

Arquitectura biodigital: la construcción de un pabellón manifiesto

Marcelo Fraile-Narváez ⁽¹⁾

Resumen: Como consecuencia de un cambio de paradigma, un nuevo modelo parece emerger en el diseño contemporáneo: “el pabellón manifiesto”, un espacio de exposición que intenta sintetizar, a través de su forma, su materialidad o su proceso constructivo, las ideas más innovadoras relacionadas con el proyecto. A partir de estos conceptos, este capítulo tiene como objetivo desentrañar los aspectos más representativos de la arquitectura, en especial de la arquitectura biodigital. Para esto, se propone la creación de un modelo de estudio, un pabellón manifiesto, resultado de las herramientas más utilizadas para estos fines: la tecnología de prefabricación, los algoritmos genéticos, y los modelos paramétricos basados en la eficiencia.

Palabras clave: Biomímesis - Pabellón Manifiesto - Arquitectura Genética - Exposición - Arquitectura Biodigital - Prefabricación - Impresión 3D - Biología - Algoritmo - Paramétrico

[Resúmenes en inglés y en portugués en la página 91]

⁽¹⁾ **Marcelo Fraile-Narváez** es Arquitecto (FAU, UNT), Doctor en Arquitectura (FADU, UBA), Postdoctorado (UCM), Especialista en Diseño Digital (FADU, UBA), Experto Universitario en Aprendizaje y Enseñanza Universitaria Online (UNIR), y Máster en Conservación y Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico (FAUD, UNC). Ha impartido cursos de grado y posgrado en diferentes instituciones entre las que se destacan la Universidad de Costa Rica, la Universitat Internacional de Catalunya, la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad Rey Juan Carlos y la Universidad de Oviedo. Fue profesor en la Universidad Nacional de Tucumán (1995-2003), en la Universidad Nacional de Córdoba (2003-2004), y la Universidad de Buenos Aires (2007-2019). Ha sido funcionario del Ministerio de Cultura del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires desde el 2007 al 2015. Becado por la Universidad Nacional de Tucumán y la Universidad de Buenos Aires en diversas oportunidades para desarrollar investigaciones de doctorado y posdoctorado. Actualmente es Coordinador Académico del Máster Universitario en Diseño y Producción Multimedia (UNIR) y director de la Revista Digital TRP21. Autor de numerosos artículos relacionados con el Diseño BioDigital, las Nuevas Tecnologías de Fabricación, la Crítica Arquitectónica y la Historia de la Arquitectura. Actualmente es también miembro del iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture & Genetics), y del GENARQ (Genetic Architectures: grupo de investigación consolidado y competitivo), de la ESARQ-UIC Barcelona (Universitat Internacional de Catalunya).

Introducción: el pabellón manifiesto

Desde tiempos inmemoriales y hasta las primeras décadas del siglo XX, los diseñadores han recurrido constantemente al uso de los tratados de arquitectura: un instrumento (teórico-práctico) de formación, consulta e inspiración para el desarrollo de sus proyectos. Su historia ha sufrido una evolución y transformación a lo largo de 400 años, hasta su extinción definitiva con la popularización de la arquitectura moderna.

En esencia, los tratados de arquitectura eran sistemas cerrados de lo general a lo particular, y escritos con un lenguaje claro y sencillo, para ser entendido por profesionales de formaciones muy dispares. Su estructura variaba de acuerdo con el tratadista. Habitualmente, estos estaban constituidos por dos partes distintas y complementarias: una teórica, en donde se desarrollaban “las reglas del arte”, que incluían conocimientos de aritmética y de geometría euclidiana, fórmulas exactas, racionales y armónicas; y otra práctica, generalmente en forma de láminas grabadas, que incluía los órdenes clásicos extensamente desarrollados por sus autores. Estas ilustraciones constituían una parte esencial del libro, ya que a partir de estas era fácil entender los textos. De este modo, el tratado cumplía una función práctica, pero sin olvidar los aspectos teóricos-normativos y de difusión: un corpus universal de cómo debía ser la buena arquitectura (*Ver Figura 1*).

