

# Sistemas biológicos y complejos como inspiración para soluciones de diseño sistémico

## El Caso del FAB LAB Móvil Mauá

Claudia Alquezar Facca<sup>(1)</sup>

---

**Resumen:** Este artículo explora la intersección entre los sistemas complejos, el pensamiento y diseño sistémico y los sistemas biológicos, presentando el proceso de creación e implementación del Fab Lab Móvil Mauá, el primer laboratorio de fabricación digital sobre ruedas en Brasil, debidamente registrado en la red global de Fab Labs (*Fab Foundation*, vinculado al MIT en los EE. UU.) y una extensión orgánica del Fab Lab Mauá, del Instituto Mauá de Tecnología, en São Paulo, Brasil. Los sistemas complejos son conjuntos de elementos interconectados cuyas interacciones pueden conducir a comportamientos complejos e impredecibles. Y el pensamiento sistémico, en un enfoque holístico, considera el sistema como un todo, centrándose en las interacciones entre sus partes. Esto es fundamental para la práctica del diseño de sistemas, que tiene como objetivo crear soluciones considerando no solo los componentes individuales, sino cómo encajan en sistemas más grandes, abordando problemas complejos y considerando las consecuencias de las interacciones. Los sistemas biológicos, como los organismos vivos, y procesos como la mitosis (división celular), son ejemplos de sistemas complejos en la naturaleza. La relación entre los sistemas biológicos y el diseño sistémico es tratada en este contexto de manera metafórica, donde el diseño busca inspiración en procesos naturales para guiar los proyectos de manera orgánica, aunque esta conexión es indirecta y abstracta. El estudio de caso del Fab Lab Móvil Mauá –una célula hija– originada en el Fab Lab Mauá –la célula madre– demuestra cómo la aplicación de principios sistémicos y la comprensión de la compleja dinámica de los sistemas biológicos son esenciales para proyectos educativos innovadores e interdisciplinarios, reflexionando sobre el lenguaje de diseño, su respectivo significado e todo el proceso de enseñanza-aprendizaje. La inspiración en la naturaleza puede inspirar el diseño, promoviendo nuevas conexiones, soluciones inusuales, más integradas y efectivas.

**Palabras clave:** Sistema Complejo - Pensamiento Sistémico - Diseño Sistémico - Problemas Complejos - Pensamiento Holístico - Sistema Biológico – Interdisciplinariedad - Bioinspiración - Fab Lab - Bioaprendizaje

[Resúmenes en castellano y en portugués en las páginas 240-241]

---

<sup>(1)</sup> **Claudia Alquezar Facca** es Diseñadora, Educadora e Investigadora en Diseño. Doctorado en Diseño (Universidad Anhembi Morumbi, SP/Brasil), Doctorado Sándwich, con beca da Capes (Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, Portugal). Maestría en Diseño (Universidad Anhembi Morumbi, SP/Brasil). Especialización en Comunicación

y Artes y Didáctica de la Educación Superior (Universidad Presbiteriana Mackenzie, SP/Brasil). Graduación en Diseño Industrial con Calificación en Diseño de Producto (Universidad Presbiteriana Mackenzie, SP/Brasil). Es profesora titular del Curso de Graduación en Diseño del Centro Universitario del Instituto Mauá de Tecnología – CEUN-IMT (São Paulo/Brasil). É Gestora Estratégica en el 1961 Design Studio y Fab Lab Mauá del Centro de Investigación (IMT). Es investigadora en los grupos de investigación: LabDesign (CEUN-IMT), Educación en Ingeniería, Diseño y Administración (CEUN-IMT) e Inovesign (UFMS). Es autora de dos libros y numerosos artículos, es miembro del comité científico y jurado de varios eventos científicos y culturales. Tiene interés y producción científica en las siguientes áreas de investigación: 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, entre otros. claudiafacca@maua.br

## 1. Introducción

En este artículo, la intersección de distintos campos científicos del conocimiento converge, de forma inusual, en una perspectiva creativa basada en el estudio de problemas y sistemas complejos, la relación entre el pensamiento sistémico y el diseño y enfoque de los sistemas biológicos, considerando la complejidad de la naturaleza, su inspiración para las soluciones de diseño y el impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El análisis de los sistemas complejos se caracteriza por la interrelación de elementos cuya dinámica genera comportamientos impredecibles, lo que sirve de punto de partida para comprender la complejidad inherente a nuestro entorno. Explorando cómo el pensamiento sistémico y el diseño, con su enfoque holístico, se integran en un marco conceptual esencial para comprender la totalidad de los sistemas interconectados, resaltamos la importancia de considerar las interacciones entre sus partes para lograr soluciones integrales. Dentro de este panorama, también se aborda la complejidad inherente a los sistemas biológicos, desde los organismos vivos –como las células– hasta los procesos orgánicos –como la mitosis–, que representan paradigmas de los sistemas complejos en la naturaleza. Se examina la relación entre los sistemas biológicos y el diseño sistémico, explorando cómo el diseño se inspira, metafóricamente, en la naturaleza para guiar proyectos y soluciones de forma orgánica, revelando la riqueza y diversidad de las interacciones sistémicas del mundo natural aplicadas al mundo artificial y tecnológico.

El diseño de sistemas o diseño sistémico, como disciplina, demuestra ser una herramienta fundamental para abordar los complejos problemas contemporáneos, considerando no sólo los componentes individuales sino también sus interrelaciones en sistemas más amplios. Este enfoque se examina a través de aplicaciones prácticas, destacando su trascendencia en proyectos educativos innovadores e interdisciplinarios y revelando cómo la comprensión de los sistemas complejos y su uso en el diseño influyen en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

A modo de estudio de caso, presentamos el proceso de creación y puesta en marcha del Fab Lab Móvil Mauá, el primer laboratorio de fabricación digital sobre ruedas de Brasil, debidamente registrado en la red mundial de Fab Labs (*Fab Foundation*, vinculada al *Massachusetts Institute of Technology* - MIT de los EE.UU.) y una extensión orgánica del Fab Lab Mauá, del Instituto Mauá de Tecnología (IMT), en São Paulo, Brasil, dónde ambos están gestionados por el Centro de Investigación del IMT.

El ejemplo del Fab Lab Móvil Mauá –una entidad derivada– surgida del Fab Lab Mauá –la entidad madre– muestra cómo la aplicación de principios sistémicos y la comprensión de la intrincada dinámica de los sistemas biológicos son indispensables para una labor educativa innovadora e interdisciplinaria. En este contexto, se reflexiona sobre el lenguaje del diseño, su peculiar significado y todo el despliegue del proceso de enseñanza-aprendizaje. La inspiradora influencia de la naturaleza puede impulsar el diseño, fomentando conexiones sin precedentes, soluciones atípicas y enfoques más integrados, reflexionando sobre cómo la adopción de enfoques sistémicos puede enriquecer la formación de los futuros profesionales, fomentando una comprensión más profunda y holística de los problemas actuales, y cómo el estudio de la naturaleza como modelo puede inspirar métodos educativos más eficaces y significativos.

