

# **Técnica de inteligencia artificial para la selección de concreto en construcciones residenciales. Una revisión sistemática**

## **Artificial intelligence technique for concrete selection in residential constructions. A systematic review**

---

**Para citar este trabajo:**

Zambrano-Salazar, L, y Gamboa-López, E. (2024). Técnica de inteligencia artificial para la selección de concreto en construcciones residenciales. Una revisión sistemática. *Reincisol*, 3(5), pp. 1490-1514. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(5\)1490-1514](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(5)1490-1514)

---

### **Autores:**

**Luis Leonardo Zambrano Salazar**

Universidad Técnica de Ambato  
Ciudad: Ambato, País: Ecuador  
Correo Institucional: [ll.zambrano@uta.edu.ec](mailto:ll.zambrano@uta.edu.ec)  
Orcid <https://orcid.org/0009-0001-5966-8123>

**Enma Katherine Gamboa López**

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador  
Ciudad: Ambato, País: Ecuador  
Correo Institucional: [egamboa@mtop.gob.ec](mailto:egamboa@mtop.gob.ec)  
Orcid <https://orcid.org/0009-0005-5996-1820>

**RECIBIDO:** 18 abril 2024    **ACEPTADO:** 28 mayo 2024    **PUBLICADO** 12 junio 2024

## Resumen

La selección de los materiales de construcción en obras residenciales es clave para garantizar la durabilidad y calidad de la obra, así como seguridad de los usuarios. El proceso de selección antes se basaba en rigurosos ensayos que resultaban costosos, lentos e imprecisos, pero con la tecnología y el avance de la informática han mejorado; por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue describir las técnicas de inteligencia artificial existente para la selección del concreto usado en construcciones residenciales. Para ello se llevó a cabo una revisión de 240 artículos en base de datos como Scopus, Scielo, Latindex y Google académico, sobre técnicas de machine learning, deep learning, redes neuronales y Big data, de los cuales se seleccionaron 24 de los artículos más relevantes en función de los criterios de inclusión y calidad. Los resultados de la revisión muestran que los métodos de selección basados en inteligencia artificial han sido eficientes para la evaluación de la calidad del concreto, por lo que se pueden usar para la elección de materiales resistente a los riesgos más predominantes como son los incendios, terremotos y huracanes.

**Palabras claves:** calidad, eficiencia, informática, seguridad, urbanismos.

### Abstract

The selection of construction materials in residential construction is key to ensure the durability and quality of the work, as well as the safety of the users. The selection process used to be based on rigorous tests that were costly, slow and inaccurate, but with technology and the advance of information technology, this process has improved; therefore, the objective of this research was to describe the existing artificial intelligence techniques for the selection of concrete used in residential construction. For this purpose, a review of 240 articles was carried out in databases such as Scopus, Scielo, Latindex and Google academic, on machine learning, deep learning, neural networks and Big data techniques, from which 24 of the most relevant articles were selected based on the inclusion and quality criteria. The results of the review show that selection methods based on artificial intelligence have been efficient for the evaluation of concrete quality, so they can be used for the selection of materials resistant to the most prevalent risks such as fires, earthquakes and hurricanes.

**Keywords:** quality, efficiency, computer science, safety, urbanism.

## INTRODUCCIÓN

La selección adecuada de concreto en construcciones residenciales es un proceso fundamental que impacta la durabilidad, seguridad y eficiencia de los proyectos de construcción. Tradicionalmente, esta elección se ha basado en la experiencia del ingeniero y en normas estandarizadas; no obstante, la creciente complejidad de los materiales y las especificaciones técnicas ha generado la necesidad de métodos más avanzados. En este sentido, para Mendoza et al (2022) la inteligencia artificial (IA) se presenta como una herramienta eficaz para optimizar la selección de concreto, gracias a su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos y patrones complejos que afectan la toma de decisiones. Esta revisión sistemática explora diversas técnicas de IA aplicadas a la selección de concreto, desde algoritmos de aprendizaje automático hasta redes neuronales, evaluando su efectividad en mejorar la precisión, reducir costos y promover la sostenibilidad en la construcción residencial.

La literatura sobre la aplicación de técnicas de inteligencia artificial (IA) en la selección de concreto para construcciones residenciales resalta diversos enfoques innovadores que han emergido en las últimas décadas. Investigaciones recientes para Cabrera (2020) han evidenciado que algoritmos de aprendizaje automático, como los árboles de decisión y las máquinas de soporte vectorial, pueden aumentar notablemente la precisión en la selección de mezclas de concreto, optimizando sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Además, estudios sobre redes neuronales artificiales han demostrado su eficacia para predecir el comportamiento del concreto bajo diferentes condiciones ambientales y de carga, proporcionando herramientas valiosas para ingenieros y arquitectos. Otras técnicas, como los algoritmos genéticos y la lógica difusa, también han sido exploradas, destacándose por su capacidad para manejar la incertidumbre y la variabilidad inherentes en los materiales de construcción. Mediante una revisión sistemática de la literatura, se observa una tendencia creciente hacia la integración de la IA en la industria de la construcción, reflejando mejoras en eficiencia, sostenibilidad y reducción de costos, subrayando el potencial transformador de estas tecnologías en la selección de concreto para proyectos residenciales.

