



GENERACIÓN MORFOLÓGICA DIGITAL EN ARQUITECTURA: DISEÑO PARAMÉTRICO Y ALGORITMOS EVOLUCIONISTAS

TEMA: investigación

SUBTEMA: gráfica analógica y gráfica digital – nuevas herramientas

**BARRIONUEVO, Luis F. - SERRENTINO, Roberto H. - BORSETTI, Ricardo - SERRENTINO, Silvia
C.**

Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de Tucumán

lbarrionuevo@gmail.com; rserrentino@gmail.com; ricardo_borsetti@hotmail.com;

silviaserrentino@yahoo.com.ar

PALABRAS CLAVES:

Arquitectura – Paramétrico – Evolucionista

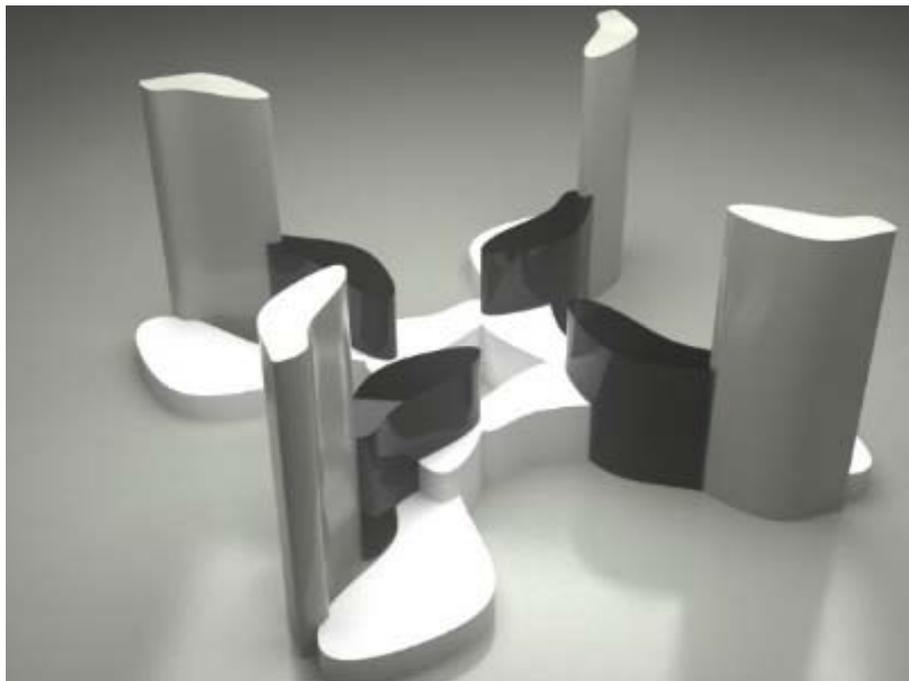
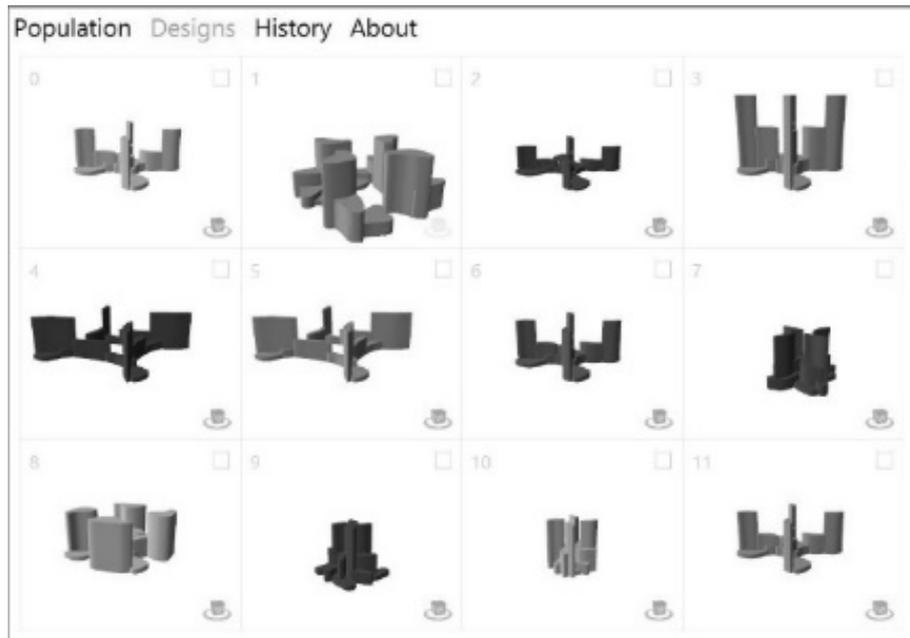
ABSTRACT:

This paper presents results obtained from a research project development carried out in the Design Systems Laboratory, FAU-UNT. This research was oriented to establish techniques and procedures for the production of potentially architectural 3D objects, during conceptual stage.

Objects with different scales, feasible to accept architecture, were studied. For their generation, visual programming environments oriented to parametric design, were applied. Parameters, as genomes, were put to work in an "evolutionary algorithm" environment with the purpose to obtain architectural design applications, emulating biological evolutions. The main procedure consists in testing quantitative and qualitative parameters that define each object, until an expected architectural result is reached. Some results obtained are shown.

RESUMEN:

Este trabajo presenta algunos resultados finales obtenidos a partir del desarrollo de un proyecto de investigación llevado a cabo en el Laboratorio de Sistemas de Diseño de la FAU-UNT. La investigación estuvo orientada a establecer técnicas y procedimientos para la producción de objetos 3D potencialmente arquitectónicos durante la etapa de "Concepción Arquitectónica". En esta presentación se consideran objetos, de diferentes escalas, factibles de aceptar arquitectura y que fueron estudiados y generados en entornos de programación visual orientado al diseño paramétrico, un nuevo paradigma de diseño donde se establecen relaciones entre los partes que definen a un objeto como un todo. Los parámetros de los objetos en estudio fueron puestos a funcionar, a modo de genomas, en un entorno generativo del tipo "algoritmo evolucionista", rama de la inteligencia artificial que usa métodos de optimización y búsqueda de soluciones basados en los postulados de la evolución biológica aplicado al diseño. A partir de los parámetros que definen a cada objeto, se procede a su evolución hasta alcanzar el propósito buscado. Los resultados obtenidos permitieron evaluar su utilidad y aplicación en entornos de diseños digitales en etapas tempranas de la concepción arquitectónica. La generación automática, aleatoria y dirigida permitió incentivar la creatividad y evaluación de casos impensados. Se muestran algunos resultados obtenidos.



Fotografía: Spirospace. Arriba, población de diseños; abajo, render de uno de los diseños



1.- INTRODUCCIÓN

Una de las principales tareas de encarar en cualquier campo del diseño es la etapa creativa o de concepción de la idea. Teniendo en cuenta este aspecto, lo que se busca en esta investigación es lograr una dinámica de diseño que contemple la generación automática de casos de objetos factibles de ser usados arquitectónicamente. En este sentido, se adoptan y combinan dos estrategias de generación y evaluación digital de objetos 3D.

Este trabajo muestra los últimos resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto de investigación “*Técnicas y procedimientos de Generación Morfológica Digital en la Concepción Arquitectónica*”.

Se puso énfasis en el uso de herramientas digitales para la generación de objetos geométricos complejos, útiles para resolver temas arquitectónicos durante la etapa de concepción del Proceso Proyectual. En este sentido se usaron aplicaciones y módulos (*plugins*) con un fuerte énfasis en el diseño paramétrico. Por otro lado, se incorporó hardware (una plaqueta ARDUINO Mega) que permitió interactuar a distancia para hacer variar parámetros de la forma de sistemas geométricos complejos. Por último, y como posible continuación de investigaciones futuras, se incorporó un módulo orientado a la producción de diseños formales basados en algoritmos evolucionistas. Para poner a prueba dicho módulo se usaron diferentes definiciones geométricas tales como los Spirospace (Barrionuevo et al., 2004) y, entre otros, sistemas de muros a los cuales se les hizo variar algunos de los parámetros, en general cuantitativos, como aproximación a su descripción en la etapa de diseño.

