

## Biodiseño y Bioaprendizaje: Diálogo con sistemas naturales y complejos

Claudia Alquezar Facca <sup>(1)</sup>, Agda Regina Carvalho <sup>(2)</sup>,  
Viviane Tavares de Moraes <sup>(3)</sup> y Cleomar Rocha <sup>(4)</sup>

---

**Resumen:** En el contexto actual, los procesos colaborativos se intensificaron con la pandemia y reiteran la práctica de la interrelación entre los campos del saber, lo que revela una discusión sobre el aspecto interdisciplinario del aprendizaje en el ámbito del diseño y la aproximación con la naturaleza. A través del Biodiseño, la integración del diseño con los sistemas biológicos, y el Bioaprendizaje, entendiendo la economía y la eficiencia que nos enseña la naturaleza, se presentan investigaciones, análisis, experiencias, reflexiones y casos de estudio en los que los sistemas naturales y complejos dialogan entre sí y apuntan hacia la sostenibilidad, caminos y soluciones a problemas de diseño vividos en la contemporaneidad.

**Palabras clave:** Biodiseño - Bioaprendizaje - Sistemas Complejos - Naturaleza - Procesos Colaborativos - Interdisciplinariedad - Tecnología Digital - Sostenibilidad - Ingeniería - Biomateriales

[Resúmenes en inglés y en portugués en la página 185]

---

<sup>(1)</sup> **Claudia Alquezar Facca** es Diseñadora, Educadora e Investigadora en Diseño. Maestría y Doctorado en Diseño (Universidad Anhembi Morumbi, SP/Brasil), Doctorado *Sandwich*, con beca da Capes (Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, Portugal). Especialización en Comunicación y Artes y Didáctica de la Educación Superior (Universidade Presbiteriana Mackenzie, SP/Brasil). Graduación en Diseño Industrial - Diseño de Producto (Universidade Presbiteriana Mackenzie, SP/Brasil). Profesora titular y Coordinadora del Curso de Graduación en Diseño del Centro Universitario del Instituto Mauá de Tecnología - CEUN-IMT (SP/Brasil), desde 2009. Responsable de la gestión de proyectos en el 1961 Estudio de Diseño del Centro de Investigación (IMT). Investigadora en los grupos de investigación: LabDesign (CEUN-IMT), Educación en Ingeniería, Diseño y Administración (CEUN-IMT) e Inovassign (UFMS). Parte del Centro de Diseño de Movilidad de SAE Brasil (Sociedad de Ingenieros Automotrices). Autora de dos libros y numerosos artículos y miembro del comité científico y jurado de varios eventos científicos y culturales. Tiene interés y producción científica en: Metodología de Proyectos, Investigación en Diseño, Enseñanza y Aprendizaje en Diseño e Ingeniería, Multi, Inter y Transdisciplinariedad, Estrategias Activas de Aprendizaje, Design Thinking, Educación y Cultura *Maker*, Fabricación Digital, Fab Labs, etc. [claudiafacca@maua.br](mailto:claudiafacca@maua.br)

<sup>(2)</sup> **Agda Regina Carvalho** es Artista visual. Posdoctorado en Artes - Instituto de Arte/UNESP y en Humanidades Digitales - Media Lab/UFG. Doctorado en Ciencias de la Comunicación - ECA/USP. Maestría en Artes Visuales - Instituto de Arte/UNESP. Profesora titular, investigadora y Líder del Grupo de Investigación LabDesign: Procesos Creativos, Experiencia e Innovación de Diseño en el Centro Universitario del Instituto Mauá de Tecnología (CEUN-IMT). Participa en la Línea de Creación en Arte y Ciencia del Grupo de Investigación Internacional e Interinstitucional entre Arte, Ciencia y Tecnología (GIIP/UNESP). Actuó en el PPG - Maestría y Doctorado en Diseño - Universidad Anhembi Morumbi (2011-2019) y en el PPG en Moda, Cultura y Arte en el SENAC/SP (2002–2009). Coordinó el proyecto de Reconstitución del Ballet Triádico de la Bauhaus - Centro Universitario SENAC/SP (2007-2009). Integró el Jurado del Premio Museu da Casa Brasileira (2019-2021). Integra las publicaciones: Diseño Contemporáneo (2005), Formas de ver la moda (2010), Sintonía de la moda (2010), Cuerpo y ropa (2015), Dimensiones: Arte\_Diseño\_Tecnología (2020), Conectar la cultura (2021), Dimensiones del arte y la tecnología (2022). Participa en exposiciones nacionales y internacionales. Desarrolla investigaciones y proyectos que abordan la articulación entre Diseño, Arte y Tecnología y la experiencia del cuerpo/espacio. [agdacarvalho@maua.br](mailto:agdacarvalho@maua.br)

<sup>(3)</sup> **Viviane Tavares de Moraes** es Profesora en el Centro Universitario del Instituto Mauá de Tecnología (CEUN-IMT), Cursos de Diseño y Ingeniería Mecánica. Posdoctorado en Ingeniería Química y en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales de la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo (POLI-USP). Tiene dos grados, en Tecnología Ambiental y en Ingeniería Ambiental. Desarrolló proyecto de investigación para su maestría y doctorado en el Departamento de Ingeniería Metalúrgica (USP). Tiene experiencia en química, medioambiente y metalurgia extractiva, tratamiento de residuos, efluentes y emisiones atmosféricas, trabajando principalmente en: residuos electrónicos, reciclaje, recuperación de metales, tratamiento de efluentes, análisis de ciclo de vida de productos y nanomateriales. Tiene experiencia en la gestión de grupo de investigación con estudiantes de maestría, doctorado e iniciación científica, actuando en el área de desarrollo de proyectos de investigación para obtener financiamiento de Capes, CNPq, Fapesp y Finep. Participa activamente en la adquisición de nuevos equipos, infraestructura de laboratorios y Centros Multiusuario, así como en el desarrollo de nuevos proyectos, rendición de cuentas e informes técnicos. Trabaja en el Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (CEUN-IMT), donde desarrolla investigaciones sobre nanomateriales. [viviane.moraes@maua.br](mailto:viviane.moraes@maua.br)

