



Análisis Paramétrico de Volúmenes Arquitectónicos con Algoritmos Genéticos

Parametric Analysis of Architectural Volumes through Genetic Algorithms

Pedro Salcedo Lagos^(a)

(a) Departamento de Metodología de la Investigación e Informática Educativa, Facultad de Educación, Universidad de Concepción – Chile – email: psalcedo@udec.cl

RESUMEN

Palabras clave:
Problemas ambientales
Diseño arquitectónico
Algoritmos genéticos
Optimización estructural

En el último tiempo el diseño arquitectónico ha venido evolucionando, debido entre otros aspectos, a la aparición de técnicas de diseño digital que permiten la generación de geometrías a partir de la definición de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales entre ellos. Los procesos de diseño basados en estas tecnologías permiten describir formas con capacidad de variar y adaptarse a requerimientos múltiples o a criterios de evaluación específicos, surgiendo así el problema de identificar la mejor solución arquitectónica, lo que se ha planteado en varias experiencias, gracias a la utilización de la técnica de algoritmos genéticos. En este trabajo se demuestra la posibilidad de implementar un análisis paramétrico de volúmenes arquitectónicos con algoritmos genéticos, logrando compatibilizar requerimientos funcionales, ambientales y estructurales, con un método efectivo de búsqueda para seleccionar una variedad de soluciones apropiadas gracias a las tecnologías digitales.

ABSTRACT

Keywords:
Environmental problems
Architectural design
Genetic algorithms
Structural optimization

During the last time, architectural design has developed partly due to new digital design techniques, which allow the generation of geometries based on the definition of initial parameters and the programming of formal relationship between them. Design processes based on these technologies allow to create shapes with the capacity to modify and adapt to multiple constrains or specific evaluation criteria, which raises the problem of identifying the best architectural solution. Several experiences have set up the utilization of genetic algorithm to face this problem. This paper demonstrates the possibility to implement a parametric analysis of architectural volumes with genetic algorithm, in order to combine functional, environmental and structural requirements, with an effective search method to select a variety of proper solutions through digital technologies.

1. Introducción

En el diseño arquitectónico se utiliza hoy, en forma general, el término “Diseño Paramétrico” para nombrar al conjunto de herramientas de diseño digital desarrolladas en los últimos años que permiten manejar relaciones entre las geometrías y variables que las determinan. En otras palabras, a través de las técnicas de Diseño Paramétrico hoy es posible la generación de geometrías a partir de la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre ellos. Los procesos de diseño basados en estas técnicas permiten describir formas con la capacidad de variar y adaptarse a requerimientos múltiples o a criterios de evaluación específicos. De acuerdo a Michael Meredith, “el diseño paramétrico es un proceso que no está basado en métricas cuantitativas, sino en relaciones coherentes entre valores, permitiendo que cambios en un solo aspecto desarrollen alteraciones dentro del sistema total” (Meredith, 2008).

La aplicación de estas técnicas en diseño arquitectónico permite ampliar el rango de soluciones que otorgan los métodos tradicionales de diseño análogo o digitales no-paramétricos. La formulación de los problemas de diseño a través de sistemas asociativos da al diseñador una perspectiva integrada en fases tempranas capaz de explorar múltiples soluciones bajo restricciones formales determinadas. “Las herramientas de diseño digital se están desplazando de su rol limitado a la producción de planos finales, integrando modelación tridimensional, herramientas de análisis y manufactura para abordar el diseño de los edificios y estructuras actuales, utilizando los recientes desarrollos paramétricos y geometría asociativa que pueden variar de acuerdo a los conceptos definidos por el diseñador” (Sheaa et al., 2005). Sin embargo, estas herramientas presentan un nuevo problema; el de la selección de la solución más eficaz para resolver un problema entre cientos que es posible generar en un reducido espacio de tiempo.

El problema mencionado, es posible resolverlo a través de diversas técnicas de Inteligencia Artificial (IA), como los algoritmos de búsqueda informados (AOF, AO* y otros) o los Algoritmos Genéticos. Según Chen et al., “para este tipo de problemas, los AG exploran eficientemente el espacio de soluciones, sin requerir enormes cantidades de memoria como otros algoritmos de búsqueda tradicionales” (Chen et al., 2001).

Fue John Holland en los años 70, quién incorporó como técnica de IA la de los algoritmos genéticos (Goldberg, 1998). Son llamados así porque se inspiran en la evolución biológica y su base genético molecular. Estos algoritmos modifican un conjunto de datos de manera similar a una población de individuos sometiéndola a acciones selectivas semejantes a la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), así como también a una evaluación de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados.

Como técnica de IA, los algoritmos genéticos forman parte de los algoritmos evolutivos, los cuales incluyen las estrategias de evolución y programación genética. En su funcionamiento establecen una analogía entre el conjunto de soluciones de un problema y el conjunto de individuos de una población natural, cada uno llamado “fenotipo”, codificando la información de cada solución en una cadena, generalmente binaria, de manera similar al cromosoma. Los símbolos que forman la cadena son los llamados “genes”, y su representación general es el “genotipo”. Los cromosomas evolucionan a través de iteraciones, llamadas generaciones. En cada generación, los cromosomas son evaluados usando alguna medida de aptitud, denominada en los AG como función objetivo o “fitness”.

Las siguientes generaciones (nuevos cromosomas), llamadas descendencia, se forman utilizando tres tipos de operadores, el de mutación, el de cruzamiento y el de selección.

