

Uso de una herramienta computacional evolutiva para el diseño y optimización de vanos residenciales en el trópico

Use of an evolutionary computational tool for the design and optimization of residential openings in the tropic

Maria Clara Betancourt Velasco

Universidad Icesi. Colombia
mcbet@icesi.edu.co

Rodrigo García Alvarado

Universidad del Bio Bio. Chile
rgarcia@ubiobio.cl

Lina Marcela Quintero Villarreal

Universidad Icesi. Colombia
lmquintero@icesi.edu.co

ABSTRACT

Facades have great impact in a house's performance being directly linked to energetic consumption and comfort. Computing sciences propose the systematization of design processes, making it possible to determine an optimal configuration for a tropical building, in order to get a desired comfort performance, based on the implementation of parametric design and artificial intelligence. This research seeks sustainable design by implementing design guidelines, geometrical parameterization and its further optimization. Now it is possible from early stages of design to provide results that can benefit people generating comfort conditions.

KEYWORDS: diseño paramétrico, algoritmos genéticos, optimización, confort, vanos.

1. Introducción

La envolvente de los edificios tiene efectos considerables en el consumo energético y en la calidad ambiental interior, especialmente en la vivienda que es el hábitat más utilizado. Actualmente la piel de los edificios es una preocupación creciente en los países industrializados donde existen normas y concientización sobre el impacto de éstos en el medio ambiente y las personas, estas normas siguen de cerca las normas europeas y norteamericanas en las cuales los niveles para el bienestar humano están decididos a diferentes niveles relativos al del trópico (Eguía, et al., 2004). En particular, en el clima tropical ecuatorial existe una carencia de estándares constructivos y de diseño de vanos para un desempeño sostenible de la vivienda, la falta de legislación en algunos países de esta franja que ocupa un tercio de la población total y más de 100 países, agudiza el problema del consumo energético, ya que lograr temperaturas y humedades relativas constantes tiene un alto costo (Stagno, 2004). La zona tropical terrestre está compuesta por países en su mayoría en vías de desarrollo, donde la demanda de energía y por consiguiente las emisiones de CO2 cada vez serán mayores, ya que el crecimiento económico

y poblacional es proporcional al crecimiento en la demanda de confort y de energía (Grimme, et al. 2006). Los vanos tienen un gran impacto en el rendimiento de un edificio y son elementos que pueden ser aislados de otros problemas más complejos de la arquitectura, estos pueden predecir los requisitos de luz o ganancias de calor, lo cual se convierte en un campo para la aplicación de métodos de búsqueda y optimización de la práctica sostenible (Caldas, 2001).

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar lineamientos para el proceso de diseño de vanos de las viviendas del trópico, a partir del estudio de una selección de proyectos de vivienda significativos en la región del Valle del Cauca Colombiano, estos fueron implementados en una herramienta generativa que permite optimizar la geometría de los vanos en espacios de permanencia, para la generación de confort interior, combinando aspectos climáticos, espaciales, lumínicos y psicológicos. La aplicación de diseño generativo en la arquitectura ha aumentado porque automatiza los procesos creativos, le da soporte al diseñador mediante el uso de herramientas computacionales (Singh, 2011) y además puede ser una herramienta poderosa para el estudio del desempeño ambiental de los edificios

(Caldas y Norford, 2002). La capacidad que tienen las herramientas generativas de encontrar soluciones en amplios espacios de búsqueda y en poco tiempo (Renner y Ekárt, 2009), permite conseguir optimizaciones en el diseño de ventanas y en el diseño de fachadas para eficiencia energética, Aris, et al. (2006) muestran como el desarrollo de un algoritmo genético es capaz de optimizar las aperturas de un espacio para conseguir el consumo energético mínimo para después diseñar automáticamente alternativas de solución de posibles envolventes.

2. Aspectos geométricos

Los lineamientos definidos son el resultado de análisis de relaciones geométricas entre el vano y el espacio de diecisiete casos de estudio de vanos en nueve viviendas, estos se traducen en técnicas o recomendaciones referentes a mitigación de las ganancias solares mediante el uso de vegetación y elementos de protección en los vanos o cerca de ellos, orientación de los vanos, características del espacio y de la permeabilidad del elemento que tenga el vano, la aplicación de estas estrategias permitiría lograr un confort térmico y lumínico y reducir el consumo energético de la vivienda. Los lineamientos constituyen las relaciones existentes entre el vano y (1) el área de la planta, (2) el área permeable y área de vidrio, (3) la disposición de aperturas para ventilación y su tamaño, (4) dimensión del alero de protección solar, (5) la altura del espacio, (6) la relación entre elementos de vegetación exteriores, (7) la orientación y finalmente (8) las preferencias del usuario respecto a la disposición del vano en fachada. La implementación de estas relaciones geométricas del vano en una herramienta generativa como soporte en la etapa de diseño y su impacto en la edificación se compone de dos fases. La primera tiene que ver con la parametrización de las geometrías y la segunda con la optimización de esas relaciones geométricas parametrizadas. El proceso de optimización multi-

objetivo del vano en el clima cálido-húmedo, no pretende la identificación de soluciones únicas, pretende más bien presentar una exploración de diseño donde el arquitecto puede extraer información para el desarrollo de su proyecto.

