

La consolidación del Organicismo BioDigital en la Arquitectura y el Diseño del Siglo XXI

Alberto T. Estévez⁽¹⁾

iBAG-UIC Barcelona

(Institute for Biodigital Architecture &
Genetics-Universitat Internacional de Catalunya)

Resumen: A finales de la década de 1990, lo que se consolidaría en un nuevo proyectar cibernético-digital y ecológico-medioambiental (Estévez, 2002A) comenzó a verificarse, dispersándose luego por todo el mundo: lo que ha acabado por consolidarse en este siglo XXI como las nuevas vanguardias, las de la arquitectura y el diseño biológico y digital, y su fusión biodigital. Esto, pudiéndose definir como organicismo digital, con un bioaprendizaje en su fundamento proyectual, quedaría nombrado como organicismo biodigital. Ahora al servicio –como herramientas avanzadas y clave para una concepción, definición y fabricación más sostenibles y eficientes– de esta otra fusión entre lo medioambiental y lo social, que constituye actualmente la comprensión inseparable y global que debe alcanzarse para resolver los problemas que aquejan al planeta desde su raíz, sin soluciones superficiales que sean cortinas de humo temporales, a veces hipócritas. Mientras, los ejemplos proyectados, construidos o fabricados, de arquitectura y diseño, de lo que puede entenderse dentro del organicismo digital y bioaprendido, del –por tanto– organicismo biodigital, se multiplican por todo el planeta. Debiéndose apuntar sin embargo que la palabra de moda “biomimética” no quiere decir necesariamente ni que se desarrolle digitalmente ni que se haya aprendido algo real de la biología, de lo vivo, sino que muchas veces es apenas una leve inspiración o una mera imitación.

Palabras clave: Organicismo biodigital - Organicismo digital - Bioaprendizaje - Biodigital - Arquitectura biodigital - Diseño biodigital - Arquitecturas genéticas

[Resúmenes en inglés y en portugués en las páginas 35-36]

⁽¹⁾ Ver CV en págs. 36-37

Un cambio de paradigma hacia lo biodigital

La historia de la arquitectura y del diseño ha sido, en gran medida, la historia de la técnica aplicada a la forma, por la fascinación que el progreso técnico ha ejercido sobre arquitectos y diseñadores. Sin embargo, al cruzar el umbral del siglo XXI, aparece una ruptura

epistemológica sin precedentes. No se trata simplemente de una nueva estética, sino de la emergencia de lo que se denomina la arquitectura biodigital. Algo que nace de la intersección entre dos revoluciones: la revolución biológica (genética, biónica, biotecnología) y la revolución digital (computación, algoritmos, diseño y fabricación paramétrica). Mientras que el siglo XX fue la era de la mecánica y el hormigón, el siglo XXI se perfila como la era de los sistemas vivos (inteligencia natural) y la inteligencia artificial (sistemas computacionales). “Cuando esos elementos vivos naturales y/o informáticos artificiales pueden ser ya parte integrante del hecho arquitectónico” (Estévez, 2002A).

Y las semillas de este movimiento, génesis del siglo XXI, se plantaron a finales de los años 90. Fue en ese momento cuando un “proyectar cibernético-digital” dejó de ser una fantasía de ciencia ficción para convertirse en una metodología rigurosa. El ordenador dejó de ser una “máquina de escribir con pantalla” para transformarse en un motor de generación genética de formas. Mientras que un “proyectar ecológico-medioambiental” aparecía como un entendimiento contemporáneo de qué es naturaleza (Estévez, 2002B), desapareciendo la dicotomía de forma y fondo también en la arquitectura, de objeto *versus* entorno, como ya había sucedido antes en la pintura y en la escultura.

La conciencia de todo ello llegó cuando el autor de estas líneas fundó la ESARQ, la Escuela de Arquitectura de la Universitat Internacional de Catalunya, hace ahora ya 30 años, con una idea clara: quería que fuese una escuela de vanguardia, de prestigio indiscutible e internacional. Por ello la llenó de lo más pionero de la escena local, nacional e internacional (no sin esfuerzo). Algo que por entonces le dio un rápido reconocimiento en el mundo entero. Y es que, al poner ese empeño, se fueron descubriendo personajes repartidos por todo el planeta, a los que se fue primero invitando a conferencias, pero luego ya conformando con ellos el año 2000 un programa sistemático, avanzado e insólito en aquellos años, el actual Máster en Arquitectura Biodigital. Personajes que, en vez de empezar sus charlas con las referencias que son habituales entre los arquitectos, el universo del movimiento moderno, las iniciaban con referencias a la naturaleza, a la vez que unos la integraban en sus obras de una manera no convencional o conservacionista, mientras que los otros la desplegaban con herramientas digitales.

Así, se verificó que se está ya en una nueva era proyectual (Estévez, 2005), pues la arquitectura y el diseño del siglo XXI no se encuentran en una crisis de “estilo”, sino en una mutación de su ontología. Desde que apareciera “un nuevo proyectar cibernético-digital” a finales de los años 90, la disciplina ha transitado un camino que va de la representación de la forma a la instigación de la vida. Y estas líneas tratan de ver cómo la convergencia de lo biológico y de lo digital ha creado un nuevo paradigma: un organicismo digital alimentado de un bioaprendizaje, es decir, un organicismo biodigital. Y es que, a diferencia de los movimientos de vanguardia del siglo XX, que buscaban la ruptura a través de –entre otras cosas– la mecanización y la abstracción geométrica, las vanguardias biodigitales del presente siglo buscan la reconciliación con la complejidad de lo vivo a través de la computación avanzada. En este escenario el arquitecto y el diseñador dejan de ser demiurgos que imponen formas artificiales sobre el terreno para convertirse en programadores de procesos genéticos fundiéndose con lo natural (Estévez, 2003).

De lo que se está hablando aquí es de una nueva síntesis disciplinar de la arquitectura y del diseño del siglo XXI, una transformación profunda que no se limita a la incorporación de

nuevas tecnologías digitales ni a la creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental, sino que implica un cambio en la manera misma de concebir, proyectar y materializar el entorno construido. En este contexto, el concepto de organicismo biodigital emerge como una de las claves interpretativas más relevantes. Término que articula la convergencia en los ámbitos de lo biológico, lo digital, la arquitectura y el diseño. Y no es esto una propuesta meramente técnica, sino profundamente cultural y filosófica, al replantear la relación entre naturaleza, tecnología y sociedad. Ni es el organicismo biodigital una simple continuación del organicismo clásico de las décadas anteriores, aunque puedan encontrarse algunas raíces comunes. Se trata de una síntesis cualitativamente distinta, en la que lo biológico no es solo una fuente de inspiración formal, sino un campo de conocimiento activo del cual aprender procesos, lógicas y sistemas.