Para aclarar conceptos, a continuación se definen algunos términos.

Definiciones necesarias

- *Diseño Paramétrico*: es un paradigma de diseño donde se establecen relaciones entre los parámetros que definen al objeto como un todo. El “proceso” es el protagonista de este paradigma, donde se recurre a un esquema algorítmico para expresar parámetros y reglas que definen, codifican y evidencian la relación entre las partes para lograr una familia de objetos. La comparación de resultados

parciales (dimensionales cuantitativos y atributos cualitativos) conlleva la evaluación y selección de los más apropiados para satisfacer pautas y premisas iniciales, que debe cumplir el objeto arquitectónico diseñado.

- *Spirospace*: es una entidad geométrica tridimensional caracterizada por su configuración formal que, en el caso general, se asemeja a un espiral. Está inspirado a partir de una entidad geométrica bidimensional llamada *Spirolaterals* (Odds, 1973).

- *Algoritmos evolucionistas*: son una rama de la inteligencia artificial que usan métodos de optimización y búsqueda de soluciones basados en los postulados de la evolución biológica.

- *ARDUINO*: compañía *open source* y *open hardware* que conforma un proyecto y una comunidad internacional que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware para construir dispositivos digitales y dispositivos interactivos que puedan censar y controlar objetos del mundo real. *Open source* o código abierto, hace referencia a que forman parte del dominio público. *Open hardware* o hardware libre, establece que tanto las especificaciones como los diagramas son de acceso público, ya sea bajo algún tipo de pago, o de forma gratuita.

2.- METODOLOGIA

En el Laboratorio de Sistemas de Diseño hemos optado analizar al proceso proyectual considerando dos grandes etapas: la de **Concepción** y la de **Diseño**. La etapa de *Concepción* caracterizada por su gran abstracción (manejo de lo esencial proveniente de “la idea” e “intención del proyectista”) y la de *Diseño* por su alto grado de concreción, con el propósito de su construcción y puesta en el mundo real. Los objetos geométricos estudiados y presentados en este trabajo tienen una característica en común y es su alta probabilidad de conformar un objeto arquitectónico (potencialidad arquitectónica). Esta característica los hace aptos para ser usados durante la etapa de concepción arquitectónica.



En este proyecto de investigación, uno de los primeros pasos es detectar los elementos y los parámetros que definen a un objeto que conformará elemento arquitectónico. Este objeto puede tener características geométricas simples o complejas. Una de las características fundamentales de los objetos geométricos complejos es el “anidamiento” de otros objetos geométricos subsumidos en su definición. En algunos casos la recursividad está presente en su definición, tal es el caso de los objetos fractales, con su característica de autosemejanza y variedad de escalas.

Una vez detectados los parámetros que definen al objeto en estudio, se los representa mediante aplicaciones CAD que permitan llevar a cabo variaciones de la forma a través de sus parámetros. Para esta fase se eligió el componente *Grasshopper* que reside en la aplicación CAD *Rhinoceros*. De este estudio, interactivo y dinámico, se procede a seleccionar y evaluar su “aptitud” arquitectónica, verificando el cumplimiento de propósitos y necesidades (por ejemplo, ambientales, estructurales, constructivas, funcionales, estéticas, etc.) que deben ser satisfechas.

Por la ausencia de métodos eficaces y objetivos para llevar a cabo esta “selección”, se adoptó un procedimiento automático de selección de “individuos” que reúna las características y propiedades formales necesarias para la función que deba albergar. El procedimiento automático elegido es el *algoritmo evolucionista*. Es así que se adopta como herramienta de evaluación y selección al componente “*BioMorpher*” que reside a su vez dentro del componente *Grasshopper*.