<sup>(4)</sup> **Cleomar Rocha** es Posdoctorado en Arte y Ciudades Inteligentes (USP), Poética Interdisciplinaria (UFRJ), Estudios Culturales (UFRJ) y en Tecnologías de Inteligencia y Diseño Digital (PUC-SP). Doctorado en Comunicación y Cultura Contemporánea (UFBA), Maestría en Arte y Tecnología de la Imagen (UnB) y con Licencia en Letras (FECLIP). Profesor del Programa de Posgrado en Artes Visuales y Cultura de la Facultad de Artes Visuales (Universidad Federal de Goiás - UFG). Coordinador del Laboratorio de Investigación, Desarrollo e Innovación en Medios Interactivos en UFG (Media Lab / UFG). Artista investigador con proyectos e investigación en diseño de interfaces, medios interactivos, interfaces computacionales y arte tecnológico. Investigador productividad CNPq. [cleomarrocha@gmail.com](mailto:cleomarrocha@gmail.com)

## Introducción

Indeleblemente, la contemporaneidad se vincula al desarrollo de la inteligencia y de su modelo basado en el método científico. Denominada sociedad del conocimiento o sociedad de la información (Castells, 2000), la marca social de lo contemporáneo tiene un estrecho vínculo al conocimiento y a la fecunda e incesante producción de información y datos, ya sea por el carácter tecnológico con el que se organiza la sociedad, o por todo lo necesario para mantener un modelo que fuera capaz de incrementar la esperanza de vida media mundial de menos de treinta años a mediados del siglo XIX, a más de setenta años en el siglo XXI<sup>1</sup>.

El método científico caracteriza el concepto contemporáneo de inteligencia y el *modus operandi* de la actividad social, que se basan en lo colectivo, la base para la verificación y validación del conocimiento, convertido en un hecho cultural de constitución colaborativa. De esta máxima se deriva todo un marco teórico, como el concepto de Inteligencia Colectiva (Lévy, 1999) e incluso las divisiones de los conceptos de Sociedad de la Información (Castells, 2000), Cultura de la Convergencia (Jenkins, 2009) y Modernidad Líquida (Bauman, 2001), entre otros.

La conectividad, ese espíritu colaborativo intensificado por la tecnología, no se limita a las conexiones entre seres humanos mediadas por dispositivos y equipos tecnológicos. Por otra parte, la conectividad indica el vínculo interactivo, o sea, de acciones y actividades, generando otras acciones y actividades (Rocha, 2014), entre seres humanos y no humanos, en todas sus configuraciones, pudiendo ser inter o intra-especies.

Este vector de desarrollo catapultó la idea de transdisciplinariedad a otros niveles, superando la noción de acercamiento, comparación y transversalidad, abarcando a la comunicación, relación y complementación, algo que hasta el momento sólo existía en la ciencia ficción. Además de la creatividad ficcional, las metodologías y epistemes holísticas terminan provocando un giro epistemológico, generando la crisis del Antropoceno. Esta desalineación con la centralidad de lo humano, aunque allí resida la regla del conocimiento y su comprensión como tal, plantea un nuevo diapasón epistémico, posibilitando nuevos modelos de conexión, ya sean de teorías del conocimiento o de abordajes y metodologías. En este fructífero campo conectivo, fértil en entrecruzamientos y mezclas, en parte derivado de la afición por lo híbrido como condición postmoderna, han florecido no sólo nuevos abordajes sino también sensibilidad hacia él. La pandemia del Covid-19, expandida por todo el globo y que provoca nuevas posibilidades de conexión, en un mundo sostenido por la tecnología, pero también y, fundamentalmente, por la emergencia de un tiempo guiado por la conectividad como la dermis, ha acelerado los procesos de mediación entre los seres humanos y lo no humano, demostrando que la conectividad no es un gusto de un tiempo, sino la noción misma de tiempo del hoy.

En esta capa sociocientífica que se traduce como la piel de la cultura contemporánea, se hace notar una nueva performatividad epistemológica y metodológica, fuertemente arraigada en la conectividad, los modelos colaborativos y la transdisciplinariedad. El acento especialista creado en la modernidad cede su espacio a intersticios y entrelíneas, puntos de convergencia, confluencia y conexión, con protagonismo del pensamiento complejo,

amalgamados en redes, escenarios performativos para algoritmos, computación predictiva y distintas intersecciones.

Es en este contexto que tanto el Biodiseño como el Bioaprendizaje florecen como propuestas metodológicas, al aproximar, atravesar y convertir en híbridos conceptos, métodos y técnicas, satisfaciendo las demandas correlacionales de las áreas, extrapolando sus límites disciplinarios y experimentando el surgimiento del pensamiento complejo (Johnson, 2003). Más que una aproximación, la amalgama resultante de las áreas, como una trama de hilos revueltos, crea nuevos patrones lanzando nuevas órbitas de significado, nuevas magnitudes gravitatorias semánticas. Y es precisamente donde se encuentran los modelos que, en lugar de restar, suman voces en la polifonía de lo contemporáneo, resonando más allá de dos áreas de conocimiento: resuenan en el universo, sobre todo al acechar a las lógicas de los códigos, la naturaleza, la cultura y el mundo.

Este artículo aborda el pensamiento complejo que puede verificarse en las condiciones ontológicas del Biodiseño y el Bioaprendizaje, realizando una exploración conceptual y contextual para el correcto establecimiento del enfoque y, posteriormente, analiza los proyectos que preconizan esta sistematización lógica, un ejercicio necesario para la asimilación de modelos. Este escrutinio pretende identificar el vector de nuestra época, si no fuera posible en características construidas objetivamente, al menos en abordar nuevas visiones epistemológicas y metodológicas, como base del *corpus* de nuestro análisis. La articulación inter e intra-especies, el pensamiento complejo y el contexto sociocultural contemporáneo son, por así decirlo, palco y escenario de los objetos mencionados aquí, el Biodiseño y el Bioaprendizaje.

Además de la tematización, debemos señalar el carácter colaborativo de la investigación y del texto que de ella resulta, en la combinación de pensamientos, cuerpos, códigos y perspectivas, igualmente completos y amplios. La elaboración colaborativa es, en sí misma, un ejemplo pragmático de lo que aquí se discute, en la condición límite de teorizar y practicar. Más que eso, es el establecimiento de una *praxis* adherente a su tiempo, a los diversos espacios e inquietudes del mundo, afligido y ansioso por nuevas paralizaciones ontológicamente constituidas y amigables amalgamadas con lo contemporáneo.

