

PUBLICACIÓN ANTICIPADA

El Comité Editorial de la Revista M ha autorizado la publicación anticipada del presente artículo teniendo en cuenta que: ha sido aprobado por los respectivos pares evaluadores y cumple con las normas y políticas editoriales de nuestra revista. No obstante, se advierte a los lectores que esta versión en PDF es provisional y podría presentar algunos ajustes menores después de realizar la corrección de estilo y la diagramación correspondiente.

Aun así, el artículo ya posee el DOI definitivo, por lo tanto, a partir de la fecha podrá ser consultado y citado sin ningún inconveniente.

EL DISEÑO BIODIGITAL EN EL PROCESO PROYECTUAL: METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO¹

Alberto T. Estévez ²

Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universitat Internacional de Catalunya
España

Marcelo Alejandro Fraile Narvárez³

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

¹ Estudio de casos desarrollado a partir del trabajo realizado por los estudiantes de la Maestría en Arquitectura de la Universidad Santo Tomás, sede Bucaramanga (Colombia).

² Doctor en Arquitectura de la Universitat Politècnica de Catalunya. Doctor en Historia del Arte de la Universitat de Barcelona. Catedrático de Arquitectura en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universitat Internacional de Catalunya. Áreas de su especialidad: Proyectos Arquitectónicos, Composición Arquitectónica e Historia del Arte. Correo electrónico: estevez@uic.es

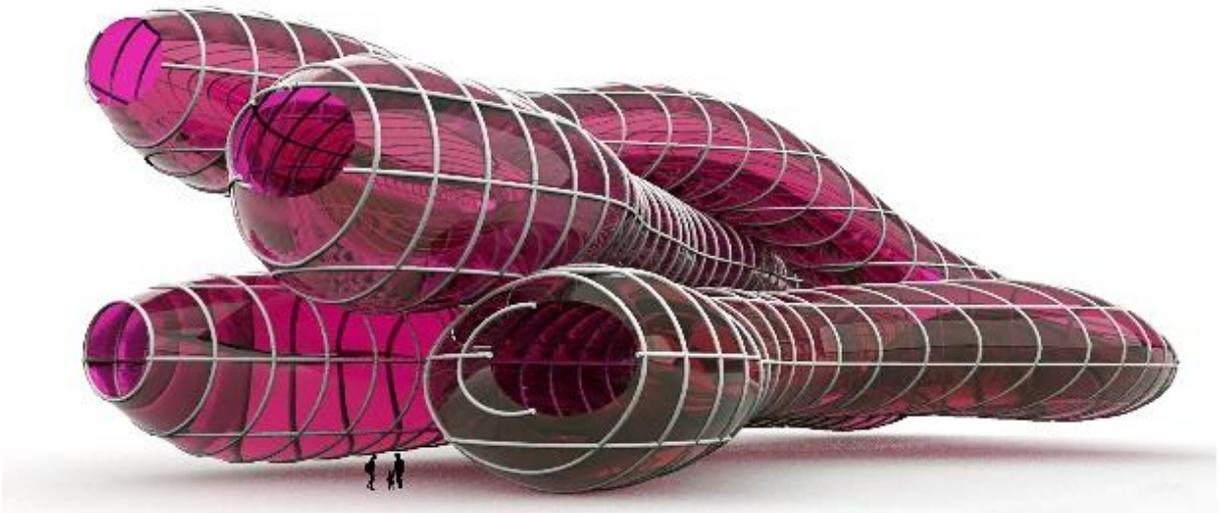
³ Doctor en Arquitectura de la Universidad de Buenos Aires. Actualmente Coordinador Académico Máster Universitario en Diseño y Producción Multimedia, Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología Universidad Internacional de La Rioja. Áreas de su especialidad: Proyectos Arquitectónicos, Composición Arquitectónica e Historia del Arte. Correo electrónico: marcelo.fraile@unir.net

Universidad Internacional de La Rioja
España

Recibido: julio de 2021

Aceptado: julio de 2022

DOI: <https://doi.org/10.15332/rev.m.v19i1.2830>



Proyecto de María E. Ramírez y Juan Quintero.

Resumen

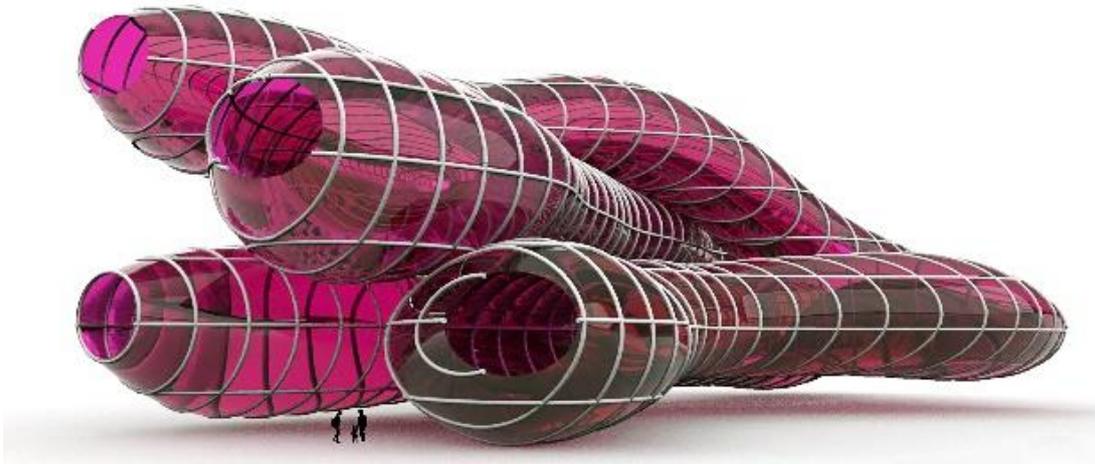
A lo largo de la historia, el hombre ha recurrido a la biología como una fuente de inspiración para resolver sus problemas proyectuales. Desde Leonardo da Vinci

durante el Renacimiento, pasando por Antoni Gaudí en los siglos XIX-XX, y más recientemente con los trabajos de Neri Oxman, han convertido a la naturaleza en una maestra invaluable para estudiar los modos de un diseño eficiente, pero también armónico con el contexto. Un rico mundo natural que proporciona un sinnúmero de modelos de los que aprender. Para la escritora Janine Benyus, la naturaleza posee una experiencia de 3.800 millones de años de investigación y desarrollo, sus fracasos han quedado fosilizados, y por tanto, lo que nos rodea son sus supervivientes.

Desde esta mirada, y con un enfoque centrado en los procesos desarrollados en la naturaleza, este artículo tiene como objetivo presentar las características del pensamiento biodigital, a modo de una eficaz e innovadora herramienta proyectual. Para ello se propone un estudio de casos, en donde, a partir de la observación de los organismos biológicos y de la utilización de sistemas digitales de modelado y optimización del proyecto, se ha desarrollado una nueva concepción del diseño, un acercamiento a la producción de estructuras complejas de carácter biodigital, bajo un espíritu superador de la propuesta tradicional mecanicista. En esencia, se trata de una arquitectura avanzada, de prospección, de superación de un simple ecologismo convencional, o del uso de los ordenadores como meros sustitutos del dibujo manual: se trata de “un nuevo proyectar ecológico-medioambiental y un nuevo proyectar cibernético-digital”.

Palabras claves: arquitectura biodigital, biomímesis, biolearning, bioaprendizaje, paramétrico, naturaleza, genética, diseño generativo.

**BIODIGITAL DESIGN IN THE DESIGN PROCESS:
ALTERNATIVE METHODOLOGY FOR THE TEACHING OF DESIGN**



Project de María E. Ramírez y Juan Quintero.

Abstract

Throughout history, man has turned to biology as a source of inspiration to solve his design problems. From Leonardo da Vinci during the Renaissance to Antoni Gaudí in the 19th and 20th century, and more recently with the work of Neri

Oxman, nature has become an invaluable teacher for studying ways of designing efficiently but also in harmony with the context. A rich natural world that provides countless models to learn from. For the writer Janine Benyus, nature has an experience of 3.8 billion years of research and development, its failures have been fossilised, what surrounds us are its survivors.

