

# Procesos morfogenéticos en el diseño arquitectónico

## Morphogenetic processes in architectonical design

- Viviana Hernaiz Diez de Medina  
Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Bolivia  
arquitecturah@gmail.com
- Pau Ginés  
España  
paugines@gmail.com
- Andrea Macruz  
Brazil  
deiamacruz@hotmail.com

### Abstract

*This paper presents the relationship between morphogenetic concepts in nature and the creation of a generative system as a design process. This biomimetic approach generates an adaptive system that is able to respond to different parameters corresponding to the site where the membrane growths, contributing to the development of a new understanding of architecture in which the digital system and the performance of the material are reciprocal.*

**Keywords:** Morfogénesis, Sistemas Generativos, Fabricación Digital, Diseño Paramétrico, Emergencia

### Introduction

Si miramos la naturaleza, la morfogénesis concierne al proceso que controla la distribución espacial organizada de células que surgen durante el desarrollo de un sistema, produciendo las características de forma. Esta distribución se hace gracias al fenómeno de auto-organización, entendido como un proceso en el que la organización interna de un sistema se adapta al medio ambiente para promover una función específica sin ser guiada o gestionada desde afuera. En biología, esto incluye el estudio del crecimiento de organismos, el control genético del crecimiento celular, la diferenciación y la morfogénesis (Fig. 1). El crecimiento celular abarca tanto los aumentos en el número de células como su tamaño y, la diferenciación celular, se describe como el proceso por el cual las células adquieren un «tipo» específico. (Hensel, Menges y Weinstock, 2006).

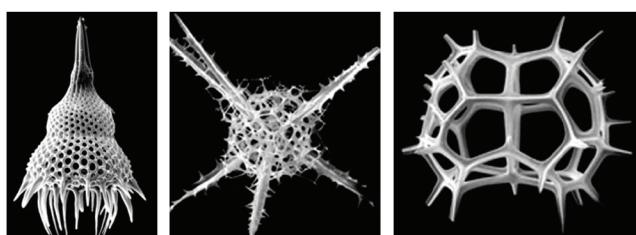


Figura 1: Crecimiento de radiolarias fruto de un proceso morfogenético.  
Fuente: [www.radiolarias.org](http://www.radiolarias.org).

Esta relación entre forma y posición crea sistemas complejos emergentes y adaptables. El fenómeno de emergencia ocurre en los sistemas que son generados, es decir, compuestos por copias de un número relativamente pequeño de componentes que obedecen a leyes simples (Holland, 1999). En el contexto de la arquitectura, la "emergencia" toma en cuenta los procesos generativos no solo para el diseño de un producto arquitectónico, sino también para comprender el comportamiento de los materiales y su diseño estructural.

El presente trabajo pretende discutir sobre la relación entre los sistemas morfogénéticos en la naturaleza y los procesos de generación morfológica en la arquitectura gracias al modelado paramétrico asistido por computadora a través de una integración metodológica entre herramientas analíticas del espacio urbano y el producto arquitectónico, emergente de leyes basadas en su propio entorno con el fin de crear sistemas espaciales-materiales sostenibles. El proyecto corresponde a la creación de una membrana arquitectónica que funcione como cerramiento de un espacio público utilizando un proceso de diseño bottom-up (proceso de conducta ascendente).

Con este enfoque se pretende, por un lado, mostrar cómo estos procesos morfogenéticos aplicados a la arquitectura contribuyen a nuevas maneras de crear, distribuir y generar formas materiales en el campo del diseño y por otro, valorizar el potencial del diseño digital como un actual campo de investigación.

## Procesos Metodológicos

El concepto conductor de este desarrollo -digital y físico- estuvo basado en la comprensión de los organismos biológicos que muestran una evolución morfogenética continua en virtud de la repetición en la que la forma, la estructura y la composición química no se entienden como entidades autónomas sino que están relacionadas correctamente a través de interacciones dinámicas que, en el mundo natural, se muestran en los sistemas de auto-organización concebidos como procesos dinámicos a través de los cuales los sistemas llegan a conformar una estructura que responde a fuerzas extrínsecas traducidas en el proyecto como información del contexto. Los sistemas de auto-organización muestran propiedades emergentes o comportamientos que surgen de la interacción coherente entre las entidades con el objetivo de instrumentalizar este comportamiento como una respuesta a los estímulos hacia diseños orientados al rendimiento (Hensel, Menges, 2008).