## Biodiseño y Bioaprendizaje

El diseño inspirado en la biología es un abordaje transdisciplinario (Facca, 2022) que une el diseño, la biología y la tecnología, generando conocimiento más allá de los límites disciplinarios, aplicando soluciones de sistemas biológicos en investigación y desarrollo a invenciones e innovaciones técnicas (Farzaneh & Lindemann, 2019). El diseño bioinspirado es la conceptualización o interpretación de principios biológicos, incluidas funciones y soluciones, con el objetivo de diseñar productos, procesos y sistemas para abordar problemas humanos (ISO, 2013).

A pesar del alto potencial de innovación, las barreras disciplinarias son uno de los principales retos del diseño bioinspirado. Los objetivos, los abordajes de trabajo y el lenguaje de la biología y el desarrollo técnico de productos son fundamentalmente diferentes. La

biología es una ciencia natural que busca comprender los sistemas vivos y el diseño de productos o ingeniería busca desarrollar sistemas técnicos. Por lo tanto, la diferencia entre el objetivo biológico de comprensión y el objetivo técnico de desarrollo refleja los distintos abordajes de trabajo de biólogos, diseñadores e ingenieros (Farzaneh & Lindemann, 2019).

El Biodiseño es un concepto relativamente nuevo. La idea de analizar soluciones biológicas para el desarrollo de sistemas y controles comenzó en la década de 1920, a partir de la Biónica<sup>2</sup> y con el tiempo se fue expandiendo y aplicando en distintos campos tecnológicos de la electrónica, aeronáutica y navegación. Lentamente, fueron surgiendo otros términos muy utilizados, como Biomimetismo<sup>3</sup> que aportaron nuevas analogías de los sistemas biológicos al desarrollo de soluciones a problemas de ingeniería, arquitectura, diseño industrial, robótica, medicina, etc. (Farzaneh & Lindemann, 2019). El término Biodiseño, creado por William Myers en 2012, es

“un abordaje emergente y, a menudo radical del diseño, que se basa en principios biológicos e incluso incorpora el uso de materiales vivos a estructuras, objetos y herramientas” (Myers, 2012).

Se puede considerar al Biodiseño como una extensión del diseño bioinspirado, que va más allá de su alcance inicial mediante la incorporación de componentes orgánicos vivos o que alguna vez lo fueron. Según estudios realizados por Esat y Ahmed-Kristensen (2018), el Biodiseño se clasificó en dos categorías principales:

- 1) Aplicaciones que involucren un organismo vivo genéticamente modificado o no (por ejemplo: la incorporación de bacterias en el concreto) y
- 2) Aplicaciones que involucren biomasa no viva, derivada de un organismo vivo o cuya biomasa muerta alguna vez fue un organismo vivo (por ejemplo: la celulosa utilizada en la *Biocouture*<sup>4</sup>).

La naturaleza y el estudio de los organismos vivos siempre han sido una importante y habitual fuente de inspiración para los proyectos de diseño e ingeniería centrados en el equilibrio y el bienestar humano, y el Biodiseño asume el papel de agente integrador entre el diseño y los sistemas biológicos, en muchas ocasiones utilizado para alcanzar un mejor desempeño ecológico (Myers, 2012). El Biodiseño no se limita a imitar las estructuras presentes en la naturaleza, sino que aprovecha todos sus elementos constituidos, yendo más allá de la imitación y el mimetismo para integrar y desdibujar fronteras (Vieira & Coelho, 2014). En la *Figura 1*, es posible visualizar los límites entre tales fronteras y las nuevas relaciones del diseño con el mundo natural, en una estructura para diseñar con sistemas vivos, según la visión de Collet (2019).

El Biodiseño incorpora los principios de vida inherentes de los sistemas biológicos vivos (cíclico, solar, local) al proceso de diseño para hacer la transición a un futuro más holístico, sostenible y regenerativo. La práctica del biodiseño puede referirse a una serie de estrategias de diseño que incluyen: diseño basado

en la biología (la naturaleza como recurso), diseño bioinformado (la naturaleza como modelo), diseño biointegrado (la naturaleza como colaboradora) y diseño de bioingeniería (naturaleza reprogramable) (Collet, 2019, s.n.).

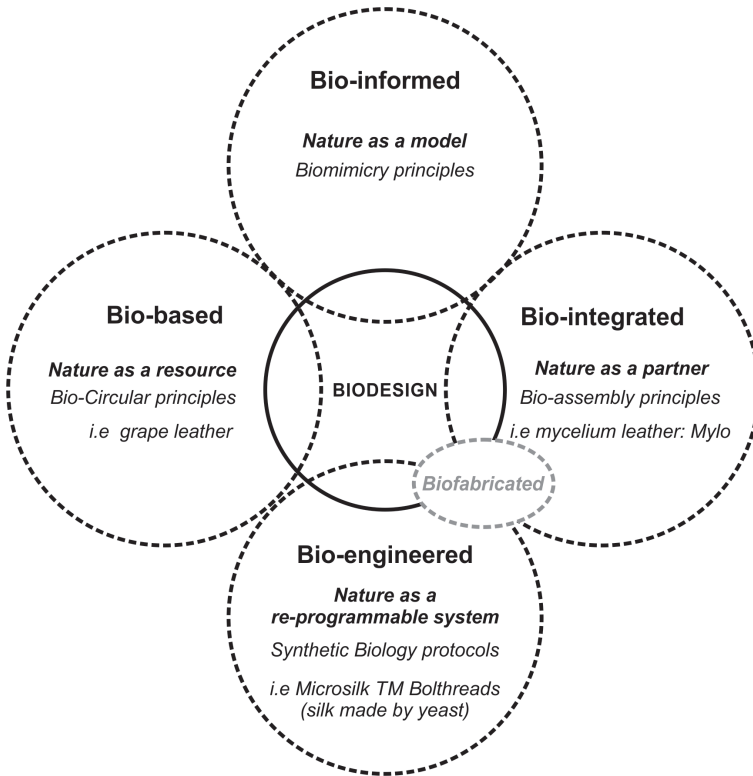


Figura 1. Biodesign Framework (Fuente: Collet, 2019).

Entendiendo la economía que nos enseña la naturaleza a través del Bioaprendizaje, es posible aprender a través de su lente, excelentes formas de supervivencia, máxima eficiencia y sostenibilidad, vislumbrando cómo el diseño puede mejorar la vida de los seres humanos, “probando” las estructuras naturales y encontrando soluciones para resolver problemas complejos (Estévez, 2020).

