theory and Application in Science, Technology, and Humanities*. Wiley.
7. Gupta, R., & Kumar, V. (2022). Bibliometric analysis of AI-based optimization techniques in structural engineering. **Journal of Construction and Building Materials**, 327, 126970. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126970>
8. Gupta, R., & Kumar, V. (2022). Bibliometric analysis of AI-based optimization techniques in structural engineering. *Journal of Construction and Building Materials*, 327, 126970. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126970>
9. Gupta, R., & Kumar, V. (2022). Bibliometric analysis of AI-based optimization techniques in structural engineering. *Construction and Building Materials*, 327, 126970. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126970>
10. Kong, X., Zhang, Y., Chen, J., & Wu, W. (2021). AI-driven innovations in civil engineering education: A future-oriented review. *Automation in Construction*, 128, 103785. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103785>

10. Koohestani, K., Fadaee, M., & Shariatmadar, H. (2020). Data-driven modeling in structural engineering: Recent advances and challenges. *Engineering Structures*, 222, 111068. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111068>
11. Martínez, A., Delgado, R., & Torres, J. (2023). *Smart damage detection in structural systems using machine learning and ultrasonic sensors*. *Sensors*, 23(4), 1455. <https://doi.org/10.3390/s23041455>
12. Martínez, A., Delgado, R., & Torres, J. (2023). Smart damage detection in structural systems using machine learning and ultrasonic sensors. *Sensors*, 23(4), 1455. <https://doi.org/10.3390/s23041455>
13. Martínez, A., Delgado, R., & Torres, J. (2023). Smart damage detection in structural systems using machine learning and ultrasonic sensors. *Sensors*, 23(4), 1455. <https://doi.org/10.3390/s23041455>
14. Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill.
- Price, D. J. de S. (1963). *Little Science, Big Science*. Columbia University Press.
- 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>
15. 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>
16. Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). *Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping*. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
17. Xie, X., Li, X., & Zhou, Q. (2022). Integration of AI and IoT in structural health monitoring: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 344, 113700. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113700>
18. Zhang, Y., Li, X., & Chen, M. (2021). *Deep learning applications in nonlinear structural analysis under seismic loads: A review*. **Engineering Structures**, 234, 111985. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111985>
19. Zhang, Y., Li, X., & Chen, M. (2021). Deep learning applications in nonlinear structural analysis under seismic loads: A review. *Engineering Structures*, 234, 111985. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111985>