La implementación de técnicas de inteligencia artificial (IA) en la selección de concreto para construcciones residenciales se justifica por la necesidad imperante

de mejorar la precisión, eficiencia y sostenibilidad en el ámbito de la construcción. Para Pérez (2022) la creciente complejidad de los materiales y las especificaciones técnicas, junto con la presión para reducir costos y minimizar el impacto ambiental, requiere métodos avanzados que superen las limitaciones de los enfoques tradicionales basados en la experiencia y normativas estandarizadas. La IA, con su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos y discernir patrones complejos, proporciona una solución innovadora para optimizar la selección de mezclas de concreto, garantizando propiedades mecánicas y de durabilidad adecuadas en diversas condiciones. Además, la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático, redes neuronales y otras técnicas de IA permite gestionar la incertidumbre y variabilidad en los materiales de construcción, traduciéndose en proyectos más seguros, económicos y sostenibles. Por lo tanto, investigar y sistematizar el uso de IA en este ámbito no solo enriquece el conocimiento académico, sino que también tiene significativas implicaciones prácticas para mejorar la calidad y eficiencia de la construcción residencial.

Para llevar a cabo esta investigación, se emplearán dos herramientas principales: la revisión de artículos científicos y la consulta de revistas especializadas en el tema. Para Noriega (2021) la revisión de artículos científicos es fundamental, ya que permite identificar y analizar estudios previos que han aplicado técnicas de inteligencia artificial (IA) en la selección de concreto para construcciones residenciales. Este proceso facilita la identificación de metodologías, resultados y conclusiones relevantes, proporcionando una base sólida de conocimiento sobre el estado actual de la investigación en este campo. Además, permite realizar una comparación crítica de diferentes enfoques y evaluar su efectividad, lo que es esencial para sistematizar las mejores prácticas y proponer innovaciones fundamentadas en evidencia científica.

La consulta de revistas especializadas es crucial para acceder a investigaciones de vanguardia y artículos revisados por pares, lo que garantiza la calidad y validez de la información. Para Coevalán (2018) las revistas especializadas en inteligencia artificial y construcción proporcionan una plataforma para la difusión de estudios innovadores y avances tecnológicos, ofreciendo una visión actualizada de las tendencias y desarrollos en el campo. Esta herramienta es indispensable para asegurar que la investigación esté alineada con los estándares académicos más

rigurosos y contemple las últimas innovaciones y hallazgos. Al combinar estas herramientas, se obtiene una comprensión integral del uso de IA en la selección de concreto, lo que permitirá formular recomendaciones prácticas y teóricas robustas para su implementación en proyectos residenciales.

Los objetivos de esta investigación son diversos y se centran en evaluar y sistematizar el empleo de técnicas de inteligencia artificial (IA) en la selección de concreto para construcciones residenciales. En primer lugar, se busca identificar y clasificar las diferentes metodologías de IA utilizadas en este ámbito, incluyendo algoritmos de aprendizaje automático, redes neuronales, algoritmos genéticos y lógica difusa. En segundo lugar, el estudio tiene como objetivo analizar la efectividad de estas técnicas en la mejora de la precisión, eficiencia y sostenibilidad en la selección de mezclas de concreto, considerando variables como las propiedades mecánicas, durabilidad y condiciones ambientales. Adicionalmente, se pretende evaluar los beneficios económicos y la reducción de costos derivados de la implementación de IA en comparación con los métodos tradicionales. Por último, la investigación aspira a ofrecer recomendaciones prácticas para la integración de estas tecnologías en la industria de la construcción, proporcionando un marco teórico y metodológico que facilite su adopción y optimización en proyectos residenciales.

## **MATERIALES Y METODOS**

Este estudio corresponde a la categoría de investigación secundaria, una revisión sistemática que utilizo un enfoque narrativo, y se guio por la declaración PRISMA que proporciona un marco para presentar de manera transparente los resultados de este estudio. Este proceso de investigación tiene tres fases que son: la identificación de artículos mediante la búsqueda en las bases datos establecidas, el análisis para la exclusión de los artículos no pertinentes y la selección de los artículos que serán descritos y analizados en la investigación.

## Búsqueda de artículos

Las estrategias de búsqueda utilizadas en esta revisión sistemática se centraron en el uso de lenguaje controlado a través de los tesauros: construcción, riesgo, concreto, huracanes, sismos, incendios, seguridad, Machine Learning, deep Learning, redes neuronales, big data

**Tabla 1.**

*Palabras claves y términos de búsquedas usados en la investigación.*

	<b>DeSC (Portugues)</b>	<b>Mesh (ingles)</b>
1	Edifício OU construção	Building OR construction
2	Risco OU Segurança OU terremoto OU furacão OU incêndio	Risk OR Safety OR earthquake OR hurricane OR fire
3	Aprendizado de Máquina OU Aprendizado Profundo OU OU Redes Neurais Artificiais OU. grandes dados	Machine Learning OR Deep Learning OR OR Artificial Neural Networks or big data

**Fuente:** Elaboración propia

Se consideraron trabajos que incluyeron texto con referencia al título del trabajo reseñado, cuyas publicaciones no sólo cumplieron con las condiciones del estudio, sino que además se realizaron dentro del plazo establecido. Durante la búsqueda de información se tuvo en cuenta la terminología, limitando la búsqueda a los resultados esperados y artículos que permitan la identificación de los riesgos que ocurren con mayor frecuencia durante la gestión de combustibles a nivel global y que protocolos se emplean para la identificación de riesgos durante la gestión de combustible. Esto fue analizado en revistas digitales dentro de bases de datos como

Scopus, Scielo, Latindex y Google scholar. Los artículos relacionados con estos contenidos abarcaron desde enero de 2018 hasta mayo de 2024.