Para ello, se concibió este acercamiento biomimético en combinación con una línea de investigación de los sistemas paramétricos que se caracterizan por utilizar parámetros para determinar el comportamiento de una entidad gráfica y definir las relaciones entre los componentes del modelo.

### Fase 01

La primera fase del proyecto estuvo dirigida hacia el análisis del espacio urbano. La información relacionada con el tránsito de automóviles y los flujos de peatones, representó una parte importante en este proceso de investigación que incluyó el skyline o perfil urbano percibido desde diferentes puntos en el sitio, los usos, el tiempo de permanencia de los peatones, la intensidad de luz y la señalética.

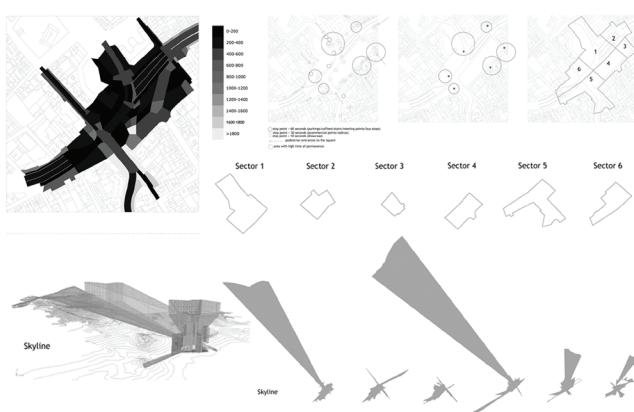


Figura 2: División de sectores a partir del análisis del sitio.

Para poder aplicar las variables encontradas en este análisis urbano, se dividió el espacio en seis diferentes sectores, respondiendo a los puntos estratégicos de los peatones detectados en la fase de investigación, así, un set de información se relacionaba con cada uno de ellos, expresando sus características específicas (Fig. 2).

### Fase 02

El software Top Mop fue utilizado en esta fase para conducir una exploración morfogenética con técnicas de remeshing, dual pentagonalization y dual loop subdivision, aplicadas a un hexaedro en el cual, cada lado se relacionaba con cada uno de los seis sectores del sitio (Fig. 3). Mediante este proceso, la forma inicial iba variando topológicamente pero al mismo tiempo, se lograba un sistema compuesto por células auto-organizadas. La condición para lograr esta proliferación, tal como ocurre en los sistemas naturales, fue la definición del "entorno de proliferación" que proveyó, por un lado, las restricciones en la forma de poblar la superficie y por otro, los estímulos para las morfologías individuales. Dichos estímulos debían ser comprendidos como agentes externos que producen una reacción en un organismo que no solo tiene la capacidad de ser sensible al cambio sino de responder al mismo.

De esta manera, cada cambio en la forma era producto de la manipulación geométrica aplicando parámetros numéricos extraídos del análisis del sitio en relación a la densidad de personas, de vehículos, tiempo de permanencia y polución visual.

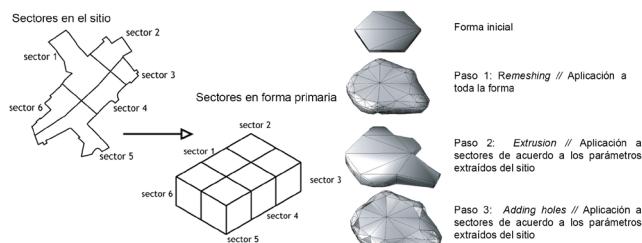


Figura 3: Estrategia de experimentación morfogenética de una forma inicial en TopMod.

El comportamiento del sistema en relación a las fuerzas exteriores aplicadas podía ser comprobado una y otra vez gracias a la relación entre los parámetros y la forma resultante, creando así un sistema paramétrico abierto en el cual la proliferación es fruto de la diferenciación de células capaz de retroalimentarse de las tendencias del entorno. Pero esta diferenciación no significa la creación de componentes autónomos, por el contrario, está referida a su significado en biología descrito como el proceso generado durante el desarrollo del embrión y que conlleva la formación de células especializadas.