## 2. Problemas, pensamientos y sistemas complejos

Comprender y abordar la complejidad y, en consecuencia, los complejos problemas que la conforman, se ha convertido en un tema clave en distintos ámbitos académicos. A medida que nos enfrentamos a retos cada vez más intrincados e interconectados, se hace acuciante la necesidad de desarrollar pensamientos y soluciones igualmente complejos. Al abordar los problemas del mundo actual a través de la lente de la complejidad, se espera contribuir a una comprensión más profunda y a un planteo más eficaz de los retos que definen nuestra era.

El análisis de la complejidad se ha convertido en un campo de estudio cada vez más explorado. Aunque existen varias definiciones, hay consenso en que la complejidad de un sistema está intrínsecamente vinculada a la dificultad de prever las posibles interacciones entre sus partes. Por “complejidad”, entendemos un “sistema compuesto por muchos elementos, capas y estructuras, cuyas interrelaciones condicionan y redefinen continuamente el funcionamiento del conjunto” (Cardoso, 2012, p. 13).

La sociedad contemporánea está marcada por una intrincada red de retos que trascienden los límites tradicionales de las disciplinas académicas. Problemas globales como el cambio climático, las desigualdades socioeconómicas y las pandemias exigen enfoques holísticos y multidisciplinarios. La complejidad de estos problemas radica no sólo en su magnitud, sino también en la interconexión entre factores aparentemente divergentes.

Los problemas que antes se entendían de forma simplificada ahora se abordan desde una perspectiva más compleja. En la actualidad, empezamos a contemplar de forma integral retos que antes eran impensables para la mente humana (Cardoso, 2012).

Rittel & Webber (1973, p. 158), a partir de la idea de planificación (o *planning*) entendida como un “proceso de diseño de soluciones a problemas que pueden instalarse y funcionar a bajo costo” - proponen que los retos a los que se enfrentan los “planificadores” centrados en cuestiones sociales difieren fundamentalmente de los problemas abordados por los científicos y, posiblemente, por ciertas categorías de ingenieros. Los dilemas que plantea la planificación son, por su propia naturaleza, intrínsecamente “perversos” o *wicked*. “El término “perverso” es utilizado por los autores en un sentido similar al de “maligno” (en contraste con “benigno”) o “vicioso” (como un círculo) o “complicado” (como un duende) o “agresivo” (como un león, en contraste con la docilidad de un cordero). “*Wicked Problems*” es una «clase de problemas de sistemas sociales que están mal formulados, en los que la información es confusa, en los que hay muchos clientes y responsables de la toma de decisiones con valores contrapuestos, y en los que las ramificaciones en todo el sistema son completamente confusas” (Rittel & Webber, 1973).

Para cualquier problema “manso”, se puede afirmar que una formulación exhaustiva contiene toda la información que el solucionador necesita para entenderlo y resolverlo, siempre que conozca su “arte”, obviamente. Esto no es posible con los problemas “perversos”. La información necesaria para comprender el problema depende de la idea que cada persona tenga de cómo resolverlo (Rittel & Webber, 1973, p. 161).

Según los autores, existen 10 características intrínsecas a los problemas perversos: 1) No existe una formulación definitiva de un problema perverso; 2) Los problemas perversos no tienen una regla de detención; 3) Las soluciones a los problemas perversos no son verdaderas o falsas, sino buenas o malas; 4) No existe una prueba inmediata o definitiva de una solución a un problema perverso; 5) Toda solución a un problema perverso es una “operación *one-shot*”; como no hay oportunidad de aprender por ensayo y error, cada intento cuenta significativamente; 6) Los problemas perversos no tienen un conjunto enumerable (o exhaustivamente descriptible) de soluciones potenciales, ni hay un conjunto bien descrito de operaciones permitidas que puedan incorporarse al plan; 7) Cada problema perverso es esencialmente único; 8) Cada problema perverso puede considerarse un síntoma de otro problema; 9) La existencia de una discrepancia que representa un problema perverso puede explicarse de varias maneras. La elección de la explicación determina la naturaleza de la resolución del problema; y 10) El planificador no tiene derecho a equivocarse (Rittel & Webber, 1973, pp. 161-166).

¡La formulación de un problema perverso es el problema! Los procesos de definición del problema y diseño de una solución (o resolución) están intrínsecamente vinculados, ya que cada especificación del problema representa simultáneamente una indicación de la dirección en la que se contempla un enfoque. Esta característica arroja algo de luz sobre la eficacia del conocido “enfoque sistémico” a la hora de abordar problemas perversos o complejos (Rittel & Webber, 1973).

Para hacer frente a estos retos, es esencial cultivar un pensamiento complejo que vaya más allá de los enfoques simplistas y linealmente causales. El pensamiento complejo adopta la idea de que los fenómenos están formados por una intrincada red de elementos inter-

dependientes y, comprender esta intrincación, es fundamental para formular soluciones eficaces.

El reputado filósofo y sociólogo francés Edgar Morin es reconocido por sus aportes al pensamiento complejo y la teoría de la complejidad, fundamentales para entender el enfoque complejo de los problemas. Según el autor (2005, p. 14) la complejidad llegó a nosotros en las ciencias por el mismo camino que la había expulsado, y ya podemos ver la relación con la biología en su propia definición:

A simple vista, la complejidad es un tejido (*complexus*: lo que se teje junto) de constituyentes heterogéneos inseparablemente asociados, que plantea la paradoja de lo único y lo múltiple. En segundo lugar, la complejidad es efectivamente el tejido de acontecimientos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones y azar que componen nuestro mundo fenoménico. Pero entonces la complejidad se presenta con los inquietantes rasgos del enredo, la inextricabilidad, el desorden, la ambigüedad, la incertidumbre... Por ello, el conocimiento necesita ordenar los fenómenos rechazando el desorden, eliminar lo incierto, o sea, seleccionar los elementos de orden y certeza, clarificar, distinguir, jerarquizar... (Morin, 2005, p. 13)

Morin propone así el pensamiento complejo como alternativa y paradigma para entender e interpretar el proceso de adquisición del conocimiento, apropiándose de algunos elementos de la Teoría de Sistemas para desarrollar sus propuestas, como el Sistema Abierto<sup>1</sup> y los Sistemas Autoorganizados<sup>2</sup> (Vassão, 2008).

La teoría de los sistemas complejos se perfila como una valiosa herramienta para comprender y modelar fenómenos dinámicos. Al ver el mundo como un conjunto de sistemas interconectados, podemos captar la dinámica no lineal y emergente que caracteriza muchos de los retos actuales. Este capítulo explora la base conceptual de los sistemas complejos y su aplicación en el análisis de problemas que trascienden las fronteras disciplinarias. Admitir la complejidad del sistema representa un avance significativo. Si todos toman conciencia de la magnitud y la intrincada red de relaciones que rigen el mundo actual, será posible avanzar colectivamente hacia cualquier objetivo que se elija (Cardoso, 2012). La idea es avanzar, no de lo simple a lo complejo, sino de la complejidad hacia niveles de complejidad cada vez mayores. Esto permite definir, a grandes rasgos, modelos de complejidad baja, media o alta, en correlación con los avances en autoorganización (autonomía, individualidad, inventiva, creatividad, etc.) (Morin, 2005). “No se debe creer que la cuestión de la complejidad sólo se plantea en la actualidad debido a los nuevos avances científicos. Hay que buscar la complejidad allí donde parece estar ausente, como en la vida cotidiana” (Morin, 2005, p. 57).

