

UN NUEVO ALGORITMO GENÉTICO ELITISTA APLICADO A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS.

M^a. B. Prendes^{(p)(1)}, A. Bello⁽¹⁾, N. Roqueñí⁽²⁾, F. J. de Cos⁽²⁾

⁽¹⁾Universidad de Oviedo- Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería

⁽²⁾Universidad de Oviedo – Área de proyectos de Ingeniería

SUMMARY.

The continuous development of the genetic algorithms (GA) has led to the obtaining of so-called elitist GA, the aim of which is to avoid the best individual of a population failing to obtain descendants within the following generation. To do so, the copy the best individual from the present population in the new one, normally achieving an increase in speed in the obtaining of the optimal individual.

The elitist implemented in this study does not save a single individual, but a percentage of the best individuals according to elite probability, thus achieving a greater speed of convergence.

This algorithm is applied to steel structures, with the aim of obtaining individuals of minimum weight in the structural elements, but which fulfill the safety factors (Ultimate Limit States) established by the selected building code.

To this end, a modified objective function has been defined that considers the constraints established by these coefficients. The analysis of the structure and the verification of the safety factors was carried out using the Escal3D program, developed in the University of Oviedo, capable of obtaining the safety factors established by different international building codes, although in this work the Spanish building code was considered. In addition, the codification of the design variables has been modified so that all of them have the same probability of initial selection; a selection operator has been implemented to consider the dispersion of the individuals within the population as well as a crossover operator that interchanges the sections assigned to the structural elements without their prior modification.

The final result is a robust genetic algorithm that is simple from a mathematical point of view and is able to work with complex structures under different load and constraint conditions, to employ sections of commercial catalog and to apply the experience of the engineer selecting those variables.

RESUMEN.

El continuo desarrollo de los algoritmos genéticos (AG) ha llevado a la obtención de los llamados AG elitistas, cuyo fin es evitar que el mejor individuo de una población fracase en la obtención de descendientes dentro de la siguiente generación. Para ello, copian el mejor individuo de la población actual en la nueva, consiguiendo un aumento de velocidad en la obtención del individuo óptimo.

En este trabajo se muestra la implementación de un AG que no guarda un único elemento, sino un porcentaje de los mejores individuos según la probabilidad élite (P_e), obteniendo así mayor velocidad de convergencia.

Dicho algoritmo aplicado a estructuras metálicas, es capaz de obtener elementos estructurales de pesos mínimos capaces de satisfacer los coeficientes de seguridad (Estados Límite Últimos) de la normativa considerada.

Con este fin se ha definido una función objetivo modificada que tiene en cuenta las restricciones marcadas por dichos coeficientes. El análisis de la estructura y la comprobación de los coeficientes de seguridad se ha realizado con el programa Escal3D, desarrollado en la Universidad de Oviedo y capaz de obtener los coeficientes de seguridad marcados por distintas normas internacionales; aunque en este trabajo se ha considerado la española. Se ha modificado la codificación de las variables de diseño para que todas tengan la misma probabilidad de selección inicial. Por último se han implementado un operador de selección que tiene en cuenta la dispersión de los individuos dentro de la población y un operador de cruce que intercambia las secciones asignadas a los elementos estructurales sin modificarlas previamente.

El resultado final es un AG robusto, sencillo desde un punto de vista matemático, capaz de trabajar con estructuras complejas bajo diferentes condiciones de carga y restricciones, emplear secciones de catálogos comerciales como variables de diseño y aplicar la experiencia del ingeniero seleccionando dichas variables.

1. INTRODUCCIÓN.

En la naturaleza los individuos tienen que adaptarse a su medio ambiente en orden a sobrevivir en un proceso llamado evolución, en el que aquellas características que hacen a un individuo más adecuado para competir son preservadas cuando se reproduce y aquellas características que lo hacen más débil se eliminan. Tales características son controladas por genes que se agrupan en cromosomas. Tras sucesivas generaciones, los individuos más aptos sobreviven y sus genes son transmitidos a sus descendientes durante el proceso de recombinación sexual (cruce). La técnica que permite a los ordenadores mimetizar el proceso de la evolución natural se denomina algoritmo genético (AG) [Davis, 1991].