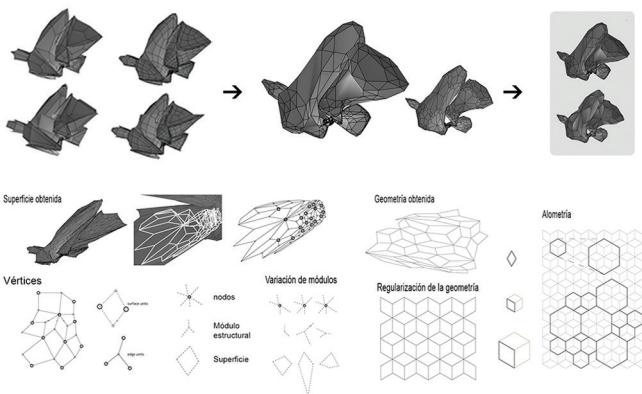


Figura 4: Catálogo de resultados morfológicos en TopMod, comprensión de la geometría y capacidad de alometría.

El resultado inicial fue un conjunto de superficies con un patrón proliferado que mereció una nueva estrategia aplicada en Rhinoceros con el fin de ejercer un mayor control geométrico de las células y conocer el comportamiento de todo el conjunto (Fig 4).

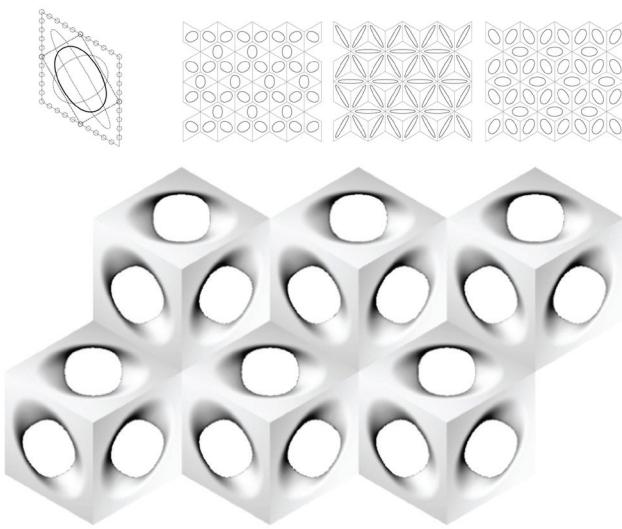


Figura 5: Resultados 2D y 3D de la generación geométrica de la membrana.

### Fase 03

La membrana estructural fue desarrollada a partir de dos variables: la porosidad y la variación de profundidad, respondiendo a la información introducida en cada sector (Fig. 5 y 6). Paralelamente, se definió un diálogo entre el proyecto y el entorno a través de una serie de pasos que incluían la confrontación objeto-contexto, la adaptación de la forma, el establecimiento de los límites del objeto, el contacto con el suelo y la distribución del programa. Se comenzó con la confrontación de nueve formas seleccionadas desde el catálogo realizado en la fase previa.

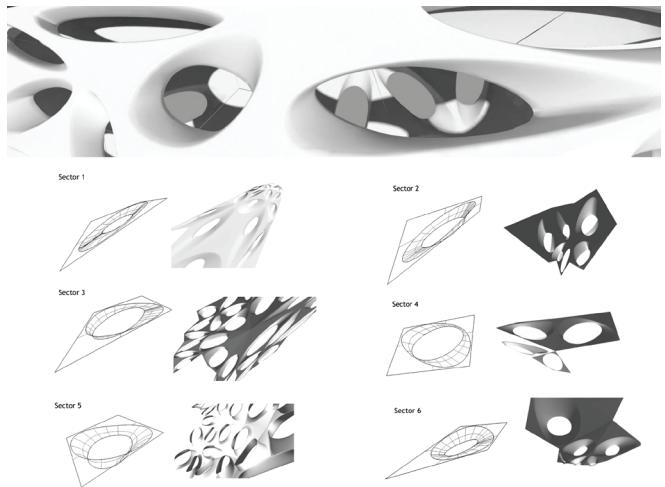


Figura 6: Variación de la geometría de componentes diferenciados por sectores.

