

# APRENDIENDO DE LA NATURALEZA

## Estrategia biodigital para una arquitectura sostenible

### LEARNING FROM NATURE A Biodigital Strategy for Sustainable Architecture

#### ALBERTO T. ESTÉVEZ

Institute for Biodigital Architecture & Genetics,  
Universitat Internacional de Catalunya,  
Barcelona, España  
0000-0002-1877-1060

#### MARCELO FRAILE NARVÁEZ

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología,  
Universidad Internacional de La Rioja,  
Madrid, España  
0000-0002-9321-4512

Recibido: 13 de febrero del 2022

Aprobado: 18 de octubre del 2022

doi: <https://doi.org/10.26439/limaq2023.n011.5764>

A lo largo de la historia, el hombre ha recurrido a la biología para resolver sus problemas proyectuales. Actualmente, nos encontramos ante una nueva etapa del diseño que exige que nos hagamos cargo de la naturaleza y de sus recursos no renovables.

A partir de esta perspectiva, este trabajo elabora una investigación interdisciplinaria que tiene como objetivo identificar y clasificar aquellos conceptos que definen a los proyectos arquitectónicos respetuosos del medioambiente. Se trata de un estudio de casos paradigmáticos que posicionan a la biología y a los sistemas digitales como baricentro de referencia y que analiza su aplicación en el campo del diseño. Con una serie de ejemplos, se intentará verificar resultados que nos demuestren que estamos en presencia de una actitud superadora, un *bio-learning* que contribuya al beneficio y desarrollo de un entorno más humano. Un nuevo modelo proyectual para pensar la arquitectura y su relación con la naturaleza.

diseño biodigital, arquitectura sostenible,  
arquitectura biológica, naturaleza,  
bioaprendizaje, biodigital

Throughout history, man has turned to biology to solve his design problems. Today, we face a new stage in design that demands that we take care of nature and its non-renewable resources.

From this standpoint, this work conducts an interdisciplinary investigation aimed to identify and classify the concepts that define environmentally friendly architectural projects. It studies paradigmatic cases that position biology and digital systems as a reference barycenter, and that analyzes their application in the field of design. Based on several examples, we attempt to verify results that demonstrate that we stand before a spirit of overcoming, a bio-learning that contributes to the benefit and development of a more human environment. A new design model to conceive architecture in its relationship with nature.

biodigital design, sustainable architecture,  
biological architecture, nature, biolearning,  
biodigital

---

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

## LA BELLEZA DE LAS FORMAS BIOLÓGICAS

En 1749, el científico y naturalista sueco Carl Nilsson Linnaeu publicó el libro *Essay on Oeconomy of Nature*, en donde desarrolló “la idea de que cada especie de plantas y animales forma parte de un delicado equilibrio de la naturaleza”, es decir, que “cada especie está adaptada para cumplir un papel en el ciclo natural de existencia, y, por tanto, es necesario mantenerlo equilibrado” (Young, 1998, p. 65). En esencia, se trataba de un pensamiento revolucionario que establecía por primera vez que las especies dependían unas de otras para alimentarse, obtener refugio y para cualquier otra necesidad que se les presentase. Para Linnaeu, todas las especies tenían una función, hasta los gusanos y demás carroñeros que consumían el cuerpo de otros animales muertos, manteniendo “limpia la tierra de la putrefacción de los cadáveres, [a la vez que] gracias a la economía de la naturaleza muchos animales proporcionan lo necesario para la vida” (Young, 1998, p. 65).

En el campo proyectual, 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 (Lynn, 2005). Por más de 300 años el debate candente de la crítica arquitectónica ha estado reservado a encontrar la adecuada proporción para pensar y representar a la naturaleza en el campo proyectual (Lynn, 2005). Una mirada que sería resignificada a finales del siglo xx, con los importantes avances en materia de herramientas digitales y con la evolución de los procesos de prefabricación. Nos encontramos ante 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” (Oxman, 2015) y de sus recursos no renovables.

El análisis minucioso del universo biológico nos ha permitido descubrir masas amorfas de células que se autoorganizan en un primer nivel estructural. Una serie de formas que emergen bajo una geometría compleja y de configuración adaptable. En su proceso generativo, se descubre un paralelismo conceptual establecido con el medio natural, donde el ADN de las células (a modo de un *software*

natural) establece su morfogénesis. Formas biológicas de los ámbitos animal y vegetal que a través del uso del microscopio electrónico nos revelan sus patrones y estructuras de crecimiento variable. Son nuevas configuraciones capaces de ser aplicadas al mundo de la arquitectura: una “fusión de técnicas biológicas y digitales, en donde entran también en vías de acceso a otros valores de organicidad, continuidad, fluidez, dinamicidad, plasticidad, vivacidad, complejidad, diversidad, unicidad, coherencia, fractalidad, cohesión, armonía, bioeconomía” (Estévez, 2016b).

A partir de esta perspectiva, este trabajo elabora una investigación interdisciplinaria que tiene como objetivo identificar y clasificar aquellos conceptos que definen a los proyectos arquitectónicos respetuosos del medioambiente. Se trata de un estudio de obras paradigmáticas, en donde la biología y los sistemas digitales se consideran como un punto de referencia: una pesquisa experimental que intenta aprender de la naturaleza, a fin de descubrir sus eficientes procesos de interrelación con el ambiente y, posteriormente, gracias al uso de las herramientas digitales, convertir esta información en conocimiento proyectual. Una metodología que pretende abrir las puertas a las leyes de la morfogénesis biológica para su aplicación en el campo del diseño contemporáneo en sus diferentes escalas de acción: desde la biológica a nivel celular (la unidad más pequeña de la vida), hasta el material y su implementación en la arquitectura y el urbanismo.

En este sentido, es importante destacar que estamos en presencia de una actitud superadora de la mera mimesis metafórica, su búsqueda es profunda, un proceso que intenta sentar las bases de un nuevo contextualismo más auténtico, y es en este aspecto en que las herramientas digitales se han transformado de creadoras a descubridoras de formas y estructuras biológicas, cuyo objetivo es la mejora del mundo actual. Un *bio-learning*, donde el aprendizaje de la naturaleza, de sus aspectos formales, estructurales, sistémicos y procesuales, contribuya al beneficio y desarrollo de un entorno más humano.

A través de la tecnología es posible producir “nuevas formas de vida creadas computacionalmente, fabricadas de manera aditiva y aumentadas de forma biológica” (Oxman, 2015). Para Neri Oxman, estamos ante una biología sintética capaz de resumir nuevas

funcionalidades biológicas (2015), un nuevo modelo de formas naturales basado en el cálculo, que usa herramientas digitales y que tiene muchas implicaciones en los modos de pensar la belleza, la forma y su relación con la naturaleza (Lynn, 2005).

