

**Técnicas de inteligencia artificial aplicadas a problemas de ingeniería civil.**  
*Artificial intelligence techniques applied to civil engineering problems.*



**Lic. Daril Alemán Morales**

Licenciado en Ciencia de la Computación.

Categoría docente de Instructor.

Especialista "C" en Ciencias Informáticas en Televisora Municipal  
"Morón Te Ve". Ciego de Ávila. Cuba.

Teléfono: 33503011

E-mail: [daril.aleman@gmail.com](mailto:daril.aleman@gmail.com)

Recibido: 07-11-17

Aceptado: 30-11-17

**Resumen:**

La Inteligencia Artificial (IA) es una rama de las ciencias de la computación que estudia la creación y diseño de máquinas capaces de resolver problemas por sí mismas, basándose en el comportamiento del cerebro humano. A menudo, los métodos para el modelado y la optimización de sistemas estructurales complejos requieren grandes cantidades de recursos informáticos; de ahí que las soluciones basadas en IA pueden proporcionar valiosas alternativas para resolver los problemas de la forma más eficiente. Este artículo brinda una perspectiva de las diferentes técnicas de IA, como son los sistemas expertos, las redes neuronales artificiales, los sistemas borrosos y los algoritmos genéticos; utilizados para resolver problemas de Ingeniería Civil.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial, Redes neuronales, Construcción, Hormigón armado, Vigas.

**Abstract:**

Artificial Intelligence (AI) is a branch of computer sciences that studies the creation and design of machines capable of solve problems by itself, basing its behavior in the human brain. The methods for modeling and optimizing complex structure systems require huge amounts of computer resources; and artificial-intelligence-based solutions can provide valuable alternatives for solve problems efficiently. This article provides an overview of different techniques of AI, like expert systems, artificial neural networks, fuzzy systems and genetic algorithms; used to solve Civil Engineering problems.

**Keywords:** Artificial intelligence, Neural networks, Construction, Reinforced concrete, Beams.

**Introducción**

La investigación de la Inteligencia Artificial (IA) ha venido desarrollándose desde que en 1956 el término «Inteligencia Artificial» fuera usado por primera vez. Muchos autores han tratado de definirla desde entonces. Quizás la más sencilla y a la vez la más completa definición es: «El estudio de las facultades mentales a través del uso de modelos computacionales» [1]. En esta disciplina se

conjugan ramas tan diversas como son la teoría de la información, la psicología, la lingüística y la neurofisiología. Y es que el objetivo de la IA es crear máquinas que piensen y actúen como humanos; para eso los investigadores crean situaciones que ponen a pensar a la computadora y van ajustando parámetros en dependencia de la respuesta obtenida.

Existen cuatro categorías en que se divide la IA [2]:

1. Sistemas que piensan como humanos: Estos sistemas tratan de emular el pensamiento humano; por ejemplo las redes neuronales artificiales.
2. Sistemas que actúan como humanos: Estos sistemas tratan de actuar como humanos; es decir, imitan el comportamiento humano; por ejemplo la robótica.
3. Sistemas que piensan racionalmente: Tratan de imitar el pensamiento lógico racional del ser humano; por ejemplo los sistemas expertos.
4. Sistemas que actúan racionalmente: Tratan de emular de forma racional el comportamiento humano; por ejemplo los agentes inteligentes.

En cada una de estas categorías se han desarrollado herramientas que permiten la resolución de problemas en muy diversas disciplinas. Esto se debe a una característica inherente de la IA, y es que desde sus inicios estuvo orientada a la resolución de problemas para los que las ecuaciones no tienen posible solución analítica o numérica; y por lo tanto, pueda ser aplicada a la resolución de multitud de problemas de diferentes disciplinas [3]. Una de las disciplinas que se ha beneficiado con el desarrollo computacional es la Ingeniería Civil. Numerosos son los avances que ha tenido este campo gracias a la aplicación de técnicas computacionales en la resolución de problemas propios de esta ciencia.