La pieza resultante encontró su posición final de emplazamiento respondiendo a la división de sectores que se hizo en un principio, de esta manera cada zona del espacio público soportaba una parte del proyecto fruto de un proceso generativo a partir de parámetros extraídos de ese sector en específico (Fig. 7).

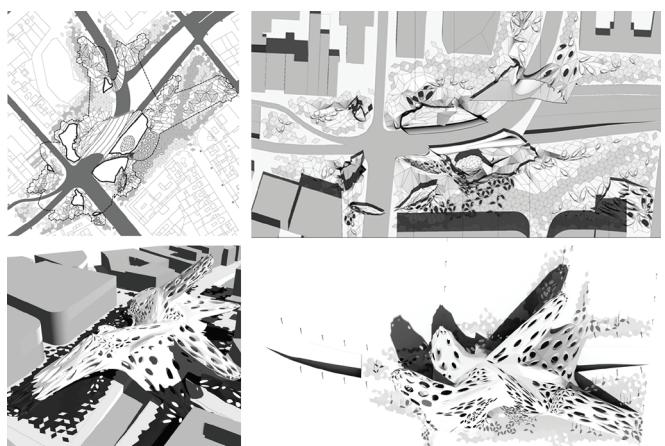


Figura 7: Emplazamiento y relación entre organismo-suelo.

Así, por ejemplo, datos sobre el tiempo de permanencia de los peatones tuvieron implicancia en la porosidad de la membrana, siendo esta mayor en los puntos donde existía mayor visual y, menor, en los puntos de mayor flujo vehicular para evitar la contaminación acústica y la polución. Asimismo, los espacios de mayor asoleamiento determinaban la profundidad de las células de la membrana para evitar el sobrecalentamiento en los espacios interiores.

## Resultados

En biología matemática (...) las formas no se consideran tanto cosas, sino más bien patrones tridimensionales en constante renovación que emergen de los procesos continuos de los sistemas complejos (Weinstock, 2005). La propuesta formal o, dicho de otra manera, los patrones tridimensionales del proyecto, estuvieron en constante readecuación de acuerdo a la información -input- que se introducía para generar mejores resultados, esta capacidad de ajuste responde al proceso morfogenético aplicado para generar un sistema complejo adaptivo constituido por piezas -células- que adoptan características relacionadas directamente con su posición en el sitio y sus características.

Nos confrontamos en todas partes con el fenómeno de emergencia en los sistemas complejos adaptativos -colonias de hormigas, las redes de neuronas, el sistema inmunológico, el Internet y la economía mundial, por nombrar algunos- en el que el comportamiento del conjunto es mucho más complejo que el comportamiento de las partes (Holland, 1999).

En el contexto de un entorno adaptativo, el diseño arquitectónico se lleva a cabo en varias etapas interdependientes. La especificación del propósito u objetivo del sistema (...) puede ser y casi siempre será subespecificado -vago- es decir, el arquitecto no conocerá más el propósito del sistema si lo comparamos al conocimiento que tiene sobre el propósito de una casa convencional. Su objetivo es proporcionar un conjunto de restricciones que permitan modos de evolución (Pask, 1969).

Con esta línea conductora como parte de la lógica del proceso morfogenético, se intentó que el producto formal asumiera una función que por ende, estaría relacionada con las necesidades urbanas del sitio que, eventualmente, podrían cambiar en función de la dinámica de sus habitantes. A partir del interés principal relacionado con el concepto de la percepción del usuario, el objeto asumió una función de un espacio de experimentación visual que incluía usos tales

como un museo de ilusión visual, una mediateca y un cine experimental multi-pantalla, entre otros.

