

Optimización geométrica de vanos residenciales para el trópico con aplicación de algoritmos genéticos y diseño paramétrico

Geometric Optimization of façade openings in the tropics with genetic algorithms and parametric design application

María Clara Betancourt

mcbet@icesi.edu.co

Universidad Icesi, Cali - Colombia

Rodrigo García Alvarado

rgarcia@ubiobio.cl

Universidad de Bio Bio, Concepción - Chile

Lina Marcela Quintero Villarreal

lmquintero@icesi.edu.co

Universidad Icesi, Cali - Colombia

.....
Fecha de recepción: Junio 30 de 2012

Fecha de aceptación: Julio 24 de 2012

Palabras clave

Diseño paramétrico; algoritmos genéticos; optimización; confort; vanos.

Keywords

Parametric design; genetic algorithms; optimization; comfort; façade openings.

Resumen

Los vanos de las viviendas tienen alto impacto en la calidad ambiental interior y el consumo energético, sin embargo, no existen regulaciones precisas para su diseño en el trópico, su diseño se basa en las experiencias propias del arquitecto y el sentido común. Determinar la correcta configuración de un edificio con el desempeño deseado, hoy es posible con la introducción del diseño paramétrico y los algoritmos genéticos, que permiten obtener las mejores alternativas en la fase inicial del proceso de diseño. El principal objetivo de esta investigación es el diseño de vanos residenciales que proporcionen condiciones adecuadas de confort térmico, visual y psicológico para viviendas del clima cálido húmedo tropical. El uso de herramientas generativas permite una evaluación de los resultados en etapas iniciales del proyecto, ofreciendo la posibilidad de elegir entre una variedad de soluciones que cuentan con un alto grado de eficiencia y sostenibilidad.

Abstract

The envelope openings of houses have a strong implication in the indoor environmental quality and energy consumption. Nevertheless, there are no precise regulations for its design in equatorial tropics. Normally these designs are based in the previous experiences and common sense of the architect. Determining the correct configuration of a design problem with the desired performance is now possible with the introduction of Parametric Design and Genetic Algorithms; through these it's possible to obtain the best alternatives in the initial phase of design. The main focus of this investigation is to design windows that proportion adequate conditions of thermal and visual comfort, for a warm and humid tropical climate. The use of generative tools allows the evaluation of results in the initial stages of the project, giving the designer the possibility of choosing among diverse results with a high grade of efficiency and sustainability.

I. Introducción

En el clima tropical existe una carencia de estándares para el diseño y la construcción de vanos para un desempeño sostenible de la vivienda; esta falta de legislación agudiza el problema del consumo energético ya que el crecimiento de los procesos de urbanización trae implícito el crecimiento en la demanda de confort en los espacios habitables, lo que trae consigo el aumento del consumo energético (Grimme, Laar & Moore, 2006).

Estudios demuestran que satisfacer condiciones de confort dentro de las viviendas está ligado al consumo energético de las mismas, además se ha encontrado que los vanos tienen un gran impacto en el rendimiento de un edificio. Según Caldas (2001), los vanos son elementos de un edificio que pueden ser aislados del resto, convirtiendo su estudio en un campo amplio para la investigación y aplicación de métodos de búsqueda y optimización de la práctica sostenible.

Las características climáticas del trópico implican consideraciones especiales en el diseño de las aperturas; es importante establecer estándares que en lugar de promover el uso generalizado de energía convencional para refrigerar espacios, promuevan la aplicación de técnicas pasivas de enfriamiento y criterios bioclimáticos apropiados para el uso eficiente de la energía (Bravo, González & Gaudi, 2009).

Desde los estudios iniciales de Holland (1975) hasta hoy, se han realizado investigaciones que evidencian los múltiples usos de los algoritmos genéticos en el campo del diseño. Aris, Geros y Bourdakis (2006) muestran como el desarrollo de un algoritmo genético es capaz de optimizar las aperturas de un espacio para conseguir el consumo energético mínimo y después diseñar automáticamente alternativas de solución de posibles fachadas. Torres y Sakamoto (2007) proponen la implementación de un algoritmo genético para la optimización de fachadas maximizando el ahorro de energía y reduciendo el des confort visual. Marin, Bignon y Lequay (2008) usan los algoritmos genéticos en el proceso de diseño creativo. Por su parte, Caldas (2001) hace uso de los algoritmos genéticos para optimizar los presupuestos en una construcción, minimizando el uso de aire acondicionado, electricidad y los costos de la misma.