“El conocimiento no es exclusivo de los seres humanos, por el contrario, se extiende a todos los organismos vivos, porque éstos tienen la capacidad de aprender y es el modo de existencia lo que determina el fenómeno de la vida” (Bejarano, 2017, p. 53). De manera flexible y adaptativa, los seres vivos logran mantener la dinámica de seguir aprendiendo a través de procesos vitales y de cognición que hoy son propiedad del Bioaprendizaje.

El Bioaprendizaje se constituye en el marco vivencial y experimental en el que saberes, conocimientos, prácticas *-praxis-* median modos y medios de comprensión, interpretación, explicación y reflexión a través del lenguaje, los idiomas, sistemas de registro y la simbolización en una fusión constante entre las acciones humana y social y la interacción biopsicoantroposocialcultural orientada a la participación, socialización y construcción del conocimiento (Bejarano, 2017, p. 51).

Según el Bioaprendizaje, la forma más adecuada de aprender es “aprender viviendo y vivir aprendiendo”, donde aprendizaje y conocimiento se convierten en un proceso de integridad de todos los seres vivos. Esto se denomina morfogénesis del conocimiento: una cadena compleja de aprendizaje autoorganizada que mantiene el acoplamiento estructural con su ambiente (Bejarano, 2017, p. 53).

Con el objetivo de aproximar disciplinas y campos del conocimiento y reconectar saberes dispersos, sin fusionarlos en una hipotética síntesis global, los abordajes multi, inter y transdisciplinarios, teniendo como punto de anclaje a las disciplinas (pues ninguno de ellos se dice contra, anti o indisciplinario) tratan de redescubrir su objeto, método y sujeto, instaurando un nuevo espíritu científico (Couto 2011, Facca 2022).

## Biomateriales y tecnologías digitales

La complejidad del ecosistema y las estructuras de la naturaleza abren posibilidades y relaciones que se articulan con los diferentes campos del conocimiento en procesos colaborativos que resultan en una gran diversidad de aplicaciones como el uso de biomateriales, la observación de estructuras fúngicas, el abordaje de técnicas y métodos de resolución de problemas, el diseño de superficies, el acceso a tecnologías como el desarrollo de *wearables* o dispositivos de vestir.

Se observa que los biomateriales son sustancias químicas orgánicas que, en los últimos años, se han destacado por la creciente demanda de los sustitutos de polímeros sintéticos no biodegradables. Estos materiales tienen algunas propiedades similares a los polímeros sintéticos, pero su proceso de degradación puede variar de 2 meses a 3 años, si se mantienen en condiciones favorables, tales como la humedad y los nutrientes.

De estos biomateriales es posible extraer sustancias químicas que, una vez procesadas, pueden componer una gran variedad de aplicaciones, ya sea en el área de alimentos, como envases biodegradables, o en la pigmentación en el área textil, así como es posible extraer formas que se pueden utilizar, a modo de referencia, en proyectos funcionales desarrollados

por diseñadores, artistas y arquitectos. La extracción de formas basadas en la naturaleza es parte del biomimetismo, que cuando se utiliza para brindar funcionalidad, puede beneficiar la vida cotidiana de los seres humanos. “El hacer (*poien*) toma la naturaleza (*physis*) como medida de su acción. Simplemente actualiza, a través del gesto productivo, lo que está potencialmente en la naturaleza, lo que espera ser realizado” (Maffesoli, 2022, p. 45). Algunos ejemplos de la aplicación del biomimetismo en el área de la ingeniería con la influencia del diseño teniendo como referencia la naturaleza fue el tren bala en Japón, que puede alcanzar una velocidad de 300 km/h, pero que ocasionaba molestias acústicas debido a la explosión sónica, cuyas vibraciones eran posibles sentirlas a 400 m de la estación de tren. El problema se resolvió cambiando el diseño del pico del tren, inspirándose en la forma del pico de un pájaro llamado Martín Pescador, haciendo que el tren fuera más silencioso, un 10% más rápido y un 15% más económico (Crandell *et.al.*, 2019).

Un ejemplo común que puede pasar desapercibido es el Velcro, usado normalmente en la ropa, inspirado en la planta conocida comúnmente como rebaba (una planta del género *Arctium*) que, a las lentes del microscopio, se pueden observar pequeñas curvas en la punta de las varillas alrededor del centro de la planta. Casos de éxito con la observación de las formas de las alas de las mariposas han inspirado trabajos sobre superficies repelentes que colaboran con una menor fricción entre superficies, mejorando el desplazamiento de barcos, promoviendo superficies autolimpiantes de fachadas y pinturas de edificios. Un ejemplo por destacar en el campo de la arquitectura es el *Shopping Eastgate Centre*, ubicado en Zimbabue, que cuenta con un sistema de refrigeración inspirado en los termiteros, permitiendo la circulación de aire, mejorando en un 10% la eficiencia energética.

Otro ejemplo de la industria textil fue el traje de baño de alto rendimiento basado en la estructura y formas de la piel de tiburón, que permiten el paso suave del agua sobre la superficie del tejido debido a la forma de las dendritas de la piel. Esta tecnología asociada con el biomimetismo le valió al nadador estadounidense Michael Phelps un récord de ocho medallas de oro por su velocidad. Este traje, denominado *Fastskin LZR Racer*<sup>®</sup>, fue desarrollado con ayuda de la NASA (Shiyak, 2010).

Una tendencia en el área textil son los tejidos inteligentes e interactivos, que tienen la capacidad de reaccionar ante estímulos externos tales como eléctricos, mecánicos, químicos, térmicos o magnéticos del entorno.

Un tejido compuesto por fibras poliméricas fotónicas con hilos textiles y nanotecnología creado en colaboración con el *Nanotechnology Center for Functional and Intelligent Textiles and Apparel* (Hong Kong) desarrolló la tecnología *RadianFab*, que forma un tejido fotónico, flexible, liviano, suave y capaz de controlar el color, la intensidad y la luz (Institute of Textiles and Clothing, 2010).

En el caso del uso de procesos de fabricación digital, como la impresión en 3D y la investigación basada en tecnologías digitales, como el uso de equipos *SEM - Scanning Electronic Microscopy*, estas tecnologías digitales son herramientas que brindan soporte a la materialización de formas extraídas de la naturaleza, como por ejemplo la impresión en 3D o la fabricación aditiva de formas orgánicas, respetando la textura y funcionalidad del producto final.