## **EL PROCESO DE DISEÑO Y LA UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES**

Con la introducción de los sistemas digitales fue posible obtener eficiencia, optimización y una reducción de los errores. El uso de novedosas plataformas tecnológicas de avanzada ha permitido que emerjan proyectos arquitectónicos mediante estrategias de morfogénesis digital. Una nueva experiencia que permite descubrir las ventajas que el mundo natural ofrece, pero que se había mantenido silenciosamente oculta, expectante, esperando su momento. Estamos frente a una revolución tecnológica donde los futuros diseñadores no solo deberán dominar las nuevas tecnologías, sino que, además, tendrán que ser capaces de tomar decisiones coherentes y responsables con su uso. Nuevos profesionales que combinen de un modo transversal una actitud crítica y respetuosa del medioambiente, con habilidades y conocimientos en tecnologías digitales 4.0.

Desde este punto de vista, estamos frente a 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 morfogenéticos capaces de repetir los sistemas existentes en la naturaleza y, ahora, a través de impresoras 3D, también de poder fabricarlos. Un proceso del cual emerge el proyecto arquitectónico en un complejo camino que va del átomo al bit y viceversa. Se trata de una construcción digital concebida para facilitar el control de sus piezas, automáticamente armónicas, orgánicas (y también organizadas). Un sistema coherente, desarrollado bajo una malla paramétrica de funciones matemáticas interconectadas, a través de un protocolo de adaptación que reacciona a las incumbencias del uso y del medioambiente para la creación de proyectos eficientes.

Es, de esta manera, una tecnología capaz de construir una realidad mixta que combina las propiedades de una realidad virtual y una

umentada, ampliando las posibilidades de interacción de los usuarios, al permitir introducir objetos binarios dentro del mundo físico (o a la inversa), pudiendo manipularlos y reaccionar como si tuvieran existencia material. Una de las empresas que ha comenzado a investigar sobre el tema es Fologram, quien actualmente se encuentra desarrollando un nuevo *software* que busca facilitar la construcción de estructuras complejas, de formas curvas u orgánicas. Para Fologram, esta tecnología permitiría a un obrero provisto de unas gafas de realidad mixta, desarrollar sus tareas con mayor eficacia y destreza, ya que le mostrarían de manera holográfica el lugar exacto donde tiene que colocar cada material o realizar una determinada tarea. A medida que la edificación avanza, el *software* guía al operario paso a paso durante todo el proceso, minimizando los errores y facilitando la conexión entre el usuario y la máquina.

En una prueba desarrollada por Fologram en el año 2019, dos operarios provistos de un equipo de realidad mixta requirieron menos de siete horas para levantar un muro curvo que, mediante los métodos tradicionales, habría requerido dos semanas, con innumerables testeos parciales.



Figura 1

*Muro curvo desarrollado por Fologram en 2019 utilizando equipos de realidad mixta*

Fuente: innovation-hub.com

Otro proyecto en esta vía de pensamiento es *Píxel Skin*, desarrollado en 2008 por Sachin Anshuman de Orangevoid. Se trata de una piel inteligente que propone una mirada distinta a la idea de fachada: un sistema de comunicación no convencional que pretende eliminar el concepto de muro plano. Para su funcionamiento, *Píxel Skin* utiliza una superficie electrónica multicapa, compuesta por cuatro paneles triangulares que actúan a modo de píxeles. Cada una de estas teselas puede adoptar 255 estados distintos, que van desde la apertura máxima hasta el cerramiento absoluto. Para que esto suceda, una serie de sensores de proximidad detectan la presencia y posición de un individuo u objeto cerca del muro; luego, esta información es enviada a un complejo computador central que procesa las múltiples entradas de datos y, acto seguido, envía los correspondientes impulsos eléctricos a los diferentes paneles, indicándoles qué estado deben adoptar.

El muro se completa con un sistema que combina vidrios electrocrómicos y tubos electroluminiscentes ultrabrillantes, controlados por una red neuronal artificial apta para generar diferentes patrones dinámicos que dependerán del comportamiento humano, para crear una piel interactiva con el entorno. Estamos ante el nacimiento de una reinterpretación del concepto de piel, una epidermis ahora digital, artificial, capaz de mutar, reaccionar, cambiar, y quizás con el tiempo también evolucionar.

Figura 2

*Píxel Skin: una fachada inteligente desarrollada en 2008 por Sachin Anshuman de Orangevoid*

Fuente: [transmaterial.net](http://transmaterial.net)



## EL DISEÑO COMO SISTEMA INTEGRAL

Durante mucho tiempo, como herederos de la Revolución industrial, hemos considerado al diseño como una sumatoria de partes prefabricadas que se combinan con mayor o menor eficacia en el proyecto. Sin embargo, la naturaleza nos está enseñando el valor

del concepto de sistema integrado recursivo, donde la idea de parte es reemplazada por un sistema holístico. De la misma forma, nuestros diseños han comenzado un aprendizaje del medioambiente, descubriendo sus patrones y leyes, con el fin de adaptarlos a una arquitectura heterogénea y eficiente. Un proceso de continuidad, coherencia y unidad.

Según Oxman, desde la Revolución industrial, “el mundo del diseño ha sido dominado por rigores de la fabricación y producción en masa” (2015). Un pensamiento regido por el montaje en serie, “un mundo hecho de partes, encorsetando la imaginación de diseñadores y arquitectos entrenados para pensar sus objetos como ensamblajes de partes discretas con funciones distintas” (2015). Sin embargo, la naturaleza no trabaja de ese modo, los seres vivos no son ensamblados con partes, sino que crecen a partir de unidades pequeñas vivientes, las células. Un ejemplo de esto lo podemos encontrar en la piel humana: nuestra piel facial, delgada y con poros, se diferencia de la piel de la espalda, más gruesa y con pequeños poros. Una actúa principalmente como filtro, la otra sustancialmente como barrera, y, sin embargo, es la misma piel. Se trata de un único sistema que va cambiando gradualmente de acuerdo con sus funciones; no hay partes ni ensamblajes (Oxman, 2015).

El desarrollo de nuevas tecnologías de fabricación ha permitido la creación de nuevos materiales con que trabajar; ya no son solo los materiales tradicionales, como el mármol, el bronce, el ladrillo o el hormigón. “El siglo XXI nos ha llevado a otro nivel desde el cual pensar y hacer. El control de este nivel, de esta cadena de información, permite dar las órdenes convenientes que producirán el orden en la materia que se desee, para las funciones y el uso que se pretenda” (Estévez, 2020a). Se trata de una comprobación de los procesos, buscando que emerjan nuevas estructuras, formas y pieles.