Para concluir el proceso, se seleccionó una parte del proyecto con el propósito de crear un prototipo utilizando una máquina CNC. Para este fin, se debió diseñar la estructura y estrategia de ensamblaje para una célula (Fig. 8), debiendo ser la estrategia geométrica obtenida capaz de aplicarse en cualquiera de las otras 50 piezas que conformaban el prototipo. Este fue desarrollado en detalle a escala 1:20 en madera aglomerada de 3 milímetros de espesor con el fin de comprobar la eficacia de la propuesta estructural y explicar cómo la membrana es capaz de integrar el espacio interior con el exterior (Fig.9).

Este enfoque de diseño se propuso como un conjunto de procesos que permite la distribución del material y sus características en el diseño del producto arquitectónico final. Estos procesos han sido informados por restricciones funcionales, estructurales, ambientales y materiales. Por lo tanto, el resultado presenta un enfoque de diseño, una metodología y un marco técnico para modelar y fabricar organizaciones materiales funcionales con diferentes

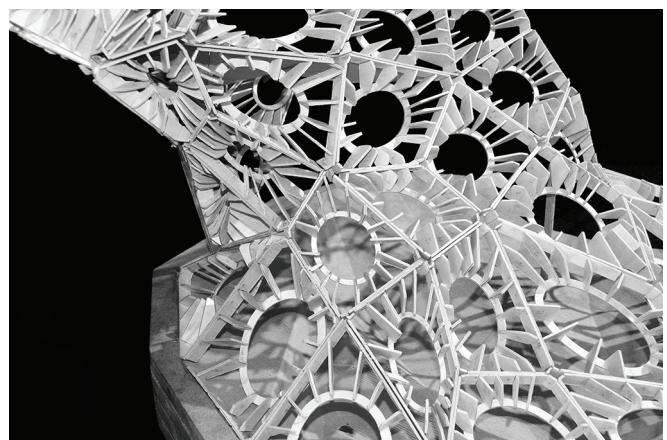


Figura 9: Prototipo final.

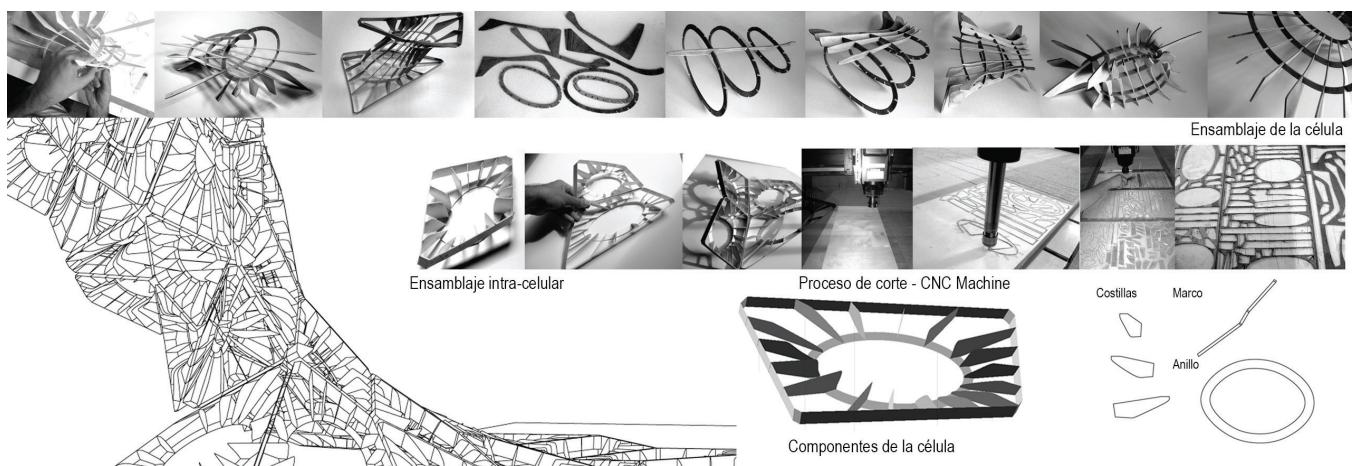


Figura 8: Proceso de ensamblaje.

propiedades diseñadas para corresponder a múltiples inputs que varían continuamente. Dicho marco incluye los procesos de modelado, análisis y fabricación y, dentro de cada uno, ciertos métodos han sido identificados con el potencial de repensar el diseño no como un paradigma de generación de forma sino más bien, como un paradigma sobre conducta y comportamiento del material organizado.