En forma general un AG procede de la siguiente forma:

- I. Evaluar la puntuación (fitness) de cada uno de los individuos (genes).
- II. Permitir a cada uno de los individuos reproducirse, de acuerdo con su puntuación.
- III. Permitir que los individuos de la nueva población intercambien material genético, y que alguno de los bits de un gen se vea alterado debido a una mutación espontánea.

Cada uno de estos pasos consiste en la aplicación de un operador a una cadena binaria denominan operadores genéticos. Hay tres operadores principales: selección, crossover o recombinación, y mutación; aparte de otros operadores genéticos no tan comunes.

1.1 Algoritmos Genéticos en arquitectura

Se ha experimentado la aplicación de algoritmos genéticos en diseño arquitectónico, por ejemplo en Tsangrassoulis (2006), para definir ventanas de fachadas según su tipo de vidrio, dimensión, apertura visual y sombreadamiento, con el fin de obtener soluciones con un menor consumo energético. Cada alternativa de diseño fue codificada como una cadena (string) de números, que en AG se denomina cromosoma. También Nahara y Terzidis (2006) desarrollaron una aplicación de AG para resolver múltiples restricciones de un edificio habitacional, seleccionando una configuración óptima para tres tipos de departamentos en un conjunto de 200 unidades. Su trabajo presenta una amplia discusión sobre complejidad en el diseño y el dilema de autoría al aplicar AG culminando con una afirmación positiva sobre su potencialidad de encontrar soluciones adecuadas de diseño por múltiples factores, pero no identifica el algoritmo o plataforma utilizada. En Marin et al. (2008) se presenta una descripción más detallada de aplicación de AG en la definición volumétrica de un edificio, combinando variaciones formales aleatorias y evaluación de su desempeño energético, logrando soluciones variadas, aunque difícilmente replicables en otras condiciones. Turrin et al (2010) exponen un trabajo bastante completo para el diseño de una techumbre en Milán utilizando una herramienta de AG (ParaGen) en interacción con programación paramétrica en un software de diseño (Rhino-Grasshopper) para desarrollar la forma completa según condiciones funcionales, estéticas y energéticas, demostrando la posibilidad de integración de esta tecnología en la resolución de problemas profesionales, pero concentrándolo en una solución única.

El análisis de aspectos resistentes de la forma arquitectónica con AG ha sido experimentada por Estupiñan et al (1998) con varios métodos evolutivos y el método de Baluja, para la optimización topológica de estructuras, incluyendo un estudio comparativo de las tres metodologías desarrolladas. Describe los trabajos de Chapman y Schoenauer, los cuales combinan AG con el método de los elementos finitos, consiguiendo obtener formas estructurales con un buen comportamiento bajo cargas extremas. En este trabajo, junto con explicar cada concepto (cromosoma, operadores genéticos y función de mérito u objetivo), explica los métodos utilizados considerando 3 operadores (la selección, el cruce y la mutación), eligiendo para la selección el

método estocástico. Para el cruce fue el de 2 puntos de cruce, y el operador de mutación empleado es el propuesto por Collway (1991), donde la probabilidad de mutación varía con la diversidad de la población. Describen por último, la función de mérito (nivel de adaptación). Un trabajo más reciente de Papapavlou (2009) expone un método genético para determinar la forma estructural óptima de una estructura compuesta de barras, cambiando la disposición geométrica (posición y ángulo de las piezas), minimizando los esfuerzos a través de generaciones sucesivas que otorgaban distintas configuraciones de diseño implementando en el software Processing con una librería de análisis físico, pero sin explicitar el proceso general.

Cabe destacar entre los trabajos relacionados con AG y arquitectura, la tesis doctoral "Algoritmos Genéticos como Estrategia de Diseño en Arquitectura" (De la Barrera, 2010), en la cual se ha investigado el potencial de los AG aplicados a la arquitectura, para lo cual el autor, junto con revisar algunos trabajos en la misma línea, ha desarrollado un software para estudiar el problema de optimización térmica y ha concluido que la técnica es apropiada cuando no existe otra alternativa más formal y que la utilización de esta herramienta requiere de experiencia, sobre todo en la calibración, es decir, en determinar la mutación, la población y el tipo de cruce.

En la misma línea del problema anterior es importante destacar el trabajo de Namoncura y Vásquez (2010), en el cual se programó un módulo alternativo a Galapagos, para probar la efectividad de este, consiguiendo establecer que hasta el momento del trabajo, al desarrollar el módulo directamente existe la posibilidad de controlar la forma de evolución cambiando los índices de calibración, como las mutaciones y el fitness, concluyendo finalmente que el módulo generado logra consumir menos recursos computacionales y por consiguiente menos tiempo que Galapagos.

1.2 Exposición Solar y el aporte de este trabajo

Hace ya algunos años el diseño arquitectónico considera la luz del sol como una variable importante, primero, por la necesidad de incluir iluminación natural, y segundo, para poder concentrar el calor que transmite.

Los motivos principales para incluir la iluminación natural dentro del diseño, hacen referencia al ahorro energético, relacionado con la

reducción de las necesidades de luz artificial en las edificaciones y la contribución para mejorar el confort lumínico.

La orientación de un edificio determina su exposición al sol y a los vientos. La orientación sur o norte de un edificio, por ejemplo, es más favorable en algunos climas o regiones del planeta.

En este artículo presentamos un estudio de “Análisis Paramétrico de Volúmenes Arquitectónicos con Algoritmos Genéticos” utilizando el módulo Galapagos que se incorpora en el sistema de programación Grasshopper sobre la herramienta de diseño Rhinoceros. Para lo cual se presentaran una serie de pruebas de la incidencia de factores globales en la forma, área v/s exposición solar.