II. Cuestiones teóricas sobre sistemas paramétricos y algoritmos genéticos aplicados al diseño

A) Diseño paramétrico

El diseño paramétrico ofrece la posibilidad de encontrar nuevas maneras de plasmar soluciones y de llevar el proceso de diseño que se gesta en un inicio en la mente del diseñador, a un esquema lógico que puede ser representado por un algoritmo, y así poder controlar dicho proceso. Produciendo de esta manera *una automatización en la definición de las geometrías a través de funciones matemáticas y de la generación de un modelo*

paramétrico que permite cambios significativos y a su vez rápidos a las geometrías iniciales del modelo (Tedeschi, 2011, p. 11).

De esta manera, los sistemas paramétricos se muestran como una nueva alternativa que combina conceptos de diseño y programación y busca ayudar a los diseñadores a explorar las posibilidades existentes en torno al desarrollo de una idea y a construir una nueva forma de pensar los problemas en este campo.

B) Algoritmos Genéticos

Los algoritmos genéticos constituyen un mecanismo de búsqueda enfocado en la resolución de problemas de optimización, que adaptan los conceptos de la evolución natural al mundo computacional. Durante la ejecución del algoritmo genético, las soluciones aptas al problema de optimización son conservadas para que se reproduzcan o muten formando con ello una nueva generación de soluciones más aptas. La evolución es directamente dirigida por la función de aptitud (*fitness*), la cual representa la calidad de la solución. Cada posible solución es evaluada bajo el criterio determinado por la función de *fitness* de manera que cada una obtiene un valor que permite clasificarla frente al resto de los individuos de su generación.

Así pues, el diseño puede llegar a ser concebido como la búsqueda de una óptima o apropiada construcción, donde los términos de búsqueda son usados desde un punto de vista técnico.

En diseño, el estado objetivo representa las características que debe tener el diseño final y *El espacio de búsqueda es el conjunto de todos los diseños que existen a partir de todos los posibles valores de los parámetros del mismo* (Renner & Ekárt, 2009).

III. Implementación computacional: aplicación del proceso de diseño paramétrico y optimización de vanos residenciales

Según Turrin, Buelow y Sofuffs (2011) existen grandes beneficios derivados de combinar el modelado paramétrico y los algoritmos genéticos para el desarrollo de un diseño enfocado a la optimización, entre los que se encuentra permitirle al diseñador obtener automáticamente gran cantidad de soluciones a un problema. Aquí se presenta el estudio y aplicación de una herramienta computacional para la aplicación de algoritmos evolutivos como Galapagos®, que se encuentra incorporada con el sistema de programación paramétrica Grasshopper® sobre la herramienta de modelado tridimensional Rhinoceros® basado en *non-uniform rational B-spline* [NURBS].

Con el fin de realizar pruebas sobre casos de estudio, fue necesario definir el proceso a la manera de un diagrama de flujo, para después pasar a su implementación en las herramientas de software elegidas.

La Figura 1 muestra el proceso lógico que se siguió durante la implementación de las pruebas.

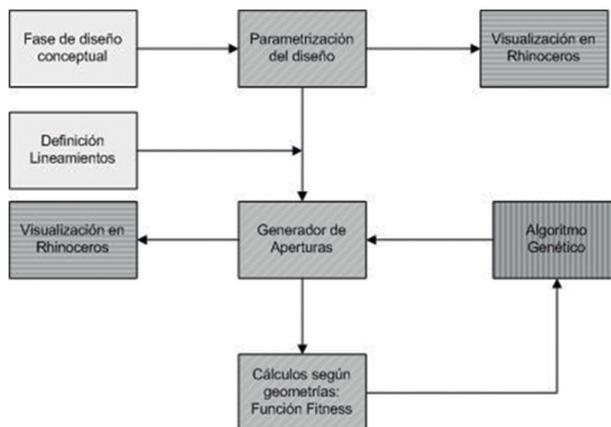


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología desarrollada

El diseño conceptual es la fase en la que los requerimientos y los objetivos del diseño son definidos, esta primera etapa sintetiza en una idea conceptual las formas que se van parametrizar y posteriormente a analizar.

Desde el campo de la informática y la tecnología, el diseño conceptual es un proceso de búsqueda iterativa en donde cada diseñador reúne, genera, representa, transforma, manipula y comunica información y conocimientos relacionados con varios ámbitos de conceptos de diseño (Horvath, 2005).

Los diseñadores inicialmente abordan esta etapa con una función normalmente representada como un conjunto de objetivos y limitaciones, buscando encontrar una forma que satisfaga la función inicial (Simon, 1979).