2. ALGORITMO GENÉTICO.

Los AG se aplican a las estructuras metálicas tratadas como individuos de una población, con el fin de obtener el individuo óptimo, es decir, aquel individuo que presente un peso mínimo pero que sea capaz de cumplir los coeficientes de seguridad de la normativa usada en el cálculo.

Para ello las secciones se codifican en cadenas de bits denominadas fenotipos. Estos se unen entre sí constituyendo los cromosomas que representan el conjunto de diseño, estructura a optimizar o individuo.

Los individuos forman parte de una población, que se ve modificada en cada generación. Sin embargo cuando se produce la supervivencia del individuo óptimo de una generación a otra se aumenta la velocidad de convergencia y el AG se denomina entonces elitista.

3. ALGORITMO GENÉTICO ELITISTA.

El AG elitista desarrollado en la Universidad de Oviedo no guarda un único individuo sino un conjunto de los mejores cuyo número vendrá dado por la probabilidad élite

(P_e). Con ello se consigue mayor velocidad de convergencia, que en los AG elitistas tradicionales, pero sin alterar de manera significativa los resultados.

Además, se ha tenido en cuenta que en la optimización del diseño de estructuras metálicas es muy importante la experiencia del ingeniero. Debe ser éste el que seleccione las secciones de los elementos estructurales de un individuo de la población cero conocido como individuo inicial. Con ello se pretende reducir el tiempo de convergencia porque dicha selección inicial, y siempre en función de la experiencia del ingeniero, será próxima al individuo óptimo.

También se ha asegurado que todas las secciones asignadas a los elementos estructurales pertenezcan a catálogos comerciales y que todas tengan la misma probabilidad de selección inicial [Mahfouz, 1998]. Para ello, se calcula el número de bits necesarios que representen todas las secciones del catálogo elegido. Si este número calculado permite representar más secciones que las que hay en el catálogo se comprueba que el número asignado aleatoriamente a cada variable se corresponde con una sección del catálogo y de no ser así, se vuelve a generar el número aleatorio.

Una vez creada la primera generación, se analiza la estructura y se calculan los coeficientes de seguridad [NBE EA-95, 1996] con el programa Escal3D [Bello, 1998], para a continuación calcular la función objetivo.

3.1. Función objetivo.

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo del AG elitista implementado es la obtención de estructuras metálicas de peso mínimo que cumplan las restricciones de seguridad. Lo que matemáticamente se puede expresar como muestra la Ecuación 1.

$$\begin{aligned}
 &\text{función objetivo a minimizar} && F(x) = \rho \cdot \sum_{s=1}^{n_{bar}} x_s \cdot L_s \\
 &\text{restricciones} && \frac{G_s(x)}{\tilde{G}_s(x)} \leq 1 \quad \frac{H_s(x)}{\tilde{H}_s(x)} \leq 1 \quad \dots \quad \frac{T_s(x)}{\tilde{T}_s(x)} \leq 1 \quad s = 1, 2, \dots, s^s
 \end{aligned} \tag{1}$$

Existen varios métodos de ajuste de las restricciones aunque se ha considerado la penalización de los miembros de una población que tengan una o más violaciones ya que es más eficaz en aquellos problemas con pocas soluciones viables.

La transformación de optimización restringida a no restringida junto con el método de ajuste seleccionado, aplicados a la Ecuación 1, produce la expresión matemática (Ecuación 2).

$$\bar{F}(x, r) = \rho \cdot \sum_{s=1}^{n_{bar}} x_s \cdot L_s + \sum_{s=1}^{n_{bar}} \left[r_1 \cdot \frac{G_s(x)}{\tilde{G}_s(x)} + r_2 \cdot \frac{H_s(x)}{\tilde{H}_s(x)} + \dots + r_{n_c} \cdot \frac{T_s(x)}{\tilde{T}_s(x)} \right] \tag{2}$$

donde el primer sumatorio es el peso del individuo definido a partir de la densidad del material ρ , el área de la sección del elemento estructural x_s , y la longitud de ese elemento L_s de las n_{bar} barras que componen la estructura; el segundo componente es la suma de los n_c coeficientes de seguridad multiplicados por los coeficientes de penalización r_{n_c} .