Sin embargo, para finales del siglo XIX, el mundo había cambiado, luego de años de profundas crisis estilísticas, las viejas composiciones clásicas heredadas de los griegos y de los romanos llegarían a su final: una cadena de controversias, principalmente referentes a la forma arquitectónica, serían dejadas de lado para dar paso a otras cuestiones relacionadas con la tecnología, la industrialización, la planificación y la producción en serie (Summer-son, 1979).

Con el avance del siglo XX, el nuevo paradigma mecanicista se encargaría de reemplazar los viejos tratados decimonónicos por la idea del manifiesto: un texto breve, que servía para exponer las opiniones fundamentales de un diseñador o grupo artístico de vanguardia. Básicamente, los manifiestos eran una declaración pública de principios (ideológicos y formales) que intentaban acabar con los cánones artísticos tradicionales para construir a partir de estos una utopía que traspasara todas las fronteras de la vida cotidiana.

Bajo un carácter polémico y contestatario, las vanguardias utilizaron este novedoso lenguaje literario, para poner en marcha una renovación en la teoría y la práctica arquitectónica, alterando el equilibrio existente hasta el momento. El artista, en su papel de anticipador, definiría un moderno escenario de la cultura y del arte como antídoto contra la sintaxis del pasado clásico. Buscando un nuevo mundo para el futuro, se encontraba obligado a diseñar para las generaciones venideras. En sus textos, en sus cuadros, en sus dibujos, se condensaban sus ideas de progreso y su intención de romper con las reglas clásicas de composición, extendiendo las fronteras de la disciplina más allá de la voluntad del diseño propiamente dicho.

Pese a esto, con la llegada del siglo XXI, y como consecuencia de un nuevo cambio de paradigma, una nueva figura parece asomar en el diseño contemporáneo, “el pabellón manifiesto”, un espacio de exposición que busca sintetizar (a través de su forma, su materialidad o proceso constructivo) las ideas más importantes sobre un tema de diseño. Estos pabellones permiten impulsar la innovación hasta sus límites, diseminando opiniones y

aportando notables legados. Con sus nuevos y audaces estilos no están diseñados para permanecer. Y al eliminar la restricción de durabilidad y vida útil, proporcionan a los arquitectos un lienzo en blanco para ensayar nuevas tecnologías, probar avanzados materiales y experimentar enfoques alternativos. Se trata de laboratorios abiertos que ensanchan las fronteras de la arquitectura, novedosos sistemas con la finalidad de construir un futuro mejor para la humanidad, sostenible y agradable para todos (López César, 2017).

Estamos frente a una nueva perspectiva que nos aleja del paradigma anterior, en donde un problema sólo podía tener una única solución posible; es el marco de lo que Bauman denomina la “Nueva Modernidad” (2000). De igual modo, este cambio de modelo también nos obliga a repensar los conceptos de diseño universal y estandarización, emergiendo la adaptabilidad, la flexibilidad y la customización como nuevos valores. Una redefinición de los modos de proyectar, para fomentar una evolución bajo una estructura abierta que se adapte al entorno, permitiendo alcanzar una multiplicidad de resultados posibles que varían de acuerdo con los parámetros a los que se los somete. En palabras del arquitecto Lars Hesselgren, no se trata de diseñar un edificio, sino un sistema que diseñe un edificio (2009). Una búsqueda profunda, una combinación de elementos naturales y artificiales resueltos a través de una relación simbiótica, que se retroalimenta continuamente. Para el profesor Philip Galanter, son procedimientos en los que confluyen diferentes diseñadores para desarrollar sistemas generativos, que darán comienzo a una ecología conectada (2008). Un ensamblaje de respuestas materiales y espaciales, a partir de la forma en que la naturaleza influyó en cada uno de los casos. Se podría inferir que nos enfrentamos a una original concepción epistemológica del proyecto, una evolución hacia la complejidad, la eficacia y la adaptación.

A partir de estos conceptos, y con una mirada que hace foco en los procesos biológicos de desarrollo, estas líneas tienen como objetivo desentrañar algunos de los aspectos más representativos de la arquitectura biodigital. Para esto, se propone la creación de un modelo de estudio, un pabellón manifiesto, resultado de las herramientas más utilizadas para estos fines: la tecnología de prefabricación, los algoritmos genéticos, y los modelos paramétricos basados en la eficiencia. Un proceso que toma a modo de referencia una investigación realizada entre septiembre de 2019 y marzo de 2020, en el *MediaLab Prado Madrid*, en el marco del Proyecto Biomimesis: la biología como fuente de inspiración en el diseño.