### **Criterios de inclusión**

Se consideraron para su inclusión artículos que incluían texto con referencia al título del artículo revisado. Estas publicaciones no sólo debían cumplir con las condiciones del estudio, sino que además debían haber sido realizadas dentro del plazo establecido desde el 2018 al 2024. Durante la búsqueda de información se tuvo en cuenta la terminología: sobre las técnicas de inteligencia artificial para la selección de concreto en construcciones residenciales, restringiendo la búsqueda a resultados esperados y resultados previos en artículos relacionados con identificación de los riesgos que ocurren con mayor frecuencia en las construcciones residenciales donde el principal material usado es el concreto.

### **Criterios de exclusión**

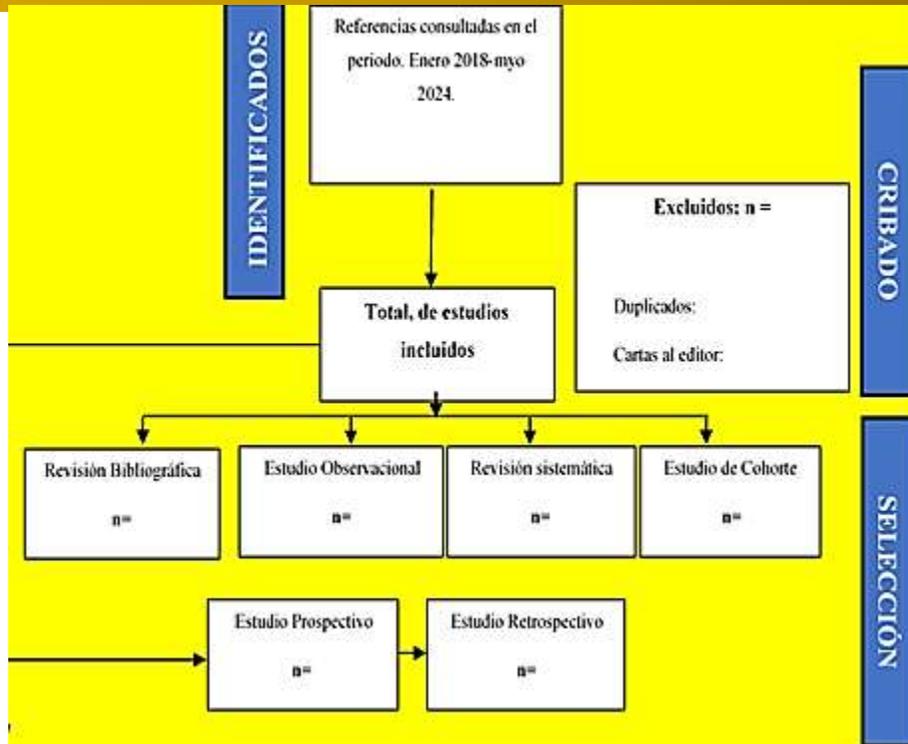
No se tomaron en cuenta publicaciones antes del 2018, duplicados, resúmenes, comunicaciones de congresos y aquellos que carecían de base científica y bases de datos de referencia derivadas de fuentes no reconocidas, aquellos artículos relacionados con técnica de inteligencia artificial para la selección de materiales de construcciones residenciales diferentes al concreto como acero o madera.

### **Proceso de selección de estudio**

Para la selección de los artículos se consideraron aquellos que cumplieran con los criterios de inclusión que se establecieron en las palabras claves de búsqueda y que estuvieron presentes en el título, subtítulo y/o resumen del trabajo, las cuales fueron: construcción, riesgo, concreto, huracanes, sismos, incendios, seguridad, Machine Learning, deep Learning, redes neuronales, big data y que fueran correspondiente a los años 2018-2024.

### **Figura 1**

*Protocolo para selección de artículos*



**Fuente:** Elaboración Propia

La recopilación de la información se realizó de manera minuciosa para garantizar la fiabilidad de la extracción de datos, resolver conflictos potenciales a través de la discusión y el consenso de literatura científica. Este proceso de recopilación de datos basado en PRISMA garantiza la precisión y la transparencia en la recopilación de información sobre las técnicas de inteligencia artificial para la selección de concreto en construcciones residenciales y el informe de datos importantes de estudios incluidos en revisiones sistemáticas integradas.

### **Análisis de la información**

La investigación se desarrolló en dos etapas: la primera relacionada al proceso de selección de artículos para la revisión sistemática, durante la cual se identificaron los artículos con información relevante para el desarrollo de esta investigación, y la etapa hermenéutica, que consiste en el análisis e interpretación de los hallazgos de los artículos seleccionados sobre las técnicas de inteligencia artificial para la selección de concreto en construcciones residenciales y mitigar los riesgos de deterioro, así como la resistencia a eventos extremos como incendios, sismos y huracanes.

Durante la fase hermenéutica se sintetizó la información y se generaron comentarios basados en fundamentos teóricos. Se detallaron las diversas fuentes

que permitieron recopilar la información bibliográfica. Se explicaron las similitudes y diferencias entre diversos autores con características similares en sus temas de investigación los que serán tabulados en una hoja Excel para el correspondiente análisis, tomando en cuenta que cada artículo debe cumplir con los criterios de inclusión. Se utilizó el gestor de referencias bibliográficas y documentos de investigación Zotero, para almacenar la información de trazabilidad de los artículos seleccionados, incluyendo autor/es, año de publicación, revista científica y tipo de diseño.