La tecnología ha propiciado la aparición de toda una gama de materiales y procedimientos respetuosos con el medioambiente. Un proceso de fabricación, donde el tiempo y la mano de obra han llevado a la creación de diseños más eficientes y sistematizados. Una tecnología de impresión 4D, variable en el tiempo, nos está abriendo las puertas a un futuro donde los diseñadores trabajan con el código digital, de la misma manera que lo hace la naturaleza con el ADN.

Para la escritora británica Mary Shelley, “Somos criaturas pasadas de moda, solo la mitad está hecha”, necesitamos de la tecnología para completarnos. De la misma manera, Oxman se pregunta, “¿Qué pasa si el diseño proporcionara la otra mitad?” (2015). Nos encontramos ante un camino que busca editar la biología, una forma ecológica material, un regreso a la naturaleza, a través de una fabricación biológica, una mutación genética.

La evolución de una nueva generación de máquinas de impresión y prefabricación está haciendo posible generar un diseño inocuo con el medioambiente, una arquitectura adaptativa, capaz de crecer y evolucionar. Poseemos la tecnología para liberarnos de los macizos pilares y vigas de hormigón, para reemplazarlos por estructuras configurables y adaptadas a las solicitudes del sistema: una economía de materiales (y ligereza) en la búsqueda de la mayor eficacia estructural. En esencia, se trata de una traslación mediante el uso de la automatización y la prefabricación de las cargas a una secuencia lógica que posteriormente podrán ser impresas, aunando esfuerzos y facilitando el desarrollo. Una estructura híbrida entre el átomo, el bit y el gen, un mix que utiliza la tecnología 4.0 para su ejecución. Un proceso de *bio-manufacturing* que actúe en coordinación con el *digital-manufacturing*, para producir por intermedio del uso de procesos genéticos y de impresoras 3D de células vivas, una nueva gama de productos con capacidad para crecer y desarrollarse de manera autónoma, a la vez de transformarse en un camino para la sostenibilidad (Estévez, 2020b).

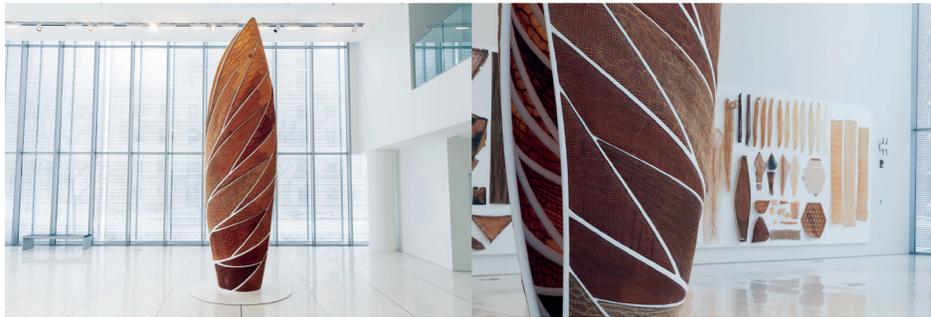
Un ejemplo interesante al respecto es el proyecto del 2014, de Oxman, denominado “AguaHoja I”. Se trata de un proyecto impreso mediante uno de los biopolímeros más abundante del planeta, la quitina. Extraída de la cáscara de camarones molidos, se elabora una pasta de quitosano, de la que, de acuerdo con su concentración, es posible obtener una amplia gama de propiedades, que incluye dureza, transparencia, color, entre otras. Para esto, Oxman y su equipo desarrollaron una impresora de múltiples boquillas extrusoras montadas sobre un brazo robot, controladas digitalmente para generar estructuras multifuncionales en una única pieza de 3,5 m de largo, y 100 % reciclable, la cual se seca al contacto con el aire (Oxman, 2015).

En este sentido, la fabricación aditiva puede ser un primer paso en el camino hacia la optimización de la creación de la materia:

una combinación de elementos “dos proteínas en diferentes concentraciones. Una actúa como estructura, la otra es el pegamento o la matriz, uniendo esas fibras entre sí” (Oxman, 2015).

Además, la estructura es idónea para albergar burbujas de aire capaces de contener microorganismos fotosintéticos, diseñadas genéticamente para capturar el carbono de la atmosfera y convertirlo en azúcar (Oxman, 2015). Un almacén sin vigas ni columnas, una estructura que recurre a la biología sintética para generar y transformar, “una estructura hecha de cáscaras de camarón en una arquitectura que se comporta como un árbol” (Oxman, 2015).

Estamos ante la génesis de una nueva materialización proyectual, donde las superficies que la componen, al igual que lo que sucede en la naturaleza, “varía su funcionalidad no mediante la adición de otro material u otro ensamblaje, sino variando continua y delicadamente la propiedad material” (Oxman, 2015).



**Figura 3**

*AguaHoja I,  
un proyecto  
desarrollado en  
2014 por Neri  
Oxman*

Fuente: archdaily.  
com

## ESTRUCTURAS EFICIENTES Y ADAPTATIVAS

Utilizando un número limitado de recursos, a lo largo de 3500 millones de años de evolución, la biología ha desarrollado toda una gama de soluciones innovadoras para los desafíos que el medio le presenta. Formas eficientes, bajo el concepto de estructuras optimizadas para consumir la menor cantidad de energía y de materia. Se trata de estructuras como el esqueleto en los animales, el caparazón en una tortuga o la concha en una ostra, sistemas eficaces, configuraciones capaces de soportar eficazmente cargas fijas y variables, sistemas estables, ligeros y con el coeficiente de deformación adecuado para no romperse, pero sí absorber los esfuerzos cambiantes del medioambiente.

En el campo de la arquitectura, como ya vimos, el hombre ha mirado a la naturaleza como una fuente de inspiración para sus diseños: desde las configuraciones catenarias de Antoni Gaudí, pasando por las cáscaras de Félix Candela, las mallas tensadas de Frei Otto, y más recientemente por las megaestructuras desarrolladas por Santiago Calatrava, Norman Foster, Toyo Ito y tantos otros. Diseñadores que a través de un cálculo estructural flexible han desarrollado y construido espacios innovadores, capaces de soportar grandes cargas y de organizar el espacio, espacios que parecen casi imposibles.

Mucho ha pasado desde el modelo de cuerdas y pesas utilizado por Gaudí para la cripta de la Colonia Güell y para el proyecto de la Sagrada Familia de Barcelona. Y esto se debe fundamentalmente a la introducción, a partir de la década de 1980, del uso de los sistemas digitales en el diseño, desarrollados inicialmente para la industria aeroespacial, pero que en poco tiempo fueron introducidos en el mundo de la arquitectura para experimentar y explorar el alcance de los modelos paramétricos. Hoy en día, su uso se ha extendido a todos los campos del diseño, desde el diseño de objetos, hasta grandes extensiones de territorio, presentando una utilidad indescriptible en la generación de nuevos procedimientos teórico-metodológicos.