From this point of view, and with an approach centred on the processes developed in nature, this paper aims to present the characteristics of biodigital thought, as an effective and innovative design tool. To this end, a case study is proposed here, in which, based on the observation of biological organisms and the use of digital systems for modelling and optimising the project, a new conception of design has been developed, an approach to the production of complex structures of a biodigital nature, in a spirit that goes beyond the traditional mechanistic proposal. In essence, it is a question of advanced architecture, of prospecting, of overcoming a simple conventional ecologism, or the use of computers as mere substitutes for manual drawing: it is "a new ecological-environmental design and a new cybernetic-digital design".

Keywords: biodigital architecture, biomimicry, biolearning, parametric, nature, genetics, generative design.

INTRODUCCIÓN: LA NATURALEZA COMO MAESTRA

Como se mencionó anteriormente, a lo largo de la historia, el hombre ha recurrido a la biología, buscando resolver sus problemas proyectuales a través de la interpretación de las secretas leyes del universo. Para el arquitecto americano Greg Lynn, los diseñadores siempre hemos justificado la belleza mirando a la naturaleza. De hecho, podría decirse que la arquitectura considerada como perfecta ha sido el resultado de tomar a lo biológico como modelo: un espejo eterno donde mirar y poder evaluar sus diseños (Estévez, 2015). En este sentido, para la escritora estadounidense Janine Benyus, “después de 3.800 millones de años de investigación y desarrollo, en la naturaleza, los fracasos han quedado fosilizados y lo que nos rodea es el secreto de la supervivencia” (2012, p. 17).

Así pues, para comienzos del siglo XXI, nos encontramos en un momento histórico diferente, una resignificación del concepto del medioambiente, “una era basada no en lo que podemos extraer de la naturaleza, sino en lo que podemos aprender de ella” (Benyus & Leal, 2012, p. 16).

Y es en este sentido, donde importantes avances en materia de herramientas digitales, y una evolución de los procesos de prefabricación, nos ha conducido a una nueva era del diseño, “una nueva era de la creación, que nos lleva de un diseño inspirado en la naturaleza a una naturaleza inspirada en el diseño, que exige de nosotros, por primera vez, que nos hagamos cargo de la naturaleza” y

de sus recursos no renovables (Oxman, 2015). Es un bioaprendizaje del rico mundo natural (Estévez, 2015), que proporciona un sinnúmero de modelos de los cuales partir para educarse: células fotovoltaicas que copian las hojas de las plantas, fibras que imitan los complejos patrones de las telas de araña, o una nueva generación de materiales totalmente biodegradables. Estamos frente a una novedosa concepción del diseño, una revolución biomimética que nos plantea un cambio disruptivo.

De igual forma, nos encontramos ante una reformulación del equipo de trabajo donde biólogos, arquitectos, ingenieros y programadores se unen para crear resultados innovadores, capacitados para resolver toda una nueva gama de problemas en el siglo XXI. Una evolución que, mediante el desarrollo de plataformas y programas cada vez más poderosos, ha posibilitado el modelado y perfeccionamiento de algoritmos morfogénicos capaces de replicar los sistemas existentes en la naturaleza, y ahora a través de impresoras 3D también poder fabricarlos. Un proceso del cual emerge el proyecto arquitectónico en un complejo camino que va del átomo al bit y viceversa.

Desde esta mirada, y con un enfoque centrado en los procesos desarrollados en la naturaleza, este artículo tiene como objetivo presentar las características del pensamiento biodigital, a modo de una eficaz e innovadora herramienta proyectual. Para ello se propone aquí un estudio de casos, en donde, a partir de

la observación de los organismos biológicos y de la utilización de sistemas digitales de modelado y optimización del proyecto, se ha desarrollado una nueva concepción del diseño, un acercamiento a la producción de estructuras complejas de carácter biológico, bajo un espíritu superador de la propuesta tradicional mecanicista. En esencia, se trata de una arquitectura avanzada, de prospección, de superación de un simple ecologismo convencional, o del uso de los ordenadores como meros sustitutos del dibujo manual: se trata de “un nuevo proyectar ecológico-medioambiental y un nuevo proyectar cibernético-digital”.

Estamos ante el nacimiento de una inédita estrategia evolutiva del diseño, un modelo capaz de producir morfologías emergentes: tanto lo virtual, como lo paramétrico, y ahora lo biológico, se han convertido en los motores de una nueva concepción de la actividad (Ortega & Zaera-Polo, 2009). Se trata de una arquitectura surgida más allá de los márgenes del caos, “donde aparecen todas las cosas vivas... Y de ese caos surgirá el orden: no un orden particular, peculiar, extraño, o artificial, sino genérico, típico, natural, fundamental e inevitable, el orden de la vida” (Frazer, 2009, p. 38).

METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL EJERCICIO

El presente artículo parte del ejercicio desarrollado entre marzo y abril de 2021, en el marco del Máster de Arquitectura de la Universidad Santo Tomás, sede Bucaramanga (Colombia).

A través de una mirada holística del contexto y tomando como referente la exploración de saberes procedentes del mundo de la biología, se propuso a un grupo de estudiantes, el desarrollo de un proyecto habitacional de viviendas en bloque, el cual debía ubicarse en la ciudad de Bucaramanga, departamento de Santander, Colombia. En este sentido, cada propuesta tendría, además, que considerar las particularidades del entorno: funcionalidades y usos, así como las posibilidades que estos ofrecen para el diseño.

La duración del ejercicio fue de 6 semanas. Y en este tiempo los estudiantes, de un modo individual o en pares, desarrollaban una búsqueda intrínseca de arquitectura “sin más”, de un “ADN” proyectual, de un ente arquitectónico, con personalidad y carácter propios: una metodología intuitiva del diseñar haciendo. Un desarrollo que considera a la forma y a la función como algo enteramente relacionado, como si del cuerpo y el alma se tratara, inseparables, los cuales se retroalimentan mutuamente siempre. Una relación aprendida de la naturaleza, en busca de una mayor calidad arquitectónica.

Con el fin de optimizar el tiempo con el que se contaba, se optó por enfocar la investigación tomando como referente la famosa *Unité d'Habitation* de Le Corbusier, un paradigma del siglo 20, que posibilitara a los estudiantes de un apoyo concreto acerca del modo de habitar, sobre su escala y tamaño. Un precedente que permitiera enmarcar la búsqueda inicial, sin necesidad de justificaciones previas de la tarea a realizar.

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROPUESTA

El contexto del emplazamiento elegido corresponde al barrio Comuneros, de la comuna 3, de la ciudad de Bucaramanga, capital del departamento de Santander, Colombia. Se trata de un barrio residencial situado al nororiente de la ciudad, con una amplia variedad de servicios y equipamientos educativos. Un espacio ubicado a 950 metros sobre el nivel del mar, y con un clima cálido húmedo cuya población estimada es de aproximadamente 400 habitantes, principalmente estudiantes, dada su cercanía con diferentes instituciones educativas.

A fines del siglo XX, esta área había sufrido una renovación urbana, que reemplazaría parcialmente las viviendas multifamiliares de baja densidad construidas durante la década de 1930 a 1940, por viviendas de alta densidad,

con un uso intensivo del suelo, pero sin una planificación adecuada sobre los espacios públicos y áreas verdes de la zona.

Así pues, luego de un profundo estudio urbano del barrio, se optó por considerar como sitio adecuado para la práctica un espacio de aproximadamente 13.000 m², un área que corresponde a dos manzanas completas conformada por la calle novena, junto al parque Cristo Rey, y próximo a la Universidad Santo Tomás.

Naturaleza y arquitectura: Proyecto habitacional de viviendas en bloque

Para el desarrollo de este ejercicio, se establecieron siete instancias metodológicas, a saber:

1. Búsqueda de referentes de seres vivos. Bajo el concepto de bioaprendizaje (biolearning), los estudiantes debían centrar su investigación en referentes del campo de la biología, dejando en segundo lugar los procesos convencionales consecutivos enfocados en la obtención de resultados: una metodología de aproximación progresiva orientada a precisar los elementos y leyes de la naturaleza, y su traslación al campo del diseño, para su utilización posterior en el proyecto arquitectónico.

