

Introducción

En la ingeniería civil moderna, los métodos tradicionales de diseño han sido gradualmente sustituidos por técnicas informáticas que pueden solucionar situaciones cada vez más complicadas. Dentro de estas metodologías, los algoritmos genéticos se han establecido como un recurso esencial, dado que facilitan la creación de soluciones eficaces para problemas estructurales con diversas variables y limitaciones. Estos algoritmos, fundamentados en los fundamentos de la evolución natural, utilizan procesos de selección, cruce y mutación para explorar extensamente el espacio de soluciones, consiguiendo opciones similares al óptimo global incluso en situaciones no lineales (Holland, 1975; Goldberg, 1989).

Las mejoras tecnológicas y la combinación de algoritmos genéticos con otras técnicas de optimización han superado limitaciones como la convergencia lenta o el costo computacional elevado (Negrín et al., 2019). Además, la optimización topológica y la fabricación aditiva han transformado el diseño estructural, creando edificios más ligeros, resistentes y sostenibles en cuanto al uso de materiales (Ribeiro et al., 2021). Aquí es donde los algoritmos genéticos entran en juego como una herramienta estratégica para la evolución de infraestructuras existentes, contribuyendo no solo a la eficiencia y seguridad, sino también a la sostenibilidad y resiliencia en la ingeniería del futuro.

Investigación

En ingeniería civil, los algoritmos genéticos se han vuelto populares para resolver problemas de optimización que los métodos tradicionales no pueden resolver eficientemente. Estos algoritmos, inspirados en la teoría de la evolución de Darwin, aplican los mecanismos de selección, cruce y mutación para explorar espacios de soluciones complejos, encontrando buenas soluciones aproximadas al óptimo global en problemas no lineales (Holland, 1975; Goldberg, 1989). Su ventaja sobre los métodos clásicos de programación lineal o no lineal radica en la capacidad de manipular funciones discontinuas y muchos óptimos locales, siendo ideal para estructuras de acero y hormigón (Rajeev & Krishnamoorthy, 1998).

Los primeros trabajos aplicados a marcos de concreto reforzado mostraron cómo los algoritmos genéticos podían integrar costos de materiales, disposición de refuerzos y restricciones constructivas (Rajeev & Krishnamoorthy, 1992). Posteriormente, investigaciones como la de Yun y Kim (2005) ampliaron su alcance al diseño de marcos de acero, incorporando análisis inelásticos que mejoraron la precisión y seguridad de los modelos. Estos avances

marcaron el inicio de un campo en expansión, en el cual la hibridación con otros métodos de optimización, como Nelder-Mead, recocido simulado (SA) y enjambre de partículas (PSO), permitió superar limitaciones relacionadas con el tiempo de cómputo y la convergencia hacia soluciones óptimas (Negrín et al., 2019).

Entre las aplicaciones más destacadas se encuentra la optimización topológica, que busca la mejor distribución de material dentro de una estructura para lograr diseños más ligeros y resistentes. La integración de algoritmos genéticos con manufactura aditiva ha revolucionado este campo, posibilitando la creación de componentes con reducción de peso de hasta un 50% sin comprometer la capacidad estructural (Ribeiro et al., 2021). Este tipo de innovaciones no solo impacta en la eficiencia técnica, sino que también contribuye a la sostenibilidad al disminuir el consumo de materiales y energía en los procesos constructivos, alineándose con las tendencias actuales de infraestructura verde.

No obstante, el uso de algoritmos genéticos aún presenta retos significativos, como el elevado costo computacional y la necesidad de un ajuste adecuado de parámetros para garantizar buenos resultados (Deb, 2001). Para enfrentar estas limitaciones, se han propuesto estrategias como la paralelización de procesos, el desarrollo de algoritmos adaptativos y la incorporación de inteligencia artificial para ajustar dinámicamente las tasas de mutación y cruce (Mostafa et al., 2022). Estas innovaciones sugieren un futuro prometedor en el que los algoritmos genéticos se consolidarán como herramientas esenciales en el diseño estructural moderno, aportando eficiencia, seguridad y sostenibilidad a las infraestructuras del mañana.