## **RESULTADOS**

De los 240 artículos revisados con relación a las técnicas de inteligencia artificial para la selección de concreto en construcciones residenciales y mitigar los riesgos de deterioro, así como la resistencia a eventos extremos como incendios, sismos y huracanes, se seleccionaron 24, de los cuales en los 6 primeros abordan los riesgos que ocurren con mayor frecuencia afectan las construcciones residenciales

**Tabla 2**

*Riesgos que ocurren con mayor frecuencia y que afectan las estructuras de concreto en zonas residenciales*

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano</b>
Considerations on computational modeling of concrete structures in fire	Ni y Gemay	2021
A comprehensive review on fire damage assessment of reinforced concrete structures.	Qin et al.	2022
Probabilistic performance of coastal bridges under hurricane waves using experimental and 3D numerical investigations.	Zhu et al.	2021
Adaptive coastal construction: designing amphibious homes to resist hurricane winds and storm surges.	Atcher et al.	2021
Fragility functions for a reinforced concrete structure subjected to earthquake and tsunami in sequence.	Petrone et al.	2020

Damage estimation in reinforced concrete buildings from induced earthquakes in Brazil.	Da Silva et al.	2021
--	-----------------	------

Ni & Gemay (2021) señalan que las estructuras de hormigón exhiben respuestas no lineales complejas bajo cargas de fuego, cuya predicción requiere modelos computacionales sofisticados, cuya precisión se dificulta por las complejidades que surgen del comportamiento del material, lo que justifica la adopción de modelos constitutivos sofisticados.

La importancia de esta evaluación de acuerdo a Qin et al. (2022) es debido a la prevalencia de factores a los daños de las estructuras de CR como incendios, ocasionados por problemas eléctricos, los sistemas defectuosos de detección de incendios, la falta de equipos de extinción y los obstáculos en las salidas de emergencia resultaron ser las causas más frecuentes de daños por incendio. El uso de estos modelos se acuerdo a Zhu et al. (2021) basados en parámetros experimentales podría ayudar en explorar la resistencia de los puentes costeros frente a los peligros naturales y desarrollar especificaciones para mitigar el riesgo de huracanes futuros, el cual es el factor de riesgo más frecuente en zonas costeras. En ese mismo sentido Atcher et al. (2021) afirman que la mayoría de los resultados del análisis mostraron que la evaluación de riesgo permite seleccionar otras opciones de construcción en áreas afectadas por huracanes que reducen aproximadamente un 10% del costo de las reparaciones asociadas después de un huracán. Además de los huracanes en las zonas costeras de acuerdo a Petrone et al. (2020) están propensas a efectos de terremotos y que son difíciles de cuantificar mediante observaciones de daños, por lo que se requiere optimizar los métodos de evaluación.

Muchos de estos daños según Da Silva et al. (2021) pueden estar asociados a la calidad del material, dado que encontraron que, cuando los muros de relleno no funcionan como componentes estructurales, es más probable que ocurran daños estructurales y, a la inversa, cuando sí lo hacen, los daños no estructurales son significativos. Este último efecto se produce por la reducción del período natural de vibración, lo que agrava los daños en los componentes interiores sensibles a la aceleración del suelo. Los siguientes 6 artículos destacan los métodos de inteligencia artificial empleados basados en Machine Learning para la

identificación de riesgos y selección del concreto en base a su cualidad de resistir eventos extremos (Tabla 3), cuyos principales hallazgos se describen a continuación:

**Tabla 3**

*Métodos empleados basado en basado en machine learning para la identificación de riesgos y selección del concreto en base su calidad de resistir eventos extremos.*

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>
Predictive models for concrete properties using machine learning and deep learning approaches:	Moein et al.	2023
Machine learning in concrete science: applications, challenges, and best practices.	Li et al.	2022
Efficient machine learning models for prediction of concrete strengths.	Nguyen et al.	2021
Shear capacity prediction of slender reinforced concrete structures with steel fibers using machine learning.	Olausi y Awoyera	2021
Predicting concrete compressive strength using hybrid ensembling of surrogate machine learning models.	Asteris et al.	2021
Machine learning-based approaches for seismic demand and collapse of ductile reinforced concrete building frames.	Hwang et al.	2021

Moein et al. (2023) demostraron que la viabilidad de las aplicaciones de modelos ML y DL para predecir la mecánica del hormigón, mediante una exhaustiva revisión de varios algoritmos de modelado destacando sus aplicaciones, rendimiento y lagunas de conocimiento actuales que ayudará a los ingenieros e investigadores de materiales de construcción a seleccionar técnicas adecuadas y precisas que se ajusten a sus necesidades.

Es por ello que Li et al. (2022) destacan la importancia del ML para el diseño de mezclas de concreto, y formular mejores prácticas, destacando que el ML ha tenido un impacto positivo en la ciencia concreta, sobre la implementación, aplicación e

interpretación de los algoritmos de ML, para la evaluación de las construcciones a base de concreto.

Un ejemplo de ello es presentado por Nguyen et al. (2021) cuyos resultados sobre resistencias a la compresión y a la tracción del hormigón de alto rendimiento muestra una mejora significativa en términos de tanto la precisión de la predicción como el esfuerzo computacional al usar Machine Learning.

En este orden de ideas Olausi y Awoyera (2021) señalan que los modelos basados en ML están estrechamente alineados con la resistencia al corte observado experimentalmente y los modelos predictivos existentes, pero proporcionan predicciones más precisas e imparciales, además de que los modelos basados en ML mostraron el sesgo y la variabilidad más bajos.