Se trata del desarrollo de proyectos arquitectónicos que se anticipan a las soluciones a construir (Picon, 2004), elaborando modelos revolucionarios que operen de una manera eficiente, optimizando sus diseños estructurales. Una mirada holística, un diseño complejo a partir de elementos simples, de partes mínimas con identidad propia, tanto a gran escala como a pequeña escala (Lynn, 2005). Proyectos como el de Line Array 2010, que, aprovechando los avances tecnológicos y las investigaciones previas del estudio Iwamoto Scott, generan una matriz “biológica” que evalúa el comportamiento de los materiales de acuerdo con las conformaciones superficiales que una estructura adquiere con diferentes geometrías. Y cuando esta se aleja de las formas más adecuadas, el sistema está diseñado para reconfigurarse a fin de adaptarse a las nuevas tensiones de la superficie modificada, buscando que las fuerzas encuentren el camino de menor resistencia hacia la tierra a lo largo de cualquier área<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Este tipo de trabajos llevó al descubrimiento y patentamiento de nuevos sistemas constructivos, como el de una rejilla en diagonal de acero que fue utilizada en la construcción de “The Gherkin” (‘el pepino’) de Norman Foster.

Uno de los proyectos más representativos de estos conceptos es el de Vaulted Willow, del 2014, desarrollado por el estudio neoyorquino Marc Fornes & THEVERYMANY<sup>™2</sup> junto con el asesoramiento estructural de Will Laufs de LaufsED. El proyecto, un pabellón público permanente situado en el parque Borden de Edmonton, en Canadá, surge como una exploración de los sistemas de cáscaras livianas autoportantes. A través del desarrollo de algoritmos digitales personalizados de investigación formal, geométrica y estructural, el estudio de Fornes generó una estructura resistente con un cerramiento perimetral capaz de contener el programa de necesidades solicitado.



**Figura 4**

*Proyecto Vaulted Willow desarrollado en 2014 por el estudio neoyorquino Marc Fornes & THEVERYMANY<sup>™</sup>*

Fuente: plataformaarquitectura.cl

El área original, una estructura autoportante de doble curvatura, nace de la simulación de una red de curvas catenarias desarrollada en dos etapas: la primera considera las curvas normales al plano de apoyo; y, en segundo lugar, las curvas con dirección hacia el exterior, y normales a la superficie inicial. La superficie final quedó definida cuando las fuerzas se igualaban, en la resolución de un sistema optimizado estructuralmente.

<sup>2</sup> Marc Fornes es un reconocido arquitecto y diseñador francés, fundador del estudio THEVERYMANY<sup>™</sup>. Sus temas abarcan desde el arte hasta la arquitectura a partir de la investigación en el área de diseño y fabricación digital. Sus obras y prototipos se caracterizan por su desarrollo estructural y por la creación de ambientes orgánicos únicos.

Posteriormente, con el fin de materializar el área original, esta estructura fue dividida en módulos o teselas planas que se acomodaban según la curvatura de la superficie. Para la optimización del conjunto, los diseñadores desarrollaron una serie de algoritmos que posibilitaban el modelado de cada pieza como parte de un sistema mayor: de acuerdo con los parámetros iniciales, el programa determinaba la curvatura exacta del pliegue y el solapamiento requerido entre partes para producir la forma deseada, posibilitando que el proyecto se ejecutase de un modo eficiente, tanto formal como material. El sistema digital evaluaba cada tesela en particular, racionalizando su tamaño, cantidad, flexibilidad, posición y superposición entre ellas, con relación a los esfuerzos que se generaban en el modelo: una búsqueda formal hacia un modelo que trabajase a la compresión pura, en detrimento de la flexión (Fraile et al., 2016).

Definido el modelo inicial, el proyecto fue sometido mediante herramientas digitales a una evaluación espacial, estructural y material, a partir de los conceptos de eficiencia y autoorganización: una simulación que reprodujera diferentes escenarios, como viento, nieve y lluvia. La geometría y el desarrollo formal de la instalación fueron modificados y optimizados digitalmente a fin de conseguir el resultado más eficiente del sistema, es decir, mayores luces con el menor espesor de material, fundiendo cerramiento y estructura en un mismo elemento.

Figura 5

*Voussoir Cloud,*  
un proyecto  
desarrollado en  
2008 por el estudio  
Iwamoto Scott

Fuente:  
iwamotoscott.com



De igual manera, bajo un proceso de *Natural Intelligence*, los diseñadores atentos a lo biodigital se embarcan en un aprendizaje que les permita obtener una inteligencia natural y biológica amparada en el estudio de los seres vivos, para “bioaprender” su funcionalidad y el modo como resuelven sus necesidades y los problemas a los que se enfrentan. Una subordinación de la forma a la estructura, formas nacidas de imágenes microscópicas, a nivel celular, donde la sutileza de cada una de sus partes aparece a nivel molecular para ofrecer y enriquecer las soluciones de las estructuras arquitectónicas, de sus espacios y cerramientos.

Este es el sentido que se desarrolla con el proyecto KnitCandela, construido en el 2008 por ETH Zurich, Block Research Group. Una cáscara fina y orgánica, construida sobre un encofrado ultraligero compuesto por una red de cables flexibles unidos a un tejido. Un proceso estructural complejo capaz de reducir el material, la mano de obra y los residuos de construcción a los mínimos indispensables. Estructuras racionalizadas de alta complejidad geométrica, que permiten ser modeladas a través de *software* y códigos paramétricos, con una precisión deliberada. Una tecnología que considera al muro como una membrana celular capaz de convertirse en un mecanismo de protección y control, que investiga desde el tamaño y posición de una abertura hasta la modificación de la sección de una columna, cambiando desde el espesor de los materiales hasta el ángulo de curvatura de una superficie para obtener una mayor eficiencia en el resultado final de la obra arquitectónica<sup>3</sup>.

Y es precisamente en este sentido en que la incorporación de estas nuevas tecnologías nos permitirá abrir un amplio campo dentro del diseño, generando un proyecto con características dinámicas, de crecimiento y adaptación ambiental, estableciendo una vinculación entre arquitectura, ingeniería y biología.

---

<sup>3</sup> Un claro ejemplo de esta necesidad es la aparición en la última década de grupos de investigación interdisciplinarios, como el Arup-Advanced Geometry Unit (AGU), que se ocupan del nuevo espectro de problemas relacionado con lo geométrico, lo computacional y la materialización de la práctica contemporánea del diseño ingenieril.