2. Los Algoritmos Genéticos en las herramientas de diseño digital

La posibilidades que hoy proporcionan las herramientas de diseño digital de generar diseños acabados y precisos en poco tiempo, al tomar modelos anteriores y replicarlos, generando modelos más precisos y eficientes, llevan a la necesidad de considerar la incorporación de técnicas de IA, como los AG para la búsqueda de las mejores soluciones a un problema determinado.

Es así como una de las herramientas más conocidas de diseño “Rhinoceros”, ya incorpora a través del sistema de programación Grasshopper, un modulo llamado “galápagos”. Rhinoceros es una herramienta de software para modelado en tres dimensiones basado en NURBS, capaces de describir cualquier forma. Rhinoceros originalmente se desarrolló como un agregado para AutoCAD de Autodesk por Robert McNeel &

Associates. El programa es comúnmente usado para el diseño industrial, la arquitectura, el diseño naval, el diseño de joyas, automotriz, CAD/CAM, prototipación rápida, ingeniería inversa, así como en la industria del diseño gráfico y multimedia. Rhino es hoy una de las plataformas más utilizadas en arquitectura por la versatilidad y precisión de los modelos creados; éstos, además de generar una representación fotográfica (render), permiten imprimir un prototipo o maqueta de manera directa. Estos modelos pueden ser utilizados para la fabricación de las secciones correspondientes hablando por ejemplo de estructuras con base en acero, madera o concreto.

Rhinoceros originalmente se desarrolló como un agregado para AutoCAD de Autodesk por Robert McNeel & Associates. El programa es comúnmente usado para el diseño industrial, la arquitectura, el diseño naval, el diseño de joyas, automotriz, CAD/CAM, prototipación rápida, ingeniería inversa, así como en la industria del diseño gráfico y multimedia. Rhino es hoy una de las plataformas más utilizadas en arquitectura por la versatilidad y precisión de los modelos creados; éstos, además de generar una representación fotográfica (render), permiten imprimir un prototipo o maqueta de manera directa. Estos modelos pueden ser utilizados para la fabricación de las secciones correspondientes hablando por ejemplo de estructuras con base en acero, madera o concreto.

Por otro lado, Grasshopper es una herramienta complementaria a Rhinoceros para programación de las formas, que tiene la particularidad de ser amigable para el diseñador o arquitecto, y de poder expresar en forma gráfica una secuencia de pasos. Grasshopper contiene diversos componentes con funcionalidades que trabajan en base a parámetros de datos.

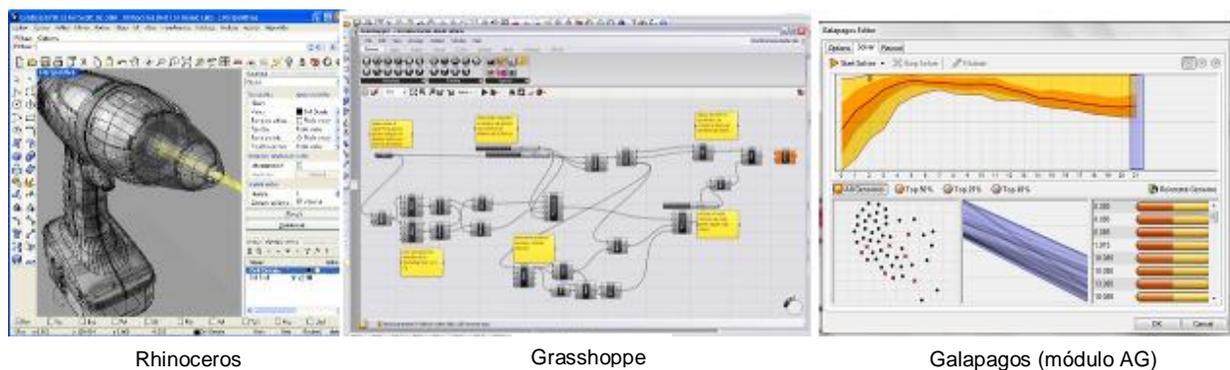


Figura 1: Herramienta de Diseño Rhinoceros, de programación Grasshopper y AG Galapagos. Fuente: Gatica, 2011
Figure 1: Rhinoceros design tool; Grasshopper programming tool, and Galapagos AG. Source: Gatica, 2011

En la Fig. 1 podemos observar de izquierda a derecha, a Rhinoceros, Grasshopper y Galapagos. Esta última herramienta es la que permite sobre Grasshopper (herramienta de programación) implementar un componente de AG, el cual requiere que el usuario proporcione la cantidad de generaciones y fitness para conseguir el mejor individuo luego de una serie de cruces y mutaciones.

3. Configuración de Volúmenes

La aplicación de diseño paramétrico en etapas intermedias del proyecto arquitectónico, combinando requerimientos espaciales y técnicos, puede ilustrarse con un análisis volumétrico por algoritmo genético. Este ejemplo fue implementado en la plataforma Grasshopper de Rhino con la utilidad Galapagos como procesador genético y Geco para análisis de radiación solar considerando inicialmente la conformación de un pabellón compuesto de dos o tres bloques contiguos con una superficie general aproximada, buscando la conformación que otorgue mayor exposición solar para reducir consumos energéticos, pero también una adecuada configuración estructural. Se definen estas condiciones, por cuanto la diversidad volumétrica expresa una capacidad funcional determinada con una amplia variedad espacial y expresiva (considerando su localización aislada en un sitio amplio. Mientras que los requerimientos técnicos

indicados son aspectos relevantes de un trabajo arquitectónico, y a la vez contrapuestos, por cuanto la exposición solar promueve disposiciones longitudinales, y la optimización estructural fomenta organizaciones centralizadas.