2. Elaboración de *brainstorming* a través de croquis de aproximación: a partir de los referentes tomados de la naturaleza, los estudiantes debían elaborar una lluvia de ideas, que funcionase como un sistema de decodificación y

conexión entre arquitectura y biología. Un proceso que permitiera transformar las características biológicas en elementos espaciales. Se trata de una exploración de la naturaleza (fotosíntesis, autoensamblaje, selección natural, estructuras y sistemas, etc.) para aprender de esos diseños y procesos a la hora de resolver nuestros propios problemas: “una emulación consciente del ingenio de la vida, o la innovación inspirada en la naturaleza” (Benyus & Leal, 2012, p. 16).

3. Parametrización del proyecto. Dadas las características del ejercicio propuesto, paralelamente a la formación teórico-práctica, se introdujo a los estudiantes en el manejo de sistemas paramétricos digitales de diseño y optimización de la forma. Para esto, se utilizó la plataforma Rhinoceros, en combinación con una serie de plug-in, que posibilitaban en modelado geométrico del proyecto, su evaluación, y posteriormente su perfeccionamiento topológico-funcional-estético mediante el uso de algoritmos morfogenéticos.

4. Selección de propuestas posibles y elaboración de alternativas. A partir de la selección de propuestas, en un proceso de selección similar al de la propia naturaleza, los estudiantes debían elaborar una serie de modelos digitales tridimensionales: un sistema flexible, capaz de evaluarse, pudiendo modificar su forma, tamaño, y las características de sus elementos.

5. Evaluación de alternativas y selección de la idea final. A través del desarrollo de modelos paramétricos digitales, los estudiantes elaboraron una serie de alternativas proyectuales, como un camino evolutivo “natural” hacia la producción de un diseño arquitectónico final.

6. Perfeccionamiento de la propuesta. Una vez seleccionado el proyecto mejor adaptado al contexto, el de mayor “inteligencia natural” y mayor “inteligencia artificial” (de acuerdo con sus potencialidades y posibilidades), los estudiantes debían profundizar en las cualidades del modelo, permitiéndoles extraer las conclusiones correspondientes, detallándolo y enriqueciéndolo dentro de un tiempo muy acotado.

7. Jury. Como finalización del trabajo se propuso la sociabilización de los proyectos: una retroalimentación final que permitiera enriquecer los resultados obtenidos, definiendo posibles vías de desarrollo e investigación futuras (Figura 1).

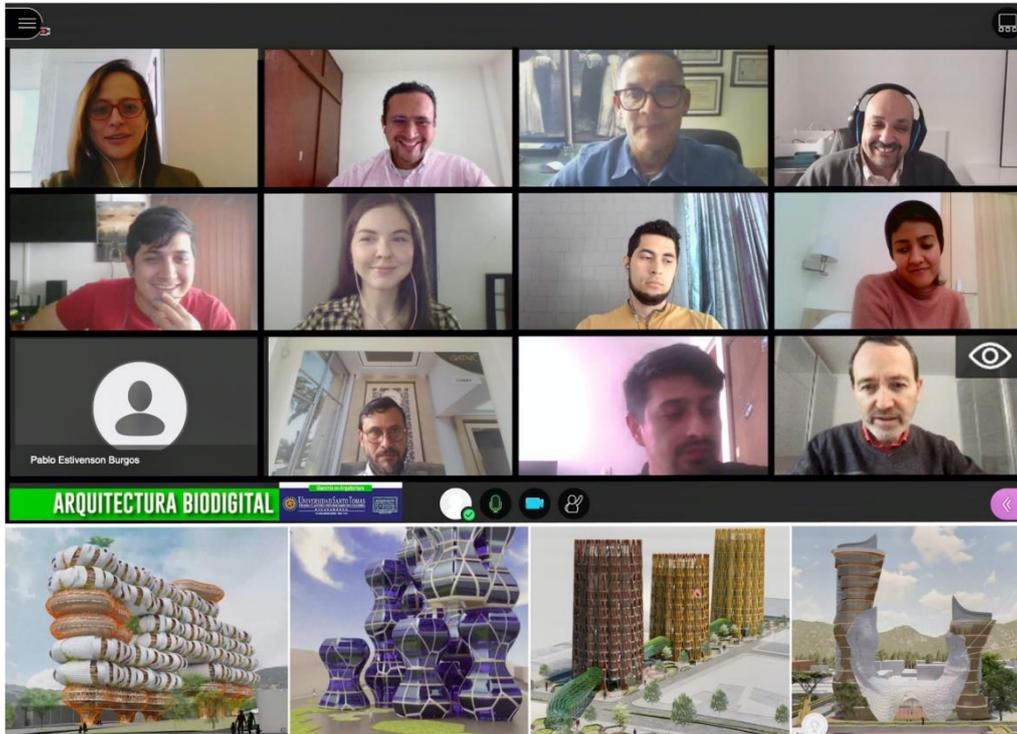


Figura 1. Jury final de presentación de los proyectos.

RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo con los objetivos y las etapas previamente planteadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

CASO Nº 1. VIVIENDAS VICTORIA AMAZÓNICA / VICTORIA REGIA

Autores: María E. Ramírez y Juan Quintero.

Fundamentación: tomando como referente la estructura reticular-nerviosa de las hojas de la *Victoria Amazónica*, el equipo de estudiantes desarrolló un esqueleto resistente alveolar que sirviera de soporte para el desarrollo de un bloque de viviendas: un armazón orgánico variable capaz de soportar grandes cargas, a través de una red de ejes principales y secundarios, con un borde perimetral de cierre. Se trata de un sistema de formas sinuosas, donde la repetición de llenos y vacíos permite la creación de volúmenes de curvas continuas. Formas con gran riqueza cromática, en el que la interconexión de las diferentes capas superpuestas posibilita la generación de distintos grados de permeabilidad y transparencia.

Figura 2. Vista general del proyecto Viviendas *Victoria amazónica / victoria regia*



Fuente: Proyecto de María E. Ramírez y Juan Quintero.

Diseño: diseñado para albergar una población entre 1.000 y 1.300 habitantes, el proyecto plantea la creación de un gran espacio libre, con vegetación y arbolado alrededor, que sirve de elemento de conexión y desborde para la comunidad, transformando la propuesta en un beneficio urbano para el barrio.

El proyecto se asienta sobre el sitio asignado a través de 6 sólidos pilares de soporte. Seis poderosas patas que cumplen también la función de albergar los núcleos de circulación vertical e instalaciones, destinando el resto del área, como

espacio libre, con vegetación y arbolado que sirve de elemento de desborde para la comunidad. Estos pilares se transforman en puntos fijos de conexión entre los diferentes niveles del edificio, adaptándose a la pendiente pronunciada del terreno, mediante la adición de un bloque extra de viviendas.

Figura 3. Detalle planta baja y pilares de soporte



Fuente: Proyecto de María E. Ramírez y Juan Quintero.

A pesar de sus grandes dimensiones, el proyecto utiliza el solar, sin alterar el desarrollo de la trama urbana, pero sí su materialidad, obligando a los vehículos a circular a menor velocidad y de una forma restringida.

Ahora bien, el proyecto es definido mediante el apilamiento de ocho macro módulos: ocho estructuras orgánicas variables, donde la repetición de llenos y vacíos permiten conformar una estructura compleja dinámica de gran riqueza cromática. A su vez, cada macro módulo está compuesto internamente por 3 niveles verticales apilados, en tanto que exteriormente se consolida a través de una doble piel superpuesta: la primera de carácter estructural sigue un patrón modular inspirado en el diagrama de Voronoi; mientras que la segunda, externa y superpuesta a la anterior, es la encargada de generar las curvas continuas que otorgan dinamismo y homogeneidad al diseño.