En efecto, el término “organicismo biodigital” no debe confundirse con el organicismo clásico de Frank Lloyd Wright, Alvar Aalto o Eero Saarinen. Si bien aquellos maestros buscaban la armonía con la naturaleza o la imitación de formas orgánicas, el organicismo biodigital busca apropiarse de los procesos de la naturaleza. Por ello tiene más que ver con el organicismo de Antoni Gaudí, primer arquitecto en trabajar desde un bioaprendizaje de los sistemas de la naturaleza, no cómo mera decoración o imitación de formas, por lo que llegaría a ser el auténtico inventor de la arquitectura paramétrica, aunque sin ordenador. O más bien dicho, con un ordenador no digital, de catenarias, cables colgantes que le permitían justamente diseñar desde los parámetros de sus obras, no desde sus formas dibujadas. Es por esto por lo que la primera lección del Máster de Arquitectura Biodigital trata de su obra, con visitas a sus edificios, por el privilegio de estar en Barcelona, ciudad que concentra casi todo su trabajo.

A diferencia de aproximaciones anteriores que entendían la relación entre arquitectura y naturaleza en términos de analogía formal o integración paisajística, el organicismo biodigital propone una inversión conceptual: no se trata de representar la naturaleza, sino de aprender de ella. El salto cualitativo no está en copiar la naturaleza, sino en proyectar como la naturaleza, con la ventaja de las herramientas digitales (Estévez, 2005). Esta afirmación implica un desplazamiento desde una lógica de imitación hacia una lógica de aprendizaje. Cambio que tiene consecuencias profundas. Supone, en primer lugar, una redefinición del rol del arquitecto y del diseñador, que deja de ser un configurador de objetos para convertirse en un diseñador de procesos. En segundo lugar, implica la incorporación de nuevos conocimientos y metodologías provenientes de campos como la biología, la informática o la teoría de sistemas. Finalmente, plantea una nueva responsabilidad ética en relación con el medio ambiente y la sociedad, en tanto que el proyecto arquitectónico pasa a entenderse como parte de sistemas ecológicos complejos, tanto medioambientales como sociales.

Históricamente, la arquitectura moderna consolidó un marco donde el proyecto se entendía como resolución formal de programas funcionales mediante técnicas constructivas relativamente estables. Incluso las derivas más experimentales del cambio de siglo –deconstructivismo, *blob architecture*–, aunque ampliaron el repertorio formal gracias a lo digital, no siempre cuestionaron la lógica profunda del proyecto como objeto. El organicismo digital que parte del bioaprendizaje, es decir, el organicismo biodigital, en cambio, propone una ruptura más radical: la incorporación de lógicas de crecimiento, autoorganización y adaptación propias de lo vivo.

La pertinencia de este giro se acentúa ante la evidencia de que la crisis ecológica no puede resolverse con soluciones superficiales. La eficiencia energética o el uso de materiales “verdes”, si bien necesarios, resultan insuficientes si no se abordan las estructuras sistémicas que producen insostenibilidad. En este sentido, el organicismo biodigital se alinea con una comprensión de la sostenibilidad como transformación estructural, no como optimización marginal.

Asimismo, la digitalización no se limita a proporcionar herramientas más potentes, sino que introduce un cambio en la naturaleza del conocimiento proyectual. El paso de geometrías descriptivas a sistemas paramétricos y algoritmos generativos implica que el proyecto se define como un conjunto de relaciones y reglas capaces de producir múltiples configuraciones. Esta lógica relacional converge con la comprensión biológica de los organismos como sistemas dinámicos, reforzando la pertinencia del bioaprendizaje.

Así, la creciente interdependencia entre disciplinas –biología, informática, ciencias sociales, ingeniería y arquitectura– exige modelos de trabajo transdisciplinares. El organicismo biodigital no puede desarrollarse en compartimentos estancos: requiere laboratorios híbridos, metodologías compartidas y lenguajes comunes. De ahí que su consolidación esté ligada no solo a avances técnicos, sino a transformaciones institucionales y educativas. Es por ello que el autor de estas líneas montó el primer laboratorio de arquitectura genética del mundo, con genetistas y microbiólogos trabajando con objetivos arquitectónicos por primera vez en la historia, junto al primer laboratorio de diseño y fabricación digital radicado en una escuela de arquitectura en España, todo ello justo a partir del año 2000. Para luego seguir con el montaje del primer laboratorio de biología dedicado plenamente a la arquitectura y al diseño, con una impresora 3D de células vivas, con su cultivo, con microscopios, incluso trabajando con microscopios electrónicos, para llegar a aprender del primer nivel estructural en el que las células empiezan a agruparse de cara a resistir en su crecimiento las sollicitaciones externas de manera más eficiente.

En suma, la introducción del organicismo digital y del bioaprendizaje, es decir, del organicismo biodigital, no constituye un episodio más en la historia reciente de la arquitectura, sino el indicio de una mutación disciplinar de mayor alcance. Y para ejemplificar lo dicho hasta aquí, se van a adjuntar más adelante tres ejemplos de organicismo biodigital, a escala de objetos, edificios y ciudad. Proyectos de arquitectura y diseño creados con herramientas digitales tras un proceso de bioaprendizaje. Que por tanto geometría, estructura y espacio son orgánicos: complejos, diversos, continuos, fluidos, coherentes, unitarios, y gracias al software que los ha diseñado, cual ADN artificial, son armónicos. Todo características que definen la belleza clásica, “objetiva”, la que todo ser humano percibe automáticamente como tal, tenga la formación que tenga, y venga de donde venga. “¿Construir belleza!”, que decía Antoni Gaudí.

Antecedentes gaudinianos

Y ya que estamos celebrando el centenario gaudiniano, en este Año Gaudí 2026, al final, se tiene suficiente recompensa viendo que la obra que uno proyecta está en la línea de las palabras pronunciadas por Benedicto XVI con motivo de la consagración de la Basílica de la Sagrada Familia, en Barcelona, el domingo 7 de noviembre de 2010: “La belleza de las cosas nos lleva a la Belleza. Esto lo realizó Antoni Gaudí no con palabras sino con piedras, trazos, planos y cumbres. Y es que la belleza es la gran necesidad del hombre; es la raíz de la que brota el tronco de nuestra paz y los frutos de nuestra esperanza. La obra bella es pura gratuidad, invita a la libertad y arranca del egoísmo.” Este es realmente el granito de arena que arquitectos y diseñadores debemos aportar a este el más gigantesco hormiguero de todo el universo conocido.