Para la investigación de formas y texturas también se utilizan técnicas de microscopía electrónica de barrido con aumentos de 2.000 veces para algunas formas orgánicas, pudiendo



llegar a 100.000 cuando se trata de nanotecnología. Esta técnica tiene como objetivo identificar formas y texturas para detectar mecanismos y fenómenos naturales asociados a la funcionalidad, interactividad y conectividad de los materiales presentes en la naturaleza.

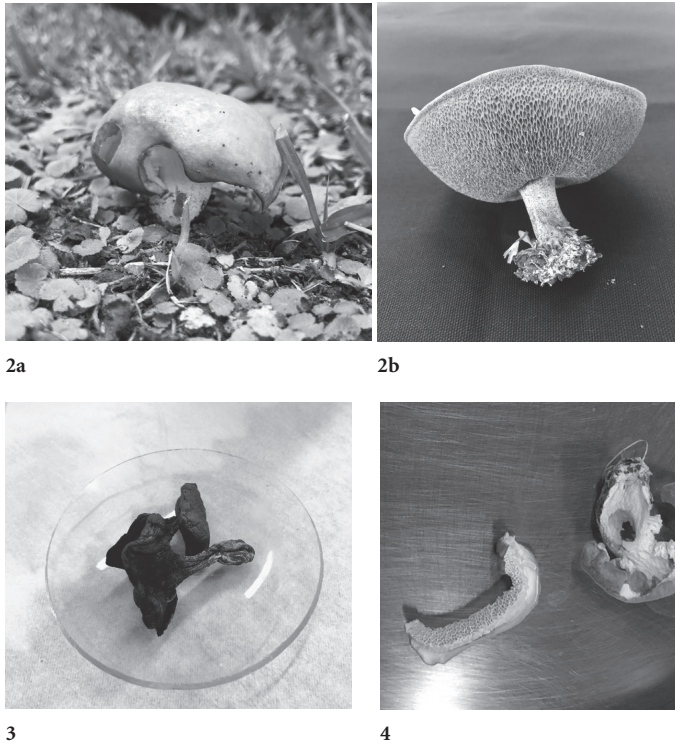
### **Proyecto *Wearable HIFA: Human + Interface + Fungi + Accessory***<sup>5</sup>

*Wearable HIFA* es un proyecto iniciado en 2022, con un equipo multidisciplinario que aborda el complejo sistema postpandemia para vislumbrar futuros, que ahora reconsidera la configuración de lugares y la percepción del mundo y las cosas con distintas reglas de sociabilidad. HIFA “es un acrónimo de los conceptos “*Human*”, “*Interface*”, “*Fungi*” y “*Accessory*” que resumen las pretensiones de análisis del diseño como un accesorio para vestir basado en estructuras naturales, concretamente hongos, y que hace de interfaz de conexión y mediación entre las personas” (Carvalho *et. al.*, 2022). HIFA dialoga con este tiempo, en el que las relaciones sociales y los fenómenos cotidianos evidencian las articulaciones con el sistema de la naturaleza y el pensamiento tecnológico y digital, un biodiseño digital con interconexiones en constante reorganización.

Este tiempo de reconexión con las relaciones humanas y de comprensión de los fenómenos cotidianos y de afrontamiento de la imprevisibilidad, despierta la reflexión de aspectos sensorio-cognitivos en el espacio vivencial. Es posible observar que:

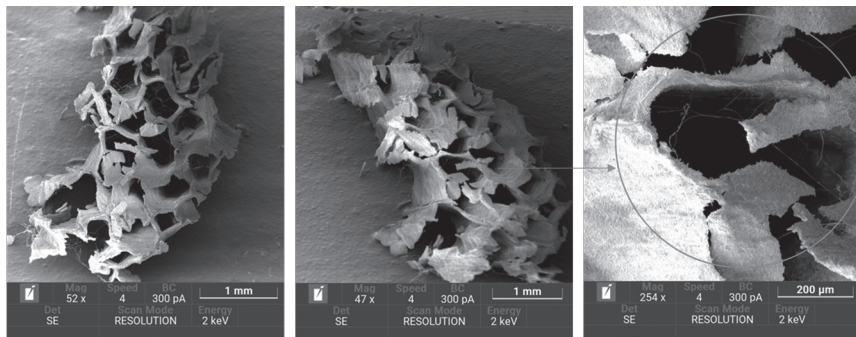
“La naturaleza, el mundo, la sociedad y la vida son, en verdad, la mejor expresión de un problema fantástico: el tiempo, y más específicamente, la flecha del tiempo. [...] Digamos que las ciencias del futuro se ocupan, mucho más que de realidades, de posibilidades e incluso de imposibilidades; de irregularidades mucho mejor que de actualidades” (Maldonado, 2022, p.14).

Los hongos seleccionados como referencia para este proyecto brotaron en el *campus* del Instituto Mauá de Tecnología, un espacio de convivencia entre investigadores y naturaleza; donde compartir muestra la armonía entre lo humano y lo no humano (Ver *Figura 2*). Esta relación entre el comportamiento humano y los hongos también asocia al hecho de que estos organismos tienen múltiples conexiones entre sus individuos, que se propagan a través de innumerables “hifas”, un conjunto de filamentos microscópicos enredados llamados micelios que sostienen y nutren al hongo, denominada la internet de la naturaleza.