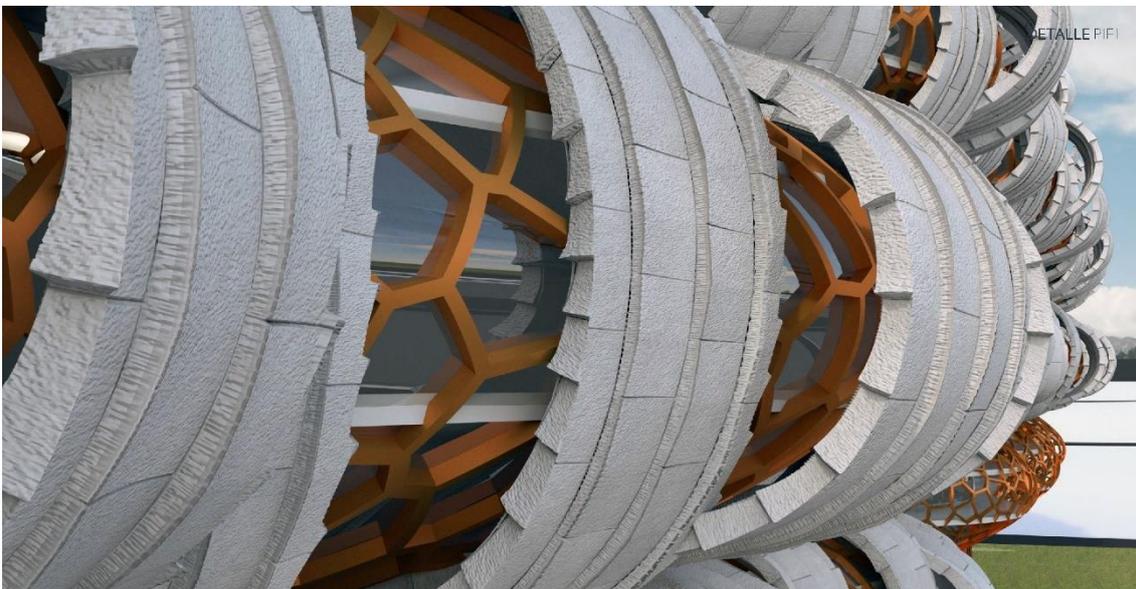
Adicionalmente, esta segunda capa actúa a modo de epidermis, sirviendo de protección a la incidencia directa de los rayos del sol sobre las zonas destinadas a viviendas, a la vez que permite regular la ventilación del edificio. Se trata de una fachada modular ventilada que posibilita la circulación del aire entre la epidermis y la dermis.

En esencia, estamos ante una deconstrucción y reconstrucción de dos diferentes sistemas, el fractal y el voronoi: esto permite crear una serie de balcones, con vegetación endógena de bajo porte, cuyo objetivo es el de mitigar el impacto del asoleamiento en el interior de las viviendas.

Exteriormente, esta segunda piel es desarrollada mediante láminas cerámicas retráctiles, que posee un recubrimiento de placas de dióxido de titanio (TiO_2): un

producto que reacciona contra la luz solar, permitiendo neutralizar las sustancias nocivas que componen el *smog* equivalente a la contaminación producida por 8.750 automóviles por día.

Figura 4. Detalle material y formal de la piel propuesta para el proyecto



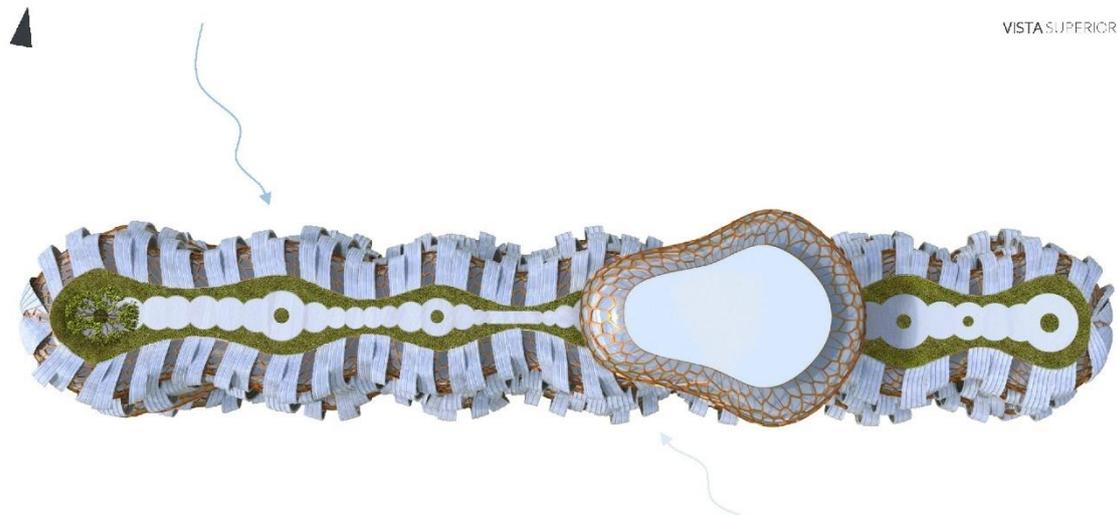
Fuente: Proyecto de María E. Ramírez y Juan Quintero.

Por otro lado, desde el punto de vista de la zonificación, la urbanización destina los macro módulos bajos para el esparcimiento y el comercio: dado su carácter comercial, y con el fin de optimizar la iluminación en esta área, las fachadas no cuentan con la segunda piel de cerramiento.

En el caso de las áreas del proyecto, cada apartamento tipo posee una superficie aproximada de 95 m², y está destinada para unas 3 o 4 personas, aumentando estas dimensiones en los niveles superiores hasta en un 20 %.

Para la distribución de las viviendas en el bloque se optó por una organización lineal a modo de espina de pez, siendo la comunicación entre módulos mediante un corredor central. Cada uno de estos corredores tiene como cabecera, en un extremo, las zonas destinadas al encuentro social y a la recreación; en tanto que en el otro se ubican las áreas comunes, con capacidad para abrirse a las vistas. De forma transversal, el bloque queda perforado mediante una serie de zonas verdes destinadas a huertas urbanas y a desborde de las viviendas. Finalmente, sobre la cubierta, se ha desarrollado un paseo verde de desborde, como parte de la creación de huertas urbanas comunitarias, transformando el proyecto en una alternativa ecosustentable.

Figura 5. Vista superior - Paseo verde



Fuente: Proyecto de María E. Ramírez y Juan Quintero.

CASO Nº 2. VIVIENDAS TERMITERO

Autores: Otto Cala y Rafael Suarez.

Fundamentación: tomando como referente, por un lado, la estructura de capas de las barenquinas (una sucesión de layers eficientemente preparadas para aislar, refrigerar y transmitir sustancias), y, por el otro, la organización de los termiteros (un sistema de chimeneas naturales, cuyo objetivo es la regulación y el control de la temperatura y la humedad en el interior de los espacios), el equipo de estudiantes propuso el desarrollo de tres bloques de viviendas acondicionados naturalmente mediante un proceso termodinámico: una

configuración que utiliza una piel externa, y una serie de patios de ventilación para generar un complejo organismo en equilibrio: un edificio sustentable, acondicionado ambientalmente de forma natural.