Antoni Gaudí sólo necesitó a la naturaleza y sus principios rectores para desarrollar toda su obra como arquitecto y diseñador. Entonces, logró sintetizar una cuestión básica característica de la naturaleza, que configura un valor, un valor de inteligencia, y por tanto un indicador de calidad: la continuidad. Decía: “las formas continuas son las perfectas. (...) Las formas poliédricas y las equivocadamente llamadas geométricas abundan poco en la naturaleza. Incluso las que el hombre hace planas (puertas, mesas, tableros) con el tiempo devienen alabeadas” (Puig-Boada, 2004). La continuidad de las formas deviene algo esencial en la naturaleza, donde cada parte y cada función se resuelve con continuidad en el todo. Sin duda esto se debe a que la continuidad brinda mejores condiciones estructurales y de crecimiento. Por tanto, la arquitectura de Antoni Gaudí ofrece ventajas aún mayores al diseñarse con esa misma continuidad orgánica propia de la naturaleza. Algo que puede encontrarse tanto en el exterior como en sus interiores, donde los espacios fluyen libremente entre ellos, y de fuera adentro. Por otro lado, la continuidad exterior ayuda al flujo de aire y agua. Y la continuidad interior mejora las características térmicas y acústicas. Esto es forma y función en perfecta convergencia y armonía.

Está claro que la naturaleza, como entidad abstracta que es, no tiene conciencia propia de su belleza. La naturaleza no la busca como lo hacen –o deberían hacer– los artistas, arquitectos y diseñadores. No promueve o descarta a los seres vivos en función de su belleza, sino sobre todo en relación con su eficiencia funcional, a su capacidad de adaptación en su medio ambiente. Sin embargo, como si fuera algo no tan subjetivo, como humanos encontramos bella la naturaleza en sus sorprendentes formas, en su armónica complejidad, orgánica continuidad y dinámico fluir. Y esto ocurre como en un común acuerdo humano, “automático”, inconsciente, más allá de culturas y tradiciones. Es entonces cuando Antoni Gaudí reconoce que existe una “belleza objetiva”, que es precisamente la que nos muestra la naturaleza a través de los logros también de eficiencia funcional conseguidos por sus formas. Y esto además siempre va acompañado de color.

“La naturaleza no nos presenta ningún objeto de una manera monocroma, del todo uniforme en cuanto a color, ni en la vegetación, ni en la geología, ni en la topografía, ni en el reino animal. Siempre el contraste de color es más o menos vivo, y de aquí que obligadamente debamos colorear en parte o todo un miembro arquitectónico”, dirá Antoni Gaudí (Ráfols, 1999), un arquitecto que tomó como modelo a la naturaleza precisamente para, de ella, aprender qué arquitectura y qué diseño debe hacerse.

Las palabras e ideas claves del organicismo biodigital

Ciertamente, en la década de 1990, la introducción del software de diseño asistido por ordenador (CAD) fue visto inicialmente como una optimización de la productividad. Sin embargo, el cambio era mucho más profundo, y poco a poco se fue descubriendo. No se trataba ya de dibujar más rápido, sino de pensar de manera distinta, y como “desde dentro” del propio software. El “proyectar cibernético-digital” implicaba la entrada de la lógica algorítmica en la génesis de la arquitectura y del diseño. Y así se aplicó por parte de quien esto escribe en el programa de Máster de Arquitectura Biodigital en la UIC Barcelona, desde el año 2000, primero bajo el nombre de “Arquitecturas Genéticas”, para enfatizar la idea de que la arquitectura y el diseño no debía simplemente parecerse a la naturaleza, sino emerger y funcionar como ella. Se pasó del “edificio-máquina” de Le Corbusier al “edificio-organismo”. Por tanto, este organicismo no es una corriente estética, es una metodología de trabajo basada en la información. Entonces, las maquetas funiculares de Antoni Gaudí, para entender la distribución y recorrido de las cargas, se lleva a un nivel genésico y sistémico, morfogenético. Ya no se imita la forma de un árbol, sino que se simula el proceso de crecimiento bajo las condiciones de estrés que se quieran determinar para la estructura de un edificio u objeto y su entorno. Así, el diseño se entiende como un sistema abierto que intercambia información con el entorno. Los parámetros (climáticos, sociales, estructurales) son el “alimento” del algoritmo que genera la forma. Esto lleva a una arquitectura y diseño que posee una cohesión interna similar a la de los seres vivos, donde cada parte tiene una razón de ser en relación con el todo, mostrando además con ello la definición de belleza armónica más clásica: la coherencia de las partes con el todo y del todo con las partes. Y con esto se llega a reconocer que como fundamento proyectual primero está un cierto bioaprendizaje (bio-learning), que no es simplemente leer sobre biología, sino que es integrar la inteligencia biológica en el proceso de diseño, mucho más allá de una biomimética superficial. Palabra, “biomimética”, que de tanto uso que se le ha dado ha acabado por vaciarse contenido. Aplicar patrones de panal de abeja a una fachada de vidrio convencional y llamarlo “bio”, o poner una hoja gigante a modo de cubierta, resulta ridículo. Un bioaprendizaje real exige mucho más, como por ejemplo sería analizar la eficiencia metabólica, cómo se gestiona el calor y la ventilación, cómo se optimiza la estructura y el uso de los materiales, cómo se codifica la complejidad.

En la naturaleza, diríase que el material es caro y la energía es escasa. Por ello, los sistemas biológicos son hiper-eficientes. El bioaprendizaje busca aplicar esta eficiencia a la construcción para acabar con el despilfarro de materiales de la industria tradicional, que es responsable de una parte masiva de las emisiones de CO₂ globales, y de un agotamiento de recursos no renovables, además de una generación de toneladas de basura no reciclable o no reciclada. Por tanto, la justificación de la sostenibilidad está servida. El símil del mundo de la industria de la construcción con la naturaleza sería que el material es caro no sólo en términos económicos sino también en términos de sostenibilidad. Y la energía –incluyendo la que conlleva la mano de obra– no sólo es escasa, sino que es cara también en ambos términos.