En definitiva, se trata de un estudio que intenta descifrar y reproducir la complejidad del diseño contemporáneo a través de modelos inteligentes, que, al igual que un organismo vivo, sea capaz de reaccionar y relacionar variables, reduciendo su impacto en el ambiente. Una evolución en el modo de proyectar, bajo un sistema modular de estructura cambiante. Un ensamblaje de funciones que deberá cumplir y resolver alternativas, dentro de un marco limitado de posibilidades ajustadas por el diseñador y el contexto, contribuyendo a la vez al desarrollo de ciudades ecológicamente eficientes.

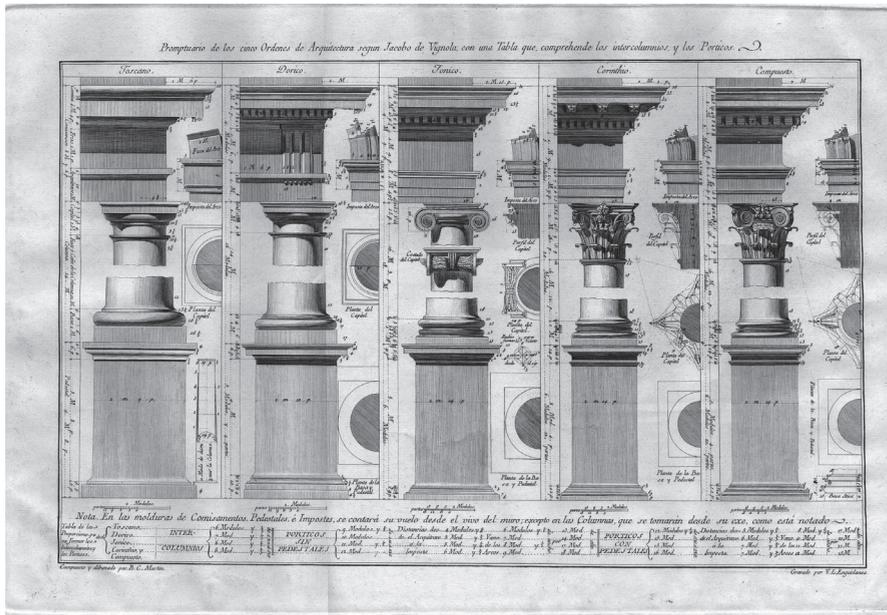


Figura 1. Síntesis de los cinco Ordenes de Arquitectura según Jacobo de Vignola (Fuente: <https://www.academicocolecciones.com/estampas/inventario.php?id=GR-0552>)

La construcción de una [bio]cápsula

Tomando como referencia los patrones existentes en la naturaleza, se propone la creación de un espacio adaptado al hombre, de acuerdo con sus necesidades ambientales, físicas y psicológicas. En esencia, el trabajo consiste en la realización de un sistema desarrollado bajo una lógica biológica-digital: se busca combinar lo natural y lo tecnológico en un modelo de eficiencia, un objeto que actúe como piel (epidermis), pudiendo adaptarse al medio, y generar confort a sus habitantes. En este sentido, no se trata de copiar a la naturaleza en la arquitectura, lo que se pretende es encontrar una trilogía de aspectos integrales:

“lo funcional, que implique el proceso y el modo de vida; lo constructivo, que abarque materiales y tecnologías, y lo estético, donde radica la estructura ideo-emocional” (Senosiain Aguilar, 1998, p. 162).