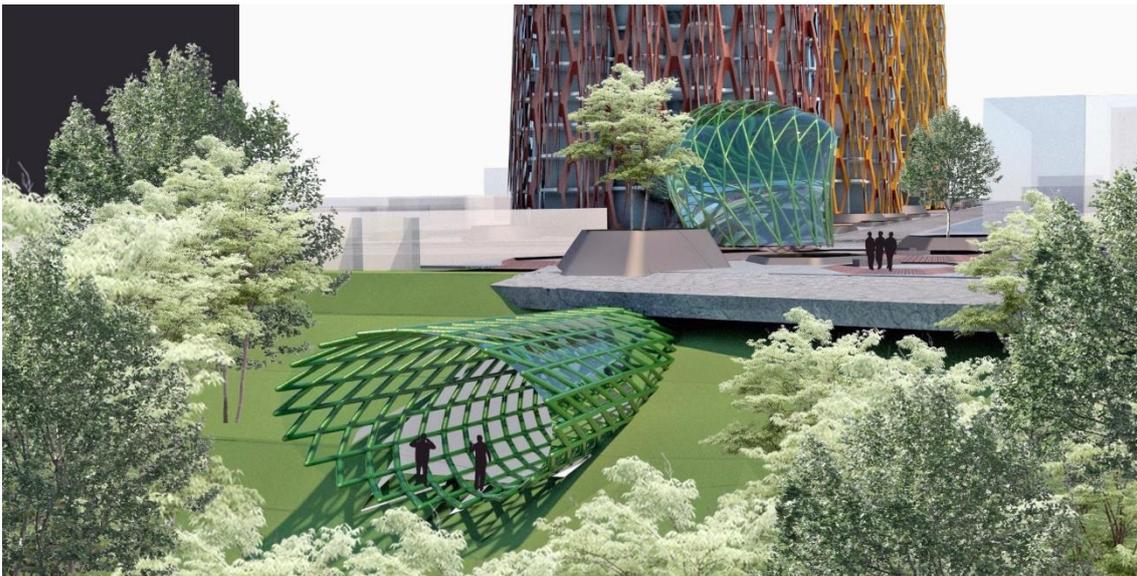
Figura 6. Vista general de la propuesta Viviendas termitero



Fuente: Proyecto de Otto Cala y Rafael Suarez.

Diseño: el proyecto plantea el desarrollo de tres robustas torres de viviendas, interconectadas mediante un “puente-gusano”: un tubo translúcido, dinámico y flexible que va perforando y conectando los diferentes bloques para crear un paseo público continuo, a modo de eje circulatorio peatonal que conecta lo verde con el parque.

Figura 7. Vista puente – gusano y zonas verdes



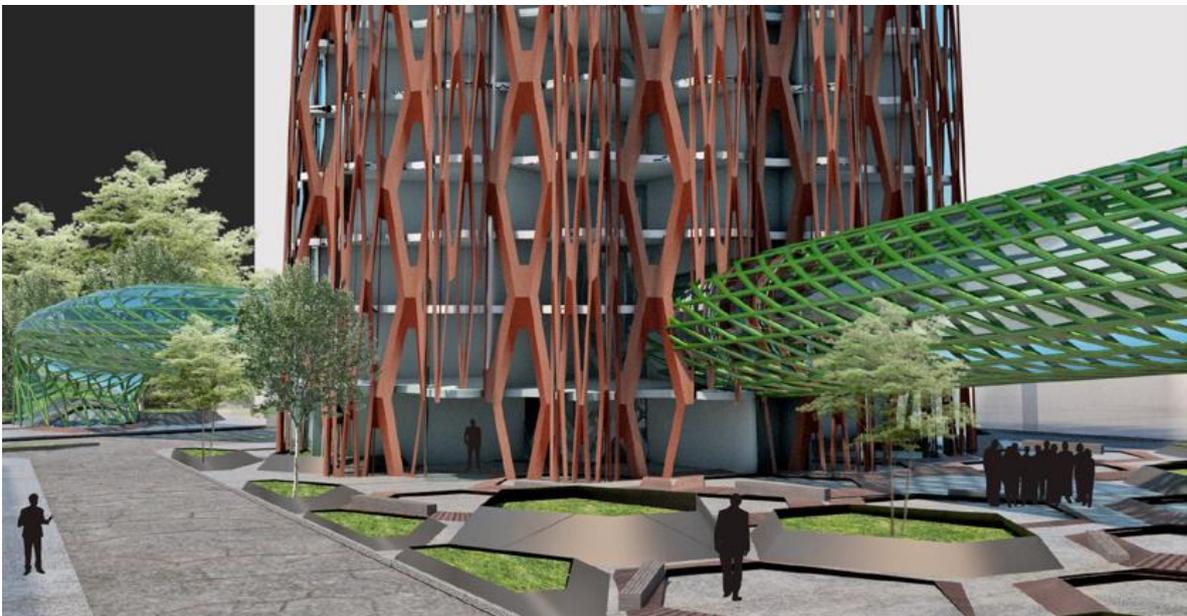
Fuente: Proyecto de Otto Cala y Rafael Suarez.

En el caso de los espacios públicos, estos se encuentran en los niveles bajos de las torres, en coincidencia con el “puente-gusano”, y por encima se ubican las diferentes tipologías de viviendas que se reparten en altura, dejando la cubierta

como un espacio colectivo para la comunidad. Así pues, se busca romper la lógica cartesiana de la unidad habitacional, y reemplazarla por una estructura arborescente de muros y columnas adaptativas, de acuerdo con las necesidades estructurales de la forma radial.

Por su parte, cada torre es recubierta por una estructura superficial, que actúa a modo de piel, una epidermis manipulable y sensitiva, que responde a los estímulos del medio bajo una lógica adaptativa.

Figura 7. Detalle estructura superficial que cubre cada torre



Fuente: Proyecto de Otto Cala y Rafael Suarez

Ahora bien, tomando como referente la morfología transversal de una esponja natural, cada bloque queda dividido en cuatro cuadrantes, con dos apartamentos por cuadrante. La separación entre secciones se materializa a través de cuatro corredores de circulación: dos de estos conducen hacia las circulaciones verticales, y los otros dos funcionan como elementos de ventilación, posibilitando que cada planta respire y regule su temperatura. El proyecto se completa con la adición de una circulación anular, encargada de conectar los cuatro pasillos principales, redistribuyendo las cargas térmicas en el interior del edificio.

Figura 8. Corte transversal



Fuente: Proyecto de Otto Cala y Rafael Suarez

Así pues, morfológicamente se trata de una red de canales que permiten aprovechar la aireación natural, a la vez que facilitan un confort lumínico adecuado en el interior de las viviendas, logrando de este modo un considerable ahorro energético.

Por otro lado, a nivel interior cada uno de los apartamentos ubican los espacios de servicio en torno al interior del complejo, dejando los dormitorios y áreas comunes hacia el exterior. Como cerramiento, se decidió dotar a los balcones de una persiana tradicional de madera: una estructura resignificada y parametrizada que se genera alrededor de las viviendas. Se trata de una geometría inteligente con sensores capaces de reaccionar a la incidencia solar, controlando el ingreso de luz, e impidiendo que el calor ingrese al interior de los apartamentos.

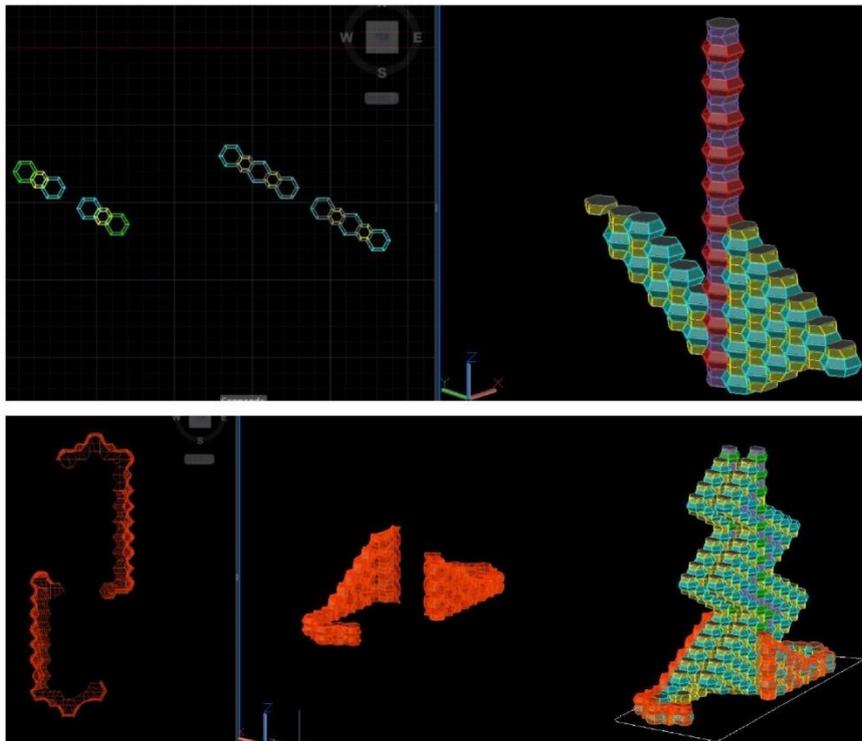
Finalmente, para la elección de los colores se evaluaron las características de reflectancia y absorción de materiales, eligiéndose una gama de colores terrosos, asociados al color de los termiteros, el cual funciona como punto de partida para el desarrollo del proyecto. Siendo una gradación cromática que producía un fuerte contraste con el verde seleccionado para decorar el tubo puente de conexión.