Está claro pues que la arquitectura y el diseño biodigital no es un ejercicio caprichoso de “laboratorio de marfil”, cómo aún piensan los integrantes de la “academia moderna”,

sino que su fin último es la resolución de los problemas planetarios. Y ahí es donde entra el juego entre una sostenibilidad real *versus* una sostenibilidad hipócrita: las soluciones superficiales son hipócritas. No basta con “pintar de verde” un edificio. El organicismo biodigital debe exigir una sostenibilidad integrada desde el origen: estructuras de mínimo material, calculadas mediante optimización topológica, fachadas reactivas, que respiran y se mueven como estomas vegetales, arquitectura que captura carbono, emite oxígeno y purifica el aire, con el uso de biomateriales, cultivos biológicos en las envolventes, etc.

Por otro lado, la democratización de estos conocimientos y herramientas permite expandir mejor una arquitectura más humana. Al utilizar sistemas de bioaprendizaje, los edificios pueden integrar automáticamente características propias de la biofilia, y además pueden adaptarse mejor a las necesidades cambiantes de la sociedad, permitiendo crecimientos orgánicos de las ciudades en lugar de planificaciones rígidas impuestas desde arriba que a menudo ignoran la realidad social del habitante. Y el software se ha hecho tan amigable que cualquiera puede ya diseñar con él con no demasiado entrenamiento ni conocimientos previos. Sólo dependiendo la calidad del producto de la inteligencia aplicada por el diseñador. Cuando hoy día cualquier cosa que pueda dibujarse digitalmente ya puede fabricarse digitalmente.

La comparación con los sistemas de la naturaleza es muy literal. Pues, arquitectos y diseñadores pueden utilizar algoritmos inspirados en la evolución y selección natural. Se crean “poblaciones” de diseños y se someten a “pruebas de aptitud” (luz solar, resistencia sísmica, criterios de eficiencia y hasta de belleza). Entonces sólo los diseños más eficientes “sobreviven”, y se reproducen para la siguiente generación de la maqueta digital. Mientras que la fabricación digital y la robótica permiten el fin del molde como sistema industrial. Con lo que la fabricación digital permite que lo complejo deje de ser costoso, y hasta puede crear formas de una complejidad imposible de emular antes. La impresión 3D de hormigón, arcilla o incluso polímeros biológicos permite materializar las geometrías fluidas del organicismo biodigital sin necesidad de encofrados costosos, reduciendo el residuo de obra a casi cero. Pero sin dejarse impresionar sólo por la espectacularidad formal posible, sino entender que la calidad está en la inteligencia con que se ha desarrollado su lógica generativa.

Pues, dentro de lo dicho hasta aquí, varios han sido los caminos que quien esto escribe ha transitado para sus diversos proyectos de arquitectura y diseño biodigitales. Desde trabajar con microscopios electrónicos para aprender del nivel microscópico celular de los seres vivos hasta analizarlos en su escala natural, en su ecología, y hasta en su etología si fuera el caso. Y entonces aprovecharse de la potencia de las herramientas digitales en sus posibilidades de emulación de los sistemas biológicos, sintetizando las abstracciones que emergerán como arquitectura y diseño: Voronoi, Reaction-Diffusion, Force Fields, L-Systems, Fractals, Pixelization, Cellular Automata, guiando su emergencia y evolución, como si se cabalgara un caballo vivo, a veces al trote y a veces al galope, conduciéndolo por el camino querido, no sin esfuerzo, que a veces se descubre en cada curva, y se decide en cada desvío a tomar. “Si esas formas aparecen o no en la naturaleza es indiferente”, que decía August Endell, pues de lo que él trataba es de que “mediante formas libres, conseguir efectos fuertes y vivos en arquitectura y diseño.” Y es que 130 años después es como si la historia se repitiera con sus palabras, estando en un momento similar, “en el umbral de un

arte totalmente nuevo, un arte con formas que nada significan ni nada representan, nada recuerdan y que, sin embargo, puede emocionar nuestras almas tan profundamente como sólo los sonidos de la música hubieran podido hacerlo.” (Endell, 1896). Cuando hace apenas poco más de cuatro años ha aparecido sobre la mesa un potro mucho más salvaje, ya asequible para todos, la Inteligencia Artificial. El valor estará de nuevo en como la Inteligencia Natural de cada uno sepa domarla y llevarla a buen fin, que en eso estamos también. Llegados a este punto, véanse aquí ahora los tres casos anunciados de arquitectura y diseño biodigital a la escala de objetos, edificios y ciudades.

El caso del BioLumCity Project (objetos)

El proyecto BioLumCity, dirigido por el autor de estos párrafos, constituye la sexta fase (2023-2026) del Proyecto Barcelona Genética, que desde 2003 propone en fases sucesivas una integración avanzada y viable de la bioluminiscencia real en la arquitectura y el diseño urbano, uniendo biotecnología, diseño y fabricación digital, e investigación estética. Se inició todo en una primera fase con la introducción del gen de la GFP (Green Fluorescent Protein) en el ADN de 7 limoneros (2003-2006). Le siguió una segunda fase empezando a trabajar con bacterias bioluminiscentes (2007-2010), para en una tercera fase pasar los genes responsables de su bioluminiscencia a plantas ornamentales (2011-2014). Tratando la cuarta fase de trabajar con hongos bioluminiscentes (2015-2018), y la quinta con algas bioluminiscentes sobre superficies bioreceptivas (2019-2022). Por fin, esta última y sexta fase se centró inicialmente en organismos bioluminiscentes naturales, en particular *Vibrio fischeri*, seleccionado por su intensidad relativa, durabilidad y facilidad de implementación en interiores sin iluminación, oscuros. Para superar las limitaciones intrínsecas de la luminosidad bacteriana y los desafíos perceptivos que plantea la iluminación urbana contemporánea, también se desarrolla un sistema bioluminiscente genéticamente mejorado en la microalga *Chlamydomonas reinhardtii*, con el objetivo de lograr una mayor eficiencia lumínica y un mejor desempeño ambiental.

Organismos bioluminiscentes –tanto bacterias no modificadas como microalgas genéticamente modificadas– se integran en paneles bioreceptores fabricados digitalmente, que abarcan desde objetos a escala humana (lámparas, muebles) hasta elementos arquitectónicos y urbanos (escaparates, fachadas). Diseñados mediante algoritmos bioinformáticos, estos paneles encarnan principios de armonía, continuidad, organicidad, complejidad y fractalidad, garantizando un rendimiento funcional y una belleza perceptible incluso a la luz del día, cuando la luminescencia no es visible (con la colaboración de Yomna K. Abdallah: diseño computacional y bioingeniería).