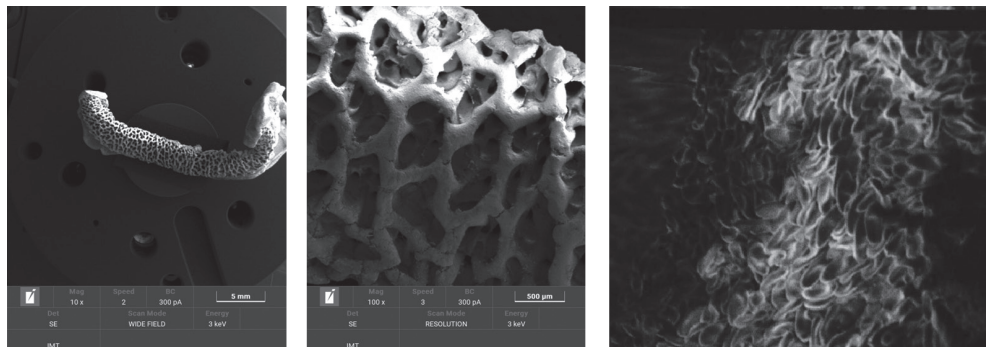


**Figura 2a y 2b.** Hongo cosechado y utilizado en el Proyecto Hifa (Fuente: Archivo propio). **Figura 3.** Experimento 1 - Invernadero (Fuente: Archivo propio). **Figura 4.** Experimento 2 (Fuente: Archivo propio)

Las estrategias metodológicas son dinámicas y sus orígenes fueron discusiones y reflexiones que suscitaron acciones simultáneas de los miembros del equipo y encuentros con los investigadores que llevaron al desarrollo del *wearable*. De la observación y análisis morfológico del hongo surgieron dibujos, croquis, experimentos de laboratorio, estudios antropométricos e investigación de materiales, articulando con el Biomimetismo y el Biodiseño. Los dos experimentos en los laboratorios del Instituto Mauá de Tecnología tienen como objetivo observar el material recolectado a través de tecnologías digitales para analizar la morfología y utilizar el SEM (*Scanning Electron Microscope*) para capturar imágenes<sup>6</sup>. La preparación de la muestra se realizó de manera diferente en cada experimento. En el primer experimento, la muestra recolectada permaneció en un invernadero a 60 grados durante 4 días (Ver Figura 3), hecho éste que interfirió con la morfología del material. En el segundo experimento, el hongo se congeló a 40 grados durante 1 hora y permaneció en el liofilizador durante 7 horas (Ver Figura 4).



5



6

**Figura 5.** Experimento 1 - Análisis morfológico de microscopía de barrido (en secuencia aumento 52 veces, 47 de Inclinación y aumento 54 veces (Fuente: Archivo propio). **Figura 6.** Experimento 2 con la muestra liofilizada - Aumento 10, 100 y 2000 veces (Fuente: Archivo propio).

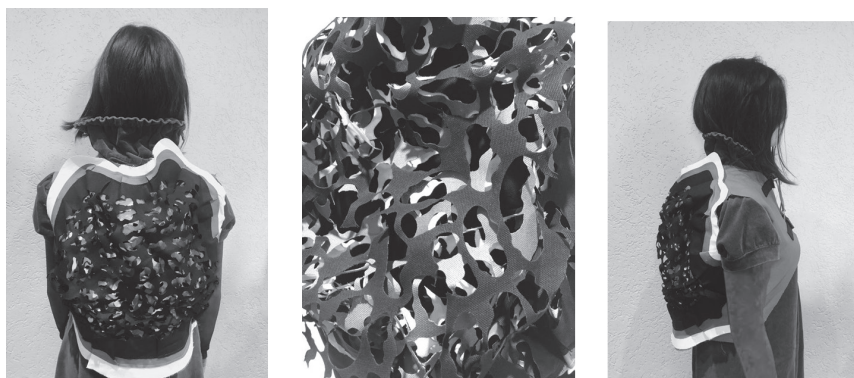
Posteriormente se metalizó. Los resultados de las imágenes y el comportamiento del material durante el análisis morfológico por microscopía electrónica de barrido de electrones secundarios fueron diferentes. En el primero, el invernadero alteró levemente la morfología del hongo y, consecuentemente, las imágenes (Ver Figura 5). En el segundo, fue posible reconocer las características formales y la visualización de patrones. En este análisis, el material permitió el reconocimiento de la morfología del hongo sin que se viera comprometido, pues fue posible su visualización aumentándolo 2000 veces (Ver Figura 6).



**Figura 7.** Estudios para el Proyecto Hifa (Fuente: Archivo propio).

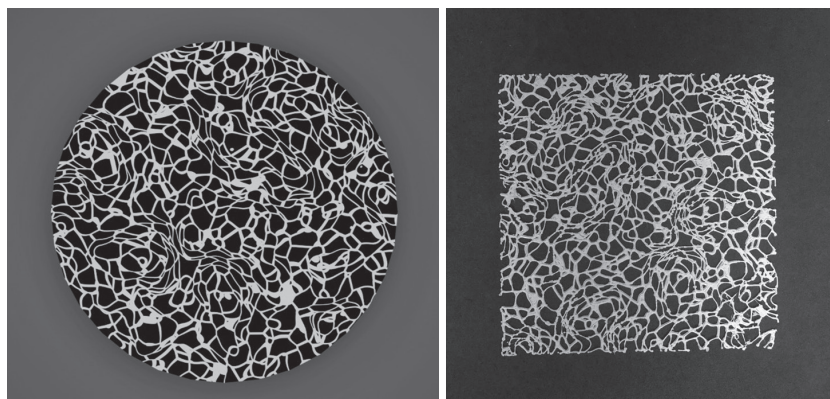
**Figura 8.** Estudio antropométrico y superficie cortada con láser (Fuente: Archivo propio).

7



8

Las experiencias impulsaron la creación colaborativa de superficies y la estructura del *wearable*, lo que contribuyó al estudio antropométrico con el uso de tecnologías y la manipulación de materiales. Los dibujos se realizaron en diferentes momentos del proceso, lo que dio lugar a la creación de soluciones (Ver Figura 7). Uno de los proyectos realizados conduce al modelado del HIFA y al desarrollo de patrones de tejido con corte láser, con la superposición de 3 capas de tejido para componer la superficie y envolver el cuerpo una vez cosido (Ver Figura 8). Propuesta con desarrollos en experimentación y continuidad del proyecto con soluciones de impresión en 3D a partir de proyectos digitales (Ver Figura 9).



9



10

**Figura 9.** Imagen digital del patrón de superficie e impresión en 3D (Fuente: Archivo propio).

**Figura 10.** Estudios de interacción y relaciones interpersonales mediados por la tecnología (Fuente: Archivo propio).

Como en este proyecto, el fructífero acercamiento entre la naturaleza y lo humano, establece un retorno a las raíces y despierta un aprendizaje que busca comprender el significado de la conectividad exponencial, en el momento postpandemia, para imaginar futuros en las relaciones interpersonales mediadas por las tecnologías (*Ver Figuras 9 y 10*). Hifa prevé la conexión entre los seres humanos y el mundo, aborda la conectividad desde el sistema de la naturaleza, a través del equilibrio entre la materialidad, la tecnología, el diseño, el arte y la ingeniería. El diálogo y ajuste en la organización de los elementos que se encuentran entre los seres humanos y no humanos, para potenciar la interactividad y alcanzar la experiencia sensorio-cognitiva en esta recuperación del significado de la esencia de la sociedad.