CASO Nº 3. TORRES ESCARABAJO DIABLO

Autores: Carlos Gamboa y Adriana Gualdrón.

Fundamentación: tomando como referente la estructura del caparazón del escarabajo diablo, y el patrón geométrico de las alas de las mariposas, el equipo de estudiantes desarrolló una propuesta de intervención modular, una matriz armónica de hexágonos tridimensionales que se repiten con una pauta aleatoria sobre los tres ejes.

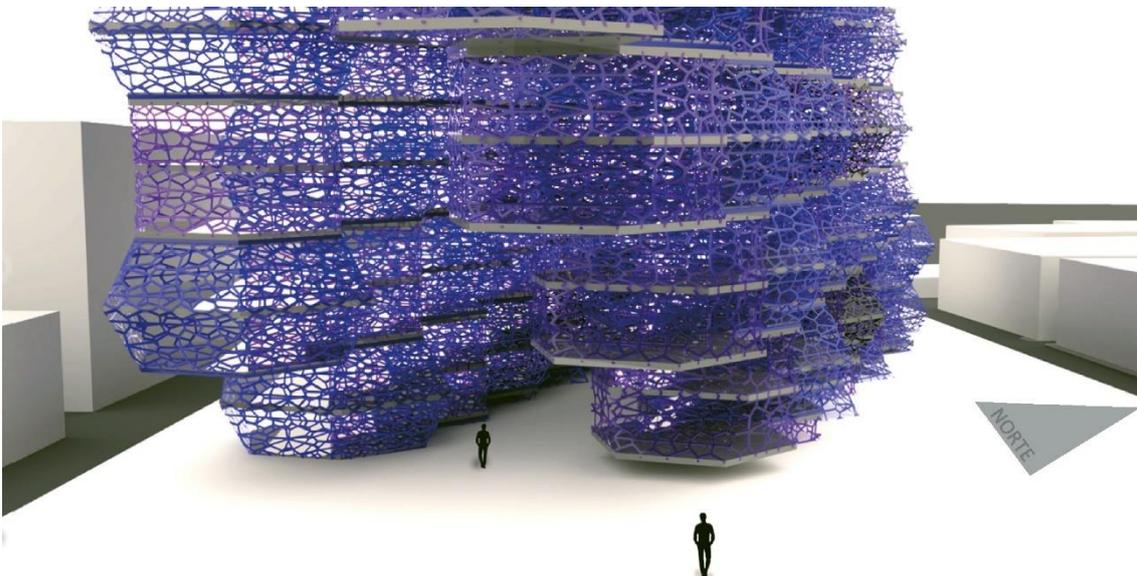
Figura 9. Repetición del patrón elegido



Fuente: Proyecto de Otto Cala y Rafael Suarez

Diseño: el proyecto permite conformar una propuesta orgánica, una torre de perfil aserrado, materializada por el apilamiento y movimiento en el espacio de un módulo tridimensional de base hexagonal. Una estructura trabecular compuesta por dos capas.

Figura 10. Detalle de la primera capa propuesta para el proyecto



Fuente: Proyecto de Otto Cala y Rafael Suarez

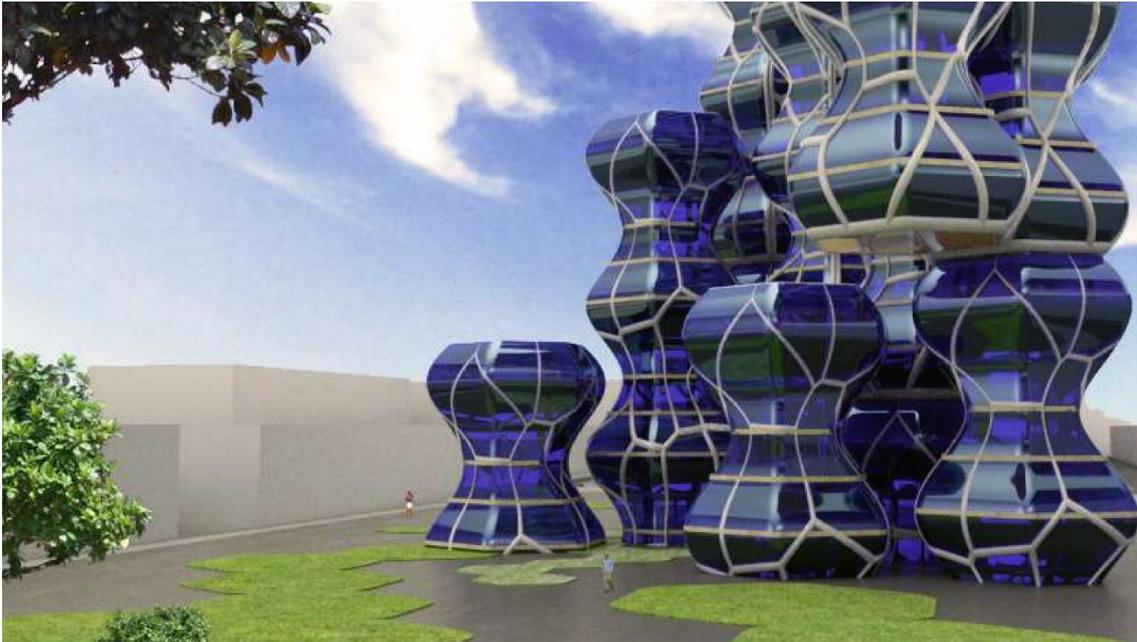
La primera capa es una membrana irregular encargada de soportar las placas de los entresijos; y la segunda capa, exterior, actúa a modo de cerramiento y protección del edificio, a través de una envolvente compleja multicapa: un epitelio semipermeable, con elementos translúcidos dinámicos.

Ahora bien, en su interior, la torre alberga tres tipologías de viviendas: dos apartamentos-estudio y un apartamento-suite. Todos los núcleos habitacionales se encuentran apilados en dos crujiás lo que permite tener un acceso principal a la iluminación y ventilación natural hacia la calle.

Por otro lado, con el fin de optimizar el consumo energético, una serie de pistones dispuestos en la estructura posibilitan absorber las micro vibraciones estructurales producidas por el viento sobre la fachada del edificio, y transformarlas en energía eléctrica.

Finalmente, desde un punto de vista estético, cada módulo tendría un color iridiscente, intentando reproducir el patrón existente en las alas de las mariposas. El proyecto se completa con una serie de elementos verticales que reproducen, a modo de cierre, las pautas de las ramas del árbol Lluvia de oro.

Figura 11. Vista general de la propuesta Torres Escarabajo diablo



Fuente: Proyecto de Carlos Gamboa y Adriana Gualdrón.

CASO Nº 4. COMPLEJO HABITACIONAL 2 TORRES

Autores: Jeisson E. Monroy y Carlos R. Prieto.

Fundamentación: desde un punto de vista morfogénético, y tomando como referente las escamas del pez cebra, el equipo de trabajo desarrolló un proyecto de viviendas para estudiantes universitarios. Conceptualmente, se trataba de una piel envolvente, una membrana encargada de limitar los espacios públicos y crear dos volúmenes tridimensionales. Posteriormente, y a través de una cáscara que se derrama sobre ambas geometrías, se producirá una conexión

espacial entre los volúmenes, una génesis compositiva que busca captar la complejidad de la forma, las texturas y los colores de la naturaleza.