Reconocer la complejidad del mundo ofrece una gran ventaja para comprender que todas las partes están interconectadas. De este modo, las acciones de cada individuo se suman a las de los demás, formando movimientos que van más allá de la capacidad individual de cualquiera de sus partes constituyentes (Cardoso, 2012).

### 3. El pensamiento sistémico del diseño

“La mayor y más importante contribución que el diseño tiene que hacer para resolver los retos de nuestro complejo mundo es el pensamiento sistémico” (Cardoso, 2012, p. 132). Pocas áreas están acostumbradas a abordar los problemas de una forma tan integrada y comunicativa como el diseño.

El método predominante en las actividades científicas consiste en fragmentar y dividir el problema para crear una situación experimental que pueda investigarse. Aunque este método funciona eficazmente para diversos análisis, resulta limitado cuando se trata del diseño, el mantenimiento y la planificación de sistemas complejos a gran escala. Cuando los problemas traspasan las fronteras del conocimiento y las disciplinas, las capacidades individuales de cada área para resolver el problema en su conjunto se vuelven limitadas. A diferencia de otras áreas del diseño, especialmente la ingeniería y la arquitectura, el diseño adopta un enfoque distintivo que, en lugar de fragmentar el problema para reducir las variables, busca generar alternativas, cada una de ellas única e integral, con el fin de proporcionar una solución y no sólo garantizar la reproducción exacta del experimento (Cardoso, 2012).

El pensamiento sistémico responde esencialmente a la lógica de la industria, caracterizada por la transformación y la explotación, la gestión y la logística, y la organización integrada de múltiples partes en un sistema cada vez más interconectado. No es casualidad que el diseño, un fenómeno intrínseco a la era industrial, refleje este tipo de pensamiento en su abordaje al mundo (Cardoso, 2012).

Cross (1982), diseñador y académico, investiga las dimensiones cognitivas del diseño. Su investigación sobre la naturaleza única del pensamiento del diseño ofrece *insights* sobre cómo abordar problemas complejos a través del diseño y destaca las características distintivas del enfoque del diseñador para la resolución de problemas. Uno de los principales aportes de Cross es la identificación y exploración de lo que él denomina “*designerly ways of knowing*” (formas de conocimiento diseñadas). Cross sostiene que los diseñadores tienen una forma particular de abordar y resolver los problemas que difiere de los métodos utilizados en otras disciplinas. Este modo de conocimiento está compuesto por características como la intuición, la abducción (razonamiento que parte de un efecto para encontrar posibles causas), la creación de prototipos y la experimentación.

También destaca la importancia del pensamiento visual y espacial en el diseño, haciendo hincapié en cómo los diseñadores suelen utilizar las representaciones gráficas y los modelos tridimensionales para explorar y comunicar ideas. Este énfasis en la visualización y la creación de prototipos permite a los diseñadores desarrollar una comprensión más profunda de los problemas y las posibles soluciones.

Además, el autor reconoce la naturaleza iterativa y no lineal del proceso de diseño. Sostiene que los diseñadores suelen regresar a etapas anteriores, ajustan sus enfoques y refinan sus soluciones a medida que ganan *insights* a lo largo del camino. Este aspecto del pensamiento de diseño es crucial cuando se trata de problemas complejos que pueden no tener soluciones claras desde el principio. Su investigación también destaca la importancia del conocimiento tácito y la experiencia práctica en el pensamiento del diseño, resaltando que

los diseñadores suelen interiorizar sus conocimientos a lo largo de su carrera y desarrollan una capacidad intuitiva para abordar problemas complejos.

Teórico y profesor de diseño, Buchanan (1992) contribuye a la comprensión del diseño como una disciplina que aborda problemas complejos. El autor resalta que los problemas tradicionales o “*tame problems*”, son aquellos que pueden ser resueltos con métodos convencionales y técnicas bien definidas. Asimismo, argumenta que muchos de los retos que enfrenta la sociedad contemporánea son “*wicked problems*”. Estos problemas se caracterizan por su complejidad, interconexión, falta de soluciones definitivas y presencia de múltiples puntos de vista en conflicto.

El aporte clave de Buchanan radica en la propuesta de que el diseño, como disciplina, es especialmente adecuado para abordar problemas perversos. El autor sostiene que el *design thinking*, un enfoque del diseño orientado a la resolución de problemas, es una forma eficaz de abordar la desafiante naturaleza de estos problemas. El *design thinking*, según Buchanan (1992), se caracteriza por un énfasis en la comprensión empática de los usuarios, la iteración continua, la colaboración multidisciplinaria y un enfoque holístico de la resolución de problemas. Además, Buchanan subraya la importancia de tener en cuenta el contexto social, cultural y ético a la hora de abordar problemas complejos, y propone que los diseñadores adopten un enfoque más reflexivo, incorporando valores éticos y consideraciones sociales a sus procesos de diseño.

Así pues, la contribución de Buchanan a la comprensión del diseño como disciplina que se ocupa de problemas complejos tiene su origen en su visión del *design thinking* como un enfoque flexible y adaptable capaz de abordar la naturaleza intrínsecamente desafiante de los problemas complejos de la sociedad contemporánea.

En síntesis, las investigaciones de Cross (1982) y Buchanan (1992) ofrecen valiosos *insights* sobre cómo abordar problemas complejos a través del diseño, destacando las características únicas del pensamiento de diseño, la importancia de la visualización, la creación de prototipos, la iteración y la necesidad de incorporar el conocimiento tácito y la experiencia práctica. Estos elementos son fundamentales para afrontar desafíos complejos de forma creativa e innovadora.

En el enfoque sistémico, el desempeño del sistema se evalúa de forma holística, teniendo en cuenta el contexto y las interacciones entre sus componentes, ya que no puede entenderse plenamente sólo por la suma de sus elementos. Actuar desde un punto de vista sistémico en el ámbito del diseño implica diseñar sistemas, situar al hombre en el centro del proyecto y crear relaciones entre los actores sociales y la realidad productiva, de acuerdo con el contexto medioambiental, social, económico y cultural. En el contexto de la aplicación del Diseño Sistémico, el diseñador no se limita a diseñar un producto o línea de productos. Por el contrario, el propio artefacto es simplemente una consecuencia natural del proceso, con una razón de ser específica y totalmente contextualizada (Pêgo, 2021).

Como observó Pêgo (2021, p. 157), el enfoque sistémico proporciona: 1) en el ámbito económico: aumento de las actividades, los puestos de trabajo y la generación de ingresos en la comunidad; 2) en el ámbito medioambiental: gestión sostenible de los recursos naturales; 3) en el ámbito cultural: valorización de la cultura y los conocimientos locales; y 4) en el ámbito social: mejora de la calidad de vida y mantenimiento de los habitantes en su territorio.