Figura 6

Proyecto  
KnitCandela,  
construido en 2008  
por ETH Zurich,  
Block Research  
Group

Fuente: architizer.  
com



## LA ENERGÍA RENOVABLE

El uso indiscriminado del petróleo y de disolventes nos ha conducido a un medioambiente deteriorado, con grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Es conocido el resultado que produce en la atmósfera la concentración de gases de efecto invernadero: un proceso que ha llegado a niveles sin precedentes, a un punto casi de no retorno. En este sentido, se hace imperioso un cambio de enfoque, el continuar por este camino nos conducirá a una extinción planetaria en masa. Se requieren de sistemas con autosuficiencia energética, sistemas que, al igual que uno orgánico, estén adaptados al medio, diseñados por y para la naturaleza.

Se precisa una mirada seria hacia la generación de energías renovables, que no impacten de un modo negativo sobre el medio ambiente. Necesitamos del desarrollo de estructuras naturales, sostenibles, con un nivel máximo de eficiencia. Y en el campo del diseño, la elaboración de una arquitectura biodigital autosuficiente, que regule las condiciones térmicas de sus espacios para satisfacer las necesidades básicas de los seres humanos. Un proyecto ecosostenible que, aprendiendo de la naturaleza, sea capaz de producir una simbiosis biológica con ella, a través del uso de los sistemas digitales.

Es imprescindible el desarrollo de una arquitectura solar pasiva y activa, aprendida de la arquitectura vernácula, de las formas naturales

sostenibles y eficientes. Un camino que busque gestionar la energía de un modo eficaz, aprovechando para climatizar los vientos en verano y protegiéndose en invierno. Edificios que utilicen la energía renovable del sol, mediante toda una gama de dispositivos pasivos de acción, desde sistemas de captación de la energía solar, hasta mecanismos para la purificación y ventilación de los espacios.

Al respecto, un proyecto interesante es Lighthouse Turbine Hotel, del 2019, ubicado cerca de la isla de Jeju, frente a la costa de Corea del Sur, en alta mar. Un proyecto diseñado para aprovechar la energía de las olas y, de este modo, producir la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento.

Con un acceso únicamente por barco, a través de aguas que superan los 500 metros de profundidad, conceptualmente Lighthouse Turbine Hotel se compone de tres elementos de construcción que albergan la sala de estar, el vestíbulo y las áreas sociales del hotel. Se trata de una nueva tipología proyectual, desarrollada bajo una investigación interdisciplinaria, que busca producir una simbiótica relación con el ambiente. Para su proyecto, el estudio de diseño Margot Krasojevic Architecture reutilizó la estructura de una antigua plataforma petrolera como base primaria para soportar las turbinas *flipwing*, encargadas de producir la energía eléctrica mediante el desplazamiento de las olas. El agua del mar se estrella contra unos paneles de aluminio, los cuales se flexionan y oscilan por la fuerza del agua al fluir sobre ellos. Este movimiento continuo permite que las turbinas conectadas a este sistema transformen la energía cinética del fluido en energía eléctrica, en cantidad suficiente para alimentar el faro y los filtros de desalinización. La potencia sobrante que el sistema produce durante el proceso es acumulada para ser consumida posteriormente, o en caso de sobreconsumos.

El edificio cuenta, además, con un depósito para el almacenamiento de agua de lluvia, un sistema para la desalinización del agua del mar, y un mecanismo encargado del tratamiento de aguas grises.

**Figura 7**

*Proyecto  
Lighthouse Turbine  
Hotel, diseñado  
en 2019 por  
Margot Krasojevic  
Architecture*

Fuente: architizer.  
com



Otro proyecto interesante es la casa BIQ (Bio Intelligent Quotient). Construida para la Exhibición Internacional de Edificios celebrada en la ciudad alemana de Hamburgo en 2013, fue desarrollada por la empresa de diseño Arup, en conjunto con SSC Strategic Science Consultants y Splitterwerk Architects.

Se trata de una fachada biorreactiva de vidrio, que contiene en su interior algas microscópicas encargadas de controlar la luz que ingresa al edificio. En invierno, cuando la luz es débil, las algas no se propagan y las pantallas del frente quedan transparentes, en tanto que, en verano, las algas se multiplican tamizando la luz que ingresa a la edificación.

Para evitar que las algas se peguen al vidrio, estas reciben continuamente nutrientes y dióxido de carbono a través de un circuito de agua que corre por la superficie del edificio. Cuando las algas han crecido lo suficiente, son extraídas y procesadas en biorreactores de Colt International, para elaborar biogás que da energía a la edificación, reduciendo el consumo de energía eléctrica convencional en un 50 %.

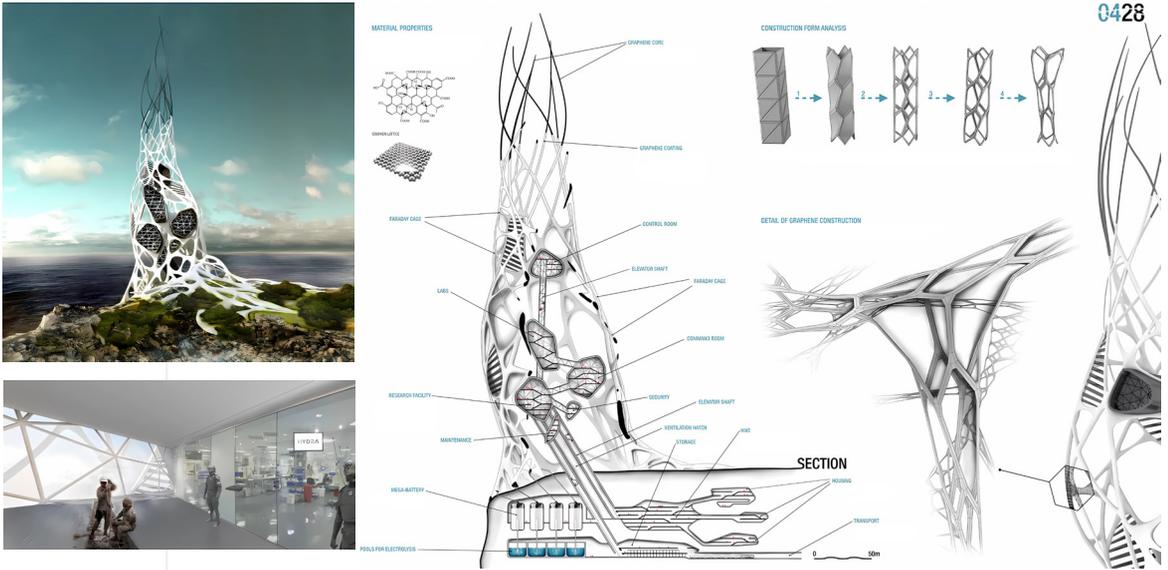


Figura 8

*Casa BIQ (Bio Intelligent Quotient), construida en 2013 por la empresa de diseño Arup, en conjunto con SSC Strategic Science Consultants y Splitterwerk Architects*

Fuente: plataformaarquitectura.cl

Finalmente, un tercer proyecto en esta vía de pensamiento es el centro de investigaciones Hydra-Tesla, mejor conocido como Hydra Skyscraper. Un proyecto del estudio multidisciplinar de los arquitectos serbios Milos Vlastic, Vuk Djordjevic, Ana Lazovic y Milica Stankovic, quienes obtuvieron una mención de honor en el concurso internacional eVolo del año 2011.