Diseño: el proyecto propone un diseño sostenible, a través de la creación de un punto de desborde para la ciudad y el complejo habitacional. Una propuesta innovadora que plantea una revalorización del sitio. Para esto se busca la liberación de la estructura urbana actual, ocupando con el proyecto solo la mitad del solar asignado, dejando el resto para el desarrollo de una expresión verde: una continuidad del parque Cristo Rey, junto con el trazado de ciclovías, pequeños mercados informales, y un recorrido lúdico-artístico por encima de la cota del terreno natural.

Figura 12. Vista general de la propuesta - Contexto



Fuente: Proyecto de Jeisson E. Monroy y Carlos R. Prieto.

A nivel conceptual, el proyecto se estructura a través de la construcción de dos torres asimétricas de diferentes alturas, interconectadas a nivel de basamento mediante un gran atrio cubierto. Un espacio de vinculación que utiliza la forma de un hiperboloide, pero que se ha deformado digitalmente de acuerdo con patrones naturales: una piel topológica que en su textura reproduce de un modo metafórico la concepción de las escamas del pez cebra.

Figura 13. Propuesta conceptual y detalle de la piel arquitectónica



Fuente: Proyecto de Jeisson E. Monroy y Carlos R. Prieto.

Así pues, se trata de una residencia estudiantil de carácter mixto, donde la torre más baja es para estudiantes solteros, mientras que la otra es para estudiantes con familia⁴. Cada edificio lleva adosada en uno de sus lados un eje vertical secundario de conexión, en cuyo interior se albergan las escaleras que van envolviendo los ascensores.

Por otro lado, a nivel constructivo, cada torre se encuentra resuelta a través de un muro cortina de doble membrana: una interior de cierre y otra exterior de protección, generando una ventilación mediante convección natural entre ambos paramentos. Sobre su superficie, se ubican una serie de aberturas verticales que regulan y controlan este flujo termodinámico de energía.

En el caso de su organización funcional, las torres distribuyen los espacios sociales en las zonas bajas: biblioteca en el subsuelo, cafeterías para el público a nivel de planta baja, y comercios y tiendas en el segundo piso; en tanto que, en las partes altas, se encuentran las áreas húmedas: piscina en la torre mayor y gimnasio en la menor.

⁴ De acuerdo con datos elaborados por la Universidad Santo Tomás, existe un gran porcentaje de estudiantes con familias de entre dos y cuatro miembros.

Figura 14. Zona social



Fuente: Proyecto de Jeisson E. Monroy y Carlos R. Prieto

Finalmente, el acceso al complejo se materializa mediante un pliegue en la piel escamada del hall principal. Desde un punto de vista expresivo y plástico se espera que exista una diferencia de percepción visual entre el edificio y el contexto, según sea de día o de noche, una propuesta que reinterpreta la concepción antropomórfica de la escala humana.

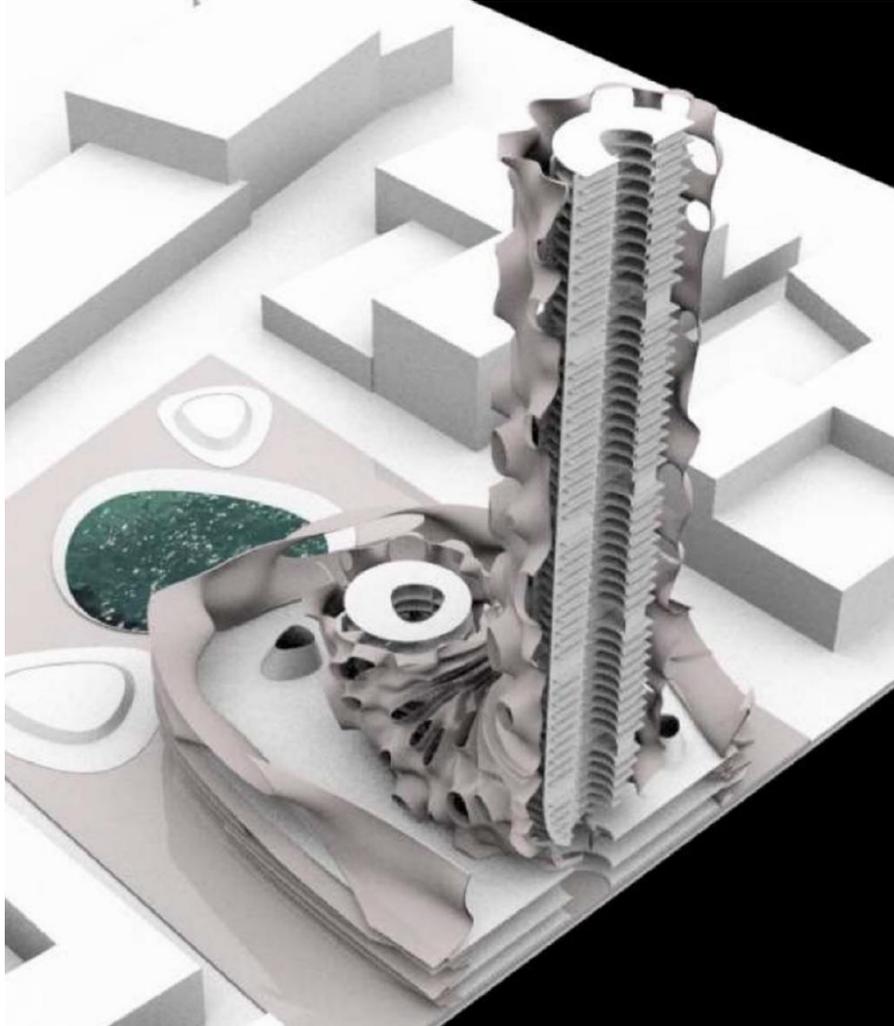
CASO Nº 5. PROYECTO CRISÁLIDA

Autor: Pablo Burgos.

Fundamentación: tomando como referente el patrón geométrico de las alas de la mariposa *Heliconius*, el estudiante desarrolló un edificio, con una estructura envolvente, que utiliza un diagrama de Voronoi para regular las perforaciones y las transparencias de su fachada.

Diseño: se trata de una propuesta modular de 15.368 m², resuelta en 43 niveles de viviendas, con ocho apartamentos por piso. El complejo se completa a través de cinco niveles comerciales, y dos plantas de espacios públicos.

Figura 15. Corte transversal



Fuente: Proyecto de Pablo Burgos.

A nivel constructivo, se trata de un exoesqueleto cuya inspiración son los motivos geométricos de la crisálida de una mariposa durante su proceso de maduración: una epidermis topológica desarrollada a través de una malla Voronoi, y una

membrana transparente, sin perforaciones, que mediante la utilización de sistemas paramétricos digitales ha sufrido cambios en su morfología para producir en el complejo, una serie de terrazas exteriores de esparcimiento.