#### 4. Los sistemas biológicos y su complejidad en la naturaleza

A primera vista, la complejidad es un fenómeno cuantitativo, la cantidad extrema de interacciones e interferencias entre un número muy grande de unidades. De hecho, todo sistema autoorganizado (vivo), incluso el más simple, combina un número muy elevado de unidades del orden de miles de millones, ya sean moléculas en una célula o células en un organismo. Pero la complejidad no sólo incluye cantidades de unidad e interacciones que desafían nuestra capacidad de cálculo: también incluye incertidumbres, indeterminaciones, fenómenos aleatorios que, en cierto sentido, siempre están relacionados con el azar. Pero la complejidad no se reduce a la incertidumbre, sino que es la incertidumbre dentro de sistemas ricamente organizados (Morin, 2005, p. 35).

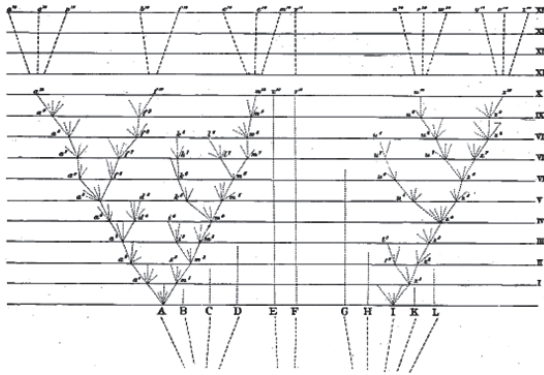
Según Morin (2005), la teoría de sistemas, que comenzó con von Bertalanffy como una reflexión sobre la biología, experimentó un crecimiento exponencial a partir de la década del 50, expandiéndose en distintas direcciones. Esta expansión le ha dado una perspectiva notablemente amplia, casi universal, ya que, en cierto sentido, toda la realidad conocida, desde el nivel atómico hasta el galáctico, pasando por las moléculas, las células, los organismos y las sociedades, puede concebirse como un sistema, es decir, una asociación combinatoria de distintos elementos.

En este contexto, Bistagnino (2009) afirma que no hay necesidad de crear siempre algo completamente nuevo, ya que las soluciones están presentes en los sistemas naturales que nos rodean, proponiendo así la metodología de Diseño Sistémico, caracterizada por su estructura holística, o sistémica, y no lineal.

Los sistemas complejos impregnan nuestro entorno, y encontrar ejemplos que ilustren teorías de la complejidad como la autoorganización, los sistemas no lineales, la teoría de sistemas de redes y los sistemas adaptativos es una tarea bastante accesible (Leite, 2021).

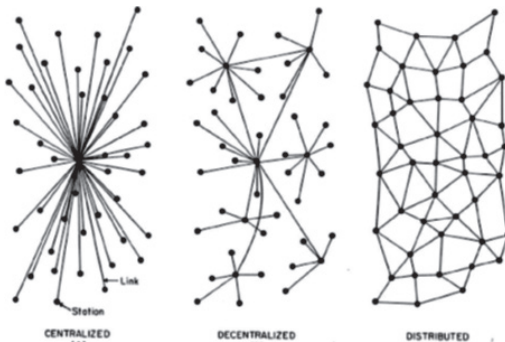
La visión sistémica se pone de manifiesto en la comprensión y representación visual del modelo evolutivo concebido por Charles Darwin en el siglo XIX (*Ver Figura 1*). El diagrama evolutivo de Darwin ilustra de forma sistémica las ramificaciones y variaciones dentro de una misma especie. Estas ramificaciones dan lugar a otras nuevas que a veces se subdividen exponencialmente, basándose en características e información genética compartidas. El árbol de la vida representado por Darwin, es un ejemplo clásico de pensamiento sistémico, ya que hace hincapié en las interconexiones y relaciones entre las distintas formas de vida. Los cambios a lo largo del tiempo, impulsados por la selección natural, se representan como un proceso dinámico en el que las especies evolucionan, se adaptan y se diversifican. Esta representación visual no sólo pone de relieve la complejidad de la evolución, sino que también refleja la interdependencia de todas las formas de vida en un sistema ecológico interconectado. Al reconocer y representar estas interacciones, Darwin hizo una importante contribución a la comprensión sistémica de la evolución biológica (Leite, 2021).





**Figura 1.**  
El modelo evolutivo de Charles Darwin en el siglo XIX (Fuente: Disponible en <https://plato.stanford.edu/entries/origin-descent/>. Accedido el 29 de enero de 2024).

Paul Baran, notable científico asociado a los fundamentos del pensamiento sistémico en la década del 60, teorizó sobre los modelos de sistemas, incluidos los conceptos de sistemas centralizados, descentralizados y distribuidos (Ver Figura 2).



**Figura 2.**  
Representación de sistemas centralizados, descentralizados y distribuidos (Fuente: Adaptado de Paul Baran, 1964 (Mendonça & Neves, 2017)).

Estas teorías fueron fundamentales para la formulación de enfoques innovadores, como el concepto de “dividir y empaquetar” los datos digitales en bloques de información más pequeños. Este enfoque no sólo facilitó la transferencia eficaz de datos entre computadoras, sino que también contribuyó a la seguridad del proceso. Baran desempeñó así un papel crucial a la hora de sentar las bases de Internet, demostrando cómo una comprensión

profunda de los sistemas es esencial para promover avances significativos en la tecnología y en la forma en que interactuamos con la información digital (Leite, 2021).

Benyus, bióloga e innovadora, explora cómo los principios biológicos pueden inspirar soluciones de diseño innovadoras, haciendo hincapié en la eficacia y sostenibilidad de la naturaleza. La autora define a la Biomímesis (del griego *bios*, vida y *mímesis*, imitación) de tres formas (Benyus, 2009): 1) La naturaleza como modelo: la biomímesis es una nueva ciencia que estudia los modelos de la naturaleza y luego imita o se inspira en estos diseños y procesos para resolver problemas humanos, por ejemplo, una célula solar inspirada en una hoja; 2) La naturaleza como medida: la biomímesis utiliza un patrón ecológico para juzgar la “corrección” de nuestras innovaciones. Tras 3.800 millones de años de evolución, la naturaleza ha aprendido: qué funciona, qué es apropiado, qué perdura; y 3) La naturaleza como mentora: la biomímesis es una nueva forma de ver y valorar la naturaleza. Introduce una era basada no en lo que podemos extraer del mundo natural, sino en lo que podemos aprender de él.

Mancuso, neurobiólogo de plantas, aporta una perspectiva interdisciplinaria, destacando cómo las soluciones de diseño pueden inspirarse en los complejos sistemas que se encuentran en la naturaleza. Según el autor, estamos acostumbrados a identificar las plantas sólo por las partes que sobresalen de la tierra (Mancuso, 2018). De hecho, un sistema radicular, por ejemplo, representa al menos la mitad del cuerpo de una planta y es, probablemente, la mitad más interesante (*Ver Figura 3*).



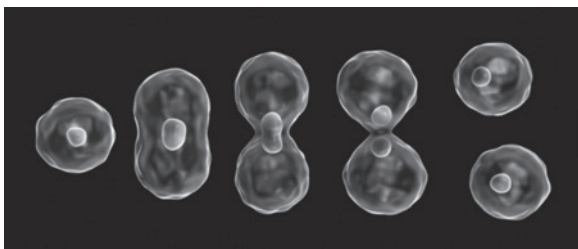
**Figura 3.**  
El sistema radicular  
de un árbol (Fuente:  
Mancuso, 2018).