BioMorpher implementa y aplica el siguiente algoritmo:

```
procedimiento Algoritmo evolucionista
inicio
   $t \leftarrow 0$ 
  inicializar  $P(t)$ 
  evaluar  $P(t)$ 
  mientras (no condición de término) hacer
  inicio
     $t \leftarrow t+1$ 
    seleccionar  $P(t)$  desde  $P(t-1)$ 
    alterar  $P(t)$ 
    evaluar  $P(t)$ 
  fin
fin,
```

(traducido de Michalewicz, 1995)

Siendo t índice de tiempo; y $P(t)$ Población (t)

Los algoritmos evolucionistas fueron usados en el Laboratorio de Sistemas de Diseño en anteriores proyectos de investigación (Barrionuevo, 1999; Barrionuevo, 2001). Como antecedentes más importantes sobre este tema cabe mencionar el trabajo pionero llevado a cabo por Frazer (Frazer, J. 1995). También los trabajos de Bentley (Bentley, 1999) y (Bentley, 1999b).

Para este trabajo se eligieron tres objetos geométricos de variada complejidad, que se explicitan en el siguiente párrafo, para mostrar el procedimiento de trabajo. Uno de ellos es el de cajas (*Box*), que viene a modo de ejemplo con el módulo *BioMorpher*. Por otro lado, se muestran resultados parciales obtenidos para uno de ellos.

3.- DESARROLLO

Para este trabajo se adoptaron tres entidades potencialmente arquitectónicas de variada complejidad y escala. La de menor escala corresponde a un sistema de paneles o muros que, en su conjunto, definen un espacio abstracto, con independencia de una función específica. El objeto de escala intermedia está compuesto por un sistema de cajas (*Box*) de tal modo que un conjunto de ellas interactúan con una mayor mediante una operación *Booleana* de substracción, conformando espacios potencialmente arquitectónicos. Por último, la de mayor escala, corresponde a un sistema de geometría compleja llamada “*Spirospace*”. Esta entidad geométrica se caracteriza por la generación de volúmenes siguiendo una regla establecida en la definición de “*Spirolaterals*” extrapolado a la tercera dimensión. Su morfología lo hace apto para sistemas urbanos de mediana escala y complejidad. En la siguiente figura se muestran los tres objetos analizados.

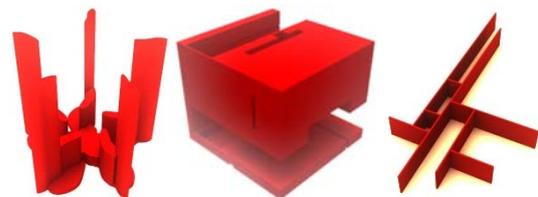


Figura 1: Spirospace, Cajas y muros

Como se mencionó previamente, el trabajo consta de dos partes, una de generación de casos y otra de evaluación de



resultados. La primera procede a establecer los elementos que intervienen y componen al objeto en estudio y los parámetros que lo definen. Mediante un proceso descrito y representado por un algoritmo generativo, se diseña e implementa una “definición” dentro de un módulo orientado al diseño paramétrico, tal el caso de *Grasshopper* residente en la aplicación CAD *Rhino*. La segunda etapa está a cargo de un algoritmo evolucionista que evalúa y orienta a una población de objetos, inicializados aleatoriamente, hacia un objetivo establecido por el usuario según una intención de diseño. La evaluación, alteración y evolución ocurre sobre algunos o todos los parámetros que definen al objeto en diseño. A este conjunto de parámetros se lo denomina “genoma” o “cromosoma”. Mientras no se alcance el objetivo, el diseñador continúa la selección manual de casos que reúnan las características más cercanas al requerimiento deseado. De este modo, la población (conjunto de casos a considerar por cada ciclo recursivo) va convergiendo sucesivamente hacia otra población de individuos que reúnen las características buscadas. Por último, el diseñador opta por uno de los diseños según criterios preestablecidos.