Este artículo presenta el estudio y aplicación de una plataforma genérica para la aplicación de algoritmos evolutivos como Galapagos®, la cual gracias a su diseño puede ser utilizada en una amplia variedad de problemas de optimización. La herramienta está incorporada con el sistema de programación paramétrica Grasshopper® sobre la herramienta de modelado tridimensional Rhinoceros®.

2.1 Diseño conceptual y representación paramétrica

Actualmente existen herramientas de modelado tridimensional que le permiten al diseñador representar geometrías en pantalla, sin embargo estas cuentan con limitantes que no permiten que el proceso de modificación de la misma pueda ser efectuado de forma rápida y fácil. El diseño paramétrico ofrece la posibilidad de encontrar nuevas maneras de plasmar soluciones y de controlar dicho proceso. De esta manera se produce una automatización en la definición de las geometrías y de la generación de un modelo paramétrico que permite cambios rápidos y significativos (Tedeschi, 2011). Los sistemas paramétricos se muestran como una nueva alternativa donde se combinan conceptos de diseño y programación, para ser adaptados al campo del diseño, buscando 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.

El diseño conceptual, es la fase en la que los requerimientos y los objetivos del diseño se han definido, esta primera etapa sintetiza en una idea conceptual las

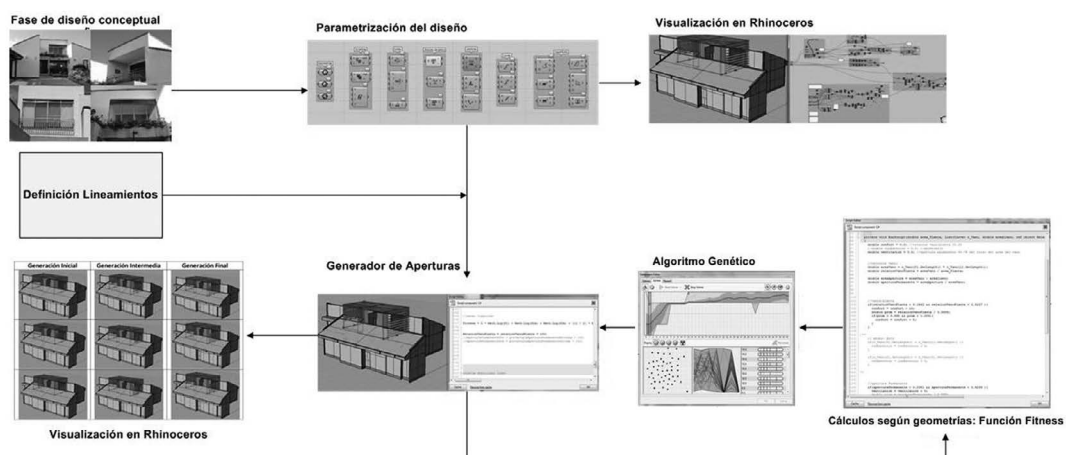


Fig. 1. Diagrama de flujo de la metodología desarrollada para la implementación de lineamientos de diseño y optimización de vanos en herramienta generativa.

LINEAMIENTOS				
PARÁMETROS		VALOR MIN.	VALOR MAX.	VALOR OBJ.
1	Relación vano-planta (%)	33.30	49.83	41.56
2	Apertura permanente (%)	3.61	62.99	33.30
3	Disposición de aperturas horizontal	1 vano, 1 fachada = centrada / 2 vanos 2 fachadas = diagonal		
	Disposición de aperturas vertical	1.2	1.7	1.45
4	Altura del espacio	2.67	4.08	3.37
VALORES Y CONDICIONES ESTÁTICAS				
5	Cantidad de protecciones (unidad)	1	5	N/A
6	Número de ventanas	1	2	N/A
7	Vegetación	Orientaciones Este y Oeste		
8	Proporción entre alto y ancho	Más alto que ancho		
9	Relación entre dos aperturas	A salida/A entrada = 1.25		