Los problemas que se presentan en la construcción de una obra ingenieril están sujetos a una serie de factores cambiantes, que hacen muy difícil predecir el resultado final utilizando los métodos tradicionales. Algunos de estos factores, como son las condiciones del lugar, la calidad de los materiales, entre otros, hace que constantemente se tenga que verificar la estructura en busca de posibles fallas. Estos problemas no se resuelven solo con la ayuda de la matemática, la física y los cálculos mecánicos, sino que dependen también de la experiencia previa acumulada.

Aunque las construcciones se diseñan para que sean longevas, suelen vivir en entornos agresivos que afectan su integridad estructural. La predicción de la vida útil está lejos de ser un problema sencillo debido a los muchos cambios internos de la propia estructura, como también a causas externas a menudo inciertas. En muchos casos, la intensidad y el tipo de parámetros (por ejemplo, la carga, condiciones ambientales, etcétera) son en su mayoría desconocidos en su naturaleza y magnitud. Tradicionalmente, se ha supuesto que las inspecciones visuales rutinarias determinarían deterioro o daño con suficiente antelación para permitir las actuaciones o reparaciones necesarias a realizar. Pero en ocasiones esto no es suficiente.

En este artículo se muestran algunas técnicas de IA que se utilizan para obtener resultados inmediatos sobre la salud de una estructura. Asimismo, se presenta una comparación de las técnicas explicadas y se hace un análisis de las tendencias futuras de este campo aplicadas en el área de la Ingeniería Civil.

## **Materiales y Métodos**

Debido a la gran cantidad de factores impredecibles, cada proyecto de ingeniería civil tiene sus características individuales. En los últimos 20 años, con el desarrollo y la aplicación de sistemas expertos, se han obtenido muchos avances, especialmente en las áreas de la evaluación de proyectos, diagnósticos, toma de decisiones, predicción, diseño y optimización.

A continuación se muestran las principales técnicas de IA aplicadas en la resolución de problemas de la Ingeniería Civil.

## Sistemas expertos

Un sistema experto es una aplicación informática que emula el razonamiento de un experto en un dominio concreto. Es un conjunto de programas que, sobre una base de conocimientos, posee información de uno o más expertos en un área específica. Son construidos obteniendo este conocimiento de un humano y codificándolo de tal forma que una computadora lo pueda aplicar en situaciones similares [4].

Aplicados al campo de la Ingeniería Civil, se han creado sistemas expertos para el diseño de la mezcla del concreto y los constituyentes del mismo. Estos sistemas eliminan el tedioso procedimiento de referirse a las figuras y tablas de los estándares internacionales de construcción, cada vez que se requiera conocer la cantidad exacta de cemento, agua, arena y agregados del concreto por metro cúbico [5].

También se han creado sistemas expertos para diseñar suelos sujetos a cargas axiales, para determinar la capacidad de carga de columnas, para arribar al diseño ideal de vigas en el piso, entre otros. Son varios los programas informáticos creados con el objetivo de ayudar en la toma de decisiones. Algunos de estos programas son Rule Master, Insight 2+ y VP Expert.

Es válido aclarar que un sistema experto no sustituye a un experto humano en la materia, pues estos últimos son capaces de aprender rápidamente de los errores, tienen sentido común y además es muy sencillo mantener una conversación fluida; características que son casi imposibles de lograr en un programa informático.

## Redes neuronales Artificiales

Una red neuronal artificial (RNA) es un sistema de procesamiento de información que está basado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. Constituyen, por lo tanto, modelos electrónicos o computacionales basados en la estructura neuronal del cerebro [6].

Las RNA son un método de resolver problemas, de forma individual o combinadas con otros métodos, para aquellas tareas de clasificación, identificación, diagnóstico, optimización o predicción en las que el balance datos/conocimiento se inclina hacia los datos y donde, adicionalmente, puede haber la necesidad de aprendizaje en tiempo de ejecución y de cierta tolerancia a fallos. En estos casos las RNA se adaptan dinámicamente reajustando constantemente los pesos de sus interconexiones [7]. La fundamentación matemática para estructurar una RNA está basada en el teorema de Kolmogorov, presentado por Kurkova [8], de tal forma que a partir de tres capas (de entrada, oculta y de salida) se puede aproximar hasta el nivel deseado cualquier función continua en un intervalo, haciendo de la red multicapa una apropiadora universal de funciones [9].