En la etapa de parametrización del diseño se realiza la definición de muros, pisos, vanos, protecciones, techos, entre otros, por medio de los componentes geométricos proporcionados por Grasshopper®, que cuenta con componentes auto ajustables para definición de todo tipo de formas y operaciones.

El diagrama de flujo muestra un bloque que representa el algoritmo que genera los vanos en un muro determinado. Adicional a esto, se encuentra un generador de protecciones que retorna elementos horizontales que se encargan de cubrir el vano para evitar la incidencia del sol en las horas más críticas del día.

Finalmente se presenta la etapa de comprobación e implementación, a través del uso de Galapagos®, de los lineamientos para obtener una geometría y ubicación en el plano vertical que asegure cumplir con las condiciones de confort deseadas como iluminación, ventilación y confort térmico. Es en este punto donde se hace uso de los algoritmos genéticos como herramienta exploratoria entre forma y desempeño.

A) Implementación del modelado paramétrico y optimización de geometrías

La elección inicial de un espacio simple para explorar las herramientas y procedimientos mencionados tiene como fin definir los bloques necesarios para generar

los vanos e ilustrar las estrategias que se siguen en dicho proceso. Definiendo de esta manera una muestra de carácter propositivo referente a diversas soluciones de vanos para la arquitectura tropical donde las formas finales garanticen un desempeño óptimo en términos de confort.

Después de la selección del modelo inicial y sus respectivas dimensiones, se identificaron cuáles variables iban a ser estáticas, cuáles podían ser modificadas por el usuario, las variables que serían consideradas como genomas y las restricciones especiales para el espacio.

Por último se procedió con la ejecución del algoritmo genético, su función de adaptabilidad entrega un valor que hace referencia al confort obtenido después de evaluar en cada individuo sus dimensiones y la forma en que estas se relacionan con propiedades como ventilación, iluminación, forma y ubicación.

La Figura 2 resume las fases descritas anteriormente implementadas en un espacio simple.

Una vez se completó la implementación y optimización del modelo básico, se hizo su aplicación a un caso real. Para esta fase se modeló tridimensionalmente una vivienda real ubicada en el Valle del Cauca (Colombia), la cual no registró un diseño adecuado de sus vanos en relación al confort térmico, según mediciones y evaluaciones realizadas previamente. La Figura 3 muestra el proceso de implementación para las pruebas que se realizaron en un solo espacio de la casa modelada con el fin de demostrar que se podía escalar a un caso real lo diseñado y programado en el caso básico. Una vez ejecutada la optimización, se presentaron formas que diferían de las originales, donde las nuevas geometrías eran más aptas para generar confort dentro del espacio.

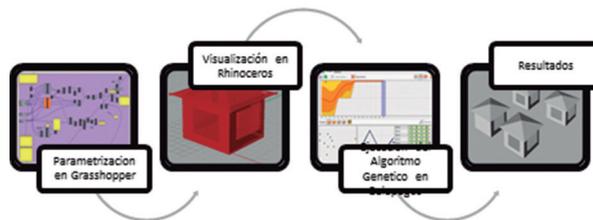


Figura 2. Fases de la implementación del modelado paramétrico y optimización de geometrías en un espacio simple

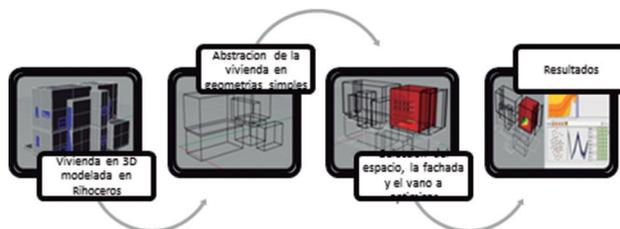


Figura 3. Implementación del modelado paramétrico y optimización de geometrías en un caso real

Conclusiones

Con el uso de Grasshopper® y Galapagos® conseguir diseños basados en la sostenibilidad y el bienestar humano es posible en las etapas tempranas del diseño, proporcionando resultados sostenibles que beneficien a las personas, asegurándoles condiciones de confort.

Las herramientas computacionales –siendo de nuestro principal interés la implementación de algoritmos genéticos– pueden convertirse en apoyo en el proceso de diseño. Una de las necesidades que se puede suplir con la aplicación de algoritmos genéticos en este proceso es la carencia de propuestas óptimas ante un problema. Gracias a que este tipo de técnicas abarcan de manera muy rápida los espacios de búsqueda, se pueden encontrar un mayor número de soluciones que se hubieran escapado de la visión del diseñador, lo que deja en evidencia que la evaluación humana es lenta si se compara con la evaluación de un algoritmo genético en su función de *fitness*.