Durante dos años, la experimentación iterativa permitió optimizar los medios de cultivo y seleccionar clones altamente luminosos derivados de la cepa original *Vibrio fischeri* ES114. El sistema resultante logra una eficacia luminosa sostenida durante casi 20 días, con la intensidad suficiente para delimitar espacios para el tránsito humano sin iluminación artificial (con la colaboración de Aránzazu Balfagón y Marta Serra: microbiología y genética). Una investigación genética paralela introdujo una vía bioluminiscente fúngica

(Hisps, H3H, Luz, CPH) en microalgas mediante genes sintéticos optimizados, lo que abre la posibilidad de una producción autónoma de bioluminiscencia, combinada con una alta capacidad de fijación de CO₂ y la generación de biomasa valiosa (con la colaboración del grupo de Jae-Seong Yang del CRAG: genética).

El diseño y fabricación digital de las biolámparas incorporó la geometría de Voronoi, que es la que las propias bacterias muestran en su crecimiento cuando se las deja en reposo durante el suficiente tiempo, verificándose así la fractalidad con que la naturaleza resuelve los cambios escalares de sus seres vivos. A la vez que se comprobó como las biolámparas que con el mismo tamaño de lámpara seguían patrones rectangulares y ortogonales, necesitaban más material y más tiempo de fabricación que la geometría de Voronoi, resultando incluso más frágiles.

El proyecto culminó con una exposición, un seminario y una publicación titulada “Hacia un futuro bioluminiscente: arte, arquitectura y diseño en el siglo XXI” (del 21 al 23 de enero de 2026), que presentó prototipos y perspectivas sobre sostenibilidad. Financiado por la Fundación Fritz und Trude Fortmann, BioLumCity promueve conceptos constructivos innovadores y propone un cambio de paradigma hacia infraestructuras de luz regenerativas y vivas para el siglo XXI: un verdadero manifiesto para abrir los ojos de la gente a las nuevas realidades que debemos construir en nuestros tiempos (*Ver Figura 1*).

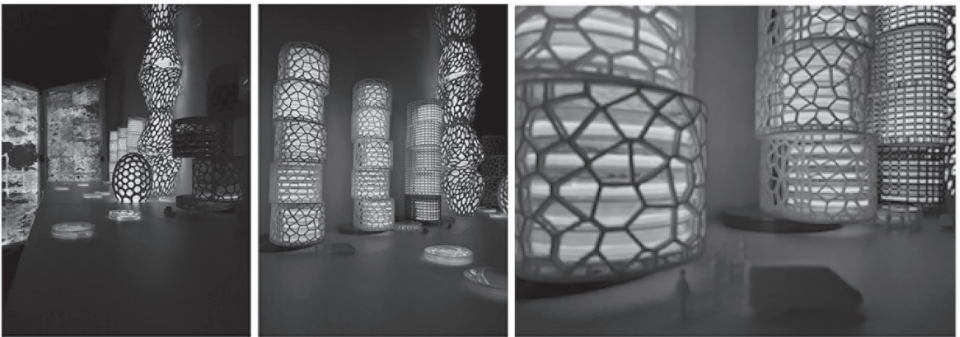


Figura 1. Alberto T. Estévez, BioLumCity Project, 2023-26 (cols. Yomna K. Abdallah, diseño computacional y bioingeniería, Aránzazu Balfagón y Marta Serra, microbiología y genética). Biolámparas bacterianas de luz viva, sin electricidad ni instalaciones, diseñadas y fabricadas digitalmente, 6ª fase del Genetic Barcelona Project, iniciado el año 2003, en pos de la integración de bioluminiscencia en la arquitectura y el diseño. (Foto tomada con un Apple iPhone 16e, ISO 2500-5000, f 1,64, 3,4 segundos, sin posterior edición, aproximadamente equivalente a la visión del ojo humano).

El caso del Sustainable Landscape Project (edificios)

“Este árbol es mi maestro”, decía Antoni Gaudí (Estévez, 2002C). Y lo decía por su bioaprendizaje, de sus formas y geometría, de su sistema estructural, y de su belleza también, por supuesto. Sin embargo, hoy día, acuciados por la sostenibilidad planetaria, el árbol nos enseña algo más que en los tiempos de Antoni Gaudí no tenían la urgencia actual: su autosuficiencia, que redundando en mayor sostenibilidad. El árbol no se mueve del sitio durante todas las décadas de su vida. Tiene suficiente para vivir con esplendor sólo con los cuatro elementos clásicos: fuego (sol), tierra, aire, agua. Así, igualmente, el ser humano debería aprender a ser él mismo autosuficiente, su casa autosuficiente, su ciudad autosuficiente, su país autosuficiente. Sin caprichos y con rigor, pues el lujo es él mismo, y su casa, su ciudad, su país son un lujo del cual habría que sentirse orgulloso, por su mera existencia: “vivimos de milagro”, según se dice popularmente, pues no hay más que mirar alrededor para ver cómo están las cosas, cuando en efecto, “el hombre es un lobo para el hombre”.

Entonces, se propuso este proyecto de autosuficiencia, donde todo lo necesario para los que en él vivan está en él mismo, siguiendo siempre los 17 ODS de Naciones Unidas. Así, los edificios se funden con este paisaje, y se proyectan como un ejemplo de autosuficiencia energética y alimentaria total, basado en los principios de bioaprendizaje previamente comentados. En este caso, se trata de un complejo residencial y recreativo rural en Fez, Marruecos, a modo de prototipo repetible, bajo los principios de activación de la sostenibilidad y adaptación al contexto social y ambiental (*Figura 2*).

En resumen, este proyecto aborda el diseño de un conjunto biodigital avanzado que combina el bioaprendizaje –aprender de la naturaleza en términos de su funcionalidad, eficiencia, armonía y belleza– con las técnicas digitales más avanzadas en diseño arquitectónico. Este paisaje ofrece, por un lado, una red armoniosa que lo organiza para el disfrute ya sea a pie, a caballo, o en bicicleta, y por otra parte, una perspectiva ambiental y un profundo compromiso con la ecología integral, holística.