En la definición del coeficiente de penalización se tomó como valor de referencia para los coeficientes de seguridad la unidad [Argüelles, 1999]. Valores inferiores

indican la existencia de secciones menos pesadas capaces de soportar esas tensiones y valores superiores indican una barra sobrecargada. Por ello se han penalizado los valores tanto inferiores como superiores a la unidad. Numerosos ajustes y ensayos han permitido obtener los coeficientes de penalización expresados por la Ecuación 3.

$$r(c) = \begin{cases} 0 & \text{si } c = 0 \\ e^{2-c} \cdot 10 & \text{si } 0 < c < 1 \\ 1 & \text{si } c = 1 \\ c \cdot 1000 & \text{si } c > 1 \end{cases} \quad c = G_S(x) \quad (3)$$

3.2. Nueva población.

Conocida la función objetivo se evalúan los individuos de una población eliminando aquellos con una aptitud inferior a la media. Se define entonces, para los individuos supervivientes, una *probabilidad de rechazo* de valor inverso a la aptitud, es decir, a mayor aptitud de un individuo superviviente, menor probabilidad de rechazo. De esta manera, la nueva población (Figura 1) se crea a partir de los mejores individuos de la población anterior, aumentando la velocidad del algoritmo genético en la búsqueda del individuo óptimo para esa evolución.

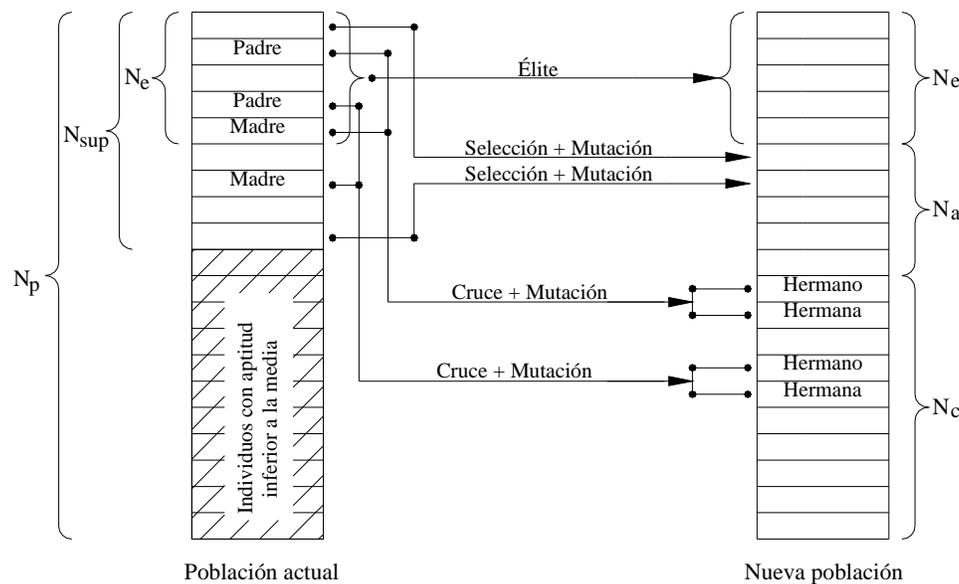


Figura 1. Composición de nuevas poblaciones en el AG elitista.

3.3. Operador de cruce.

Los individuos de una población han de intercambiar información genética para impedir pérdida de información válida. Esto se consigue con el operador de cruce. En este caso se ha desarrollado un cruce que intercambia fenotipos y no bits (Figura 2), para que no se produzcan además alteraciones de variables de diseño.

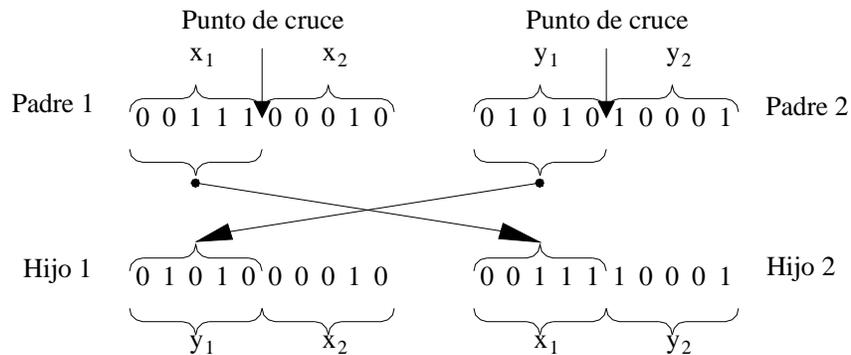


Figura 2. Cruce por un fenotipo para cadenas binarias.