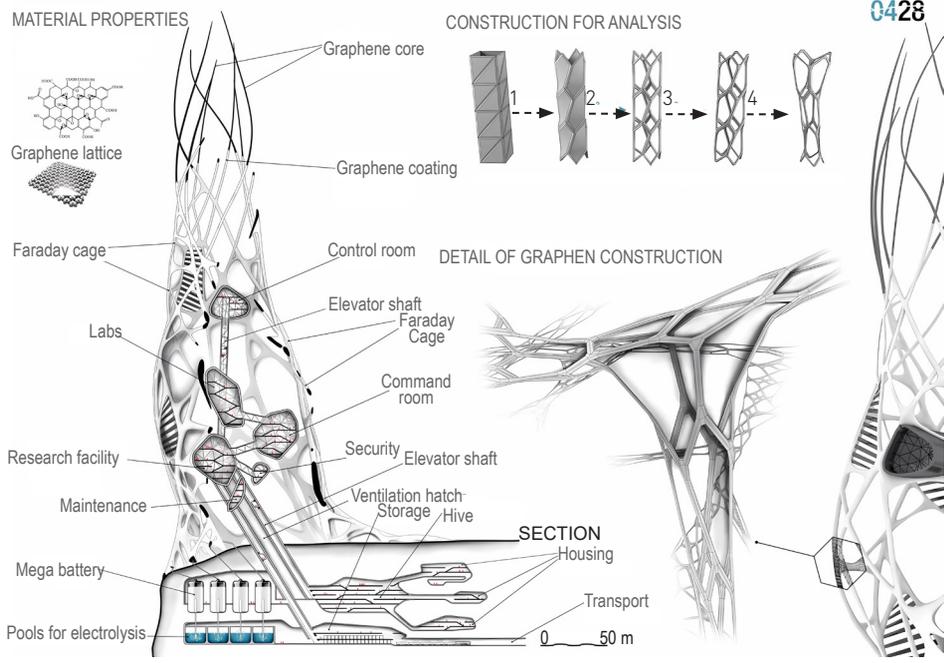


0428

Figura 9

Proyecto Hydra Skyscraper, desarrollado en 2011 por el estudio Milos Vlastic, Vuk Djordjevic, Ana Lazovic y Milica Stankovic

Fuente: evolo.us



0428

Inspirado en la hidra<sup>4</sup>, los diseñadores proyectaron un rascacielos cuya estructura está desarrollada a partir de un grafema<sup>5</sup>, elemento estructural básico de los alótropos del carbono. Los grafemas tienen una gran conductividad térmica y eléctrica, y una dureza 200 veces superior al acero.

En su diseño, el edificio es como una gigantesca jaula de Faraday, con tentáculos en su parte superior que, durante una tormenta eléctrica, capta los rayos atmosféricos y conduce la energía hasta la base de la edificación, donde es almacenada en mega-baterías. Finalmente, esta energía eléctrica almacenada es utilizada para producir hidrógeno a través de un proceso llamado “electrólisis del agua”, el cual divide la molécula de agua en O<sub>2</sub> y H, utilizando este último como una fuente de poder renovable y limpia necesaria para su funcionamiento (Fraile, et al., 2014).

## EL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS

En la última década se ha producido un aumento exponencial de los residuos, en especial de los desperdicios plásticos, que han causado daños muy graves a los ecosistemas marinos. Se trata de cerca de doce millones de toneladas de plásticos “las que llegan hasta los océanos cada año, ahogando literalmente los ecosistemas, causando grandes perjuicios a la vida silvestre, e ingresando en toda la cadena alimentaria” (Estévez, 2020b). A modo de ejemplo, entre el 40 % y el 60 % de las tortugas que habitan nuestros mares poseen residuos plásticos en su aparato digestivo, llegando en algunas especies hasta el 93 % (Estévez, 2021a). De igual forma, “Más de un millón de aves y más de 100.000 mamíferos marinos mueren cada año como resultado de los plásticos que llegan hasta el mar” (Estévez, 2021a).

Una posible solución a este tipo de problemas podemos encontrarla en proyectos como el desarrollado por Ari Jónsson, un estudiante de diseño de productos de la Academia de las Artes de Islandia.

4 La hidra es un organismo de la familia de las Phylum Cnidaria, que vive en el agua dulce, posee una forma tubular de simetría radial y una serie de tentáculos en uno de sus extremos con los que captura a sus presas.

5 Graphene: elemento estructural básico de algunos alótropos del carbono, incluyendo grafito, carbón, nanotubos de carbono y fullerenos. Material de gran conductividad térmica y eléctrica, y con una resistencia mecánica doscientos veces superior a la del acero. <http://www.architectureserved.com/gallery/Hydra-Skyscraper-Tesla-research-facility/1108779> (consultado 16/07/14).

Bajo un enfoque sostenible, el proyecto fue presentado en el festival de diseño Reykjavik Design Marc, en marzo de 2016. Se trata de un envase biodegradable basado en una combinación de polvo de algas rojas con agua. Al mezclar el polvo de algas con agua, se obtiene un material gelatinoso, que es calentado lentamente, antes de ser vertido en un molde en forma de botella. A continuación, el molde es enfriado hasta que el líquido del interior se solidifique; finalmente, el producto es extraído del molde, obteniéndose un recipiente. Si el envase quedó defectuoso, el producto puede volver a recalentarse para repetir el proceso. Al ser un material natural, el agua almacenada en su interior es segura para beber. Mientras la botella contenga agua, esta mantendrá su forma, pero tan pronto como la botella quede vacía, esta comenzará a descomponerse.