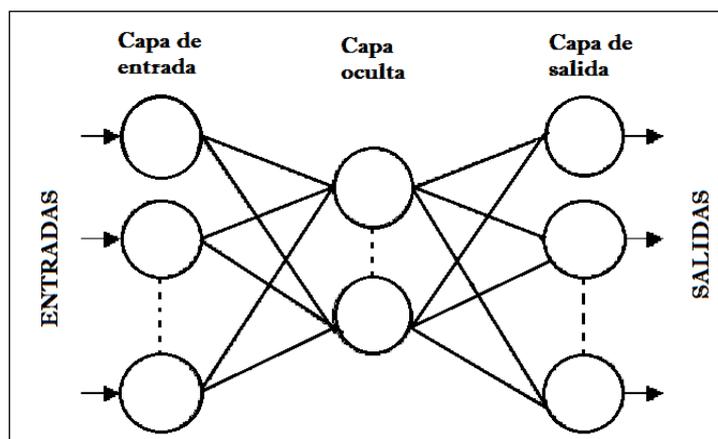


Figura 1. Estructura de una red neuronal artificial. [10]

La necesidad de usar los modelos de RNA en el campo de la Ingeniería Civil, viene dada por la gran cantidad de datos obtenidos de pruebas de laboratorio y el poco tiempo que se tiene para analizarlos. La idea es entonces entrenar una red con estos datos y conseguir que aprenda automáticamente,

para que al introducirle nuevos datos pueda predecir comportamientos en base al conocimiento obtenido previamente.

Sanad y Saka [11] propusieron una RNA para predecir la fuerza cortante última de las vigas de gran peralte de hormigón armado. Para eso tomaron como neuronas en la capa de entrada las características propias de estos elementos estructurales, como son el tamaño y la profundidad de la viga, el ancho del acero, la luz de la viga, entre otras. Como neurona en la capa de salida se obtuvo una estimación de la fuerza resultante de acuerdo a los datos de entrada. El valor resultante fue comparado con otros métodos existentes mostrando mejores resultados. A partir de ese momento, numerosos investigadores han modificado la estructura de la red para tratar de obtener valores más cercanos a los obtenidos en pruebas reales. Algunas investigaciones cambiaron la cantidad de neuronas en la capa de entrada [12], otras el algoritmo de entrenamiento [13], mientras las más recientes han aumentado la cantidad de capas ocultas [14].

Otra de las aplicaciones de las RNA en la construcción es la de estimar la capacidad de carga de las ménsulas. Al igual que en las vigas de gran peralte, se toman como neuronas de la capa de entrada las características de estos elementos. Kumar y Barai [15] desarrollan una RNA para pronosticar el daño en este tipo de estructuras.

Otros modelos de RNA han sido desarrollados para estimar la elasticidad del concreto [16], la capacidad de carga de las columnas [17], la fuerza de compresión del concreto [18], así como para determinar la relación velocidad-fuerza del concreto [19].

Los resultados alcanzados muestran que las RNA pueden ser una valiosa herramienta para pronosticar la fuerza del concreto y sus propiedades con un margen de error aceptable.

### **Sistemas borrosos**

La lógica difusa es un paradigma computacional que provee herramientas matemáticas para representar y manipular la información, de tal forma que se parezca a los procesos de comunicación y razonamiento humanos [20]. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. Así, por ejemplo, una persona que mida 2 metros es claramente una persona alta, si previamente se ha tomado el valor de persona baja y se ha establecido en 1 metro. Ambos valores están contextualizados a personas y referidos a una medida métrica lineal. Así pues, la teoría basada en la lógica difusa se presenta como una teoría adecuada para la representación de la incertidumbre que hay en el significado de todas las palabras [21].