En ese sentido resulta difícilmente intuitivo poder encontrar una configuración que armonice ambos requerimientos y además permita evaluar otras condiciones arquitectónicas.

De este modo, se establece una programación general compuesta por cuatro partes principales; un generador geométrico, uno de exposición, un analizador resistente y una programación general compuesta por cuatro partes procesador genético. El generador de geometrías consiste en la programación de ejecución de paralelepípedos rectangulares contiguos que cumplan el rango de área total establecido. Esto se desarrolla trazando primeramente puntos y líneas centrales que compongan rectángulos, con una disposición aleatoria y un contabilizador y verificador de superficie total y también de diferencias dimensionales. Luego, se elabora la volumetría total con alturas regulares, considerando hasta tres bloques contiguos, incluyendo hasta uno sobrepuesto. En la configuración se establece además una rotación de base, para generar distintas alternativas de posición. En la programación se establecen entonces una docena de controladores numéricos, y luego,

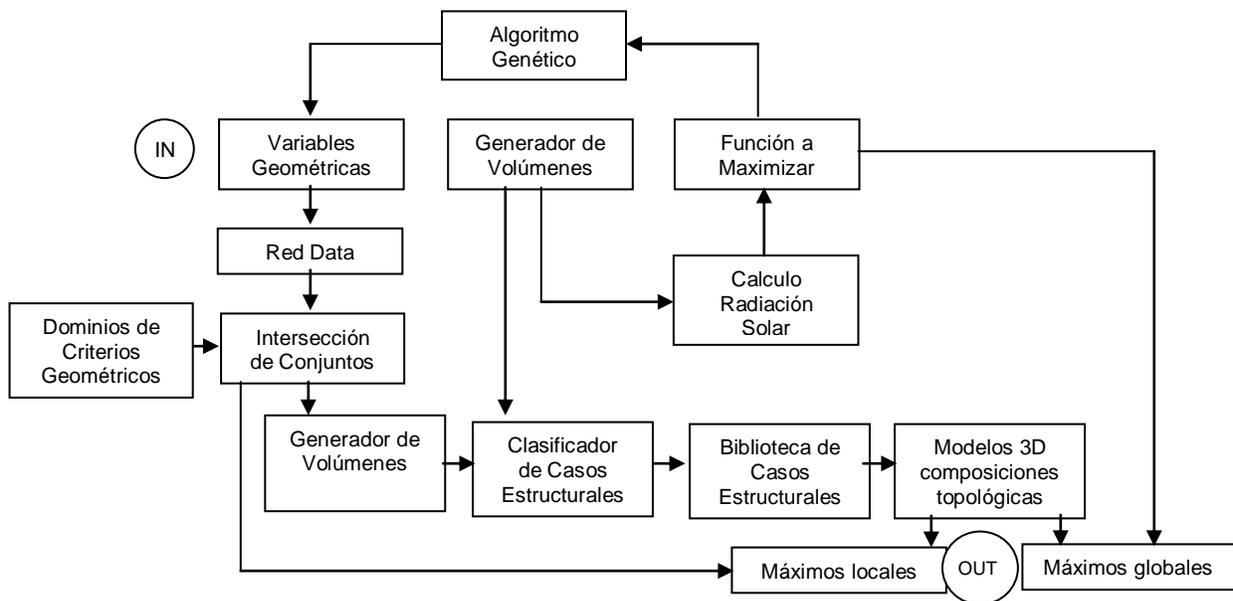


Figura 2: Diseño del proceso de optimización. Fuente: Gatica, 2011.
 Figure 2: Design of the optimization process. Source: Gatica, 2011.

diversos operadores matemáticos encadenados para producir la volumetría.

Luego, en el análisis de exposición se utiliza un modulo de posición solar, considerando como ubicación geográfica la ciudad de Concepción, en los solsticios durante 5 hrs. al día, efectuando el análisis para la malla de la volumetría generada y realizando una sumatoria total. Esto requiere una descomposición del volumen en superficies definiendo una normal.

Se realizó un estudio de los resultados arrojados por el optimizador genético Galapagos, que se baso en la recolección de datos en las distintas variables formales, logrando obtener un desglose de la evolución de los diversos factores que influyen en el fitness.

El estudio de estos datos nos permite obtener un estudio genoformal el cual nos permitirá indagar en una serie de resultados óptimos independientes del proceso evolutivo de galápagos.

Específicamente, el diagrama de flujo del proceso general para poder generar un desarrollo iterativo analizable, es el que se presenta en la Figura 2.

4. Desarrollo y programación en Grasshopper

La programación en Grasshopper, para dar solución a la experiencia, se centra en módulos paramétricos interconectados desde las variables métricas y de posición de los volúmenes a

estudiar hasta la forma topológicamente optimizada. Se consideran como variables a optimizar el factor de exposición solar en que se encuentran los volúmenes en lugar determinado. Estas se emplazan en dominios conocidos que alojan las dimensiones de parámetros desde 2.4 m hasta 12 m.

La geometría consiste en una grilla ortogonal que compone una malla variable en altura Z (dominios para el algoritmo genético).

Para el cálculo de radiación, se toma un motor solar de Ted Ngai (Ngai, 2012) y se modifica para la exposición solar de todo el año en muestras en los solsticios y 6 horas al día, la sumatoria de estos vectores se toma como fitness.

4.1 Programación de Grasshopper

Generador de volúmenes:

A través de este módulo se busca obtener una configuración de 2 volúmenes que puedan variar en sus dimensiones y la relación de posición, donde se reconocen dos configuraciones las cuales fueron comprimidas en cluster para su ocupación.