Finalmente, las herramientas computacionales y el proceso generativo se convierten en aliados del diseñador, capaces de generar formas inesperadas, estimulando su creatividad. En este caso, de la mano con la optimización de las geometrías y sus relaciones con el espacio al que pertenecen, donde cada optimización le da al diseñador la capacidad de elegir entre diferentes formas, evitando de esta manera subyugar su estilo-estética. 

Referencias bibliográficas

- Aris, T., Geros, V. & Bourdakis, V. (2006). Energy conscious automated design of building facades using genetic algorithms. En V. Bourdakis and D. Charitos (Eds.) *Communicating Space(s)*, (pp. 898-903). Liverpool, UK: eCAADe
- Bravo, G., González, E.M. & Gaudi, C. (2009). About Thermal Comfort: neutral temperatures in the humid tropic. *Palapa*, 4(1), 33-38, [En línea]. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=94814777005>
- Caldas, L. (2001). *An evolution based generative design system: Using adaptation to shape architectural form* [Doctoral Thesis]. Massachusetts Institute of Technology
- Grimme, F., Laar, M., & Moore, C. (2006). *Hombre y clima- estamos perdiendo nuestra adaptación al clima?* San José, Costa Rica: Instituto de arquitectura tropical
- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Harbor, MI: University of Michigan Press
- Horvath, I. (2005). On some crucial issues of computer support of conceptual design, D. Talaba, T. Roche (Eds.), *Product engineering: eco-design, technologies and green energy*, Netherlands: Springer

- Marin, Ph, Bignon, J.C. & Lequay, H. (2008). *Integral evolutionary design, integrated to early stage of architectural design process* [eCAADe - architecture 'in computro' - Sept 17-20, Antwerp, Belgium]. Recuperado de <http://www.crai.archi.fr/media/pdf/marin-ddssIntegralEvol.pdf>
- Marin, Ph, Bignon, J.C. & Lequay, H. (2008). A Genetic Algorithm for Use in Creative Design Processes [ACADIA : Biological Processes and Computation. College of Design, University of Minnesota, USA]. Recuperado de <http://www.crai.archi.fr/media/pdf/marin-acadia%20A%20genetic%20algorithm.pdf>
- Renner, G., & Ekárt, A. (2009). Genetic algorithms in computer aided design. *Computer-Aided Design*, 35(8), 709-726
- Simon., H.A. (1979). *Models of Thought*, New Haven, CT: Yale University
- Tedeschi, A. (2011). *Parametric architecture with Grasshopper* Brienza, Italia: Edizioni Le Penseur
- Turrin, M., von Buelow, P., & Stouffs, R. (2011). Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modelling and genetic algorithms. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 656-675.
- Torres, S.L., & Sakamoto, Y. (2007). *Facade design optimization for daylight with a simple genetic algorithm* [Proceedings of Building Simulation 2007, Beijing]. Recuperado de http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p117_final.pdf

Currículum vitae

Maria Clara Betancourt Velasco

Arquitecta de la Universidad de San Buenaventura de Cali. Master in design (Domus Academy, Italia) y Master of Arts in Design (University of Wales, Inglaterra). Directora del Departamento de Diseño de la Universidad Icesi (Cali, Colombia). Profesor investigador grupo Leonardo.

Rodrigo García Alvarado

Arquitecto de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con maestrías en Arquitectura e Informática de la Universidad Politécnica de Madrid, España, y doctorado en Arquitectura de la Universidad Politécnica de Catalunya, España. Académico de la Facultad de Arquitectura y Director del Doctorado en Arquitectura de la Universidad del Bio Bio (Concepción, Chile). Investigador del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico [Fondecyt], el Servicio Alemán de Intercambio Académico [DAAD], la Fundación Andes y el Fondo de Desarrollo de las Artes y la Cultura [Fondart], en Chile

Lina Marcela Quintero Villarreal

Ingeniería Telemática de la Universidad Icesi (Cali). Investigadora y miembro activo del grupo de investigación en diseño *Leonardo*. Trabajó como monitora durante cuatro años en los cursos de Algoritmos y Lenguajes I de la Universidad ICESI. Ganadora y representante por Colombia en el concurso de Microsoft Corporation Imagine Cup 2010 en la categoría de diseño de software.