Muchas aplicaciones han tenido los sistemas basados en lógica difusa en el área de la Ingeniería Civil. Zarandi, Türksen, Sobhani y Ramezaniapour [22], desarrollaron una red neuronal borrosa para predecir la fuerza de compresión del concreto. Como resultado de esa investigación se obtuvo el software FPNN-Type1, el cual constituye una valiosa herramienta de apoyo a los profesionales de la rama.

Cheng, Tsai, y Sudjono [23] desarrollaron un sistema de inferencia neuronal borroso, el cual imita el proceso de la toma de decisiones para facilitar esta acción a expertos del área de la geotecnia.

Uno de los sistemas borrosos más importantes fue el presentado por Sobhani y Ramezaniapour [24]. El mismo estima el tiempo de vida útil de las cubiertas de los puentes de hormigón armado. Cuenta con 4 módulos borrosos para cuantificar las condiciones de exposición, las señales de la cubierta, la densidad actual de corrosión y la proporción de la corrosión. Los resultados arrojados muestran que el tiempo de vida estimado es mejor que el obtenido por métodos probabilísticos.

Bianchini y Bandini [25] propusieron un modelo borroso para predecir el rendimiento de los pavimentos, utilizando parámetros habituales recolectados por agencias con el objetivo de caracterizar las condiciones de los pavimentos existentes. Los resultados de este modelo eran superiores a los obtenidos por el modelo de regresión lineal en términos de precisión de la aproximación.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que los sistemas borrosos pueden ser utilizados cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido (impreciso o subjetivo).

## **Algoritmos genéticos**

Un algoritmo genético es un proceso recurrente y estocástico que opera con un grupo de soluciones potenciales conocida como población genética [26]. Inicialmente, esta población es generada de forma aleatoria y las soluciones van evolucionando continuamente después de etapas consecutivas de cruzamientos y mutaciones. Cada individuo en la población tiene un valor que es asociado a su adaptación, de acuerdo a su capacidad para resolver el problema. Este valor, el cual debe ser obtenido individualmente para cada solución potencial, constituye una información cuantitativa que el algoritmo utilizará para guiar la búsqueda. El proceso continúa hasta que se alcanza un criterio de parada predeterminado, el cual puede ser un número máximo de iteraciones o que no haya cambios en la población.

Senouci y Al-Derham [27], presentaron un modelo de optimización basado en algoritmos genéticos para planificar de forma lineal un proyecto de construcción. Este modelo permite a los ingenieros generar y evaluar un plan de construcción óptimo o muy cerca del óptimo, con el objetivo de minimizar el tiempo y el costo del proyecto.

La construcción de instalaciones temporales durante el desarrollo de una edificación es una tarea muy importante. Sitios como los almacenes, talleres, oficinas y baños deben ser colocados cerca de la obra que se esté realizando. Dependiendo del tamaño, el lugar, el tiempo y la naturaleza del proyecto, estos requerimientos pueden variar. Li y Love [28] presentaron un sistema basado en algoritmos genéticos que permitió darle solución a esta problemática, el cual tuvo un importante impacto en el ahorro de los costos del proyecto.

Rabuñal, Puertas, Suarez y Rivero [29] desarrollaron un algoritmo genético para predecir el comportamiento de la lluvia en un asentamiento urbano. La novedad del método propuesto consiste en la unión de dos técnicas de Inteligencia Artificial: los algoritmos genéticos y las RNA. Este proyecto demostró cómo estas dos técnicas pueden trabajar juntas para resolver el problema.

## **Resultado y discusión**

Todas las investigaciones mencionadas anteriormente demuestran las ventajas que tienen las técnicas de IA con respecto a los demás métodos de solución de problemas. Los sistemas expertos son muy eficientes cuando se cuenta con suficiente tiempo para que un experto humano pueda introducir todo su conocimiento. Además son muy fiables, pues no se ven afectados por condiciones externas como el cansancio, la presión, etcétera. Las RNA, por su parte, son adecuadas para aplicaciones en las que no se dispone a priori de un modelo identificable que pueda ser programado, pero se dispone de un conjunto básico de ejemplos de entrada (previamente clasificados o no). La estructura de una RNA es paralela, por lo cual si esto es implementado con computadoras o en dispositivos electrónicos especiales, se pueden obtener respuestas en tiempo real. Una ventaja de las RNA es que crea su propia representación de la información en su interior, quitándole esta tarea al usuario. Además, son tolerantes a los fallos, respondiendo de forma aceptable aun si se daña parcialmente.

