

Optimización multi-objetivo del entorno, forma y envolvente de vivienda social multifamiliar para alcanzar la menor demanda de energía con uso de algoritmo genético

Letiane Benincá^{ab}, Eva Crespo Sánchez^a, Ana Carolina Badalotti Passuello^b, Josep María González Barroso^a

^aDepartamento de Tecnología de la Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya (España);

^bPosgradación en Ingeniería Civil: Construcción e Infraestructura y LIFE Sustainability,

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

benincalf@gmail.com

La envolvente de los edificios tiene una gran influencia en su consumo energético. Diseñar arquitectónica y constructivamente la envolvente exterior de un edificio requiere la toma de decisiones de muchas variables, ya sean climáticas, paisajísticas, sociales, ambientales, etc. Los algoritmos genéticos, como en biología, facilitan el cruce de múltiples parámetros a su vez. Este aspecto facilita la maximización o minimización de uno o más objetivos específicos, y así encontrar la solución óptima para los fines especificados. Los algoritmos genéticos, aliados a los softwares de simulación de energía, hacen posible la asociación de muchas variables al mismo tiempo con pocos recursos, contribuyendo en la decisión final del proyecto, que podría ser extremadamente exhaustiva si se hace de forma prescriptiva o una simulación a la vez. En este sentido, este artículo busca establecer qué pautas de diseño de la envolvente de vivienda social multifamiliar en la zona climática 2 de Brasil son las más óptimas, con el análisis integrado de 14 variables constructivas, como el espesor del aislamiento de las paredes y cubierta, el espesor del vidrio, la absorción térmica de los colores y la proporción de pared y ventana, con el uso del algoritmo genético *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II), de acuerdo con los límites descritos en el Código Técnico Español (CTE), y en la NBR 15575, normativa brasileña, haciendo un análisis multi-objetivo para encontrar la mejor relación entre demanda de energía de calefacción y refrigeración.

Palabras clave: Optimización multi-objetivo; Algoritmo genético; Eficiencia energética; Demanda de calefacción; Demanda de refrigeración.

1. Introducción

Con la crisis energética mundial, vivida en los años 70, hubo la necesidad de adaptar los estándares energéticos de los edificios. Como resultado, se crearon nuevas leyes y regulaciones sobre el tema para minimizar los impactos energéticos de los edificios. Desde entonces, arquitectos, ingenieros y constructores han tenido que adaptarse a esta nueva realidad, buscando formas de construir con mayor eficiencia energética [1].

La construcción del edificio requiere un gran estudio inicial y análisis de muchas variables para que pueda construirse con un rendimiento energético adecuado. Hay innumerables variables constructivas, climáticas y de diseño que influyen en el proyecto. En esta materia, los algoritmos genéticos pueden ser útiles para proporcionar una respuesta rápida a las muchas variables del edificio, de forma integrada.

2. Optimización Multi-objetivo

Es el uso de dos funciones objetivos en conflicto y que generan una curva de Pareto, donde la mejor solución será la más cercana al punto utópico, en la búsqueda de la minimización o maximización de una

de las funciones objetivo, como se muestra en Fig. 1 [2].

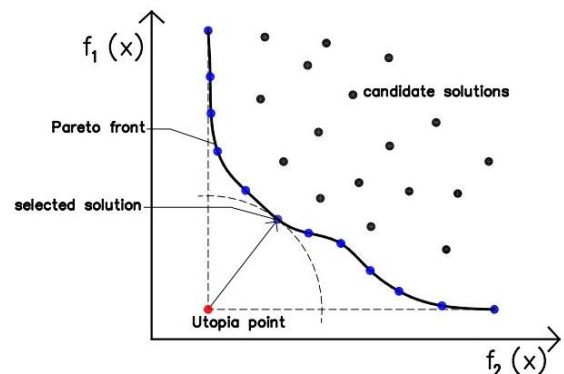


Figura 1. Selección de la mejor solución. Curva de Pareto [2].