Para esto, se establece que el pabellón debe cumplir cuatro objetivos:

- En su diseño, debe considerar a la **biología como fuente de inspiración**, creando una estructura flexible con capacidad para absorber los cambios. Un sistema de eficacia energética, que integre energías renovables, y que a la vez contribuya a la reducción de emisiones de CO₂.
- El requerimiento funcional principal es el de **refugio para un individuo**, pudiendo plantearse otras funciones complementarias. Su tamaño debe ser tal que pueda estar inscrito en un prisma imaginario de 2,50 m x 2,50 m x 2,50 m. Un espacio mínimo con áreas para el descanso (de pie, sentado, acostado), subsistencia (alimentación y almacenamiento de comida) y confort (exiguo pero suficiente para sobrevivir).
- El habitáculo debe cumplir con los requisitos esenciales de **protección** ante las inclemencias del tiempo, manteniendo su interior seco y una temperatura confortable, a la vez de brindar un hábitat agradable capaz de otorgar privacidad. Un ensamblaje de funciones capaces de resolver las necesidades básicas, frente a situaciones desfavorables.
- Para su materialización, debe utilizarse un **sistema de fabricación digital** que contemple las cualidades espaciales de flexibilidad y eficiencia que se pretenden lograr, sin producir un impacto negativo en el medioambiente.

Los pares polares

Con el fin de cumplir estos objetivos, para su desarrollo se establecen una serie de pares polares, cinco principios de los múltiples puntos posibles de una enorme y compleja red de relaciones. Puntos a veces contrapuestos, pertenecientes a mundos en ocasiones disímiles, pero que aquí quedan vinculados a través de uniones dinámicas. Son instantáneas de una realidad enmarañada y cambiante, que muta y se redefine continuamente. Son nodos interconectados, interrelacionados, formando mapas de burbujas, un mapa tridimensional cuya intención es intentar comprender estos procesos mediante una conceptualización profunda. Un emparejamiento de conceptos, que posibilita establecer jerarquías analíticas y comparar de un modo (no absoluto) los diferentes factores. Un proceso que busca ser una categoría imparcial y objetiva, pero que nos ayuda a obtener resultados sobre la temática. Se trata de una lógica de análisis que recuerda a los pares polares de Heinrich Wölfflin, y es en esencia una sucesión de trazos que ayudan a caracterizar sus elementos principales.

De este proceso emerge un nuevo modelo, permeable a los cambios, que ha permitido la contaminación, desdibujando las fronteras específicas de la disciplina, dando respuestas hacia un diseño eco-sostenible en armonía con el ambiente. Una nueva experiencia que permite descubrir las ventajas que el mundo natural ofrece, pero que se había mantenido silenciosamente oculto, expectante, esperando su momento.

1. Lo individual / Lo colectivo

Al observar la naturaleza podemos encontrar una compleja red de relaciones entre especies. Estas conexiones permiten a los organismos sobrevivir y evolucionar. En biología este concepto se conoce comúnmente como comunidad biológica o biocenosis, un término acuñado en 1877 por el zoólogo alemán Karl Möbius, y se refiere al conjunto total de organismos de diferentes especies que viven y se interrelacionan en un determinado hábitat, en el que encuentran las condiciones ambientales necesarias para garantizar su supervivencia (Arena, 2010). Para Möbius, estos seres interactúan entre sí, bajo un equilibrio dinámico dentro de una determinada región geográfica que los influye. Esta área o biotopo, ofrece un escenario apto para su supervivencia. De allí su importancia de investigarlos no individualmente sino en el conjunto de estos.

En la naturaleza, cualquier tipo de vida, vegetal o animal, siempre queda referenciada a un espacio definido (Senosiain Aguilar, 1998), que les asegura su subsistencia y del que no es separable. Maturana y Dávila denominan a este concepto nicho ecológico, “constituyendo en conjunto una unidad dinámica, operacional y relacional inseparable a la que llaman unidad ecológica organismo-nicho” (2019, p. 20). Es decir, una agrupación de seres vivos que ocupan un territorio determinado,

“con modos de vida diferentes, pero entrelazados en tramas sistémicas de distintos ámbitos ecológicos que en su continua coderiva natural se han hecho inseparables en un aparentemente loco juego de co-nichos de coherencias y armonías sensoriales, operacionales y relacionales” (Maturana & Dávila, 2019, p. 31).

En el caso particular de los seres humanos, aunque como especie formamos parte de una comunidad biológica mayor, será en las ciudades el espacio por excelencia para el desarrollo de las comunidades: un espacio social, un modelo complejo de organización que ha evolucionado a lo largo de la historia. Desde los primeros homínidos, hasta las urbes de las que emergieron grandes imperios, las comunidades son un instrumento fundamental para el ser humano, a través de ellas sus miembros comparten, cooperan y se relacionan transmitiendo su cultura y valores.