Los sistemas borrosos son utilizados para modelar sistemas no-lineales de complejidad arbitraria. Pueden ser construidos en base a la experiencia de expertos. Pueden combinarse con técnicas de control convencionales. Una ventaja que ofrece esta técnica es que los datos de entrada pueden ser imprecisos y sin embargo, el sistema funciona igualmente.

Por último, los algoritmos genéticos son de probada eficacia en caso de querer calcular funciones no derivables (o de derivación muy compleja). Se pueden utilizar en prácticamente todas las ramas de la ciencia, como son la robótica, la bioinformática, la ingeniería de software, los procesos industriales, el sector financiero, entre otros.

No existe ninguna regla o parámetros que indiquen cuál técnica escoger para resolver determinado problema. Sin embargo, existen situaciones en las que algunas de estas técnicas presentan ventajas sobre otras.

En el campo de la Ingeniería Civil, las aplicaciones de técnicas de IA son relativamente nuevas, por lo que se espera un mayor auge en la utilización de estos métodos. Actualmente se trabaja

combinando varias de estas técnicas, aprovechando las cualidades de cada una. Una tendencia es el desarrollo de sistemas expertos para la toma de decisiones de arquitectos, con aprendizaje a través de RNA. Otras investigaciones optan por utilizar los algoritmos genéticos para el aprendizaje y las RNA para decidir el comportamiento del sistema. Por último, algunos investigadores optan por utilizar los sistemas expertos o las RNA para reforzar las reglas heurísticas iniciales de cualquier sistema de control basado en la lógica difusa.

### Conclusiones:

Este artículo resume las tecnologías inteligentes utilizadas en la Ingeniería Civil. Fueron analizadas muchas aplicaciones de técnicas de IA en este campo. Fueron analizadas las tendencias que se deben seguir con el objetivo de crear sistemas más robustos y que aprendan rápidamente. Los métodos de IA pueden ayudar a usuarios inexpertos a resolver problemas de ingeniería, pero también pueden ayudar a usuarios expertos a mejorar la eficiencia de los procesos que realizan. La IA va cambiando a cada instante, la aplicación de métodos computacionales en todas las ramas ya es un hecho, y el campo de la Ingeniería Civil presenta un gran futuro para su aplicación.