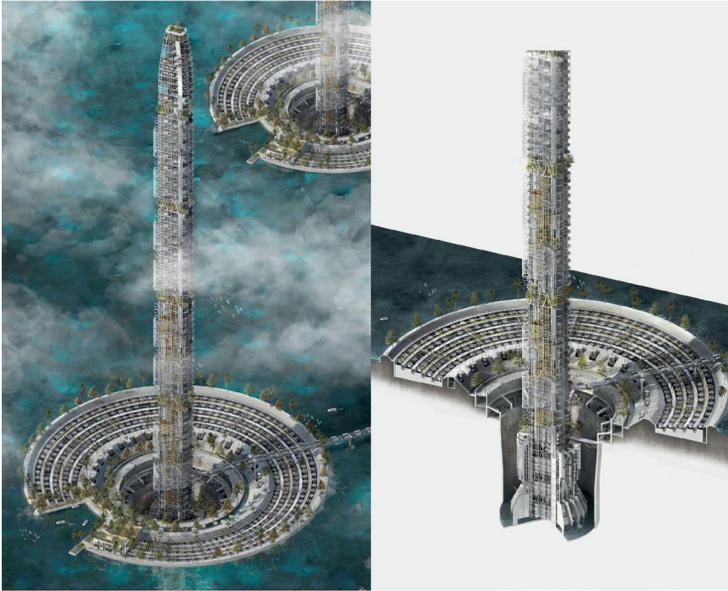
Figura 10

*Envase biodegradable, desarrollado por Ari Jónsson para el festival de diseño Reykjavik Design Marc, en marzo del 2016*

Fuente: dezeen.com



En el campo del diseño, el concepto de reciclaje se encuentra presente en el proyecto de 2018, del arquitecto Ché Caines: una propuesta conceptual para la construcción de una torre de conversión de plástico a combustible líquido. El diseño intenta solucionar dos de los problemas ambientales más importantes en la actualidad: la contaminación plástica y la necesidad de una fuente alternativa de energía. Para esto, Caines desarrolla una propuesta arquitectónica en forma de rascacielos: un edificio encargado de convertir los residuos plásticos en combustibles líquidos para su comercialización.



**Figura 11**

*Torre de conversión de plástico a combustible líquido construida en 2018 por el arquitecto Ché Caines*

Fuente: artofit.org

Otro proyecto interesante es Aircraper. Segundo lugar del concurso de rascacielos eVolo, fue diseñado en 2019 por los polacos Klaudia Gołaszewska, y Marek Grodzicki. Se trata de una estructura en chimenea que busca abordar el problema de la contaminación del aire.

Con el fin de reducir la emisión de CO<sub>2</sub> de los automóviles, se propone construir megaciudades compactas con altas torres. Para esto, se prevé la construcción de nuevas superestructuras que se adapten a las nuevas necesidades de estas metrópolis, proporcionando viviendas sanas, a la vez que reducen la contaminación del aire.

El proyecto Aircraper propone albergar a 7500 personas, algo que equivaldría a 3 km<sup>2</sup> de las actuales ciudades extensivas. Una torre de 800 m de altura y 60 m de diámetro combina tres tipos de módulos, los cuales se apilan alrededor de una chimenea interior de 30 m de ancho, encargada de filtrar el aire dentro del conducto. El primero corresponde a los módulos de toma de aire, ubicados en la parte inferior de la torre y orientados de acuerdo con los vientos predominantes; estos recolectan el aire contaminado de la calle y las partículas de polvo, purificando y reteniendo dichas partículas hasta en un 80 %. El segundo son unos módulos de ganancia solar, ubicados en la parte media de la torre y que reciben la máxima exposición solar. Estos

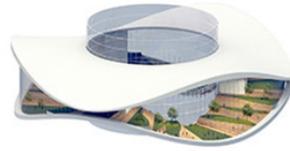
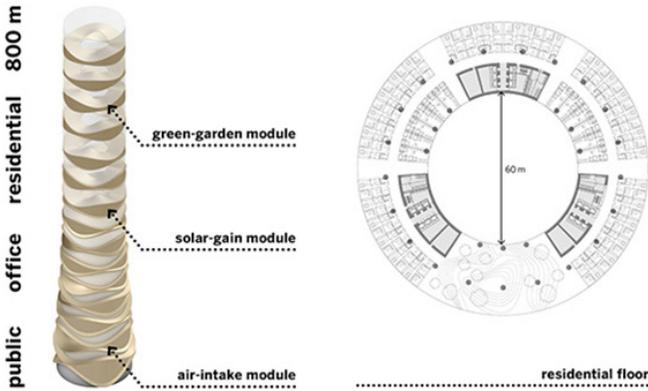
módulos se encuentran equipados con espejos reflectantes cinéticos, o heliostatos, que reflejan los rayos del sol sobre la superficie de la piedra negra de la chimenea, permitiendo que se produzca un efecto de succión que facilita la circulación del aire ascendente: un proceso absolutamente natural y sostenible que busca reducir la huella de CO<sub>2</sub>. Y finalmente, en tercer lugar, están los módulos de jardín verde, los Green-Garden, que se incorporan en la sección residencial de la torre, ubicada a 400 m delante, donde una densa vegetación de diverso tipo ayuda a regular los niveles de oxígeno en el aire, equilibrando el microclima de la torre, a la vez que brinda áreas públicas para ocio y el mejoramiento de la iluminación natural.

Figura 12

Proyecto *Airscraeper*, desarrollado en 2019 por Klaudia Gólaszewska, y Marek Grodzicki  
Fuente: *evolo.us*

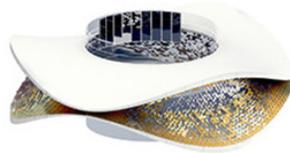
Para los diseñadores, los rascacielos del futuro se convertirán en una superestructura urbana, que no solo busca satisfacer las necesidades locales de los ocupantes y las expectativas económicas de los inversores, sino también asumir una responsabilidad global con la ciudad. Estas torres incluirían además instalaciones recreativas, educativas, comerciales y culturales.





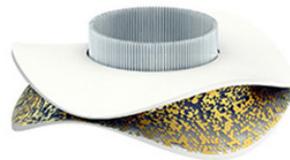
### green-garden module

Incorporated in the residential section of the tower, located at 400m and above, where the layer of smog doesn't reach. The Green-Gardens include dense **vegetation** of various kinds, which not only help to adjust air **oxygen** levels and balance the micro-climate of the tower, but also provide attractive and healthy public areas to serve the **wellbeing** of the tower occupants and improve the **daylighting** of the inner chimney atrium.