Sin embargo, como en la naturaleza, las comunidades son proclives a sufrir cambios o sucesiones en el tiempo, una serie de transformaciones lentas que conducen a una alteración en la composición o posición de las especies. En este sentido, en los últimos tiempos, un consumo irresponsable de los recursos no renovables y un proceso de globalización descontrolado, ha generado un incremento de la vida urbana, con el consiguiente deterioro de la subsistencia dentro de estas. Más de la mitad de la población humana vive en ciudades, y se prevé que, en el 2050, este número se incremente hasta un 70 %. Una situación que afectará de sobremanera a sus futuros habitantes.

Desde este punto de vista, la [bio]cápsula es una mirada crítica a la especulación inmobiliaria, y a la densificación desproporcionada de los espacios céntricos de las ciudades contemporáneas: áreas anodinas, donde el tiempo se congela bajo una falsa máscara de felicidad eterna, ocultando ante los ojos distraídos de los turistas, la degradación, el haci-

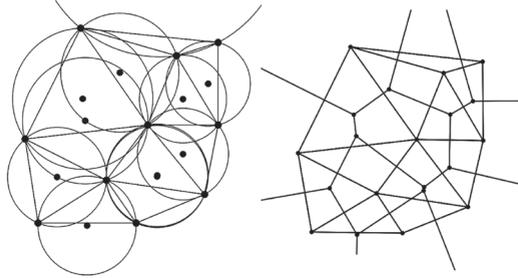
namiento y los graves problemas ecológicos que sufren sus ocupantes. Enormes megalópolis, que, como gigantes organismos enfermos, experimentan un proceso de deterioro en su integridad (Senosiain Aguilar, 1998).

En este contexto, se sugiere un reaprendizaje de los valores de comunidad perdidos u olvidados. Para esto se propone la construcción de [bio]cápsulas, un espacio adecuado para desarrollar las funciones fisiológicas elementales, pero lo suficientemente reducido, como para obligar al sujeto a salir a compartir con el otro. En el caso de la [bio]cápsula, lo individual queda definido a través de una búsqueda de privacidad, que es llevada a su máxima expresión. Un sitio que en sus limitantes combate la individualidad, fomentando la necesidad de interacción social; lo colectivo se hace presente en su ausencia.

De igual modo, complementaria a la [bio]cápsula, se formula la creación y el desarrollo de Espacios Colmenas: grandes zonas interconectadas y gobernadas por sistemas de inteligencia artificial, ámbitos preparados para hacer posible los vínculos sociales entre sus habitantes. Una resignificación de los sitios de nuestras ciudades, a través de dos escalas de acción: una personal, la [bio]cápsula, y otra colectiva, el espacio colmena. Una propuesta escalable, un modelo solidario, donde, lo general, lo social, se establece como la única forma de sobrevivir (*Ver Figuras 2, 3a-b, 4 y 5*).



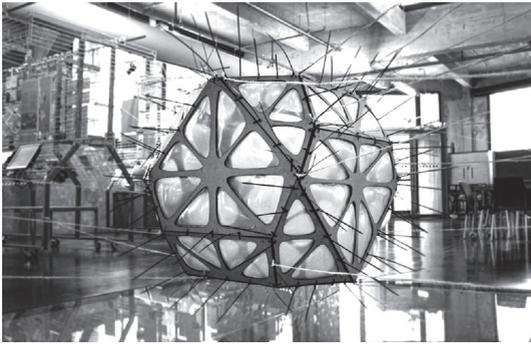
2



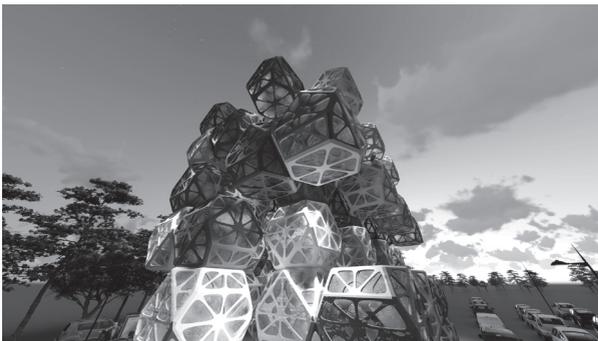
3a



3b



4



5

Figura 2. Colmena de abejas *Apis mellifera*, también conocidas como abejas domésticas (Fuente: <https://www.investigacionyciencia.es/images/57142/articleImage-big.jpg>).