Es fascinante observar cómo los sistemas complejos de la naturaleza, como los de los organismos vivos, ofrecen una rica fuente de inspiración para el diseño. Aunque solemos centrarnos sólo en las partes visibles de las plantas, como ya se ha mencionado, la verdadera complejidad se revela cuando exploramos otras estructuras, como las celulares y sus intrincados mecanismos de reproducción.

Ciertamente, la Teoría Celular es un pilar esencial de la biología y representa un hito fundamental en la comprensión de la organización de los seres vivos, ya que proporciona una base unificadora para explorar la diversidad de la vida, desde los microorganismos hasta los organismos complejos. Ampliamente aceptada y establecida como principio central de la biología, esta teoría se desarrolló a lo largo del tiempo, con importantes contribuciones de científicos como Matthias Schleiden, Theodor Schwann y Rudolf Virchow, quienes, en el siglo XIX, formularon y consolidaron los principios de la teoría celular (Amabis & Martho, 2019).

La Teoría Celular original afirma que: 1) Todos los organismos vivos están formados por células (pueden ser unicelulares o pluricelulares); 2) La célula es la unidad básica de la vida; y 3) Las células surgen de células preexistentes (no derivan de la generación espontánea). La versión moderna de la Teoría Celular también incluye las ideas de que: 4) El flujo de energía se produce dentro de las células; 5) La información hereditaria (ADN) se transmite de célula a célula; y 6) Todas las células tienen la misma composición química básica (Mazzarello, 1999).

La célula (del latín *cella*, que significa “pequeño aposento”) es la unidad funcional más pequeña de la materia viva y la unidad básica y fundamental de todos los organismos conocidos. Se suele decir que las células son los “bloques de construcción de la vida” y su estudio se denomina biología celular o citología. La división celular es un proceso esencial en los seres vivos, que permite a los organismos reproducirse, crecer y mantenerse. Existen dos tipos principales de división celular: la mitosis y la meiosis (Amabis & Martho, 2019). La mitosis es el tipo más común de división celular y es responsable de la reproducción de las células somáticas, que componen los tejidos y órganos del cuerpo. Durante la mitosis, una célula madre se divide para formar dos células hijas genéticamente idénticas, que contienen el mismo número de cromosomas que la célula madre (*Ver Figura 4*). Este proceso es esencial para el crecimiento, regeneración y mantenimiento de los tejidos (Amabis & Martho, 2019).



**Figura 4.**

El proceso de mitosis (Fuente: Disponible en <https://aprovatotal.com.br/mitose/>. Accedido el 29 de enero de 2024).

La meiosis es un tipo especializado de división celular que tiene lugar en las células germinales (células reproductoras) para formar gametos (células sexuales). Este proceso reduce el número de cromosomas a la mitad, garantizando la constancia del número cromosómico durante la reproducción sexual. Las células hijas resultantes de la meiosis son genéticamente diferentes entre sí y de la célula madre (Amabis & Martho, 2019).

Ambos tipos de división celular desempeñan funciones críticas en la herencia, lo que garantiza la transmisión precisa de información genética de una generación a la siguiente. Estos procesos se regulan de forma compleja para garantizar la estabilidad genética y funcionalidad de los organismos.

Así, observando cómo los principios de la naturaleza pueden inspirar innovaciones significativas en el diseño, se propone aquí una analogía a través de la relación entre biomímesis, biodiseño y biología, considerando el sistema celular y su forma de reproducción.

La biomímesis es un enfoque basado en la imitación de procesos, estructuras y sistemas biológicos que se encuentran en la naturaleza para resolver problemas y crear nuevas tecnologías. En el contexto de la reproducción celular, la biomímesis busca comprender y replicar los métodos eficientes mediante los cuales las células se reproducen y renuevan.

El biodiseño va más allá de la biomímesis ya que incorpora no sólo aspectos biológicos, sino también los principios de sostenibilidad y biología sintética. Se centra en crear soluciones que no sólo imiten la naturaleza, sino que también se integren armoniosamente en los ecosistemas y tengan características regenerativas. Al comprender los procesos de la mitosis, el biodiseño puede inspirarse en la capacidad de las células para reproducirse de forma controlada y coordinada.

La mitosis, como sistema complejo, implica una serie de eventos regulados que garantizan la distribución precisa del material genético. A través del estudio de la mitosis, los diseñadores e ingenieros pueden inspirarse en cómo la naturaleza lleva a cabo este proceso con eficacia y aplicar estos principios a proyectos de biomímesis y biodiseño. Aunque la mitosis es un complejo proceso biológico específico de las células, pueden encontrarse elementos inspirados en sus principios en diversas aplicaciones de diseño e ingeniería. A saber:

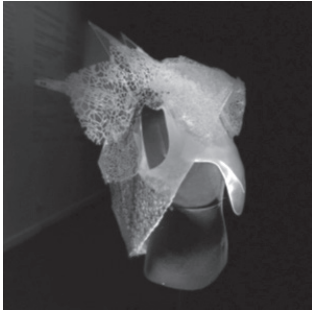
I. Diseño arquitectónico: el crecimiento y la reproducción celular pueden inspirar conceptos arquitectónicos para edificios ampliables y adaptables. Las estructuras modulares que pueden crecer o dividirse según las necesidades, reflejando el proceso de mitosis, se exploran en proyectos arquitectónicos innovadores. Por ejemplo: Mitoseum - Parque temático en Bautzen, Alemania (*Ver Figura 5*).



**Figura 5.**

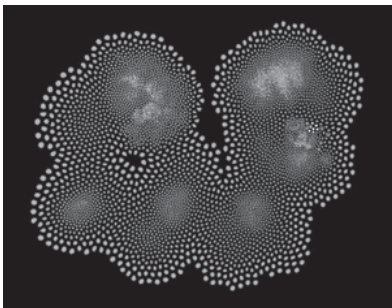
Mitoseum, Parque temático en Bautzen, Alemania (Fuente: Disponible en <https://www.archdaily.com.br/br/883956/edificio-de-entrada-do-parque-tematico-dinosaur-rimpf-architektur>. Accedido el 29 de enero de 2024).

II. Moda y diseño textil: el intrincado y simétrico patrón de los cromosomas durante la mitosis puede inspirar diseños estampados en ropa y telas. La reproducción celular puede influir en la creación de patrones elegantes y visualmente interesantes, que reflejan la belleza de la naturaleza en piezas de moda. Por ejemplo: *Wearable HIFA: Human + Interface + Fungi + Accessory* (Ver Figura 6).



**Figura 6.**  
Wearable HIFA:  
Human + Interface  
+ Fungi + Accessory  
(Fuente: Carvalho, *et. al.*, 2022)

III. Arte y diseño gráfico: la simetría y la precisión visual asociadas a la mitosis pueden ser fuentes de inspiración para artistas y diseñadores gráficos. Los elementos visuales basados en el orden y la repetición, característicos de la mitosis, pueden incorporarse a obras de arte y diseño gráfico. Por ejemplo: *Math Patterns in Nature* (Ver Figura 7).