Por su parte Asteris et al. (2021) según los resultados experimentales, el modelo HENSM recientemente construido tiene mucho potencial para ser una nueva alternativa en el manejo de los problemas estructurales en construcciones de concreto, por lo tanto, puede usarse para predecir el comportamiento en el diseño de construcciones de concreto, para que sean menos contaminantes y más sostenibles.

Por último, Hwang et al. (2021) al emplear una metodología basada en aprendizaje automático para predecir la demanda sísmica y el estado de colapso de edificios con estructura de hormigón armado dúctil (RC) ante futuros movimientos sísmicos del suelo teniendo en cuenta las diversas fuentes de incertidumbre inherentes a la idealización del modelo estructural, logrando resultados satisfactorios.

Los próximos 6 artículos describen los métodos de inteligencia artificial empleados basados en deep Learning para la identificación de riesgos y selección del concreto en base a su calidad de resistir eventos extremos (Tabla 4), cuyos principales hallazgos se describen a continuación:

#### **Tabla 4**

*Métodos empleados basado en basado en machine laerning para la identificación de riesgos y selección del concreto en base su calidad de resistir eventos extremos*

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>
Classification and quantification of cracks in concrete structures using deep learning image-based techniques	Flah et al.	2020
Concrete crack detection and quantification using deep learning and structured light.	Park et al.	2020
Concrete cracks detection and monitoring using deep learning-based multiresolution analysis.	Arbaoui et al.	2021
A deep learning approach for electromechanical impedance based concrete structural damage quantification using two-dimensional convolutional neural network	Ai y Cheng	2023
A deep learning approach for fast detection and classification of concrete damage.	Jian et al.	2021
Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in structural engineering: a scientometrics review of trends and best practices	Taper y Nazer	2023

**Fuente:** Elaboración propia

Flah et al. (2020) lograron una precisión de clasificación superior del 97,63 %, 96,5 % y 96,17 % para los datos de entrenamiento, validación y prueba, respectivamente, junto con un bajo error de cuantificación del 1,5 %, 5 % y 2 % para la longitud, el ancho y el ángulo de la grieta respectivamente al usar un modelo basado en DL, lo que permitió identificar con precisión el tipo de daño estructural y su gravedad en función del rango permitido de ancho de fisura de hormigón para diferentes estructuras, incluidos edificios residenciales según diferentes normas y códigos internacionales.

Esto concuerda con lo reportado por Park et al. (2020) quienes han podido identificar y cuantificar grietas en estructuras utilizando un algoritmo DL para la detección en tiempo real, donde los tamaños de las grietas detectadas se han calculado en función de las posiciones de los rayos láser proyectados sobre la superficie estructural.

En este mismo sentido Arbaoui et al. (2021) lograron mediante análisis de datos que son wavelets y aprendizaje profundo una alta precisión cercana al 90%, para

la identificación y cuantificación de grietas, con el valor agregado usaron una base de datos de acceso abierto.

Igualmente, Ai y Cheng (2023) demostraron con su investigación que el enfoque propuesto es de alta precisión y eficiencia incluso en daños pequeños, allanando así un camino prometedor para el monitoreo de estructuras de concreto en la vida real, permitiendo tomar medidas preventivas para seleccionar materiales de alta calidad y mayor resistencia.

Por su parte Jian et al. (2021) al realizar una comparación de DL con los algoritmos tradicionales de detección de objetos dañados en el concreto, encontraron que DL ahorra más costos de mano de obra y logra una mayor precisión. Además, la reducción de los parámetros de la red hace que el modelo sea más portátil, lo que mejora enormemente la velocidad y el rendimiento de la detección de grietas.

Por último, Taper y Nazer (2023) demostraron la importancia de la aplicación de la inteligencia artificial mediante, ML y DL para la selección de técnicas y materiales resistentes a terremotos, huracanes e incendios, así como monitoreo de salud estructural, detección de daños y predicción de propiedades de materiales estructurales basados en el análisis de más de 200 simulaciones.

Finalmente, los últimos 6 artículos abordan los métodos de inteligencia artificial empleados basados en redes neuronales para la identificación de riesgos y selección del concreto en base a su calidad de resistir eventos extremos (Tabla 5), cuyos principales hallazgos se describen a continuación.

**Tabla 5**

*Métodos empleados basado en basado en redes neuronales para la identificación de riesgos y selección del concreto en base su calidad de resistir eventos extremos.*

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano</b>
Concrete compressive strength using artificial neural networks.	Asteris y Mocos	2020
Structural design of reinforced concrete buildings based on deep neural networks.	Pizarro y Massone	2021
Artificial neural network-based automated crack detection and	Kim et al.	2020

analysis for the inspection of concrete structures		
Development of deep neural network model to predict the compressive strength of rubber concrete.	Ly et al.	2021
Crack detection of concrete structures using deep convolutional neural networks optimized by enhanced chicken swarm algorithm.	Yu et al.	2020
Using artificial neural network and non-destructive test for crack detection in concrete surrounding the embedded steel reinforcement.	Saleem y Gutierrez	2021

**Fuente:** Elaboración propia

Asteris y Mokos (2020) al hacer la comparación de los resultados derivados de las redes neuronales (ANN) con los hallazgos experimentales, demostraron la capacidad de las ANN para estimar la resistencia a la compresión del hormigón de una manera confiable y robusta.