Figura 3ayb. Barrio Padre Carlos Mugica, también conocido como Villa 31. Buenos Aires. Argentina (Fuente: <https://www.nytimes.com/es/2017/11/04/espanol/opinion/una-villa-en-busca-de-una-ciudad.html>).

Figura 4. [bio] cápsula 01. M. Fraile Narvaez 2020.

Figura 5. Edificio Colmena. M. Fraile Narvaez 2020.

2. Lo micro / Lo macro

Desde tiempos inmemoriales, el hombre se ha preguntado sobre el origen del mundo y de la vida. Ha estudiado el movimiento de las estrellas y el crecimiento de las flores, las estaciones del año, y el cruce de ciertas especies animales para mejorar su raza. Investigaciones que, gracias al desarrollo de la tecnología, ha podido conocer y categorizar a dos mundos aparentemente contrapuestos como son el macrocosmos y el microcosmos. A través de una serie de dispositivos, hemos traspasado las fronteras de nuestros sentidos, pudiendo descubrir lo que estaba oculto a los ojos, alterando la visión que teníamos del universo.

En los últimos años, el desarrollo de instrumentos cada vez más potentes y provistos de una gran sensibilidad, ha permitido captar y recopilar nuevas imágenes del asombroso universo que nos rodea. Representaciones que, gracias al uso de sistemas de computación de última generación, han posibilitado conectar el macrocosmos con el microcosmos.

Para la escritora estadounidense Janine Benyus,

“nuestro fragmentario conocimiento biológico se está duplicando cada cinco años, ... nuevos instrumentos y satélites nos permiten observar la naturaleza desde lo intercelular hasta lo interestelar” (2012, p. 21).

Una exploración que constantemente traspasa las barreras disciplinares, llegando a relacionar campos tan diferentes como la biología, la astronomía o el diseño:

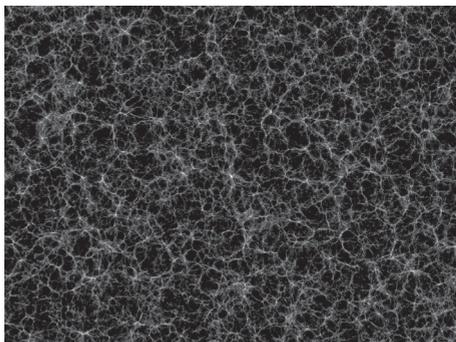
“podemos sondear un ranúnculo con los ojos de un ácaro, recorrer el transporte electrónico de la fotosíntesis, apreciar la vibración de una neurona pensante o contemplar el nacimiento de una estrella en colores” (Benyus, 2012, p. 21).

En este sentido, para el arquitecto argentino Tomás Saraceno, existe una cercana relación entre las macroestructuras del espacio exterior y los microsistemas de la naturaleza. Inspirado en la extensa red de filamentos que conectan las galaxias entre sí, Saraceno, desarrollaría su obra *How to Entaglet the Universe in the Spider Web*, una estructura tridimensional abstracta creada por insectos. Básicamente, el proyecto desarrolla una intrincada constelación de telarañas construidas por miles de arañas de la familia de la *Parawixia Bistriata*, una red de hilos tejidos en el espacio, que nos recuerdan a la urdimbre celeste a través de la cual se distribuye la materia oscura y los gases en el universo. En esencia, las telarañas de la *Parawixia Bistriata*, funcionan a la manera de un modelo de interpretación, una representación del cosmos y su compleja red de interconexiones en la que cada elemento se expande y transforma reconfigurando sus fronteras, una vinculación entre biología, física y geometría, donde sus hebras pueden leerse como un mapa galáctico, un sistema extremadamente complejo, orquestado bajo un orden celestial que emerge espontáneamente del caos (Fraile, Piantanida, 2018).