**Figura 7.**  
Math Patterns in  
Nature (Fuente:  
Disponible en <https://fi.edu/en/math-patterns-nature>.  
Accedido el 29 de  
enero de 2024).

IV. Diseño de interfaces de usuario: la organización precisa de los cromosomas durante la mitosis puede influir en la creación de interfaces digitales. Los principios de la división y reproducción celular pueden tenerse en cuenta a la hora de diseñar aplicaciones o sitios web que busquen la eficiencia y simplicidad. Por ejemplo: *Bio-Digital Interface Powered by Microbial Fuel Cells* (Ver Figura 8).



**Figura 8.**  
Bio-Digital Interface  
Powered by  
Microbial Fuel Cells  
(Fuente: Disponible  
en <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1735>.  
Accedido el 29 de  
enero de 2024).

V. Diseño de productos expandibles: el concepto de mitosis, que implica la división y multiplicación celular, puede inspirar los diseños de productos expandibles. Por ejemplo: objetos, muebles modulares o envases que pueden expandirse o dividirse para satisfacer las diferentes necesidades de los usuarios. Por ejemplo: *Mitosis Ceiling Lamp* (Ver Figura 9).



**Figura 9.**  
Mitosis Ceiling  
Lamp (Fuente:  
Disponible en  
<https://competition.adesignaward.com/gooddesign.php?ID=45485>.  
Accedido el 29 de  
enero de 2024).

Estos ejemplos ilustran cómo los principios fundamentales de la mitosis pueden interpretarse y adaptarse para inspirar soluciones creativas en diversas áreas del diseño, integrando la eficacia y belleza que se encuentran en la naturaleza.

## 5. Fab Lab (célula madre) y Fab Lab Móvil (célula hija)

Estas disciplinas convergentes ponen de relieve cómo un conocimiento profundo de los procesos celulares, como la mitosis, puede influir positivamente en la innovación y resolución de problemas. Al integrar los descubrimientos de la biología con las prácticas de diseño, podemos crear soluciones que no sólo imitan a la naturaleza, sino que también se alinean con los principios fundamentales de los sistemas biológicos, fomentando la sostenibilidad y eficiencia.

Con el objetivo de demostrar la aplicación de estos principios en la práctica a través de la intersección de los sistemas complejos, el pensamiento sistémico y el diseño y los sistemas biológicos, este artículo presenta el proceso de creación e implementación del Fab Lab Móvil Mauá, primer laboratorio de fabricación digital sobre ruedas brasileño, debidamente registrado en la red global de Fab Labs (*Fab Foundation*, vinculada con el *Massachusetts Institute of Technology* - MIT de los EE.UU.) y una extensión orgánica del Fab Lab Mauá, del Instituto Mauá de Tecnología, en São Paulo, Brasil.

Fab Lab, o laboratorio de fabricación digital, es el componente de difusión educativa del *Center for Bits and Atoms* (CBA) del MIT, creado en el año 2001, como extensión de la investigación sobre fabricación digital. Es una plataforma técnica de aprendizaje y creación de prototipos para la innovación e invención, que estimula el espíritu empresarial local, así como un espacio para jugar, crear, tutelar e inventar. (Facca, 2020). “Fab Lab proporciona acceso al ambiente, los conocimientos, los materiales y la tecnología avanzada para que, cualquier persona, en cualquier lugar, pueda fabricar (casi) cualquier cosa” (Fab Foundation, 2024).

La red Fab Lab es una comunidad global creativa, abierta y conectada de «hacedores», diseñadores, artistas, científicos, ingenieros, educadores, estudiantes, investigadores, inventores, innovadores, aficionados y profesionales, ubicada en más de 100 países y formada por unos 2.230 laboratorios de todo el mundo, que comparten conocimientos y ofrecen una amplia gama de programas educativos para todas las edades, así como servicios profesionales de fabricación digital para distintos tipos de organizaciones. Los usuarios aprenden a diseñar y crear objetos de interés o importancia personal, fortalecidos por la experiencia de hacer algo por sí mismos, aprendiendo unos de los otros (aprendizaje entre iguales), siendo guiados por mentores, al tiempo que profundizan sus conocimientos sobre máquinas, materiales y procesos de diseño e ingeniería (Facca, 2020).

Concebidos originalmente para funcionar como plataforma de creación de prototipos locales en las comunidades, los Fab Labs van más allá de los contenidos curriculares fijos y el aprendizaje tiene lugar en un contexto auténtico, comprometido y personal en el que los estudiantes pasan por un ciclo de imaginación, diseño, creación de prototipos, reflexión



e iteración en busca de soluciones a los retos propuestos o dando vida a sus ideas (Fab Foundation, 2024).

En la actualidad, Brasil cuenta con 154 Fab Labs registrados oficialmente en la red mundial de Fab Labs (Fab Foundation, 2024). Entre ellos se encuentra Fab Lab Mauá, abierto desde 2018 como espacio institucional perteneciente al Instituto Mauá de Tecnología en São Caetano do Sul/SP, Brasil.

Inspirado en la cultura *maker*, Fab Lab Mauá es un espacio interdisciplinario, un ambiente que integra recursos de diversas áreas (Ingeniería, Diseño, Arquitectura, Sistemas de Información, Computación, Administración, etc.), estimulando a la gente a pensar «fuera de la caja» y a resolver problemas mediante la experiencia práctica (Facca, 2020). Fab Lab es un espacio transversal de experimentación, un ecosistema de innovación al servicio de la capacitación de profesionales, donde los estudiantes pueden ejercitar su creatividad y desarrollar sus ideas para hacer realidad proyectos factibles (IMT, 2018).



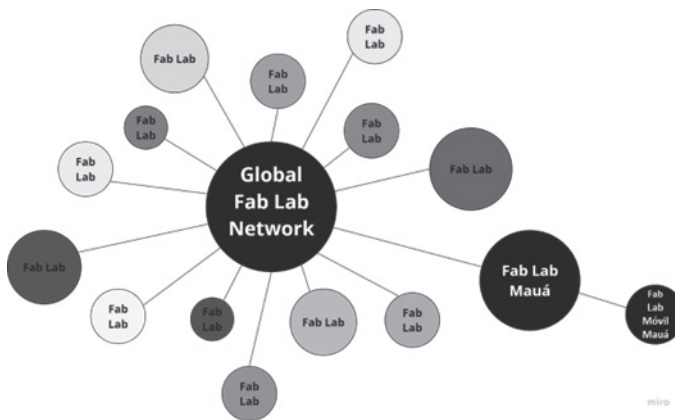
**Figura 10.**  
Fab Lab Mauá  
(Fuente: La autora,  
2023).

Ubicado en una nueva área de laboratorios de más de 900m<sup>2</sup>, Fab Lab Mauá es un sistema formado por un conjunto de laboratorios interconectados que permiten llevar a cabo diferentes actividades, como clases, talleres, proyectos integrados, informática avanzada, creación digital, robótica, modelado en *arcilla* y talleres de materiales – metales, polímeros y compuestos, entre otros (Ver Figura 10). Este complejo de laboratorios constituye la base para el desarrollo de todo el ciclo de creación de un proyecto, generando un soporte efectivo para un área integrada en la que estudiantes de grado y postgrado del Instituto Mauá de Tecnología puedan trabajar de forma colaborativa con modernos equipos que permiten la fabricación de objetos que pueden formar parte de sistemas complejos (IMT, 2018).