Tabla 1. Valores definidos para la optimización de los lineamientos de diseño.

formas que se van parametrizar y posteriormente a analizar, para este caso se definieron las dimensiones y proporciones de elementos arquitectónicos como: muros, piso, techo, y sus relaciones geométricas. Dado que se está siguiendo un proceso de diseño orientado al mejor desempeño de las formas bajo lineamientos de confort, se tuvo en cuenta el impacto que tienen las geometrías en el cumplimiento de objetivos en cada diseño. El proceso de implementación de lineamientos de diseño se realizó como una secuencia lógica de pasos, en la figura 1, se observan los pasos seguidos para la implementación de los lineamientos y optimización de vanos en una vivienda de los casos estudiados. La definición de muros, pisos, vanos, protecciones, techos, entre otros, se hizo por medio de los componentes geométricos proporcionados por Grasshopper® que se interconectan entre sí para crear las relaciones que definen la existencia del espacio completo.

2.2 Optimización de geometrías

Los aspectos sobresalientes de los casos de estudio con calificaciones más altas con respecto al confort, fueron los que se tuvieron en cuenta para la definición de lineamientos que relacionan directamente el confort y aspectos geométricos del piso, altura del espacio, vanos y sus protecciones. En la tabla 1, se observan los parámetros y los valores que resultaron de los casos sobresalientes, para obtenerlos se procedió a calcular la desviación estándar de las variables sobresalientes de los casos con el propósito de definir un rango o valor máximo y mínimo, ya que la optimización requiere de estos valores y además un valor objetivo.

Existen grandes beneficios derivados de combinar el modelado paramétrico y los algoritmos genéticos en etapas tempranas del diseño, ya que permite obtener rápidamente gran cantidad de soluciones a un problema mediante la exploración de geometrías (Turrin et al. 2011).

2.2.1 Descripción de la rutina de optimización

El enfoque de esta rutina radica en la solución de un problema de optimización que busca diseños de vanos que garanticen condiciones térmicas, lumínicas y psicológicas adecuadas dentro de una vivienda del clima cálido húmedo tropical, siendo estas las relaciones que influyen directamente en el consumo energético de la edificación y en las condiciones de confort que se generan dentro del espacio. Para este caso, hacer referencia al desempeño de vanos orienta el objetivo de la rutina de optimización a un propósito en particular; encontrar equilibrio entre objetivos que involucran cálculos geométricos para garantizar una buena calidad ambiental interior. Una vez realizada la parametrización, se dio paso a la modificación iterativa de variables que definían las formas con el fin de encontrar soluciones óptimas al problema que se intentaba solucionar. Adicional a ello, el espacio de búsqueda del algoritmo genético fue determinado por aspectos cuantificables y por otros que no podían ser medidos como preferencias del habitante (aspectos psicológicos que no tienen una escala métrica).

En la búsqueda del vano para una fachada determinada, la función de fitness elaborada consideró de los lineamientos establecidos diversos parámetros, valores y condiciones estáticas. Los aspectos críticos que considera la herramienta son; [1] relación vano-planta, [2] porcentaje de apertura permanente, [3] disposición de aperturas en eje horizontal, [4] disposición de aperturas en eje vertical y [5] altura del espacio. Cada una de las propiedades mencionadas toman un valor en los números naturales dentro de la función de adaptabilidad (fitness) y la sumatoria de estas determinó el valor que debía ser maximizado por el algoritmo genético. Dado que algunas de las propiedades llevaban la solución en una dirección diferente, no podía esperarse que su resultado fuera el caso ideal, es en este punto donde establecer un equilibrio entre ellas puso en evidencia

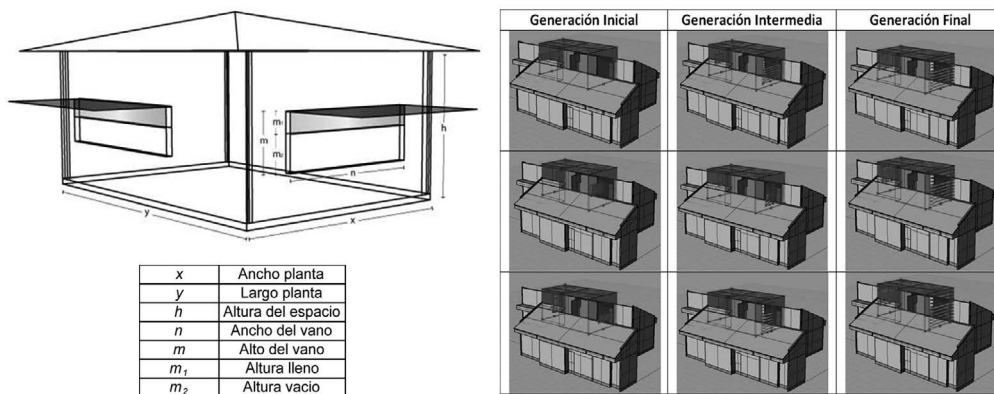


Fig. 2. Ubicación de la nomenclatura en un ejemplo de optimización y generaciones de optimización del caso de estudio Club del Campo.

la función del algoritmo genético. La función de adaptabilidad (*fitness*) que se definió de la siguiente manera donde cada función es el resultado de evaluar el vano en el espacio.