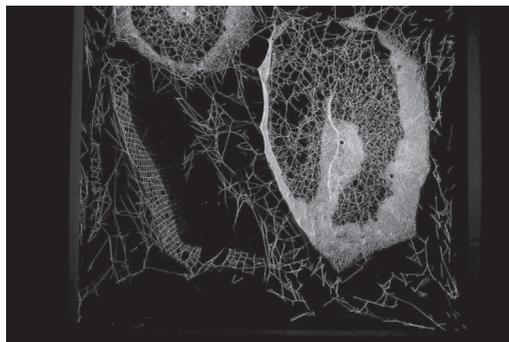
En diseño, el estudio del micro y el macrocosmos nos provee de una inestimable información para adaptar y transformar nuestra arquitectura. Se establece una vinculación entre lo micro y lo macro, entre la microescala de lo biológico, de la molécula o de una célula observada a través del microscopio, y la macroescala de lo espacial, pero también de lo humano. Un nexo que conecta ciencia con tecnología, para dar respuesta a una nueva gama de demandas sociales y humanas dentro del ámbito arquitectónico. Sin embargo, los edificios no dejan de copiarse entre sí, cajas apiladas y repetidas, olvidando el entorno en donde se implantan.

Desde este punto de vista, en esencia, la [bio]cápsula es una tipología que se revela a las cajas andróginas, subrayando la eficiencia y la belleza de la naturaleza, y la importancia de su utilización en la arquitectura. Se trata de una mirada a través de la matemática, la biología y la geometría. Un enfoque que vincula la escala de lo micro con lo macro, para, de este modo, crear un sistema de formas complejas de alta *performance*.

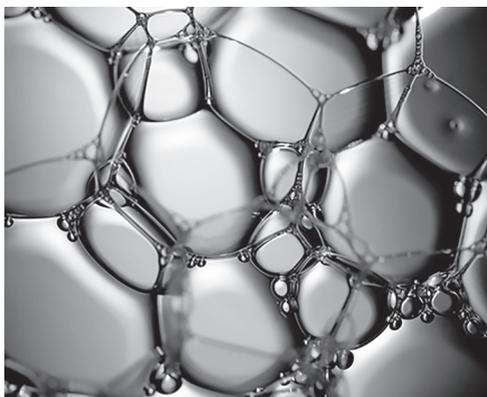
En la [bio]cápsula, lo micro queda definido en las uniones de la molécula del agua, deteniéndonos a contemplar las estructuras tridimensionales de Weaire-Phelan; en tanto que lo macro, se revela en la escala de una crisálida y la red de filamentos que la constituye y materializan, extendiendo sus vínculos hacia el exterior, el cual le sirve de soporte y fijación. En ambos casos se evidencia una mecánica de sistemas complejos, sistemas abiertos que fluctúan y que interactúan con el entorno, bajo una dinámica no lineal: bucles de retroalimentación positiva. Un esquema *bottom up*, donde el diseñador relega el control de su creación, a través de un sistema complejo de variables dinámicas (*Ver Figuras 6, 7, 8 y 9*).



6



7



8



9

Figura 6. Simulación de la red cósmica con la presencia de materia oscura (Fuente: <https://www.agenciasinc.es/en/view/content/137220/full/1/63455>). **Figura 7.** How to Entangle the Universe in the Spider Web. Tomas Saraceno (Fuente: <https://studiotomassaraceno.org/how-to-entangle-the-universe-in-a-spiderweb/>). **Figura 8.** Estructura geométrica de las burbujas de jabón (Fuente: https://cdn.stylepark.com/articles/2010/these-bubbles-wont-burst/v301348_958_480_390-6.jpg). **Figura 9.** Una crisálida de mariposa dentro de una hoja (Fuente: <http://blognuvemdeborboletas.blogspot.com/2018/01/>)

3. El módulo estático / El patrón dinámico

De un modo simplificado, la estructura que conforma la molécula del ADN en los seres vivos está compuesta por cuatro moléculas denominadas nucleótidos, cada uno de ellos formado por un anillo nitrogenado, un fosfato y azúcar. Estos cuatro nucleótidos o aminoácidos son la adenina (A), la timina (T), la citosina (C), y la guanina (G), los cuales se