Volúmenes superpuestos: variables

- slider1: rotación general
- slider2: desfase "x"
- slider3: desfase "y"
- slider4: amplitud A(u)
- slider5: amplitud A(v)
- slider6: amplitud B(u)
- slider6: amplitud B(v)

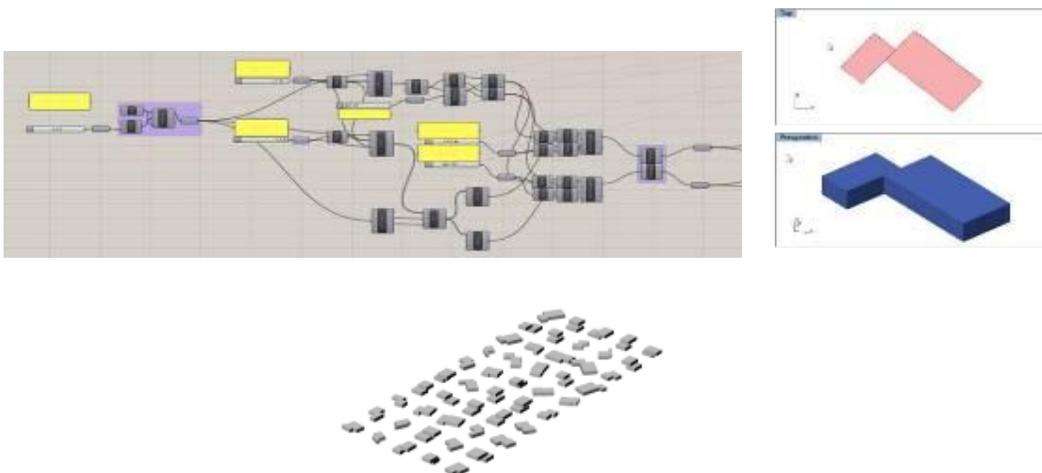


Figura 3: Formas aleatorias de volúmenes. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 3: Random forms. Source: B. Gatica, 2011.

Tomando las variaciones formales aleatorias de estos dos volúmenes se genera el conjunto de genotipos para estudiar mediante Galápagos.

El desarrollo del sistema sobre Grasshopper se puede observar en la Fig. 4, la cual explicaremos a continuación módulo a módulo en la Tabla 1.

Como mencionamos anteriormente, el sistema anterior permite dar solución al problema

de desarrollar un volumen arquitectónico en base a un análisis paramétrico, pero se requiere de otro módulo para poder encontrar la forma más óptima. Esto nos lleva a la incorporación de un módulo desarrollado sobre Galápagos que incorpore la tecnología de los AG. En la Fig. 5 se observa la configuración inicial de este módulo y en la Fig. 6 podemos observar una serie de casos desarrollados con este módulo genéticos.

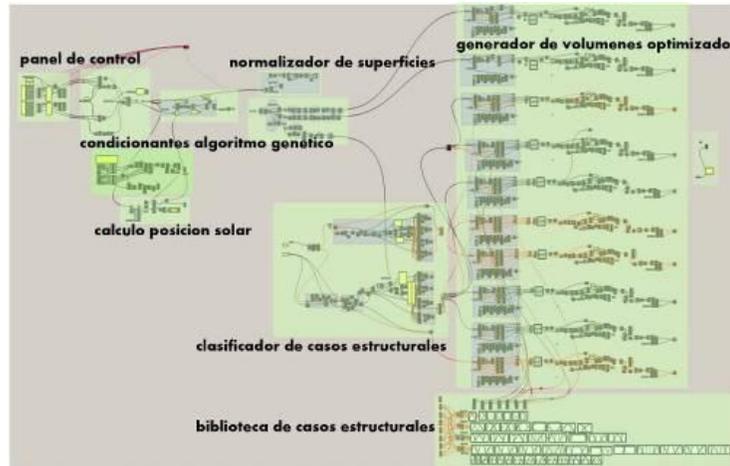


Figura 4: Programación en Grasshopper para la solución del problema en estudio. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 4: Programming with Grasshopper for the solution of the problem. Source: Gatica, 2011.

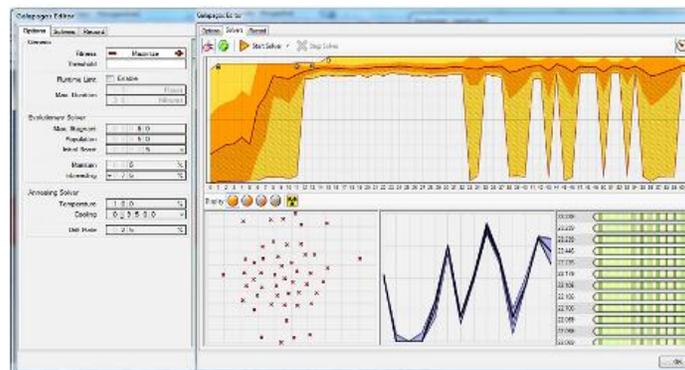


Figura 5: Configuración inicial del AG en Galapagos sobre Grasshopper. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 5: Initial configuration of AG in Galapagos over Grasshopper. Source: Gatica, 2011.