Y tal cómo la naturaleza resuelve los cambios de escala, de lo microscópico a lo macroscópico, mediante fractales, este proyecto (bio)aprende a resolverlos de la misma manera. Esto se evidencia en cómo los patrones producidos digitalmente abarcan desde la macroescala del paisaje, organizando un conjunto armonioso y ordenado, hasta su repetición a microescala, como se observa en pavimentos, muebles y otros detalles (como las celosías). Además, se incorpora ampliamente la “inteligencia cultural”, aprendiendo de la arquitectura vernácula de esa zona, con sus patios y sistemas de ventilación, y materiales dispuestos para aprovechar la inercia térmica, con las características de la arquitectura solar pasiva. Describiéndose aquí ahora el enfoque adoptado para los 17 ODS, que culminan en las siguientes aplicaciones:

- ODS 1: Se promueve la inclusión social mediante la accesibilidad universal y el empleo local durante la construcción y su mantenimiento.
- ODS 2: Se integran en el medio ambiente las zonas agrícolas tradicionales y los sistemas de cosecha sostenibles.
- ODS 3: El diseño fomenta el bienestar a través del contacto con la naturaleza, los espacios al aire libre y los senderos sensoriales.

- ODS 4: El proyecto incluye áreas de talleres educativos que abarcan la formación en sostenibilidad y artes locales.
- ODS 5: Los espacios accesibles y el diseño inclusivo garantizan la igualdad de uso y experiencia, independientemente del género.
- ODS 6: Se logra un uso eficiente del agua mediante sistemas de recolección de agua de lluvia, pavimentos permeables, y reciclaje total de aguas residuales o sanitarias.
- ODS 7: El diseño prepara la instalación de sistemas de energía renovable e incorpora eficiencia térmica pasiva, gracias a principios de arquitectura solar pasiva, cubiertas verdes y patios.
- ODS 8: Se apoya la economía local mediante la colaboración con artesanos y el uso de técnicas de construcción vernáculas.
- ODS 9: Innovación a través de la metodología biodigital y el uso de herramientas digitales en el diseño.
- ODS 10: Accesibilidad plena en todos los espacios, señalización táctil, visual y auditiva, y diversidad de experiencias sensoriales.
- ODS 11: Proyecto plenamente integrado en el paisaje, sin dañar el medio ambiente natural y con un impacto ecológico mínimo, a la vez que se potencia la biodiversidad.
- ODS 12: Selección de materiales locales, naturales y de bajo impacto ambiental, como el microcemento y el corcho expandido.
- ODS 13: Estrategias de control climático pasivo, techos verdes y un diseño adaptado al clima árido de Marruecos.
- ODS 14: Se evita la contaminación de los acuíferos mediante una gestión adecuada del suelo.
- ODS 15: Se conserva la topografía original y se integra la vegetación autóctona, respetando el equilibrio del ecosistema, a la vez que potenciándolo con superficies siempre bioreceptivas.
- ODS 16: El proyecto fomenta el respeto, la diversidad cultural y la convivencia mediante el uso comunitario de los espacios.
- ODS 17: Proyecto surge de un concurso internacional, en el marco de una red de cooperación académica y profesional, promovido por una entidad privada en coordinación con organismos públicos.

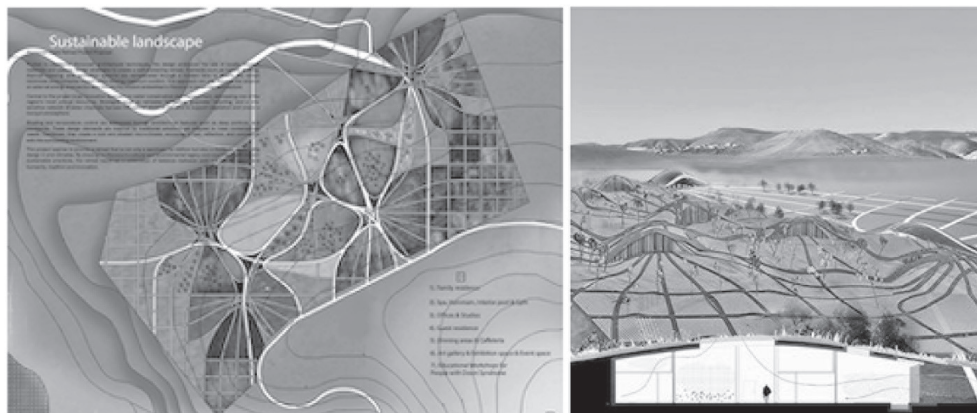


Figura 2. Alberto T. Estévez, Sustainable Landscape Project, Fez, 2024 (cols. Yomna K. Abdallah y Konstantina Melachropoulou, diseño computacional, y Zoe Brachmtein). Centrado en el cumplimiento de los 17 ODS de Naciones Unidas, y diseñado digitalmente con arquitectura solar pasiva y criterios vernáculos como territorio autosuficiente.

El caso del Barcelona Door of Europe Project (ciudad)

El Barcelona Door of Europe Project (*Ver Figura 3*) comienza como ejemplo para estimular una mayor conciencia y acción, buscando transformar la realidad de forma solidaria, en respuesta a desafíos contemporáneos de preocupación global, como la vulnerabilidad al cambio climático y las fluctuaciones migratorias: no sólo se aborda uno, dos o tres de los 17 ODS, como es habitual, sino que se considera la integración de todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En definitiva, “la casa es una máquina para vivir” de Le Corbusier queda obsoleta: ahora “la casa es una máquina para activar la sostenibilidad”.

Cuando las soluciones que se necesitan han de encarar simultáneamente los problemas ambientales y sociales. Ninguno de ellos puede resolverse de forma individual, porque la solución sólo se encuentra abordándolos todos a la vez: la ecología debe entenderse holísticamente, tanto como entorno como sociedad. Así es como se concibe una arquitectura que parte de esta ecología integral, a través del atajo de la autosuficiencia: “máquinas” biodigitales autosuficientes para un reequilibrio social y ecológico, en el frente marítimo de Barcelona, que requieren una mente abierta, sin prejuicios, generosa, para ser comprendido plenamente. Movimientos migratorios, vulnerabilidad social, emergencias bélicas o climáticas, extinción de especies, contaminación, basuras, dificultades en el acceso a recursos... 17 palabras para 17 objetivos: Pobreza, Hambre, Salud, Educación, Igualdad, Agua, Energía, Empleo, Innovación, Inclusión, Ciudad, Consumo, Clima, Mares, Biodiversidad,

Justicia, Alianzas. Todo ello, en cualquier acción humana, debe ser pensado e incluido simultáneamente y a la vez, pues los 17 están interconectados.