En su centro principal, Fab Lab Mauá ocupa una superficie de 200 m<sup>2</sup> y ofrece una amplia variedad de equipos que incluyen: una granja con 25 máquinas de impresión en 3D,

así como un cortador láser, mecanizado CNC (pequeños y grandes), cortador de vinilo, *vacuum forming*, cabina de pintura, máquinas de corte y acabado, entre otros. También cuenta con los recursos de otros laboratorios cercanos con equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos, así como recursos informáticos digitales y software especializado. Todo ello es utilizado y gestionado por profesores, técnicos, preceptores, becarios y estudiantes, y también está abierto a la toda la comunidad.

En este contexto, en 2022 se creó el Fab Lab Móvil Mauá, una extensión orgánica, viva y dinámica del Fab Lab Mauá, que también forma parte de la red global de Fab Labs (Ver Figura 11).



**Figura 11.** Diagrama jerárquico de la Red Global de Fab Labs (Fuente: La autora, 2024).

Fab Lab Móvil Mauá (Ver Figura 12) se desarrolló transformando un vehículo (una furgoneta) en un laboratorio móvil de fabricación digital, con la instalación de diversos recursos tecnológicos –los mismos que en el Fab Lab Mauá– pero en menor proporción. Estos recursos incluyen impresoras en 3D de filamentos, resinas y alimentos, fresadoras CNC, cortadoras láser, cortadoras de vinilo, ordenadores portátiles, televisores LCD, etc., además de estar equipados con toldos, rampas de acceso, bancos de trabajo, mesas y sillas plegables, carritos de herramientas, etc. (Ver Figuras 13 y 14). Con el objetivo de acercar los recursos y tecnologías de fabricación digital existentes en Fab Lab Mauá, situado en el campus horizontal de la institución, Fab Lab Móvil Mauá promueve la accesibilidad, movilidad e inclusión social a través de diversas actividades “prácticas”, ofreciendo acceso a la cultura y educación *maker*, compartiendo conocimientos, contribuyendo a la formación de los estudiantes y ofreciendo a la sociedad experiencias prácticas relacionadas con la educación y la transformación digital.



12

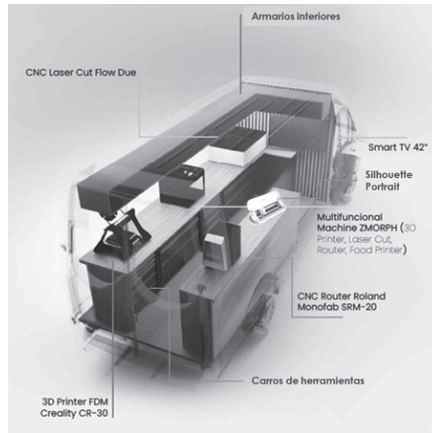
**Figura 12.**  
Fab Lab Móvil Mauá  
(Fuente: La autora,  
2023)

**Figura 13.**  
Interior del Fab Lab  
Móvil Mauá (Fuente:  
La autora, 2023)

**Figura 14.**  
Equipos del Fab Lab  
Móvil Mauá (Fuente:  
1961 Design Studio,  
2023)



13



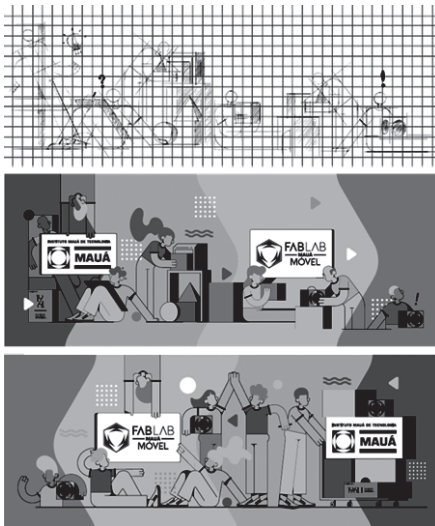
14

Fab Lab Móvil Mauá permite a las personas diseñar y producir objetos tangibles de acuerdo con la demanda, donde y cuando los necesiten, con un amplio acceso a las tecnologías de fabricación digital, despertando así el espíritu creativo, colaborativo y emprendedor, desafiando los modelos empresariales y educativos tradicionales. Concebidos originalmente para funcionar como plataforma de creación de prototipos local en comunidades, los Fab Labs se incorporan cada vez más como plataformas de proyectos y educación, centrados en las personas y relacionados principalmente con la difusión de STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas) (Facca, 2020). Pensar globalmente, fabricar localmente: éste es el lema principal del movimiento *maker* (Gershenfeld, 2012), que considera tres elementos fundamentales para consolidar su relación con la educación y concienciación social: 1) el uso de herramientas digitales, 2) la existencia de una infraestructura comunitaria, incluidos recursos *online* y espacios físicos y 3) la *maker mindset*, o sea,

la mentalidad, los valores, las creencias y disposiciones comunes a la comunidad *maker* (Martin, 2015).

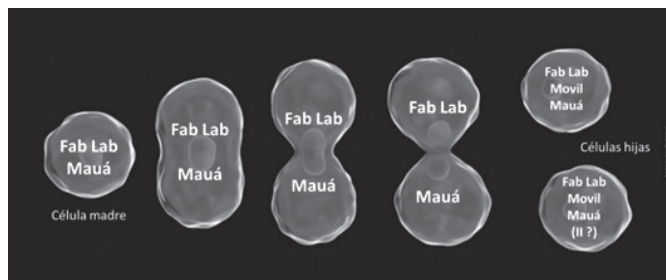
Fab Lab Móvil Mauá es una solución multiusuario que permite interactuar con la industria, las instituciones educativas, las organizaciones públicas y privadas, ONG y comunidades necesitadas, *startups*, emprendedores y la sociedad en su conjunto. Promueve la accesibilidad, movilidad e inclusión social mediante talleres, cursos y actos celebrados en comunidades y lugares que carecen de estos recursos tecnológicos. El objetivo principal del Fab Lab Móvil es proporcionar un espacio polivalente, que ofrezca acceso a la tecnología, cultura, ciencia y educación *maker* y compartir con la sociedad conocimientos y experiencias prácticas relacionados con la transformación digital.

La identidad visual del Fab Lab Móvil Mauá se presenta con una ilustración llamativa y divertida con una *storytelling* de la llegada de una idea Fab Lab, pasando por su desarrollo hasta su materialización, uniendo elementos de diseño, cultura *maker* y del ADN de la institución, poniendo siempre a las personas en el centro de las acciones (Ver Figura 15).



**Figura 15.**  
Identidad Visual del  
Fab Lab Móvil Mauá  
(Fuente: 1961 Design  
Studio, 2023)

El caso de Fab Lab Móvil Mauá, una iniciativa derivada del Fab Lab Mauá, la organización originaria, ejemplifica cómo la aplicación de principios sistémicos y la comprensión de la compleja dinámica de los sistemas biológicos son fundamentales para las empresas educativas innovadoras e interdisciplinarias. En este contexto, surge una reflexión sobre el lenguaje del diseño, su peculiar significado y todas las implicaciones derivadas del proceso de enseñanza-aprendizaje.