4.- ALGUNOS RESULTADOS

A modo de ejemplo se muestra una serie de figuras donde se ha usado al sistema de cajas como objeto de generación y análisis. De la misma manera podría haberse usado otro poliedro o primitiva geométrica sujeta a otras reglas. La figura 2 muestra el entorno de trabajo y la población generación 0 de cajas, primera población inicializada aleatoriamente. También se muestran tildados los diseños seleccionados por el usuario para hacer evolucionar la población actual a la siguiente generación.



Figura 2: generación 0 (población inicializada)

Las figuras 3 y 4 muestran generaciones intermedias evolucionadas consecutivamente y los diseños seleccionados que hacen converger la evolución de la población hacia resultados con características similares a los diseños seleccionados.

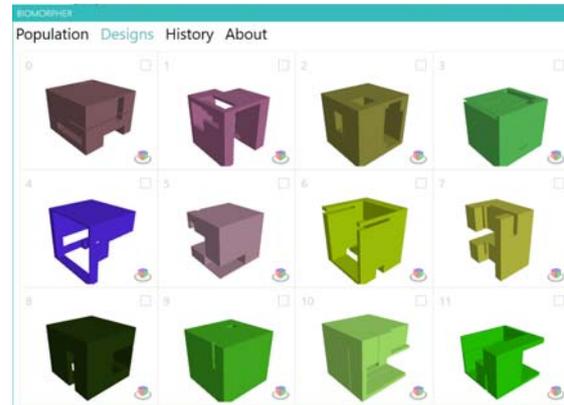


Figura 3: generación 1 evolucionada.

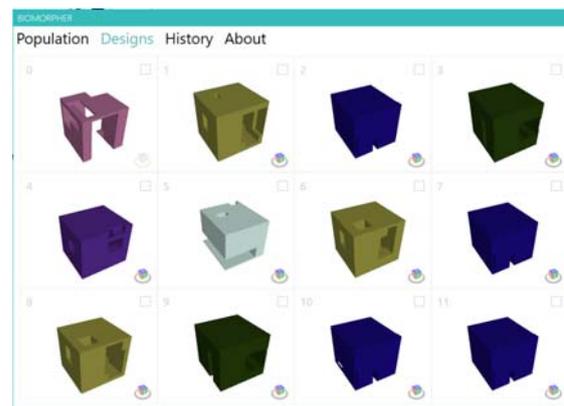


Figura 4: generación 2 evolucionada.

Las figuras 5 y 6 muestran la última población evolucionada (generación 3) que contiene resultados similares al conjunto de diseños seleccionados en generaciones anteriores, pero cada vez más cercanos al cumplimiento de las condiciones requeridas por las pautas y/o premisas de partida.

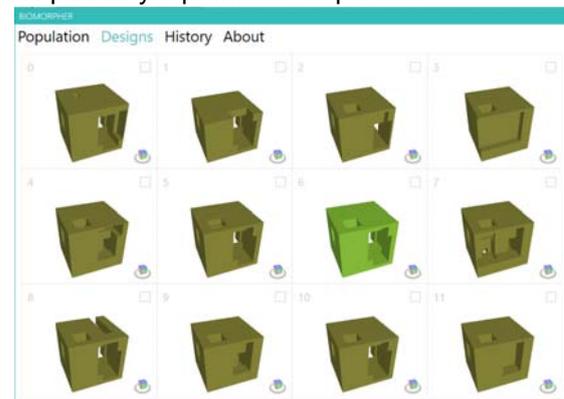


Figura 5: generación 3 evolucionada.