Los métodos de optimización se han mejorado y estudiado ampliamente en los últimos años, como se puede ver en los artículos de revisión sobre el tema. Estas revisiones han demostrado que el *software EnergyPlus* es el principal motor de cálculo térmico y la herramienta de optimización más utilizada es Matlab. Presentan el aumento de la optimización con algoritmos a lo largo de los años, para ayudar en los problemas de construcción. Señalan que el algoritmo NSGA-II es el más adecuado para resolver problemas

de optimización multi-objetivo, que son comunes en el diseño arquitectónico [1-8].

3. Algoritmo Genético (AG)

Introducido por Holland (1975) y se basa en un proceso de selección natural y adaptación que imita la evolución biológica (Darwin), incluyendo aspectos de herencia, cruce o combinación y mutación. Se destaca por la diversidad de las soluciones que presenta y la eficiencia en la optimización del rendimiento del edificio, debido a su clasificación elitista que acelera la convergencia de las soluciones [1].

Además, los artículos de revisión sobre el tema, señalan que el AG *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II), propuesto por Deb et al. (2002), es el más adecuado para resolver problemas de optimización multi-objetivo, que son comunes en el diseño arquitectónico. Esta variante utiliza la *crowding distance*, lo que significa que busca la convergencia de los genes más aptos después de la primera generación aleatoria [1,9].

Inicialmente, es necesario fijar un número de población, que serán los individuos optimizados. En la secuencia, es necesario estipular cuántas generaciones estarán cruzando los "genes" de los individuos. Con estos dos parámetros se logrará un número X de soluciones [10, 11].

La primera selección de los "genes" ocurre aleatoriamente, luego, la función *crowding distance* buscará los mejores "genes" para alcanzar las funciones objetivas seleccionadas para la optimización, como muestra la Fig. 2.

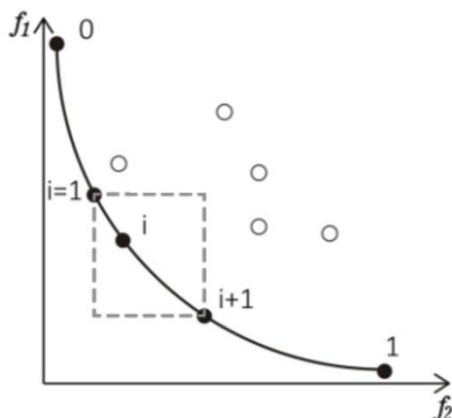


Figura 2. *Crowding distance* [9]

En este escenario, se hará el cruce de todas las variables seleccionadas, buscando la mejor solución para lograr el problema multi-objetivo, para

maximizar o minimizar las dos (o más) funciones de objetivos propuestas.

4. Optimización de edificios multifamiliares con AG

En la academia, el tema está ampliamente estudiado, siendo el ACV y la eficiencia energética los temas con más discusión en el campo de la ingeniería y arquitectura. Ciardiello *et al.* [12], hacen la optimización de un edificio multifamiliar en dos fases. Primero analizan la forma, las proporciones y la orientación de un edificio hipotético. En la segunda fase, se analizaron variables para modernizar los edificios, verificando 22 variables diferentes, utilizando una variante del NSGA-II.

Los autores concluyen que con la investigación llevada a cabo, fue posible ahorrar 60% de la demanda energética anual mediante la optimización de la geometría. Con la forma optimizada hay el potencial de ahorro de 23% del coste energético anual utilizando estrategias pasivas y activas en la rehabilitación de la edificación encontrada como óptima.

En Italia, Ascione *et al.* [13], optimizaron un edificio residencial real de cinco pisos, utilizando NSGA-II, con una población de 50 individuos y 100 generaciones, para las siguientes variables: orientación, tipo de ventana, espesor de aislamiento y absorción solar de paredes, piso y techo, setpoint de temperatura para calefacción y refrigeración; la posición del aislamiento térmico de las paredes, el techo y el piso; espesor de bloque de paredes, techo y piso y el bloque de conductividad térmica y densidad de paredes, techo y piso. Las funciones objetivas para el análisis multi-objetivo fueron el consumo de energía primaria; costes globales relacionados con la energía y las horas de desconfort.