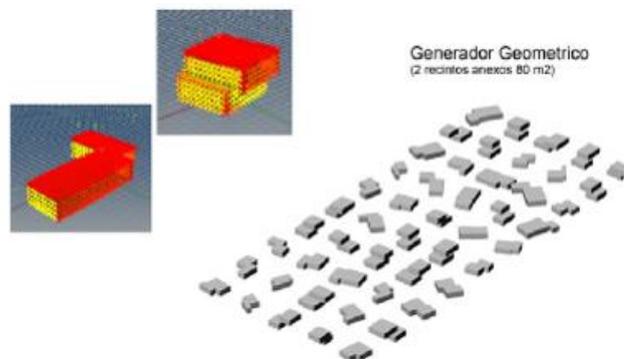
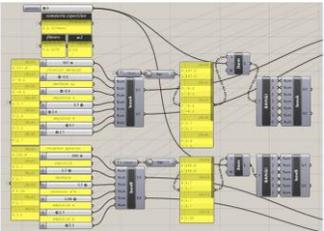
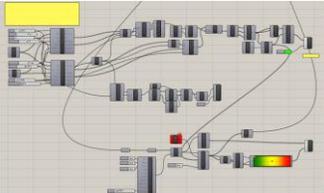
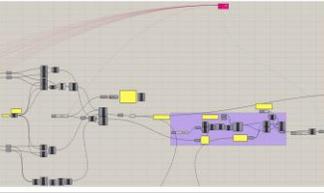
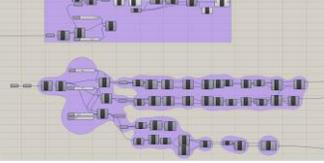
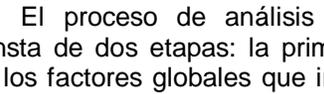


Figura 6: Casos desarrollados por el módulo genético. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 6: Cases developed by the genetic module. Source: Gatica, 2011.

Tabla 1: Explicación de cada módulo de la Figura 3. Fuente: Gatica, 2011.**Table 1:** Explanation of each module in Figure 3. Source Gatica, 2011.

	<p>Panel de control: desde él se tiene acceso y visualización de las variables que modifican los volúmenes las cuales servirán de dominios para Galapagos.</p>
	<p>Cluster de volúmenes: generador de volúmenes, se encuentran en dos etapas, una pre la cual genera las formas y una post la cual interpreta los resultados de Galapagos.</p>
	<p>Cálculo de posición solar: se toma un motor solar de Ted Ngai (Ngai, 2012), para la experiencia se utilizó como ubicación geográfica la ciudad de Concepción Chile. Cálculo de exposición solar: mide la exposición de una malla en los solsticios y durante 5h al día, da como resultado la sumatoria la cual ocuparemos para calcular el fitness.</p>
	<p>Condicionantes para el algoritmo genético: lugar donde se centran las variables del entorno y condiciones al calcular, se utilizó un criterio de premiaciones por porcentajes para inducir la experiencia a ciertos dominios áreas, como resultado se obtiene una geometría y el valor nominal del fitness.</p>
	<p>Normalizador de superficies. Convierten las superficies explotadas de los volúmenes a superficies regulares que comparten dirección y normales.</p>
	<p>Clasificador de casos. Asigna casos estructurales particulares a las superficies, comportándose como un filtro clasificador.</p>
	<p>Biblioteca de casos estructurales. Es una matriz la cual en un sentido tiene casos estructurales, y en el otro, proporciones. Funciona como base de datos para que los filtros elijan la topología más adecuada.</p>
	<p>Generadores de formas topológicas: miden cada superficie y la posicionan en un caso particular de la matriz, obteniendo como resultado una modelación del muro estructurado bajo optimización topológica.</p>

5. Análisis de los resultados

El proceso de análisis de los resultados consta de dos etapas: la primera, es un estudio de los factores globales que inciden en la forma: área v/s exposición. La segunda, explora factores formales que inciden en el desempeño estructural.

En la Fig. 7, se observa una serie de pruebas de forma v/s resultados, considerando los resultados del modulo de Galapagos de AG.

En él podemos observar cómo el módulo va presentando tanto la radiación como el fitness, lo que le permite ir seleccionando los individuos más aptos que en este caso son los que logran el mayor volumen según la radiación considerada.

Se realizó un estudio de los resultados arrojados por el optimizador genético Galapagos; éste se basó en la recolección de datos en las distintas variables formales logrando obtener un desglose de la evolución de los diversos factores que influyen en el fitness.

FORMA V/S RESULTADOS			
perimetro	excentricidad	proceso	
79.6m	3.7m	max	Ranking: 1 Factor radiacion: 2.3239e+4 Fitness: 23.239 Area: 85m2 Genoma: 1061
76.1m	3.6m	max	Ranking: 2 Factor radiacion: 2.1426e+4 Fitness: 2.1426 Area: 84m2 Genoma: 276
77.3m	3.8m	max	Ranking: 5 Factor radiacion: 2.0508e+4 Fitness: 2.0508 Area: 83m2 Genoma: 538
69.4m	4.3m	max	Ranking: 6 Factor radiacion: 1.9327e+4 Fitness: 1.9327 Area: 79m2 Genoma: 198
38.3m	1.1m	min	Ranking: 3 Factor radiacion: 1.6514e+4 Fitness: 16.514 Area: 78m2 Genoma: 155
33.2m	0.3m	min	Ranking: 4 Factor radiacion: 1.5506e+4 Fitness: 15.506 Area: 83m2 Genoma: 313
69.2m	1.5m	min	Ranking: 7 Factor radiacion: 1.7620e+4 Fitness: 1.762 Area: 72m2 Genoma: 342
40.1m	0.3m	min	Ranking: 8 Factor radiacion: 1.3727e+4 Fitness: 0.13727 Area: 75m2 Genoma: 13427

Figura 7: Casos de estudio que arroja el modulo de AG. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 7: Cases Studies developed by the AG module. Source: Gatica, 2011.

El estudio de estos datos nos permite obtener un estudio genoformal el cual nos permitirá indagar en una serie de resultados óptimos independientes del proceso evolutivo de galápagos.