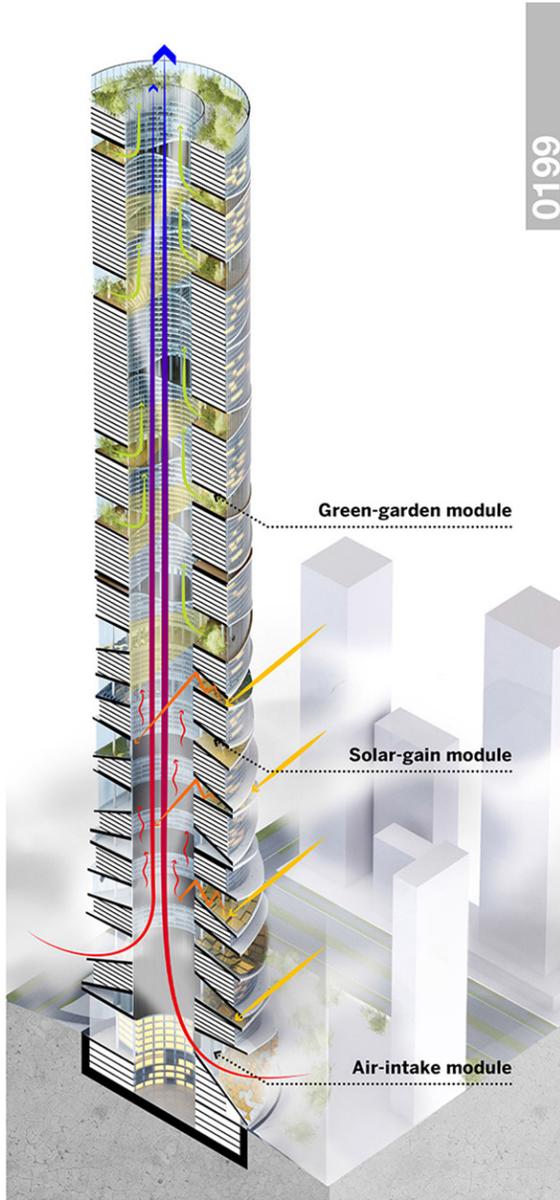
### solar-gain module

Positioned in the middle part of the tower, where they receive maximum exposure to **sun rays**. These modules are equipped with kinetic reflective mirrors, also known as **heliostats**, which reflect sun rays onto the black stone surface of the chimney. The solar gain inside the chimney creates the necessary **stack effect** and results in the desired upward air circulation. Devoid of expensive and complex mechanical ventilation equipment, this system relies on natural phenomenon to drive air circulation, and therefore is more sustainable and has the potential to **reduce the CO2** footprint associated with ventilation.



### air-intake module

Located at the very bottom of the tower and is collecting polluted air from the street level. It incorporates a modular kinetic façade that helps to optimize the air intake and responds to prevailing wind directions, a filtration system that collects **TSP** and **PM10** particles and an ionization system that collects **PM2.5** particles. According to existing research such a system can clean the air with up to 80% effectivity.



## CONCLUSIONES

A pesar del interés que despiertan los efectos producidos por el cambio climático en los gobiernos de todo el mundo, las estrategias para revertir sus consecuencias todavía son relativamente insuficientes y restringidas. Nos enfrentamos a una crisis compleja tanto ambiental como social: una amplia gama de nuevos problemas requiere de una visión que pueda considerar la crisis como una situación global. Un proceso indivisible que articule en un único resultado las dimensiones ambientales, económicas y sociales.

En este sentido, es importante destacar el enorme potencial que tienen las nuevas tecnologías biológicas y digitales para proveernos de un sistema eficiente y sostenible para nuestro planeta. Actualmente, la clave parece encontrarse en obtener soluciones integrales que consideren las interacciones entre la naturaleza y los sistemas sociales.

Como diseñadores, nuestra responsabilidad es lograr una visión de la arquitectura y del diseño que contribuya al desarrollo de una sociedad sostenible y segura. Se hace necesario una nueva mirada que tienda a la producción de casas 100 % biodigitales: proyectos mejorados mediante el uso de la tecnología digital y biológica. Una ciudad que se parezca más a un bosque que a un complejo aglutinamiento de cajas de hormigón y vidrio.

Precisamos del nacimiento de una nueva estética, una estética natural, que pueda ser reproducida mediante el empleo de la tecnología: una morfogénesis digital aplicada al campo de la arquitectura. Un proceso de optimización y eficiencia del diseño, que conduzca hacia el desarrollo de estructuras nuevas, y una optimización de la materia. Una arquitectura que aproveche los recursos naturales, a través de la aplicación de procesos físicos y químicos, para generar un cambio de estado, algo aprendido de la fisiología animal.

Vivimos un momento particular en la historia de la humanidad que, gracias a los importantes avances tecnológicos, ha permitido que diferentes disciplinas confluyan y den acceso a una nueva generación de herramientas de investigación. Estas nuevas tecnologías están generando un cambio de paradigma en los procesos de fabricación y diseño. Sin embargo, el proyecto contemporáneo aún se encuentra reticente a afrontar el desafío. Necesitamos un programa adaptado a los nuevos tiempos, que solucione los problemas actuales, planes capaces

de generar construcciones flexibles, parametrizables y evolutivos en el tiempo: proyectos que permitan, al igual que los organismos vivos, su crecimiento adaptativo y en equilibrio con el medioambiente.

## REFERENCIAS

- Estévez, A. T. (2020a). La naturaleza es la solución. En D. V. Di Bella & T. Irwin (Eds.), *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 105, 165-193.
- Estévez, A. T. (2020b). Arquitectura biodigital y genética: adecuación, relevancia y compromiso. En I. Hernández García, R. Niño Bernal & Jaime Hernández-García (Eds.), *Paisajes artificiales: virtuales, informales, edificados* (pp. 103-123). Pontificia Universidad Javeriana.
- Estévez, A. T. (2021a). A pesar de todo, dicho en el vacío es más.... En D. V. Di Bella (Ed.), *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 132, 181-199.
- Estévez, A. T., (2021b). *Biodigital Architecture & Genetics: Writings 2 / Escritos II*. iBAG-UIC Barcelona, p. 34.
- Fraile, M., Minafro, M., & Piantanida, S. (2016). *Arquitectura siglo XXI: el uso de modelos paramétricos digitales para la ideación del proyecto contemporáneo*. [Ponencia]. XXX Jornadas de Investigación, XII Encuentro Regional SI+ Configuraciones, acciones y relatos. FADU.UBA.
- Fraile, M., Minafro, M., & Tatangeli, D. (2014). *Modelos paramétricos digitales. Una herramienta proyectual para la generación de una arquitectura de alta "performance"*. [Ponencia]. XXVIII Jornadas de Investigación, X Encuentro Regional SI+ RED. FADU.UBA.
- Iwamoto, L. (2011). Line Array, Protocells a Dynamic Structure. *AD Protocol Architecture*, 81(2), marzo-abril, 112-121.
- Lynn, G. (2005). Organic Algorithms in Architecture. TED2005 | February 2005. [https://www.ted.com/talks/greg\\_lynn\\_organic\\_algorithms\\_in\\_architecture](https://www.ted.com/talks/greg_lynn_organic_algorithms_in_architecture)
- Oxman, N. (2015). Design at the Intersection of Technology and Biology. TED2015 | March 2015. [https://www.ted.com/talks/neri\\_oxman\\_design\\_at\\_the\\_intersection\\_of\\_technology\\_and\\_biology#t-84077](https://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology#t-84077)
- Picon, A. (2004). Architecture and the Virtual. Towards a New Materiality. *Praxis*, 6, 114-121.
- Young, D. (1998). *El descubrimiento de la evolución*. Ediciones del Serbal.