Los resultados de la investigación muestran que la optimización de la envolvente de la edificación puede dar indicaciones para la rehabilitación energética del parque de viviendas italiano. Las soluciones óptimas proporcionan valores bajos de consumo de energía primaria (entre 62,0 y 91,9 kWhp/m²a) y de costo de energía global entre 456 y 665 Euros/m² (dependiendo de la ubicación).

En la búsqueda de minimizar las demandas de calefacción y refrigeración, Albatayneh [14] estudió una casa típica jordana, utilizando el software DesignBuilder junto con el AG embebido y evaluó 12 variables de diseño. Los resultados finales muestran que la refrigeración se puede disminuir en 99,79

kWh/año y la calefacción en 193,95 kWh/año en comparación con el modelo de referencia.

5. Método

Esta investigación empleará la simulación energética y la optimización con el AG NSGA-II como estrategia de averiguación, utilizando el *software* de cálculo termoenergético *EnergyPlus* versión 9.0.1 y el lenguaje de programación *Python* como herramienta de optimización, con el objetivo de recrear las realidades de las tipologías elegidas, simulando el comportamiento de dos edificios multifamiares en el contexto climático de la ciudad Passo Fundo, zona climática 2, en el sur de Brasil.

En el estado actual, se realiza un análisis del rendimiento real de la demanda energética de calefacción y refrigeración de los edificios con la intención de compararlo con la optimización final. La optimización arquitectónica se caracteriza por dos fases, la fase I proporciona la mejor orientación y forma en relación a la minimización de la demanda energética total del edificio.

La fase II presenta la solución integrada de la optimización de las 13 variables arquitectónicas para la envolvente del edificio buscando la relación entre la mínima demanda de calefacción y refrigeración, siendo las variables y sus rangos presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Variables optimizadas

Variable	Franja de optimización
Espesor aislante pared (N)	De 0 a 0,15 m
Espesor aislante pared (S)	De 0 a 0,15 m
Espesor aislante pared (L)	De 0 a 0,15 m
Espesor aislante pared (O)	De 0 a 0,15 m
Espesor aislante cubierta	De 0 a 0,15 m
Absortancia solar paredes	De 0,2 a 0,8
Absortancia solar cubierta	De 0,2 a 0,8
Setpoint ventilación	De 18°C a 25°C
Espesor del vidrio	De 0.003 a 0,01m
Proporción ventana-pared (N)	De 15% a 25%
Proporción ventana-pared (S)	De 15% a 25%
Proporción ventana-pared (L)	De 15% a 25%
Proporción ventana-pared (O)	De 15% a 25%

La dos edificaciones en estudio, forman parte del programa de vivienda brasileño “Minha Casa Minha Vida” para familias de renta baja (las que reciben hasta 3 sueldos mínimos). De acuerdo con Triana, Lamberts e Sassi [15], las viviendas multifamiliares se construyen en mayoría en formato “H” y luego en forma linear. En este sentido, este trabajo busca investigar la demanda de estos dos formatos.

La edificación “H” tiene 5 pisos, con viviendas de 40,10m² de área útil, con un total de 1.011,35 m² de área construida. El edificio linear, también posee 5 pisos, sus viviendas tienen una área útil de 42,60 m² y un área construida de 1.137,30m². La Fig. 3 y 4 presentan la perspectiva de las edificaciones.



Figura 3. Edificio “H”.



Figura 4. Edificio linear.

El modelado de las Zonas Térmicas y la configuración de los edificios analizados observando: ocupación - número de personas, horarios de ocupación, tasas metabólicas, iluminación - horarios de activación del sistema de iluminación, densidad de potencia de iluminación, infiltración de aberturas, equipos, sistemas de iluminación y ventilación natural, se definieron observando las condiciones límites de la legislación brasileña, como es la realidad a simular y fueron configuradas y adaptadas según el INI-R [16]. Las configuraciones de la envolvente del edificio se establecieron con los límites recomendados en la NBR 15220 [17] y la NBR 15575 [18] observando la transmitancia térmica, la absortancia térmica y la capacidad térmica.