3.4. Convergencia.

El proceso se repite generación tras generación (Figura 3) hasta que se verifique alguno de los tres criterios de convergencia establecidos [Mahfouz, 1999]:

- el porcentaje de la diferencia entre el diseño más apto de la población actual y el diseño de la población 30 generaciones anteriores es menor que un valor dado.
- el porcentaje de la diferencia entre el ajuste medio de la población actual y el ajuste del mejor diseño es menor que un valor dado.
- se permite un número de generaciones fijo.

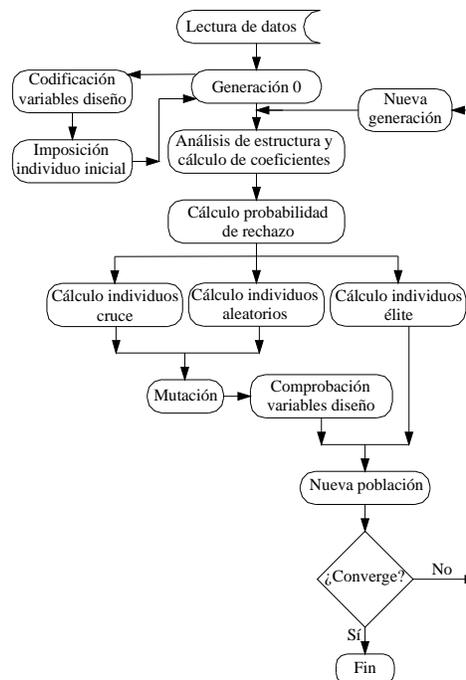


Figura 3. Flujo del AG elitista.

4. CONCLUSIONES.

- o El AG elitista implementado es un método de optimización robusto y poco complejo matemáticamente, adecuado para los diseñadores.
- o No necesita información previa de la función objetivo o de las funciones de restricción y puede trabajar con estructuras complejas bajo diferentes condiciones de carga y restricciones.
- o Permite el empleo de secciones de catálogos comerciales como variables de diseño y es capaz de aplicar la experiencia del ingeniero seleccionando dichas variables y su relación con los miembros estructurales.

BIBLIOGRAFÍA.

Davis, L. *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.

Mahfouz, S. Y.; Toropov, U. U.; Wetsbrook, R. K. *Improvements in the performance of a genetic algorithm: application to steelwork optimum design*. Proceedings of 7th AIAA/ USAF/ NASA/ ISSMO. Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 1998. Pag. 2037-2045.

Norma Básica NBE EA-95. *Estructuras de Acero en Edificación. Norma Básica de la Edificación NBE EA-95*. Madrid Vicente, Ediciones, 1996. ISBN 84-87440-86-X.

Bello García, A.; Ordieres Meré, J.; Del Cos Díaz, J. J.; Suárez Domínguez, F. J.; Felgueroso Fernández, D.; Álvarez Fernández, M. *Aprendizaje Interactivo mediante el programa de análisis estructural avanzado ESCAL3D*. Journal of Constructional Steel Research. Editorial Elsevier Science, 1998. Vol 46, Pag 273-275.

Argüelles Álvarez, R.; Argüelles Bustillo, R.; Arriaga Martitegui, F.; Atienza Reales, J. R. *Estructuras de Acero. Cálculo, Norma Básica y Eurocódigo*. Bellisco. Ediciones Técnicas y Científicas, Madrid, 1999. ISBN 84-930002-8-0.

Mahfouz, S. Y. *Design Optimization of Structural Steelwork. Design Optimization of steel frame structures according to the British codes of practice using a genetic algorithm*. Thesis. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Bradford, UK, 1999.

CORRESPONDENCIAS.

María Belén Prendes Gero.
Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas de Mieres.
Gonzalo Gutiérrez Quirós, s/n
Telf. 985 45 80 18
belen@mieres.uniovi.es