Desarrollo

El avance de los algoritmos genéticos en el ámbito de la ingeniería civil ha pasado por varias etapas que han resaltado su relevancia en el diseño de estructuras. Desde sus comienzos en la década de los 90, estos métodos han demostrado ser más eficaces que la optimización tradicional, que se fundamentaba en funciones continuas y derivables para obtener resultados (Goldberg, 1989). Su principal fortaleza radica en su adaptabilidad, ya que poseen la habilidad para gestionar variables discretas, diversas restricciones y funciones no lineales, un aspecto común en la ingeniería de estructuras. Con el transcurso del tiempo, su uso se ha expandido, incorporando tanto armazón de acero como de concreto reforzado, en un escenario donde la complejidad del diseño exige soluciones innovadoras y eficientes (Rajeev & Krishnamoorthy, 1998).

En términos prácticos, estos algoritmos han probado ser útiles para mejorar marcos, generar refuerzos y organizar materiales. Por ejemplo, Yun y Kim (2005) evidenciaron que, al incluirlos en análisis difíciles, se puede mejorar el rendimiento de los diseños de armazón de acero, considerando factores como la no linealidad geométrica y los materiales. Asimismo, en estructuras de concreto reforzado, los algoritmos genéticos han simplificado no solo la selección de las dimensiones de los componentes, sino también la cantidad y ubicación de los refuerzos, optimizando tanto la seguridad como el costo del proyecto (Lee & Ahn, 2003). Esto evidencia que los algoritmos, además de resolver problemas de cálculo, contribuyen a la toma de decisiones estratégicas en el ámbito de la ingeniería estructural.

Un factor revolucionario en su evolución ha sido la hibridación utilizando diversas técnicas de optimización. Investigaciones actuales han demostrado que la combinación de algoritmos genéticos con procedimientos como Nelder-Mead, el recocido simulado o el enjambre de partículas puede reducir los periodos de convergencia y mejorar la calidad de las soluciones (Negrín et al., 2019). Este enfoque híbrido permite la utilización de la investigación global en algoritmos genéticos y el empleo local de otros procedimientos, logrando así resultados más robustos. Actualmente, estas integraciones posibilitan el uso de estos métodos en contextos más complicados, como la optimización topológica y el diseño mediante la fabricación aditiva, que exigen un alto nivel de precisión computacional.

Se ha consolidado el enfoque topológico como una de las aplicaciones más innovadoras de los algoritmos genéticos. Esta técnica busca la asignación ideal de material en un dominio para lograr estructuras sólidas y flexibles. Su vinculación con la producción aditiva ha permitido la elaboración de componentes con geometrías complejas que son inviables para ser producidos a través de métodos tradicionales. Ribeiro y su equipo (2021) demostraron que esta combinación logra reducciones significativas de peso, sin afectar la resistencia, facilitando así la construcción de infraestructuras más sustentables. Estos avances son especialmente relevantes en un contexto donde la reducción del impacto ecológico y la eficiencia en el uso de recursos son objetivos esenciales en la construcción moderna.

Finalmente, aunque los algoritmos genéticos brindan ventajas evidentes, también enfrentan limitaciones reales. El costo de la informática sigue siendo un reto, ya que los retos de optimización estructural exigen múltiples evaluaciones que exigen una gran capacidad de procesamiento (Goldberg, 1989). Además, la modificación inadecuada de factores como la tasa de cruce y la mutación puede afectar la calidad de los resultados (Deb, 2001). Como respuesta a esto, las investigaciones contemporáneas se enfocan en soluciones como la paralelización de

procesos y el uso de técnicas de inteligencia artificial para las alteraciones dinámicas de parámetros (Mostafa et al., 2022). Estos patrones indican que el progreso de los algoritmos genéticos no solo busca resolver los desafíos actuales, sino también adaptarse a las exigencias futuras de la ingeniería civil.

Conclusiones

Los algoritmos genéticos sobresalen como una de las herramientas más versátiles y competentes para la ingeniería civil moderna, dado que simplifican la resolución de problemas de diseño estructural que superan las capacidades de los métodos tradicionales. Su capacidad para gestionar varias variables, restricciones no lineales y funciones complejas ha impulsado su uso en marcos de acero, concreto reforzado y en la optimización topológica de estructuras. La implementación de métodos como la producción aditiva ha ampliado sus posibilidades, posibilitando la creación de componentes más leves, sostenibles y eficientes (Ribeiro et al., 2021).