### Referencias Bibliográficas:

- AL-Jurmaa, M. M. A. (2012). Predicting the Ultimate Load Capacity of RC Beams by ANN. *Tikrit Journal of Engineering Science (TJES)*, 18(1), 56-66.
- Arco, L., García, M. M., Piñero, P. Y. & Acevedo, L. (2003). Algoritmos genéticos en la construcción de funciones de pertenencia borrosas. *Inteligencia Artificial: revista iberoamericana de inteligencia artificial*, 7(18), 25-36.
- Bianchini, A., & Bandini, P. (2010). Prediction of Pavement Performance through Neufuzzy Reasoning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25(1), 39-54.
- Charniak, E. & McDermott, D. (1985). *Introduction to Artificial Intelligence*. Massachusetts: Addison-Wesley.
- Cheng, M. Y., Tsai, H. C. & Sudjono, E. (2010). Conceptual cost estimates using evolutionary fuzzy hybrid neural network for projects in construction industry. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4224-4231.
- Demir, F. (2008). Prediction of elastic modulus of normal and high strength concrete by artificial neural networks. *Construction and Building Materials*, 22(7), 1428-1435.
- Fernández, D. F. (2007). *Desarrollo de una nueva herramienta basada en redes neuronales para el diseño de protecciones ligeras cerámica-metal frente a impacto de alta velocidad*. (Tesis inédita de doctorado). Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España.
- Gestal, M., Cancela, A., Andrade, J. M. & Gómez-Carracedo, M. P. (2006). Hybrid System with Artificial Neural Networks and Evolutionary Computation in Civil Engineering. En J. Rabuñal & J. Dorado (Ed.), *Artificial Neural Networks in real-life applications* (pp. 141-164). Coruña: Idea Group Publishing.
- González, L. O., Guerrero, A., Delvasto, S. & Will, A. (2012). Red Neuronal Artificial para estimar la resistencia a compresión, en concretos fibro-reforzados con polipropileno. *Ventana Informática*, 1(26), 11-28.
- Kewalramani, M. A., & Gupta, R. (2006). Concrete compressive strength prediction using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks. *Automation in Construction*, 15(3), 374-379.
- Klir, G. & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kumar, S., & Barai, S. V. (2010). Neural networks modeling of shear strength of SFRC corbels without stirrups. *Applied Soft Computing*, 10(1), 135-148.
- Kurkova, V. (1992). Kolmogorov theorem and multilayer neural networks. *Neural Networks*, 5(3), 1-5.
- Li, H. & Love, P. E. (1998). Site-level facilities layout using genetic algorithms. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 12(4), 227-231.
- Luger, G. F. & Stubblefield W. A. (1998). *Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Massachusetts: Addison-Wesley.
- Mansour, M. Y., Dicleli, M., Lee, J. Y., & Zhang, J. (2004). Predicting the shear strength of reinforced concrete beams using artificial neural networks. *Engineering Structures*, 26(6), 781-799.
- Montaño, J. J. (2002). *Redes neuronales artificiales aplicadas al análisis de datos*. (Tesis inédita de doctorado). Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, España.

- Mukherjee, A., Deshpande, J. M., & Anmala, J. (1996). Prediction of buckling load of columns using artificial neural networks. *Journal of Structural Engineering*, 122(11), 1385-1387.
- Rabuñal J. R. & Puertas, J. (2006). Hybrid System with Artificial Neural Networks and Evolutionary Computation in Civil Engineering. En J. Rabuñal & J. Dorado (Ed.), *Artificial Neural Networks in real-life applications* (pp. 166-187). Coruña: Idea Group Publishing.
- Rabuñal, J. R., Puertas, J., Suarez, J., & Rivero, D. (2007). Determination of the unit hydrograph of a typical urban basin using genetic programming and artificial neural networks. *Hydrological processes*, 21(4), 476-485.
- Russell, S. J. & Norvig, P. (1995). *Artificial intelligence: a modern approach*. New Jersey: Prentice Hall.
- Salas, R. (2004). *Redes Neuronales Artificiales*, (Inf. Téc. Nº 1). Valparaíso: Universidad de Valparaíso, Departamento de Computación.
- Sanad, A. & Saka, M. P. (2001). Prediction of ultimate shear strength of reinforced-concrete deep beams using neural networks. *Journal of Structural Engineering*, 127(7), 818-828.
- Senouci, A. & Al-Derham, H. R. (2008). Genetic algorithm-based multi-objective model for scheduling of linear construction projects. *Advances in Engineering Software*, 39(12), 1023-1028.
- Sobhani, J., & Ramezani-pour, A. A. (2011). Service life of the reinforced concrete bridge deck in corrosive environments: A soft computing system. *Applied Soft Computing*, 11(4), 3333-3346.
- Srivastav, A.K.L. (2012). Applications of artificial intelligence in structural engineering. *The Experiment*, 3(3), 199-202.
- Tang, C. W., Lin, Y., & Kuo, S. F. (2007). Investigation on correlation between pulse velocity and compressive strength of concrete using ANNs. *Comput. Concr*, 4(6), 437-456.
- Yang, K. H., Ashour, A. F., & Song, J. K. (2007). Shear capacity of reinforced concrete beams using neural network. *Int. J. Concrete Struct. Mater*, 1(1), 63-73.
- Zarandi, M. F., Türksen, I. B., Sobhani, J., & Ramezani-pour, A. A. (2008). Fuzzy polynomial neural networks for approximation of the compressive strength of concrete. *Applied Soft Computing*, 8(1), 488-498.