Siendo la transmitancia térmica de la pared de 2,6 W/m².K y la capacidad térmica de 150,48 kH/m².K. La cubierta con transmitancia térmica de 2,3 W/m².K, de acuerdo con los parametros de la NBR 15575.

Se analiza la ciudad de Passo Fundo, en el sur de Brasil, perteneciente al estado de Rio Grande do Sul y clasificada en la zona climática 2 de la NBR 15220 [17]. La ciudad está a 687 m de altitud, y es clima Cfa, según la clasificación de Koppen [19].

6. Conclusiones

Los algoritmos genéticos son una herramienta eficaz y a la vez asertivas para la solución de problemas conflictivos en la ingeniería y arquitectura. Por lo expuesto, la tesis tiene la intención de encontrar la mejor orientación solar, la forma (entre las dos propuestas) y la envolvente (analizando las 13 diferentes características) partiendo del análisis multi-objetivo con el uso del NSGA-II en la búsqueda de la mejor relación entre a minimización de la demanda de calefacción y de refrigeración.

Referencias

[1] Kheiri, F. A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 92, n. May 2017, p. 897–920, 2018.

[2] Nguyen, A. T.; Reiter, S.; Rigo, P. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, v. 113, p. 1043–1058, 2014.

[3].Attia, S. et al. Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design. *Energy & Buildings*, v. 60, p. 110–124, 2013.

[4] Parvin, K. et al. Intelligent Controllers and Optimization Algorithms for Building Energy Management towards Achieving Sustainable Development: Challenges and Prospects. *IEEE Access*, v. 9, p. 41577–41602, 2021.

[5]. Shi, X. et al. A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 65, p. 872–884, 2016.

[6]. Huang, Y.; Niu, J. L. Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials. *Energy and Buildings*, v. 117, p. 387–398, 2016.

[7] Costa-Carrapiço, I.; Raslan, R.; González, J. N. A systematic review of genetic algorithm-based multi-objective optimisation for building retrofitting strategies towards energy efficiency. *Energy and Buildings*, v. 210, 2020.

[8] Machairas, V.; Tsangrassoulis, A.; Axarli, K. Algorithms for optimization of building design: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 31, n. 1364, p. 101–112, 2014.

[9] Linczuc, V. C. C.; Bastos, L. E. G. Otimização multiobjetivo orientada ao desempenho térmico para o projeto de edificações de baixo consumo de energia na Região Sul do Brasil. *Ambiente Construído*, v. 20, n. 4, p. 509–529, 2020.

[10] Murugan, P.; Kannan, S.; Baskar, S. NSGA-II algorithm for multi-objective generation expansion planning problem. *Electric Power Systems Research*, v. 79, n. 4, p. 622–628, 2009.

[11] Ishibuchi, H. et al. Evolutionary many-objective optimization by NSGA-II and MOEA/D with large populations. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, v. 1, n. October, p. 1758–1763, 2009.

[12] Ciardiello, A. et al. Multi-objective approach to the optimization of shape and envelope in building energy design. *Applied Energy*, [s. l.], v. 280, n. October, p. 115984, 2020.

[13] Ascione, F. et al. Building envelope design: Multi-objective optimization to minimize energy consumption, global cost and thermal discomfort. Application to different Italian climatic zones. *Energy*, v. 174, p. 359–374, 2019.

[14] Albatayneh, A. Optimisation of building envelope parameters in a semi-arid and warm Mediterranean climate zone. *Energy Reports*, v. 7, n. November, p. 1–23, 2021.

[15] Triana, M. A.; Lamberts, R.; Sassi, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy*, v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015.

[16] INMETRO. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais Inmetro, 2018.

[17] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR

IV Jornada de doctorado del programa TAEU. 2021

15220: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[18] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

[19] Peel, M. C; Finlayson, B. L; McMahon, T. A. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrol. Earth Syst. Sci, v. 11, p. 1633-1644, 2007.