Se experimento demostró que la forma obtenida responde a los parámetros de exposición solar, logrando criterios y resultados considerables con un arduo contraste en el máximo y mínimo fitness.

La tabla de gráficos v/s forma muestra el estudio de los genomas, los que se clasificaron mediante la intersección de conjuntos, ordenándolos como muestras, e indican el

conjunto de posibilidades alternativas a los máximos globales, las cuales llamamos "resultados locales", y fueron elegidos por variaciones formales en contraste con los resultados globales.

A continuación se tridimensionaliza este gráfico integrando el factor de área total de la forma, permitiendo indagar en dominios de áreas específicas.

Entre estos dos factores se producen dos conjuntos, los cuales interceptaremos determinado un subconjunto que llamaremos "subconjunto funcional."

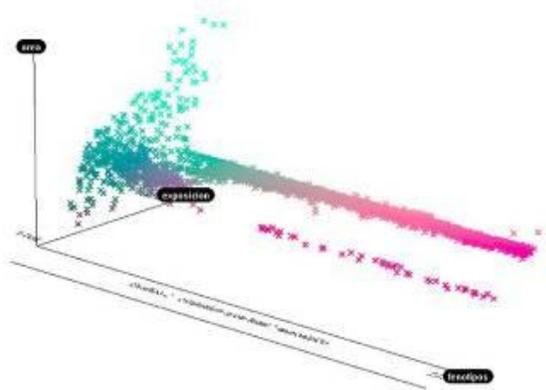


Figura 8: Gráfico Volúmenes Sobrepuestos. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 8: Graphic of superimposed volumes. Source: Gatica, 2011.

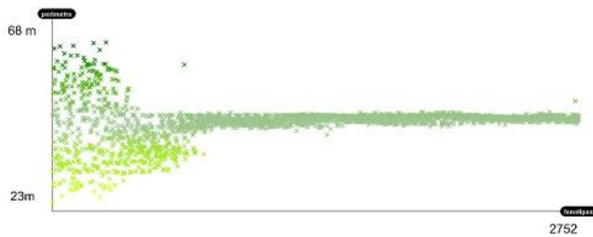


Figura 9: Gráfico Volúmenes Sobrepuestos. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 9: Graphic of superimposed volumes. Source: Gatica, 2011

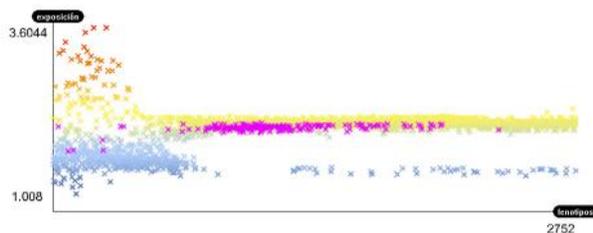


Figura 10: Conjunto de fenotipos más óptimo en relación a los dominios. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 10: Optimal set of phenotypes in relation to the domains. Source: Gatica, 2011.

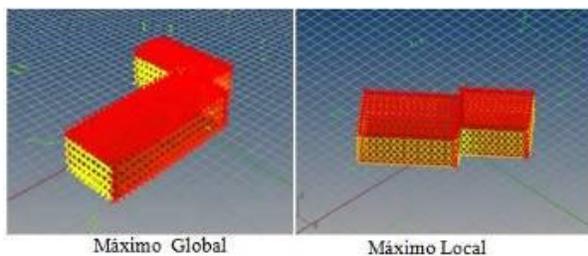


Figura 11: Máximos locales y líneas de fuerzas. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 11: Local maximum and lines of forces. Source: Gatica, 2011

En la segunda etapa se analizaran las propiedades geométricas de los volúmenes existiendo dos casos:

a) *Volúmenes sobrepuestos:* se considera el factor de excentricidad, en el cual la distancia entre los centros superpuestos evitan ciertos voladizos contraproducentes estructuralmente (Fig. 8).

b) *Volúmenes adyacentes:* se considerara el factor de forma, el cual se determinará calculando la relación entre el perímetro y el área (Fig. 9).

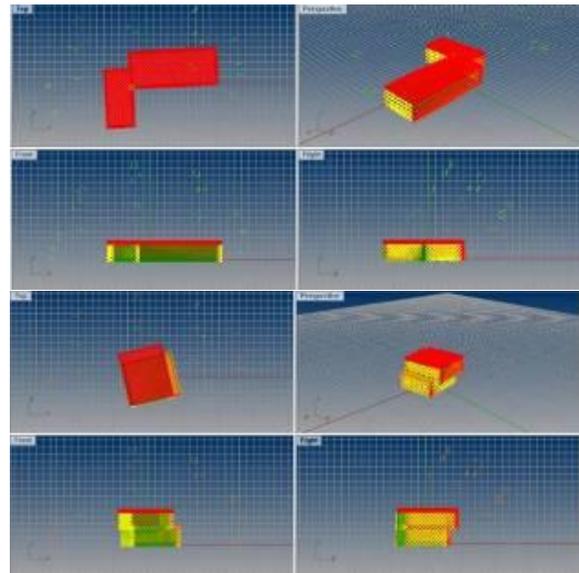


Figura 12: experiencias calibrando Galapagos. Fuente: Gatica, 2011.
Figure 12: calibrating experiences with Galapagos. Source: Gatica, 2011.

La intersección de estos conjuntos generará un subconjunto, el cual denominaremos subconjunto estructural.

La intersección entre el subconjunto funcional y el subconjunto estructural nos dará el conjunto de fenotipos más óptimo en relación a los dominios determinados en el análisis (Fig. 10).