Esta propuesta especulativa que aspira a hacerse realidad, para una ecología verdaderamente integral, también actuaría como una puerta simbólica y funcional que encarna la transformación que conllevan la aplicación de los 17 ODS de la ONU. Y debe también decirse que el Barcelona Door of Europe Project es a la vez un proyecto de investigación, un proyecto docente y una propuesta arquitectónica real, que podría construirse hoy mismo, ya que no tiene nada de utópico. Solo requiere la voluntad de las distintas partes implicadas. Una propuesta resuelta con torres, no con rascacielos que no respetan la sostenibilidad. Torres con la altura máxima de los árboles más altos del planeta, la *Sequoia sempervirens* (la más alta, con 116 metros de altura, y ahora también el edificio de madera más alto, con 100 metros). Comprendiendo de nuevo aquella frase de Antoni Gaudí, que revelaba su (bio)aprendizaje de los árboles, que de hecho son las “máquinas” más eficientes para impulsar la sostenibilidad. Como se ha comentado ya, un árbol es autosuficiente, y vive en el mismo lugar con lo que tiene en su entorno próximo. Igualmente, la arquitectura necesita ser autosuficiente, tanto ambiental como socialmente.

Este (bio)aprendizaje de los árboles también incluye soluciones estructurales para la arquitectura, ya que la fractalidad se encuentra en la naturaleza para resolver los cambios de tamaño, de pequeño a grande. Así, las soluciones fractales se integran en el diseño arquitectónico. Y como todo está gobernado y controlado digitalmente, las matemáticas detrás del software gráfico aseguran la armonía, una belleza objetiva del conjunto. Armonía debido a las similitudes “genéticas” entre lo biológico y lo digital, donde el ADN es como un software natural y el software es como un ADN artificial.

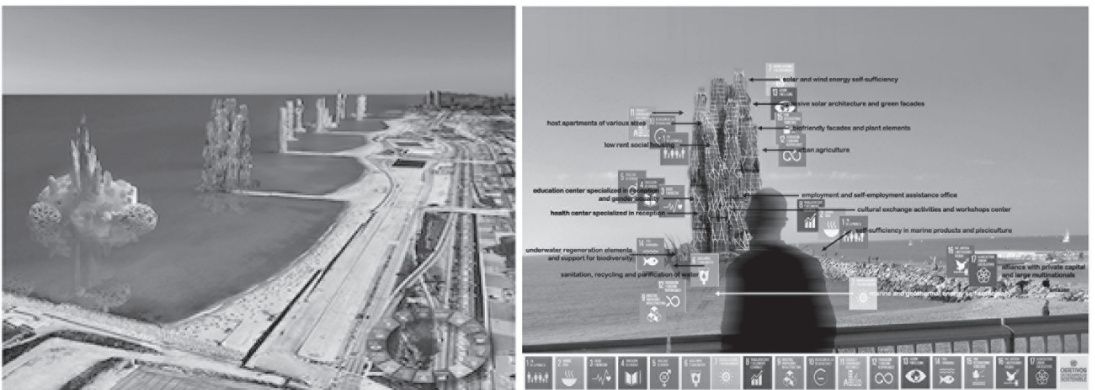


Figura 3. Alberto T. Estévez, Barcelona Door of Europe Project, 2008-hoy. Torres biodigitales autosuficientes en el frente marítimo de Barcelona, para una verdadera ecología integral, que es lograr un equilibrio social y medioambiental, y que además actúan como puerta de entrada simbólica y funcional, encarnando la necesaria transformación de nuestras ciudades, siguiendo los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.

Conclusión: hacia una nueva era de la arquitectura y del diseño

En realidad, el organicismo biodigital, que contempla el bioaprendizaje, representa una de las transformaciones más trascendentes en la historia de la arquitectura y del diseño. Su consolidación implica una nueva forma de entender la relación entre naturaleza, tecnología y sociedad, y abre la posibilidad de desarrollar una arquitectura y un diseño verdaderamente integrados en los sistemas vivos del planeta. Pues, la arquitectura y el diseño del siglo XXI ya no pueden ser ajenos a la vida: lo vivo, las “máquinas” más eficientes para activar la sostenibilidad planetaria. Así, la consolidación del organicismo biodigital representa el matrimonio final entre la sabiduría biológica y la técnica humana, la inteligencia natural y la inteligencia artificial, el bio-learning y el machine-learning. El mapa está trazado, donde la computación no sirve para alienarnos de la naturaleza, sino para volver a ella con una comprensión profunda de sus leyes. Entonces, al final del camino, los edificios que se proyecten hoy bajo este paradigma serán los bosques del mañana: estructuras que no solo albergan vida, sino que son, en sí mismas, la manifestación más avanzada de lo vivo. Y como se ha visto, no se trata de una tendencia estética pasajera, sino de un imperativo ético y técnico. Alejarse de la imitación superficial y abrazar un bioaprendizaje profundo. Solo así se podrá construir un hábitat que no sólo “no dañe” al planeta, sino que se integre en sus ciclos vitales como un organismo más. La vanguardia biodigital es, en última instancia, el camino hacia una arquitectura que, por fin, esté viva.

Pero para todo ello debe haber también un compromiso ante la importancia de la educación sobre estas nuevas vanguardias, para evitar que la arquitectura y el diseño se queden atrás en la gran transición ecológica integral del siglo XXI. La consolidación de estas vanguardias requiere un cambio profundo también en la pedagogía, en las escuelas, en la “academia moderna”, que, desde su mediocridad y miopía, ve todo esto como un caprichoso exotismo, tal como ya pasó con la academia del siglo XIX ante la secesión del Art Nouveau y luego del movimiento moderno. Sin embargo, el arquitecto y el diseñador que realmente esté atento a nuestro *Zeitgeist*, el que sí esté adecuado a nuestros tiempos, irá necesariamente detrás de ser un arquitecto y un diseñador con interés y conocimientos de lo biológico y de lo digital.

Y es que todo esto no es ningún lujo, sino que tiene detrás una responsabilidad ética frente al planeta, es un imperativo de supervivencia. Cuando la fragmentación entre lo social y lo medioambiental es lo que ha causado la crisis climática actual. Ante ello el organicismo biodigital propone una integración total: el bienestar humano (social) depende de la salud del sistema vivo (medioambiental). Sin dejarse engañar por la hipocresía del *greenwashing*, al que en parte pertenece esa biomimética simplona y vacía, por muy de moda que esté, siendo es a menudo una “cortina de humo”, pues el verdadero progreso no está en la apariencia de lo orgánico, sino en la adopción de sus leyes. No se necesitan edificios que parezcan árboles, se necesitan edificios que funcionen como árboles: que respiren, que limpien el aire, que se alimenten de sol y que se biodegraden al morir, para engendrar nueva vida. Si finalmente se es capaz de crear arquitectura y diseño con bioaprendizaje, se irá borrando la frontera entre lo artificial y lo natural. Y el siglo XXI será recordado como el momento en que la humanidad dejó de luchar contra la naturaleza para empezar a diseñar con ella, hasta diseñarla a ella misma, a través del lenguaje universal de la vida y de los datos.