El signo que antepone a cada uno de los factores en una función de adaptabilidad, indica el deseo de maximizar o minimizar. En este caso todos los factores son positivos por lo que se evidencia la necesidad de maximizar cada una de las propiedades que entran a participar de este proceso. La figura 2, presenta un espacio modelado paramétricamente y la nomenclatura utilizada para representar sus dimensiones.

3. Interfaz para el ingreso de datos en la herramienta generativa

Esta aplicación de lineamientos en la herramienta generativa, se hizo con la finalidad de dar soporte en el etapa de diseño al arquitecto, quien posiblemente no tenga conocimientos de Grasshopper, así que para facilitar la entrada de datos como dimensiones del espacio y cantidad de ventanas a optimizar se desarrolló una interfaz sencilla y amigable donde el usuario dibuja sobre un papel el espacio y mediante una captura de esta imagen comienza el proceso de optimización.

Se realizó un proceso de 3 fases para convertir los gráficos análogos generados por el usuario en información relevante para el software de optimización, estas 3 fases buscan reducir el grado de error frente a las diversas posibilidades en los estilos de dibujo. Fase 1 – Análisis por cuadrantes: se divide la imagen capturada por cuadrantes cartesianos, se ubican puntos máximos y mínimos en los ejes y se trazan intersecciones entre los cuadrantes opuestos. Fase 2 – Análisis por puntos lejanos, se toma el análisis por cuadrantes como base y se procede a buscar el punto más alejado del centro de la figura, se asumen como esquinas. Fase 3 – Análisis por agrupación de píxeles en extremos ortogonales: se genera grupos según la acumulación de píxeles en zonas de la imagen asumiendo que los puntos de mayor

acumulación de píxeles corresponden a líneas, estas líneas se generan a partir de promedios por zona de acumulación y se procede a calcular intersecciones de líneas opuestas. Finalmente se evalúan y ponderan los resultados obtenidos en los 3 análisis, se realiza una correlación entre ellos determinando si alguno se ha comportado de manera extraña o no confiable, se asignan valores relevantes para las esquinas y se procede a calcular distancias en píxeles. La generación de vanos se produce por la lectura de elementos circulares, relacionando la cantidad, la fachada de ubicación y el color que representa entrada o salida de aire. Estos datos son enviados a Grasshopper como variables de entrada para la parametrización del espacio que se modela en 3D y posteriormente se optimiza.

4. Validación de los resultados

Para propósitos de la validación de los resultados de esta investigación, se utilizó uno de los casos de estudio que presentaron mayores niveles de des-confort a nivel térmico. Existen pocas herramientas capaces de evaluar y proveer información acerca de la dimensión apropiada de vanos y su potencial en eficiencia energética y confort (Aris et al. 2006), para este caso se ha utilizado como herramienta de comprobación Ecotect®, que puede dar indicios parciales acerca de la validez de los resultados de la optimización de vanos para el trópico. Se realizó una simulación para verificar los niveles de confort con respecto a la temperatura interior comparando los resultados de la simulación de un espacio de la vivienda actual con el vano original y la vivienda con las geometrías optimizadas. En el caso validado, el espacio escogido para la optimización corresponde a un estudio ubicado en segundo nivel de la vivienda con un vano orientado al norte y otro orientado al sur. Se optimizaron los dos adicionando a cada vano diez protecciones exteriores contra la radiación solar en sentido horizontal. Los valores de temperatura obtenidos en la simulación según la figura 3, muestran que la temperatura interior del recinto con el vano optimizado en el día más cálido, presenta temperaturas