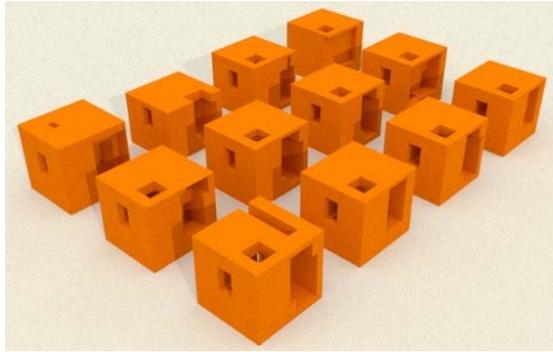


Figura 6: población de la generación 3

Por último se selecciona el diseño “más apto” según intención de diseño del diseñador. La figura 7 muestra un ejemplo seleccionado, que da cumplimiento a la premisa “obtener un cuerpo que en su masa construida, disponga de un espacio vacío jerarquizado en una esquina (mayor envergadura) y que el mismo se conecte mediante huecos y perforaciones, con las otras caras exteriores del volumen”.

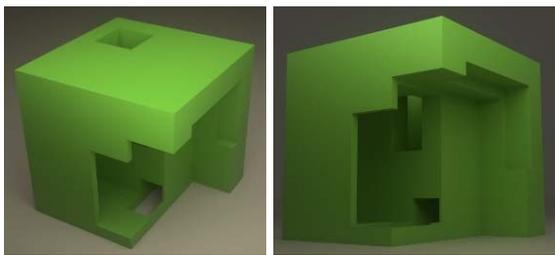


Figura 7: diseño seleccionado

5.- CONCLUSIONES

Trabajar con diseño paramétrico lleva implícito una mirada de soluciones que, para el diseñador, muchas veces resulta imposible evaluar y seleccionar. Si bien las soluciones posibles están enmascaradas en los valores que los parámetros pueden adoptar, existen soluciones inesperadas, con un alto valor creativo y que resultan a la vez inspiradoras para la búsqueda de nuevas soluciones.

Dependiendo de la complejidad del ejemplo a usar como tema de diseño, esta estrategia de exploración y selección de posibles soluciones arquitectónicas, podrá ser usada en distintos niveles de la carrera, incorporando nuevas herramientas y procesos proyectuales en arquitectura. En este sentido, ya fue usado por primera vez en cursos de primer año de la carrera en la FAU – UNT usando las cajas como tema de estudio. Sin embargo, a medida que se incluyen mayor cantidad de reglas de interacción geométrica, y

nuevas premisas de diseño, es posible utilizar este sistema en la enseñanza de niveles superiores de la carrera, y también en el trabajo profesional.

También se deduce que es posible diversificar los resultados morfológicos, aplicando otras reglas de interacción geométrica, en particular incrementando las primitivas de estudio y operando con geometría booleana y topología. Así queda abierta la posibilidad de nuevos estudios con diseño paramétrico aplicado a la Arquitectura que podrían desarrollarse en investigaciones posteriores.

6.- REFERENCIAS

[1] Frazer, J. (1995) An Evolutionary Architecture. Architectural Association Publications. London 1995.

[1] MICHALEWICZ Z. (1995). Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer.

[2] BARRIONUEVO, LUIS F. (1999). Posicionamiento de Volúmenes Arquitectónicos Mediante Algoritmos Evolucionistas. III Congreso Iberoamericano de Grafica Digital [SIGRADI, actas de conferencia] Montevideo (Uruguay), 29 de Setiembre – 1 de Octubre 1999, pp. 176-181.

[3] BENTLEY, P. J. (1999). An Introduction to Evolutionary Design by Computers, in Peter J. Bentley (editor), Evolutionary Design By Computers, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA

[4] Bentley, P. J.: (1999b). Aspects of Evolutionary Design by Computers, in Advances in Soft Computing – Engineering Design and Manufacturing, Springer – Verlag, London, pp. 99 – 118.

[5] BARRIONUEVO, L. F. (2001). Positioning of Buildings on a Land. Ecaade. Helsinki (Finland), August 29th – October 31th 2001, pp. 493-499.

[6] BARRIONUEVO, LUIS F.; GÓMEZ LÓPEZ, R; SERRENTINO R. (2004). Spirospaces in Architectural Design. 1st ASCAAD International Conference, e-Design in Architecture KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia. December 2004.