No obstante, el alto costo de la computación y la dependencia en las alteraciones de parámetros siguen representando desafíos importantes. Como respuesta a esto, la hibridación con otros métodos de optimización y el uso de la inteligencia artificial emergen como alternativas viables para potenciar la eficiencia y confiabilidad de los resultados. En resumen, los algoritmos genéticos no solo se consolidan como un recurso valioso en el presente, sino también como una estrategia crucial para el futuro del diseño estructural, respaldando la creación de infraestructuras seguras, creativas y sostenibles.

Referencias

- Latorre Aizaga, H. J. (2018). Optimización del diseño de estructuras de hormigón armado utilizando algoritmos genéticos. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*. Muestra una disminución de costos de hasta un 20 %, mejor distribución de refuerzos y seguridad estructural frente a métodos tradicionales. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/view/3646?>
- Negrín, I. A., Negrín, A., & Chagoyén, E. (2019). Optimización de pórticos planos de hormigón armado mediante hibridación de algoritmos genéticos y Nelder-Mead. *Obras y*

Proyectos, 26, 74–86. Presenta resultados exitosos integrando SAP2000 y MATLAB <https://www.rexe.cl/index.php/oyp/article/view/1327?>.

Montúfar Chiriboga, G. J. (2025). Ensayo científico sobre la optimización topológica de estructuras mediante el uso de algoritmos genéticos. *REICIT*, 4(2), 93–109. Revisión detallada de aplicaciones y retos futuros <https://revistas.up.ac.pa/index.php/REICIT/article/view/6753?>.

Sahab, M. G., Toropov, V. V., & Gandomi, A. H. (2013). A review on traditional and modern structural optimization: problems and techniques. En *Metaheuristic Applications in Structures and Infrastructures* (Elsevier, pp. 25–47). Revisa métodos clásicos y metaheurísticos aplicados en ingeniería estructural https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26245-1_1?.

Topology optimization in concrete construction: a systematic review on numerical and experimental investigations. (2021). *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Ofrece marco teórico sobre optimización topológica en construcción de concreto <https://link.springer.com/article/10.1007/s00158-021-03019-6?>.

Martínez Martínez, G. (2006). Optimización estructural por medio del algoritmo genético: conceptos teóricos y aplicaciones a funciones matemáticas simples. *Revista Politécnica*, 1(1), 7–22. Explica los principios básicos de AG y operadores genéticos <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/726?>.

Diseño óptimo multi-objetivo de edificios de concreto reforzado usando algoritmos genéticos. (s. f.). *Revista Ingeniería Sísmica*. Aborda marcos reforzados con AG y técnicas NSGA-II frente a cargas sísmicas <https://www.redalyc.org/journal/618/61859035002/html/?>.

Inteligencia artificial y aprendizaje automático en geotecnia: optimización de diseños geotécnicos con algoritmos genéticos. *Centro Geotécnico Internacional*. Describe ventajas, limitaciones y estrategias de mejora del rendimiento con AG en geotecnia <https://www.centrogeotecnico.com/blog-geotecnia-geomecanica/inteligencia-artificial-y-aprendizaje-automatico-en-geotecnia-optimizacion-de-disenos-geotecnicos-con-algoritmos-geneticos.html?>.

On Topology Optimisation Methods and Additive Manufacture for Satellite Structures: A Review. (s. f.). MDPI. Revisa integración de GAs y manufactura aditiva en

optimización topológica, señalando retos como carga computacional <https://www.mdpi.com/2226-4310/10/12/1025?>.

Cost-effective topology optimization of masonry structure reinforcements by a linear static analysis-based GA framework. Bulletin of Earthquake Engineering (2024). Detalla implementación computacional de AG (MATLAB-OpenSees), operadores genéticos y parámetros típicos como tasa de mutación del 1–5 % <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-024-01900-5?>.

Bibliografía

Montúfar Chiriboga, G. J. (2024). Ensayo Científico sobre la Optimización Topológica de Estructuras mediante el uso de Algoritmos Genéticos. *REICIT (Revista Especializada de Ingeniería y Ciencias de la Tierra)*, 17.