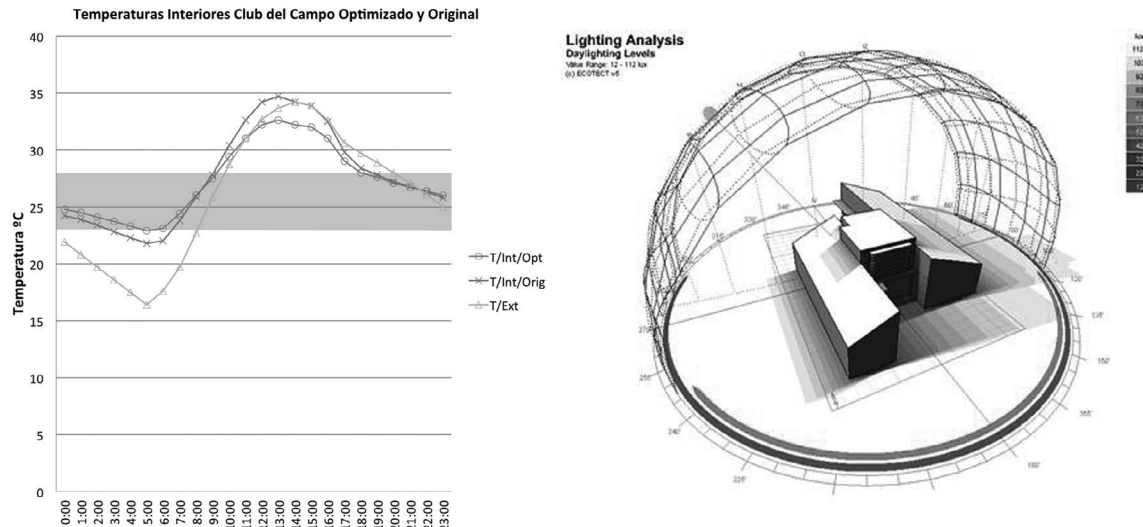


Fig. 3. Resultado de la optimización en Ecotect® y gráfico de temperaturas diarias del caso Club del Campo, original y optimizado.

1.71°C en promedio más bajas en las horas críticas desde las 12 a las 17 horas, con un porcentaje de ahorro energético, simulando ambos espacios con sistema de aire acondicionado, de un 17.67%. Las mejoras en cuanto a los niveles de temperatura alcanzados dentro del espacio son significativas aún teniendo en cuenta que los casos escogidos para esta investigación corresponden a proyectos representativos de la arquitectura doméstica tropical de avanzada social, donde la solución espacial y formal de la vivienda se considera de altos estándares.

5. Conclusiones

El número de resultados obtenidos en comparación con el tiempo de ejecución del algoritmo genético es mínimo, lo que demuestra que el uso de estas herramientas permite que el proceso de diseño deje de ser intuitivo y se vuelva más cuantificado y probado. Con el uso de Grasshopper® y Galapagos® conseguir diseños basados en la sostenibilidad y el bienestar humano es posible en las etapas iniciales de un proyecto, proporcionando resultados que aseguran condiciones de confort. Se pueden encontrar un mayor número de soluciones que se hubieran escapado de la visión del diseñador, dejando en evidencia que la evaluación humana es lenta, si se compara con la evaluación de un algoritmo genético a su función de adaptabilidad.

Bibliografía

- Aris, et al. 2006. *Energy conscious automated design of building facades using genetic algorithms*. In *Communicating Space(s)* eCAADe06 Proceedings. eCAADe. Pages 898-903.
- Caldas, L. 2001. *An evolution based generative design system: Using adaptation to shape architectural form*. Tesis Doctoral. Massachusetts Institute of Technology.
- Caldas & Norford. 2002. A design optimization tool based on a genetic algorithm. *Automation in Construction*. Volume 11, Issue 2. Pages 173-184.
- Eguía, S. et al. 2004. *Impacto solar en fachadas. Metodología para la determinación de características termo lumínicas en envolventes vidriadas*. I Conferencia latino americana de construcao sustentavel. X Encontro nacional de tecnologia do ambiente construido, San Pablo.
- Grimme, F. et al. 2006. *Hombre y clima- ¿estamos perdiendo nuestra adaptación al clima?*. Editorial Instituto de arquitectura tropical. Costa Rica.
- Renner & Ekárt. 2009. Genetic algorithms in computer aided design. *Computer-Aided Design*. Volume 35, Issue 8. Pages 709-726.
- Singh & Gu. 2012. Towards an integrated generative design framework. *Design Studies*. Volume 33, Issue 2. Pages 185-207.
- Stagno, B. 2004. *Climatizando con el clima*. III Encuentro de arquitectura urbanismo y paisajismo tropical, San José, Costa Rica.
- Tedeschi, A. *Parametric architecture with Grasshopper*. Brienza, Italia: Edizioni Le Pensur. Pag 208.
- Turrin, et al. 2012. Performative skins for passive climatic comfort, A parametric design process. *Automation in construction*. Volume 22. Pages 36-50.