## Conclusiones

En la naturaleza, las formas son el resultado de la coincidencia entre los parámetros materiales y sus limitaciones ambientales correspondientes. La forma es entonces simplemente un subproducto, un derivado de la formación del comportamiento natural.

Los procesos morfogenéticos aplicados a la arquitectura brindan la oportunidad de llegar a resultados por medio de procesos que quitan al diseñador la potestad de producir según motivaciones subjetivas. En estos casos, la objetividad está intrínsecamente relacionada con el carácter emergente de los sistemas naturales y la autosuficiencia de generar resultados a través de la evolución de sus propios procesos.

El término emergencia equipara la arquitectura con la naturaleza asumiendo que el diseño está dominado por los mismos principios que el mundo natural. Por eso, la noción de emergencia está vinculada estrechamente con la noción de crecimiento, evolución, continuidad y comportamiento. De hecho, el comportamiento es un proceso dinámico de retroalimentación

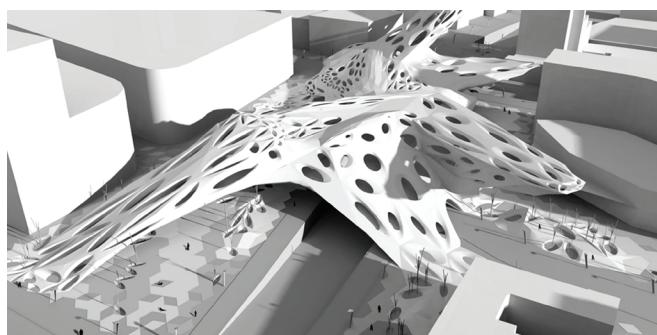


Figura 10: Imagen exterior del conjunto emplazado.

entre los diferentes estados durante la formación del sistema, es decir, durante el proceso morfogenético. En este sentido, los diferentes resultados obtenidos, han demostrado la infinita gama de posibilidades que la lógica de comportamiento emergente aplicado al diseño posee.

Por otro lado, las posibilidades de las nuevas tecnologías de fabricación digital cambian toda la lógica de diseño, ya que, el comprender el funcionamiento de esta tecnología se hace parte del proceso de diseño y no sólo de la etapa constructiva del prototipo como fase separada en el desarrollo del proyecto.

En consecuencia, la arquitectura contemporánea debe prever el diseño ya no sólo del objeto formal, sino también del sistema que lo envuelve en términos de adaptabilidad, evolución y representación (Hernaiz, 2011). El reto para establecer paradigmas en las formas de diseño actual, por tanto, es aceptar el uso de nuevas funciones digitales que permitan una nueva concepción del diseño de sistemas complejos que al ser imposibles de configurarlos a través de métodos tradicionales, se convierten en el fundamento de una producción no estandarizada que reconozca la presencia de las actuales problemáticas del diseño representado principalmente, por las reciprocidades entre lo digital y lo material.

## Referencias

- Hensel, M. Ed. (2006). *Techniques and Technologies in Morphogenetic Design. Computing Self-Organization: Environmentally Sensitive Growth Modelling*. Wiley
- Hensel y Menges A. (2008). Towards an inclusive discourse on heterogeneous architectures. In Hensel y Menges A., *Morpho-ecologies* (p.28). Londres: Architectural Association
- Hernaiz V. (2011). *Mongo-génesis y nuevas estrategias de diseño. Procesos para una arquitectura no estándar*. Saarbrücken: EAE
- Holland, J.H. (1999) *Emergence, From chaos to order*. NY: Basic Book
- Pask, G. (1969). *The Architectural Relevance of Cybernetics*. Jhon Wiley & Sons Ltd, Londres, p.495
- Weinstock, M. (2005). On self-organization: Stress driven form-finding in architecture. In Estévez, A., *Genetic architectures II: Digital tools and organic forms* (p. 94). Santa Fe, New Mexico: ESARQ/SITES books