Mientras que Pizarro y Massone (2021) usaron un modelo de regresión para predecir la longitud y el espesor de los muros de edificios de hormigón armado basado en redes neuronales profundas, el cual se alimentó con una base de datos de 165 proyectos residenciales chilenos mostrando una eficiencia entre 94 y 95 %. Por su parte Kim et al. (2020) evaluaron el rendimiento de redes neuronales utilizando varias imágenes de grietas con etiqueta y los resultados mostraron un buen rendimiento en la detección de grietas y sus mediciones. De igual manera Ly et al. (2021) se basaron en una base de datos de 223 datos experimentales para desarrollar el modelo de redes neuronales (DNN), la cual fue evaluada estadísticamente, verificando la confiabilidad de los resultados y confirmando el excelente desempeño de este procedimiento.

En este mismo sentido Yu et al. (2020) señalan que el modelo se entrena y prueba utilizando parches de imágenes recortadas a partir de imágenes sin procesar obtenidas de muestras de hormigón dañadas, lo que permite realizar un estudio

para evaluar el rendimiento del método propuesto a través de un grupo de indicadores de evaluación estadística.

Finalmente, Saleem y Gutiérrez (2021) señalan que la red neuronal artificial (ANN) se desarrolla para evitar supuestos simplificados para el desarrollo de modelos que sirvan para predecir el agrietamiento, debido a la distribución de tensiones complejas no lineales, así como para predecir el ancho de la grieta y realizar un análisis de sensibilidad y determinar los factores que influyen en el deterioro de las uniones.

### **DISCUSIÓN**

Los resultados muestran que los ensayos en campo y las estimaciones matemáticas han sido sustituidos por la inteligencia artificial para la selección del concreto adecuado para obras de calidad y resistencia (Nafees et al. 2021). De los métodos investigados el Machine Learning el Deep Learning y las redes neuronales (Tran et al. 2022; Le et al.2021; Liu et al.2021) son los que ofrecen los mejores resultados al tener la mayor eficiencia en términos de resultados reales y menor tasa de error. La evaluación de la calidad de concreto está orientada a reducir las amenazas que garanticen la seguridad de las personas como son incendios terremotos y huracanes (Vitorino et al., 2020; Dogan et al.2021; Zhu y Dong 2021). Un aspecto negativo es que la mayoría de la literatura consultada corresponde al uso de la inteligencia artificial en países desarrollados como Asia, Europa y Norteamérica en comparación a su uso en Latinoamérica (Ortega et al. 2021). El poder seleccionar concreto de mejor calidad para garantizar la seguridad y durabilidad de la obra en la práctica se puede dificultar en los países más pobres quienes tienen la disyuntiva de sacrificar calidad y seguridad por costos.

Seleccionar concreto de calidad es una acción obligatoria dentro del campo de la ingeniería civil para asegurar en el contexto de la construcción residencial obras duraderas, seguras y de calidad.

Los métodos de selección basados en inteligencia artificial han sido eficientes para la evaluación de la calidad de concreto tanto en términos de características de materiales como la exposición a factores de riesgos como incendios, terremotos y huracanes.

Existe una brecha en la aplicación de los métodos de evaluación de concreto entre los países más desarrollados, debido a la facilidad de acceso a tecnología y datos de calidad.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- Afzal, M., Liu, Y., Cheng, J. C., & Gan, V. J. (2020). Reinforced concrete structural design optimization: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120623. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120623>
- Ai, D., & Cheng, J. (2023). A deep learning approach for electromechanical impedance based concrete structural damage quantification using two-dimensional convolutional neural network. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 183, 109634. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2022.109634>
- Akingbonmire, S. L., Afolayan, J. O., & Ikumapayi, C. M. (2021). Quality Assessment Of Reinforced Concrete Structural Elements Of Some Selected University Buildings Using Ultrasonic Pulse Velocity Test. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 7(12), 4162-4169. Disponible en: <https://www.jmess.org/wpcontent/uploads/2021/12/JMESSP13420815.pdf>
- Amini, M., & Memari, A. M. (2020). Review of literature on performance of coastal residential buildings under hurricane conditions and lessons learned. *Journal of performance of constructed facilities*, 34(6), 04020102. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001509](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001509)
- Arbaoui, A., Ouahabi, A., Jacques, S., & Hamiane, M. (2021). Concrete cracks detection and monitoring using deep learning-based multiresolution

- analysis. Electronics, 10(15), 1772. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/electronics10151772>
- Archer, R., Choi, H., Vasconez, R., Najm, H., & Gong, J. (2023). Adaptive coastal construction: designing amphibious homes to resist hurricane winds and storm surges. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 9(2), 273-290. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40722-022-00267-6>
- Asteris, P. G., & Mokos, V. G. (2020). Concrete compressive strength using artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 32(15), 11807-11826. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04663-2>
- Asteris, P. G., Skentou, A. D., Bardhan, A., Samui, P., & Pilakoutas, K. (2021). Predicting concrete compressive strength using hybrid ensembling of surrogate machine learning models. *Cement and Concrete Research*, 145, 106449. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106449>
- Baduge, S. K., Thilakarathna, S., Perera, J. S., Arashpour, M., Sharafi, P., Teodosio, B., ... & Mendis, P. (2022). Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. *Automation in Construction*, 141, 104440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>
- Bojórquez, J., Ponce, S., Ruiz, S. E., Bojórquez, E., Reyes-Salazar, A., Barraza, M., ... & Baca, V. (2021). Structural reliability of reinforced concrete buildings under earthquakes and corrosion effects. *Engineering Structures*, 237, 112161. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112161>
- Castaldo, P., Gino, D., Bertagnoli, G., & Mancini, G. (2020). Resistance model uncertainty in non-linear finite element analyses of cyclically loaded reinforced concrete systems. *Engineering Structures*, 211, 110496. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110496>
- Crowley, H., Despotaki, V., Rodrigues, D., Silva, V., Toma-Danila, D., Riga, E., ... & Gamba, P. (2020). Exposure model for European seismic risk assessment. *Earthquake Spectra*, 36(1\_suppl), 252-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/8755293020919429>
- Da Silva, A. H., Pereira, E. M., Pita, G. L., Siqueira, G. H., & Vieira Jr, L. C. (2021). Damage estimation in reinforced concrete buildings from induced