## Consideraciones finales

En las relaciones inter y transdisciplinarias, las fronteras se desdibujan y dialogan con la complejidad del comportamiento humano en la experiencia creativa que emerge con el cruce de las ciencias. Las dinámicas son diversas e impredecibles porque las relaciones y los hechos no son lineales, el conocimiento es múltiple y diseña la complejidad de acciones y reflexiones que se articulan en distintos momentos. De manera colaborativa, demuestra el potencial de esta interacción con la caracterización de un vector para el desarrollo del Diseño contemporáneo, adhiriendo a la complejidad de lo digital, en sus diversas vertientes, además de su consecuente influencia en los sistemas en los que nos movemos para operar y el futuro y los posibles cambios en los ecosistemas en los que vivimos, en una búsqueda incesante de innovación, típica de nuestros días.

El Biodiseño incorpora el diseño y la naturaleza en una interacción que implica exploración, descubrimiento y creatividad y al mismo tiempo, respeto, colaboración y sostenibilidad. En una relación dialógica multi, inter y transdisciplinar en la que el conocimiento atraviesa y va más allá de las disciplinas, genera un debate sobre los límites y fronteras de la convivencia humana con el medio ambiente. Las estructuras, formas, colores y conceptos emergentes del Biodiseño aliados a la tecnología brindan formaciones y sistemas innovadores que dan respuesta a los interrogantes de nuestro tiempo. El Diseño, el Arte y la Ingeniería van más allá de la imitación de la naturaleza e incorporan elementos naturales al proceso creativo, como es posible observar en el proyecto HIFA.

La naturaleza asume el rol de inspiración y mentoría, enseñando al ser humano cómo funcionan sus sistemas y cómo resolver sus problemas de una forma sencilla, económica y eficiente, convirtiéndose en la solución a los grandes problemas planetarios a los que nos enfrentamos diariamente. El Bioaprendizaje presenta la lente de la naturaleza con métodos, herramientas, estrategias y caminos que nos ayudan a comprender la economía y evolución de las cosas y los seres, el valor de las personas y el sentido de la vida acercándonos a los sistemas naturales y la revelación de los sistemas complejos que emergen en esta cotidianidad postpandemia.

Es innegable la contribución de los biomateriales y su impacto en la mejora de la calidad de vida de los seres humanos. El significativo desarrollo y avance de la tecnología digital, aún deja espacio para que los nuevos avances hagan más accesibles las soluciones para la población en general. Mejorar y prolongar la vida son necesidades latentes que los biomateriales y la fabricación digital pueden ayudar a abordar en un futuro cercano.

Proyectos como HIFA, inspirados y basados en elementos de la naturaleza, explorando su potencial de manera respetuosa, creativa, colaborativa y transdisciplinaria, muestran cómo liderar esta convivencia armónica en el Planeta Tierra, haciendo uso de los recursos naturales disponibles, cuidando los organismos y ambientes que nos rodean, reduciendo el impacto de las acciones humanas al medio ambiente y garantizando un futuro de calidad para los que vendrán.

## Notas

1. Revista Galileu. Recuperado de <https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/noticia/2019/03/7-graficos-que-provam-que-o-mundo-esta-se-tornando-um-lugar-melhor.html>. Accedido el 4 de agosto de 2022.
2. La biónica es la aplicación o emulación de funciones biológicas, procesos y sistemas para diseñar robótica, dispositivos médicos, tecnologías de implantes y soluciones de ingeniería con el objetivo de impulsar los avances relacionados con la medicina (ISO, 2013).
3. El Biomimetismo, traducción libre de *Biomimetics*, es una disciplina que busca transferir las cualidades de los materiales, estructuras, funciones, procesos, patrones y sistemas biológicos a los dominios técnicos, sociales y comerciales de las comunidades y sistemas humanos que existen como elementos de sistemas naturales más amplios (ISO, 2013).
4. *Biocouture* o Biocostura, concepto creado por Suzanne Lee, en el que las bacterias se utilizan para producir materiales que, posteriormente, se emplearán para fabricar ropas. Recuperado de: <https://www.thegirl.co.uk/what-is-biocouture/>. Accedido el 5 de agosto de 2022.
5. HIFA es resultado del proyecto de investigación “Diseño y *Wearables* inteligentes: sociabilidad y conectividad”. Llamado Público de Apoyo a la Investigación 2022, Decisión 11883/45/17. Investigadora Encargada: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Agda Carvalho, Investigadores participantes. Everaldo Pereira, Murilo Marcos Orefice. Proyecto HIFA (2022) Creación y concepción: Profa Dra. Agda Carvalho (LABESIGN/IMT), Prof. Dr. Everaldo Pereira (LABDESIGN/IMT), Prof. MSc. Murilo Marcos Orefice (LABDESIGN/IMT), Ing. Guilherme Ikeda (FABLAB MAUÁ/IMT), Estudiante de Maestría Rodrigo Rez (GIIP/UNESP). Estudio de Materiales: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Viviane Tavares de Moraes (CEM/IMT). Tecnología e Interactividad: Estudiante de Maestría Rodrigo Rez, (GIIP/UNESP). Estudios ergonómicos y antropométricos: Prof<sup>a</sup> MSc. Ana Paula Mendonça Alves (SENAC).
6. Proyecto Multiusuario, modalidad 2, N.º Proceso 2020/09163-3, vinculado a la RTI N.º proceso 2019/25707-6, apoyo a la investigación del Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido del Instituto Mauá de Tecnología, FAPESP.

## Referencias

- Bauman, Z. *Modernidade Líquida* (2001). Trad. Plínio Dentzien. Rio de Janeiro: Jorge Zahar.
- Bejarano, R. M. (2017). Bioaprendizaje y educación intercultural. *Sophia*, vol. 13, núm. 1, pp. 47-54. Universidad La Gran Colombia. Quindío, Colombia. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413750022006>
- Benyus, J. M. (2003). *Biomimética: inovação inspirada pela natureza*. São Paulo: editora Cultrix.
- Carvalho, A.; Moraes, V. T. de; Pereira, E.; Orefice, M. M.; Ikeda, G.; Rezende, R. (2022). *Wearable HIFA: Materialidade e Interatividade. Anais do 7º Congresso internacional de arte, ciência e tecnologia: Seminário de Artes Digitais*. 1. ed. Belo Horizonte: EdUEMG. ISSN: 2674-7847 (In press).