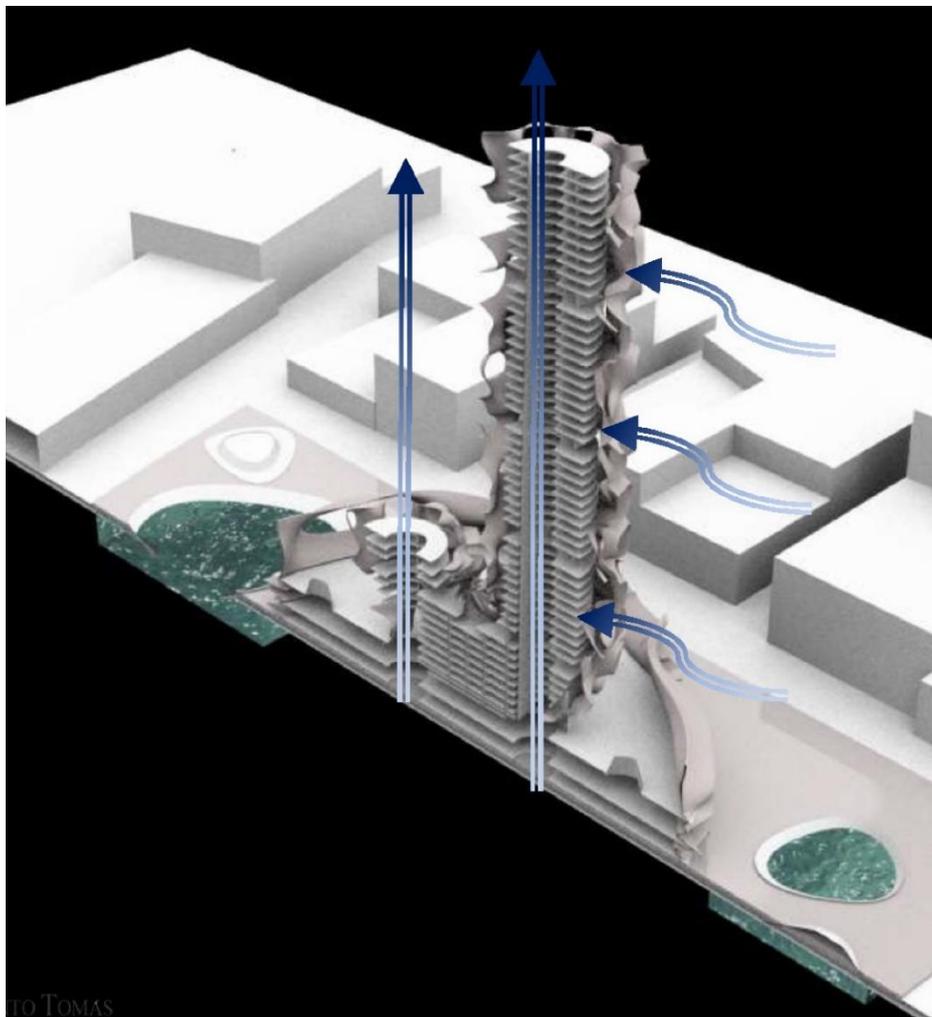
Figura 16. Morfología de la propuesta



Fuente: Proyecto de Pablo Burgos.

La propuesta se completa con el desarrollo de una envolvente que permite la recolección de energía y la protección de los espacios interiores del asoleamiento, posibilitando asimismo la ventilación y la iluminación natural.

Figura 17. Detalle de la propuesta



Fuente: Proyecto de Pablo Burgos.

Exteriormente, el complejo posee grandes áreas verdes y un espacio de agua, que se integran y relacionan con la comunidad.

Figura 18. Propuesta cromática



Fuente: Proyecto de Pablo Burgos.

CONCLUSIONES

A partir de los objetivos y las etapas previamente planteadas durante la experiencia educativa con estudiantes de la Maestría en Arquitectura, fue posible llegar a las siguientes conclusiones, las cuales se presentan ordenadas por bloques temáticos:

1. **Sostenibilidad y contexto.** En relación con este punto, podemos decir que el estilo de vida contemporáneo de nuestra especie nos ha conducido hacia un agotamiento de los recursos naturales no renovables. Por tanto, es inherente un cambio de mentalidad a corto plazo que revierta esta tendencia destructiva en la que estamos inmersos. Así pues, como diseñadores poseemos una responsabilidad con la sociedad: ofrecer una solución sustentable e inocua. Algo que para el arquitecto británico Michael Weinstock hace tiempo ha sido resuelto por la naturaleza, donde “la forma de un organismo afecta su comportamiento en el medio ambiente” (2011, p. 10-17). En este sentido, el estudio de los modelos biológicos aplicados al diseño arquitectónico ha permitido el desarrollo de proyectos con una mayor relación con el medioambiente, una vinculación holística, donde el uso de nuevas formas asociadas a una revalorización de las energías verdes nos aporta resultados eficientes, sostenibles y limpios. Dentro

de esas nuevas formas, los estudiantes de la maestría desarrollaron propuestas proyectuales caracterizadas por: sistemas naturales de ventilación, refrigeración, asoleamiento, producción de energías renovables y dispositivos de purificación del aire.

2. **Estructuras resistentes.** Ahora bien, el empleo de los sistemas digitales en el diseño por parte de los estudiantes de la maestría posibilitó el estudio y desarrollo de configuraciones morfogenéticas, estructuras biológicas adaptables y optimizadas para reducir los esfuerzos y sin el consiguiente desperdicio de materiales.

Es así como conceptualmente, se trata de un duelo entre arte, diseño, biología y tecnología, un planteo de modelos altamente innovadores, para el desarrollo de una arquitectura sistémica, donde el diseño computacional aporta una mirada enriquecedora, que se complementa con el mundo natural, pero que también contempla nuevas alternativas como la fabricación digital y la ciencia de los materiales.

3. **Relación forma-función.** Para el arquitecto francés Jean Louis Cohen, “en ocasiones la arquitectura ha recurrido a fuentes ajenas a su disciplina, adoptando metáforas basadas en organismos biológicos, las máquinas o el lenguaje” (2016). Y este es precisamente el objetivo de esta práctica proyectual desarrollada con los estudiantes de la maestría, la inclusión de nuevos modelos

provenientes del mundo natural, permitiendo la optimización de los resultados formales y compositivos, a la vez que libera la mente de los proyectistas. Es una ruptura con el modelo mecanicista, realista, y racional-funcionalista, al ser sus soluciones únicas y adaptadas al sitio.

Así pues, un nuevo camino se abre ante nuestros ojos, para alcanzar una forma construida, mediante un proceso de ensayo eficiente: formas biodigitales organizadas de manera autónoma y jerárquica, como sistemas dentro de sistemas (Estévez, 2005). En este sentido, el diseño biodigital es una nueva concepción de los modos de construir, que se aleja de las tradicionales discusiones de la forma y la función, para centrarse en un inédito plano, donde la eficiencia, la sostenibilidad y la relación con la naturaleza adquieren un original significado.

Finalmente, podemos afirmar que la evolución de los ordenadores y los sistemas digitales a finales del siglo XX ha permitido un replanteo de los conceptos de diseño, a la vez que daba nacimiento y consolidación a una nueva vanguardia de diseñadores, con un acercamiento a la naturaleza y sus procesos, pero desde un enfoque biodigital. Poco a poco la ciencia ha conseguido descifrar, codificar y transcribir estas cadenas de información productoras de vida que encontramos en la naturaleza. Un pensamiento que ha acercado a los diseñadores a la ciencia y la biología, rompiendo la estructura mecánica rígida del movimiento moderno,

para reemplazarla con una mirada más dinámica y flexible. Un mundo digital, donde a través de una secuencia de ceros y unos, fue posible desarrollar una evolución biológica de la forma, dibujos y elementos construidos. Sistemas digitales capaces de leer, producir y construir nuevas soluciones a los problemas que nos interesan: crear formas eficientes, bellas y en perfecta relación con el contexto.

Referencias

Benyus, J. M., & Leal, A. G. (2012). *Biomímesis: Innovaciones inspiradas por la naturaleza*. Barcelona: Tusquets Editores S.A.

Cohen, J. (2016). *The future of architecture since 1889*. Nueva York: Phaidon.

Estévez, A. T. (2003). *Genetic Architectures / Arquitecturas Genéticas*. Santa Fe / Barcelona: Sites Books & ESARQ (UIC).

Estévez, A. T. (2005). *Arquitecturas genéticas II: medios digitales y formas orgánicas / Genetic Architectures II: digital tools & organic forms*. Santa Fe / Barcelona: Sites Books & ESARQ (UIC).



Estévez, A. T. (2015). *Biodigital Architectures & Genetics: escritos / writings*.
Barcelona: ESARQ (UIC).

Frazer, J. (2009). "Un modelo natural para la arquitectura. La naturaleza del modelo evolutivo", en Ortega, L. (ed.). *La digitalización toma el mando*.
Barcelona: Gustavo Gili, p. 38.

Ortega, L., & Zaera-Polo, A. (2009). *La digitalización toma el mando*.
Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.L.

Weinstock, M. (2011). "Morphogenesis and the Mathematics of Emergence", en Menges, A. & Ahlquist, S. (eds.). *Computational Design Thinking*. Chichester: J. Wiley & Sons Ltd., pp. 158-177. Publicado originalmente en *AD Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, vol. 74, n 3, Londres: J. Wiley & Sons Ltd., 2004, pp. 10-17.