- earthquakes in Brazil. *Engineering Structures*, 234, 111904. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111904>
- Doğan, T. P., Kızılkula, T., Mohammadi, M., Erkan, İ. H., Kabaş, H. T., & Arslan, M. H. (2021). A comparative study on the rapid seismic evaluation methods of reinforced concrete buildings. *International journal of disaster risk reduction*, 56, 102143. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102143>
- Estupiñan, D. F. J., & Caballero, J. J. G. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Formación Estratégica*, 2(1), 1-13. Disponible en <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/18-Texto%20del%20art%C3%ADculo-25-1-10-20210722.pdf>
- Flah, M., Suleiman, A. R., & Nehdi, M. L. (2020). Classification and quantification of cracks in concrete structures using deep learning image-based techniques. *Cement and Concrete Composites*, 114, 103781. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103781>
- Hwang, S. H., Mangalathu, S., Shin, J., & Jeon, J. S. (2021). Machine learning-based approaches for seismic demand and collapse of ductile reinforced concrete building frames. *Journal of Building Engineering*, 34, 101905. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101905>
- Jiang, Y., Pang, D., & Li, C. (2021). A deep learning approach for fast detection and classification of concrete damage. *Automation in Construction*, 128, 103785. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103785>
- Kim, J. J., Kim, A. R., & Lee, S. W. (2020). Artificial neural network-based automated crack detection and analysis for the inspection of concrete structures. *Applied Sciences*, 10(22), 8105. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app10228105>
- Le, T. T., Nguyen, V. H., & Le, M. V. (2021). Development of deep learning model for the recognition of cracks on concrete surfaces. *Applied computational intelligence and soft computing*, 2021(1), 8858545. Disponible en <https://doi.org/10.1155/2021/8858545>
- Li, D., Liu, J., Feng, L., Zhou, Y., Liu, P., & Chen, Y. F. (2020). Terrestrial laser scanning assisted flatness quality assessment for two different types of

- concrete surfaces. *Measurement*, 154, 107436. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107436>
- Li, Z., Yoon, J., Zhang, R., Rajabipour, F., Srubar III, W. V., Dabo, I., & Radlińska, A. (2022). Machine learning in concrete science: applications, challenges, and best practices. *npj computational materials*, 8(1), 127. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41524-022-00810-x>
- Liu, Q. F., Iqbal, M. F., Yang, J., Lu, X. Y., Zhang, P., & Rauf, M. (2021). Prediction of chloride diffusivity in concrete using artificial neural network: Modelling and performance evaluation. *Construction and Building Materials*, 268,121082. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121082>
- Luhar, S., Nicolaidis, D., & Luhar, I. (2021). Fire resistance behaviour of geopolymer concrete: An overview. *Buildings*, 11(3), 82. <https://doi.org/10.3390/buildings11030082>
- Ly, H. B., Nguyen, T. A., & Tran, V. Q. (2021). Development of deep neural network model to predict the compressive strength of rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 301, 124081. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124081>
- Martins, L., Ribeiro, Á., do Céu Almeida, M., & e Sousa, J. A. (2021). Bringing optical metrology to testing and inspection activities in civil engineering. *Acta IMEKO*, 10(3), 108-116. Disponible en [https://doi.org/10.21014/acta\\_imeko.v10i3.1059](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v10i3.1059)
- Mele, A., Miano, A., Di Martire, D., Infante, D., Ramondini, M., & Prota, A. (2022). Potential of remote sensing data to support the seismic safety assessment of reinforced concrete buildings affected by slow-moving landslides. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 22(2), 88. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s43452-022-00407-7>
- Meng, C., Li, W., Cai, L., Shi, X., & Jiang, C. (2020). Experimental research on durability of high-performance synthetic fibers reinforced concrete: Resistance to sulfate attack and freezing-thawing. *Construction and Building Materials*, 262, 120055. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120055>