El análisis genoformal establecido nos permite indagar en lo profundo del proceso de optimización genética, logrando detectar por métodos estadísticos los casos denominados mutaciones, así como también algunos paradigmas formales, los cuales por tendencias minoritarias no lograron ser un máximo global.

En el gráfico se muestra en magenta el conjunto intersección de resultados más óptimos localmente (Fig. 11).

Estos casos encontrados se comportan como máximos locales que determinan las líneas de fuerza en la crucea genética.

Los resultados globales se enmarcan en 2 experiencias calibrando Galapagos a la maximización y minimización del factor de radiación, obteniendo los máximos y mínimos globales, lo que representa la mejor y peor solución al problema en estudio (Fig. 12).



Figura 13: Experiencia en la fabricación de la solución.
Fuente: Gatica, 2011.

Figure 13: Experience in the manufacture of the solution.
Source: Gatica, 2011

5.1 Incorporación de fabricación digital

Debido a la alta complejidad formal que arrojan los algoritmos de optimización topológica, se trabaja el modelado a escala en fabricación digital, la cual se centra en el trabajo con software CAD/CAM y el corte mediante maquina CNC router (Fig. 13).

Conclusiones

En este artículo, luego de evidenciar cómo la aparición de las técnicas digitales ha permitido la generación de geometrías a partir de definiciones de parámetros iniciales, y la programación de las relaciones formales entre ellos, permitiendo así en el proceso de diseño arquitectónico describir formas con capacidad de variar y adaptarse a requerimientos múltiples o a criterios de evaluación específico, surge la necesidad de escoger las mejores soluciones entre muchas, lo que es posible generar hoy en poco tiempo a través de algoritmos genéticos.

Se presentan los resultados de un estudio de análisis paramétrico de volúmenes arquitectónicos con algoritmos genéticos utilizando el módulo Galapagos que se incorpora en el sistema de programación Grasshopper sobre la herramienta de diseño Rhinoceros. Para lo cual se han presentado una serie de pruebas que demuestran la incidencia de condiciones funcionales, ambientales y resistentes en la configuración formal.

Esta experiencia demuestra la posibilidad de implementar la generación y selección de volúmenes arquitectónicos con algoritmos genéticos, logrando compatibilizar distintos requerimientos, intuitivamente incompatibles con un método de búsqueda efectivo para identificar soluciones adecuadas, entre la gran variedad que es posible hoy generar gracias a las tecnologías digitales.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada con apoyo del proyecto FONDECYT N° 1100374. Agradezco también a las Universidades Chilenas, Universidad del Bío-Bío y Universidad de Concepción.

Referencias Bibliográficas

COLLOWAY L. Using a Genetic Algorithm to Design Binary Phase-Only Filters for Pattern Recognition. R.K. Belew and L.K. Booker Editors, *ICGA91* Morgan Kaufmann, 1991. 422-424.

- CHEN, J; FU, L; LIN, M. Y HUANG, A. Petri Net and GA-Based Approach to Modeling, Scheduling, and Performance Evaluation for Wafer Fabrication. IEEE transactions on robotics and automation 17(5): 619-636, 2001.
- DE LA BARRERA, C. Algoritmos Genéticos como Estrategia de Diseño en Arquitectura, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2010. 206 p.
- ESTUPIÑÁN, J. OÑATE E. y SUAREZ B.; Programación se establecen entonces una Optimización Topológica mediante Algoritmos Genéticos, estrategias evolutivas y el método de Baluja, Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería 14 (4): 427-438, 1998.
- GATICA LAURIE, B; colaboración proyecto Fondecyt N°1100374, carrera de Arquitectura Universidad del Bío-Bío, 2011.
- GOLDBERG, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Mass., 1998. 412 p.
- MARIN, P.; BIGNON, J-C.; LEQUAY, H. Integral Evolutionary Design, Integrated to Early Stage of Architectural, En: Architecture in Computro, 26th eCAADe Conference Proceedings, 2008, 19-26.
- MEREDITH M; ARANDA-LASCH, S; MUTSURO. From Control to Design. Parametric / Algorithmic Architecture, Barcelona, Actar, 2008. 218p.
- NAHARA T. Y TERZIDIS K. Multiple-constraint Genetic Algorithm in Housing Design. En: 25th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture, 2006, 418-425.
- NAMONCURA, C. AND VASQUEZ M., Optimización de Formas Arquitectónicas con Algoritmos Genéticos, tesis de Grado en Ingeniería en Ejecución Informática, Instituto Profesional Virginio Gómez, Universidad de Concepción, 2010.
- NGAI, Architecture Research Laboratory (atelier nGai) [En línea] [Citado el: 20 de mayo del 2012]. Disponible en <http://www.tedngai.net>
- PAPAPAVLOU, A. TURNER, A. Structural Evolution: A Genetic Algorithm Method to Generate Structurally Optimal Delaunay Triangulated Space Frames for Dynamic Loads. En: 27th eCAADe Conference Proceedings, Istanbul, Turkey, 2009, 173-180.
- SHEAA K, AISH, R, GOURTOVAIAA, M, Towards integrated performance driven generative design tools, Automation in Construction. Automation in Construction, 14(2). pp. 253-264.
- TSANGRASSOULIS A., GEROS V. Y BOURDAKIS V. "Energy Conscious automated design of building façades using genetic algorithms", En: 24th eCAADe Conference Proceedings, Volos, Grecia, 2006, 898-902.
- TURRIN, M.; R. STOUFFS AND S. SARIYILDIZ, Parametric Design of the Vela Roof. En: 5th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural, Fez, Morocco, 2010, 231-240.

Recibido: 13|03|2012
Aceptado: 25|04|2012