- Castells, M. (2000). *A sociedade em rede*. São Paulo: Paz e Terra.
- Collet, C. *Biodesign*. Maat Extended. Recuperado de: <https://ext.maat.pt/bulletin/biodesign>.
- Couto, R. M. D. S. (2011). Fragmentação do conhecimento ou interdisciplinaridade: ainda um dilema contemporâneo? *Revista FAAC*, Bauru, SP, v. 1, n. Nº1, p. 11-19, abr./set. 2011. Recuperado de: <https://www3.faac.unesp.br/revistafaac/index.php/revista/article/view/34/9>
- Crandell, K. E.; Howe, R. O. & Falkingham, P. L. (2019). Repeated evolution of drag reduction at the air–water interface in diving kingfishers. *J. R. Soc. Interface* 16: 2019/01/25. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2019.0125>
- Esat, R. & Ahmed-Kristensen, S. (2018). Classification of Bio-Design Applications: Towards a Design Methodology. *DS 92 Proceedings of the DESIGN 2018 - 15th International Design Conference*. Recuperado de: <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0531>
- Estévez, A. T. (2020). La naturaleza es la solución. Di Bella, D. V. & Irwin, T. (eds.), *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, n. 105, Universidad de Palermo - Carnegie Mellon University, Buenos Aires, pp. 165-193. ISSN: 1668-0227.
- Facca, C. A. (2022). *A contribuição do pensamento do design na formação em Engenharia: o espaço do Fab Lab como experiência transversal*. São Paulo: Dialética.
- Farzaneh, H. H. & Lindemann, U. (2019). *A Practical Guide to Bio-inspired Design*. Berlin: Springer Vieweg.
- Fraile, M. A. et. al. (2019). *Biomímesis: El Camino hacia un Diseño Eficiente*. Compilado por Marcelo Fraile Narvaez; editado por Marcelo Fraile Narvaez. 1ª ed. compendiada. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Marcelo Alejandro Fraile. Libro digital, PDF Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-987-86-2145-6.
- Institute of Textiles and Clothing (2010). *RadianFab*. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University. Recuperado de: [https://www.polyu.edu.hk/kteo/knowledge-transfer/innovations-and-technologies/technology-search/5-textile-and-fashion/5\\_it-c\\_03\\_0812/?sc\\_lang=en](https://www.polyu.edu.hk/kteo/knowledge-transfer/innovations-and-technologies/technology-search/5-textile-and-fashion/5_it-c_03_0812/?sc_lang=en)
- ISO. ISO/TC 266 WG 1 (2013). *Terminology and Definitions (Sample)*. Geneva, Switzerland. Recuperado de: <https://bioinspired.sinet.ca/files/bioinspired/ISO%20TC%20266%20Terminology.pdf>
- Jenkins, H. (2009). *Cultura da convergência*. 2. ed. São Paulo: Aleph.
- Johnson, S. (2003). *Emergência – a vida integrada de formigas, cérebros, cidades e softwares*. Trad.: Maria Carmelita Pádua Dias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor.
- Lévy, P. (1999). *A Inteligência coletiva por uma antropologia do ciberespaço*. 2ª edição. São Paulo: Edições Loyola.
- Maffesoli, M. (2021). *Ecosofia: uma ecologia para nosso tempo*. São Paulo: Senac.
- Maldonado, C. E. (2022). La complejidad humana consiste en un entramado de tiempos. *Cinta de Moebio* [en línea], (73), 14-23 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10170637002>
- Myers, W. (2012). *Biodesign: Nature, Science, Creativity*. 1ª ed. London: Thames & Hudson.
- Rocha, C. (2014). *Pontes, janelas e peles: Cultura, poéticas e perspectivas e das interfaces computacionais*. Goiânia: FUNAPE: Media Lab / Ciar / UFG. (Coleção Invenções).
- Shiyak, A. U. (2010). Biomimetics: engineering new textile. *Textile Today*. Bangladesh, may/jun. 2010. Recuperado de: <https://www.textiletoday.com.bd/biomimetics-engineering-new-textile/>



Vieira, A. R. S. & Coelho, D. A. (2014). *BioDesign - para além do Bio-inspirado*. Nov. 2014. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/312197871\\_BIODESIGN\\_PARA\\_ALEM\\_DO\\_DESIGN\\_BIO-INSPIRADO](https://www.researchgate.net/publication/312197871_BIODESIGN_PARA_ALEM_DO_DESIGN_BIO-INSPIRADO)

---

**Abstract:** In the current context, collaborative processes intensified with the pandemic and reiterate the practice of interrelation between fields of knowledge, which reveals a discussion on the interdisciplinary aspect of learning in the field of design and the approach to nature. Through Biodesign, the integration of design with biological systems, and Biolearning, understanding the economy and efficiency that nature teaches us, research, analysis, experiences, reflections and case studies are presented in which natural and complex systems dialogue with each other and point towards sustainability, paths and solutions to design problems experienced in the contemporary world.

**Keywords:** Biodesign - Biolearning - Complex Systems - Nature - Collaborative Processes - Interdisciplinarity - Digital Technology - Sustainability - Engineering - Biomaterials

**Resumo:** No contexto actual, os processos de colaboração intensificaram-se com a pandemia e reiteram a prática da inter-relação entre campos de conhecimento, o que revela uma discussão sobre o aspecto interdisciplinar da aprendizagem no campo do design e a abordagem à natureza. Através do Biodesign, a integração do design com sistemas biológicos, e do Biolearning, a compreensão da economia e eficiência que a natureza nos ensina, investigação, análise, experiências, reflexões e estudos de caso são apresentados em que sistemas naturais e complexos dialogam entre si e apontam para a sustentabilidade, caminhos e soluções para os problemas de design experimentados no mundo contemporâneo.

**Palavras chave:** Biodesign - Bio Aprendizagem - Sistemas Complexos - Natureza - Processos Colaborativos - Interdisciplinaridade - Tecnologia Digital - Sustentabilidade - Engenharia - Biomateriais

---