- Moein, M. M., Saradar, A., Rahmati, K., Mousavinejad, S. H. G., Bristow, J., Aramali, V., Karakouzian, M. (2023). Predictive models for concrete properties using machine learning and deep learning approaches: A review. *Journal of Building Engineering*, 63, 105444. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105444>
- Nafees, A., Javed, M. F., Khan, S., Nazir, K., Farooq, F., Aslam, F., ... & Vatin, N. I. (2021). Predictive modeling of mechanical properties of silica fume-based green concrete using artificial intelligence approaches: MLPNN, ANFIS, and GEP. *Materials*, 14(24), 7531. Disponible en <https://doi.org/10.3390/ma14247531>
- Ni, S., & Gernay, T. (2021). Considerations on computational modeling of concrete structures in fire. *Fire safety journal*, 120, 103065. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103065>
- Nguyen, H., Vu, T., Vo, T. P., & Thai, H. T. (2021). Efficient machine learning models for prediction of concrete strengths. *Construction and Building Materials*, 266, 120950. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120950>
- Olalusi, O. B., & Awoyera, P. O. (2021). Shear capacity prediction of slender reinforced concrete structures with steel fibers using machine learning. *Engineering Structures*, 227, 111470. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111470>
- Ortega, R., Naranjo, C., Torres, P., Madera, C., Marulanda, J., Thomson, P., & Areiza, G. (2021). Evaluation and fitting of a numerical model for reinforced concrete thin walls through experimental results of monotonic and cyclic loading tests. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 18, e383. Disponible en <https://doi.org/10.1590/1679-78256575>
- Park, S. E., Eem, S. H., & Jeon, H. (2020). Concrete crack detection and quantification using deep learning and structured light. *Construction and Building Materials*, 252, 119096. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119096>
- Petrone, C., Rossetto, T., Baiguera, M., De la Barra Bustamante, C., & Ioannou, I. (2020). Fragility functions for a reinforced concrete structure subjected to

- earthquake and tsunami in sequence. *Engineering Structures*, 205, 110120. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110120>
- Pizarro, P. N., & Massone, L. M. (2021). Structural design of reinforced concrete buildings based on deep neural networks. *Engineering Structures*, 241, 112377. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112377>
- Qin, D., Gao, P., Aslam, F., Sufian, M., & Alabduljabbar, H. (2022). A comprehensive review on fire damage assessment of reinforced concrete structures. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00843. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00843>
- Rathi, N., Chakraborty, I., Kosta, A., Sengupta, A., Ankit, A., Panda, P., & Roy, K. (2023). Exploring neuromorphic computing based on spiking neural networks: Algorithms to hardware. *ACM Computing Surveys*, 55(12), 1-49. Disponible en <https://dl.acm.org/doi/full/10.1145/3571155>
- Rodríguez, M. E. (2023). Normativas de diseño sismorresistente de estructuras, enseñanzas de terremotos y de resultados experimentales. *Ingeniería sísmica*, (110), 19-44. Disponible en [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2023000100019](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2023000100019)
- Saleem, M., & Gutierrez, H. (2021). Using artificial neural network and non-destructive test for crack detection in concrete surrounding the embedded steel reinforcement. *Structural Concrete*, 22(5), 2849-2867. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/suco.202000767>
- Sarker, I. H. (2021). Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions. *SN computer science*, 2(3), 160. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>
- Sun, L., Shang, Z., Xia, Y., Bhowmick, S., & Nagarajaiah, S. (2020). Review of bridge structural health monitoring aided by big data and artificial intelligence: From condition assessment to damage detection. *Journal of Structural Engineering*, 146(5), 04020073. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002535](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535)
- Tapeh, A. T. G., & Naser, M. Z. (2023). Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in structural engineering: a scientometrics review of trends

- and best practices. Archives of Computational Methods in Engineering, 30(1), 115-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09793-w>
- Tran, V. Q., Dang, V. Q., & Ho, L. S. (2022). Evaluating compressive strength of concrete made with recycled concrete aggregates using machine learning approach. Construction and Building Materials, 323, 126578. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126578>
- Vásquez, R. D., Julca, R. C., & Contreras, J. (2020). Resistencia a la compresión del concreto utilizado en cimentaciones de las edificaciones comunes en la ciudad de Jaén. Revista Científica Pakamuros, 8(2). Disponible en <https://doi.org/10.37787/p4sshj40>
- Vitorino, H., Rodrigues, H., & Couto, C. (2020). Evaluation of post-earthquake fire capacity of reinforced concrete elements. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 128, 105900. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105900>
- Yu, Y., Rashidi, M., Samali, B., Mohammadi, M., Nguyen, T. N., & Zhou, X. (2022). Crack detection of concrete structures using deep convolutional neural networks optimized by enhanced chicken swarm algorithm. Structural Health Monitoring, 21(5), 2244-2263. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/14759217211053546>
- Zhang, W., Li, H., Li, Y., Liu, H., Chen, Y., & Ding, X. (2021). Application of deep learning algorithms in geotechnical engineering: a short critical review. Artificial Intelligence Review, 1-41. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10462-021-09967-1>
- Zhang, B., Feng, Y., Xie, J., He, J., Yu, T., Cai, C., & Huang, D. (2022). Compressive behaviours, splitting properties, and workability of lightweight cement concrete: the role of fibres. Construction and Building Materials, 320, 126237. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126237>.
- Zhang, G., Ali, Z. H., Aldlemy, M. S., Mussa, M. H., Salih, S. Q., Hameed, M. M., ... & Yaseen, Z. M. (2022). Reinforced concrete deep beam shear strength capacity modelling using an integrative bio-inspired algorithm with an

artificial intelligence model. *Engineering with Computers*, 38(Suppl 1), 15-28. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00366-020-01137-1>

Zhu, D., & Dong, Y. (2021). Risk assessment of bridge under hurricane with experimental and numerical method. In *Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations* (pp. 681-685). CRC Press. Disponible en <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429279119-89/risk-assessment-bridge-hurricane-experimental-numerical-method-deming-zhu-dong>

Zhu, D., Yuan, P., & Dong, Y. (2021). Probabilistic performance of coastal bridges under hurricane waves using experimental and 3D numerical investigations. *Engineering Structures*, 242, 112493. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112493>

### **Conflicto de intereses**

El autor indica que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

**Con certificación de:**