Referencias bibliográficas

- Endell, A. (1896). *Um die Schönheit*. Verlag von Emil Franke,
- Estévez, A. T. (2002 A). Arquitecturas genéticas: el nuevo proyectar cibernético-digital y el nuevo proyectar ecológico-medioambiental. En AA.VV., *Memorias, vol. II* (pp.406-409). Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática, CISCI.
- Estévez, A. T. (2002 B). El nuevo proyectar cibernético y el nuevo proyectar ecológico. En AA.VV., *Libro de ponencias* (pp.10-13). SIGRADI Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital.
- Estévez, A. T. (2002 C). *Gaudí*. Susaeta.
- Estévez, A. T. (2003). Arquitecturas genéticas. En AA.VV., *Arquitecturas genéticas* (pp. 4-17). SITES Books / ESARQ-UIC.
- Estévez, A. T. (2005). Arquitectura biomórfica: organicismo digital, la vanguardia arquitectónica de los primeros años del siglo XXI. En AA.VV., *Arquitecturas genéticas II: medios digitales y formas orgánicas* (pp. 18-53 / 54-80). SITES Books / ESARQ-UIC.
- Puig-Boada, I. (2004 (1981)). *El pensament de Gaudí*. Dux.
- Ràfols, J. F. (1999 (1928)). *Gaudí 1852-1926*. Claret.

Abstract: At the end of the 1990s, what would later consolidate into a new cyber-digital and ecological-environmental mode of design (Estévez, 2002A) began to emerge, subsequently spreading across the world. This development has ultimately consolidated in the twenty-first century as the new avant-gardes of biological and digital architecture and design, and their biodigital fusion. This phenomenon, which may be defined as digital organicism, grounded in biolearning as its projectual foundation, came to be designated as biodigital organicism.

It is now placed at the service –serving as advanced and key tools for more sustainable and efficient conception, definition, and fabrication– of another fusion between the environmental and the social. This fusion currently constitutes the inseparable and global understanding that must be achieved in order to address the problems affecting the planet at their roots, rather than through superficial solutions that function as temporary smoke-screens, sometimes hypocritical in nature.

Meanwhile, projected, constructed, or fabricated examples of architecture and design that may be understood within digital and biolearned organicism –and therefore within biodigital organicism– are multiplying across the planet. It should, however, be noted that the fashionable term “biomimetics” does not necessarily imply digital development, nor that any real learning has taken place from biology or living systems; rather, it often amounts to little more than a slight inspiration or mere imitation.

Keywords: Biodigital organicism - Digital organicism - Biolearning - Biodigital - Biodigital architecture - Biodigital design - Genetic architectures

Resumo: No final da década de 1990, aquilo que viria a consolidar-se como um novo projetar cibernético-digital e ecológico-ambiental (Estévez, 2002A) começou a manifestar-se, disseminando-se posteriormente por todo o mundo. Esse processo acabou por consolidar-se no século XXI como as novas vanguardas da arquitetura e do design biológico e digital, bem como a sua fusão biodigital. Tal fenômeno, que pode ser definido como organicismo digital, fundamentado em bioaprendizagem como base projetual, passou a ser denominado organicismo biodigital.

Atualmente, coloca-se ao serviço –como ferramentas avançadas e essenciais para uma concepção, definição e fabricação mais sustentáveis e eficientes– de outra fusão entre o ambiental e o social. Essa fusão constitui hoje a compreensão inseparável e global que deve ser alcançada para enfrentar os problemas que afetam o planeta desde a sua raiz, evitando soluções superficiais que funcionam como cortinas de fumaça temporárias, por vezes hipócritas.

Enquanto isso, exemplos projetados, construídos ou fabricados de arquitetura e design que podem ser compreendidos no âmbito do organicismo digital e bioaprendido –e, portanto, do organicismo biodigital– multiplicam-se por todo o planeta. Deve-se, contudo, salientar que o termo em voga “biomimética” não significa necessariamente desenvolvimento digital nem que tenha ocorrido um aprendizado real a partir da biologia ou dos sistemas vivos; muitas vezes trata-se apenas de uma leve inspiração ou mera imitação.

Palavras-chave: Organicismo biodigital - Organicismo digital - Bioaprendizagem - Biodigital - Arquitetura biodigital - Design biodigital - Arquiteturas genéticas

⁽¹⁾ **Alberto T. Estévez**, Arquitecto (UPC, 1983: llegando a ser el arquitecto más joven de España), Doctor en Ciencias (Arquitectura, UPC, 1990: *Cum Laude*), Historiador del Arte (UB, 1994: Premio Extraordinario Fin de Carrera), Doctor en Letras (Historia del Arte, UB, 2008: *Cum Laude*), con oficina de arquitectura y diseño en Barcelona (1983-hoy), creando gran número de proyectos y obras de edificios, interiores, mobiliario, objetos, grafismo y fotografía. Más de 40 años de docencia e investigación entre las universidades de UPC, TU Wien, HSAK Vienna, UB, Elisava-UPF, UDEM, USTA, y UIC Barcelona, en las Áreas de Proyectos Arquitectónicos, Composición Arquitectónica e Historia del Arte. Fundador y primer director de la ESARQ-UIC Barcelona School of Architecture (1996), donde ejerce como Catedrático de Arquitectura hasta hoy. Creador de los grupos de investigación, máster y doctorado “Historia, Arquitectura y Diseño” (UIC, 1998-hoy), y “Arquitecturas Genéticas” (UIC, 2000-hoy), actualmente Máster de Arquitectura Biodigital. Así como creador del Máster de Cooperación Internacional con Amanda Schachter y Alex Levi (UIC, 2004-hoy). Con más de tres centenares de publicaciones, ha participado en decenas de exposiciones, congresos y comités, invitado a impartir más de 100 conferencias por todo el mundo sobre sus ideas, proyectos y obras. Ha sido director de más de 30 Tesis Doctorales, y de más de cien Tesis de Máster y Trabajos Fin de Grado. Con 7 sexenios de investigación oficialmente reconocidos en el Área de Proyectos Arquitectónicos por agen-

cias de calidad gubernamentales. Fundador-director del iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture & Genetics), y Fundador del Doctorado en Arquitectura de la UIC Barcelona, del que ha sido su primer director. Últimamente fue también Vicerrector-Gerente de la UIC Barcelona (Universitat Internacional de Catalunya).