**Figura 16.**

El proceso de mitosis adaptado al Fab Lab Mauá (Fuente: Adaptado por la autora. Disponible en <https://aprovatotal.com.br/mitose/>. Accedido el 29 de enero de 2024).

La analogía de aplicar el proceso de mitosis a un laboratorio más grande (Fab Lab Mauá), considerándolo como una “célula madre” que se divide para dar lugar a laboratorios más pequeños (Fab Lab Móvil Mauá) o “células hijas”, es una forma interesante de ilustrar la expansión o reproducción de las estructuras educativas (Ver Figura 16).

### 1. División del laboratorio más grande (Célula madre):

- a. La fase de preparación: Al igual que en la profase<sup>3</sup> de la mitosis, el laboratorio más grande se prepara para la división, evaluando la necesidad de expansión y creando un plan de reproducción.
- b. La fase de división (mitosis): El laboratorio pasa por un proceso de división, en el que sus recursos, conocimientos e infraestructura se comparten o replican para crear laboratorios más pequeños.

### 2. Creación de laboratorios más pequeños (Células hijas):

- a. Citocinesis<sup>4</sup>: En este contexto, la citocinesis representaría la etapa en la que los recursos y conocimientos del laboratorio más grande se distribuyen entre los laboratorios más pequeños, dando lugar a unidades autónomas y funcionales.
- b. Similitud genética: Las “células hijas” (laboratorios más pequeños) guardan similitud genética con la “célula madre” (laboratorio más grande), manteniendo patrones y enfoques coherentes, pero con la flexibilidad necesaria para adaptarse a necesidades específicas.

### 3. Ventajas del enfoque mitótico para laboratorios:

- a. Expansión sistemática: La aplicación de la mitosis permite una expansión sistemática del laboratorio, replicando eficazmente sus recursos y métodos.
- b. Consistencia e integración: La similitud genética entre los laboratorios favorece la coherencia e integración de los enfoques, facilitando la colaboración y el intercambio de conocimientos.
- c. Adaptación a ambientes específicos: Cada laboratorio más pequeño puede adaptarse a entornos o necesidades específicos, como las células hijas especializadas para funciones concretas en los organismos biológicos.

Esta analogía proporciona una forma creativa de pensar en la expansión de las estructuras educativas, haciendo hincapié en la importancia de mantener la coherencia al tiempo que se adapta a entornos específicos. Este enfoque mitótico puede ser especialmente valioso en el contexto de los laboratorios educativos que buscan crecer de forma eficiente y sostenible.

Llevando esta analogía al contexto educativo, Senge (2013), al crear la quinta disciplina, el pensamiento sistémico, aborda el aprendizaje organizativo y el modo en que las organizaciones pueden afrontar retos complejos; lo considera el fundamento de la organización que aprende. El pensamiento sistémico es la quinta disciplina porque es la que integra las otras cuatro -dominio personal, modelos mentales, objetivo común, aprendizaje en grupo- fusionándolas en un conjunto coherente de teoría y práctica, impidiendo que se vean de forma aislada, reforzando cada una de ellas y demostrando siempre que el todo puede ser más que la suma de las partes.

El quinto tema resalta la importancia del pensamiento sistémico, que es la capacidad de ver y comprender las interconexiones entre los distintos elementos de un sistema. Senge (2013) sostiene que las organizaciones deben adoptar una perspectiva sistémica para identificar patrones, comprender las causas y los efectos y crear soluciones holísticas. Al integrar la quinta disciplina, las organizaciones pueden aplicar el pensamiento sistémico para resolver problemas complejos, anticiparse a los cambios y promover una cultura de aprendizaje continuo. Esto implica una profunda comprensión de las interrelaciones y los efectos en cascada dentro de un sistema, considerando no sólo las partes aisladas sino también sus interacciones dinámicas.

## 6. Consideraciones Finales

Los sistemas complejos, definidos por las interacciones entre elementos interconectados, pueden generar comportamientos complejos e imprevisibles. En este contexto, el pensamiento sistémico surge como herramienta fundamental para abordar problemas complejos, considerando no sólo los componentes individuales sino también sus interacciones en un sistema mayor. Esto tiene una aplicación directa en el diseño de sistemas, donde una comprensión holística es esencial para crear soluciones que tengan en cuenta las consecuencias de las interacciones.

La metáfora entre sistemas biológicos y diseño sistémico pone de relieve cómo los procesos naturales, como la mitosis, pueden inspirar el diseño de proyectos de forma orgánica. La conexión entre estos dos ámbitos, aunque sea indirecta y abstracta, se manifiesta en la búsqueda de inspiración en la naturaleza para guiar los proyectos de forma más integrada y eficaz.

El estudio de caso del Fab Lab Móvil Mauá, concebido como una «célula hija» derivada del Fab Lab Mauá, la «célula madre», ejemplifica cómo la aplicación de principios sistémicos y la comprensión de la compleja dinámica de los sistemas biológicos son cruciales para proyectos innovadores e interdisciplinarios. Esto se refleja en una profunda reflexión sobre el lenguaje del diseño, su significado y todo el proceso de enseñanza-aprendizaje.

En última instancia, la inspiración extraída de la naturaleza no sólo enriquece el diseño, sino que promueve nuevas conexiones y soluciones inusuales y más integradas. Este enfoque bioinspirado fomenta la innovación y eficiencia, y sirve como recordatorio constante de la riqueza de lecciones que la naturaleza puede ofrecer al mundo del diseño y la educación.

## Agradecimientos

Este artículo relata la creación e implementación del Fab Lab Móvil Mauá, perteneciente al Fab Lab Mauá, que solo fue posible gracias al apoyo incondicional del Instituto Mauá de Tecnología (IMT), representado por el Centro Universitario (CEUN) y el Centro de Investigación (CI). Por lo tanto, me gustaría expresar mis más sinceros agradecimientos al Superintendente General del IMT – Irineu Gustavo Nogueira Giansi, al Rector del CEUN-IMT - Prof. Dr. José Carlos de Souza Jr., al Pro-Rector Académico del CEUN-IMT - Prof. Dr. Marcello Nitz da Costa, al Director del Centro de Investigación del IMT - Ing. José Roberto Augusto de Campos, al Gerente del Fab Lab Mauá - Ing. Guilherme Hiroji Anraku Ikeda y equipo, al Coordinador del Curso de Diseño del CEUN-IMT – Prof. Dr. Everaldo Pereira y equipo, al equipo de diseño del 1961 Design Studio y a todos los que participaron directa e indirectamente de esta increíble experiencia.

## Notas

1. Los sistemas abiertos interactúan con el entorno exterior, recibiendo y emitiendo energía y materia, al tiempo que mantienen una relativa estabilidad en su configuración general. Ejemplos de sistemas abiertos incluyen entornos naturales, artefactos específicos y la vida en general (Morin, 2005).
2. Los sistemas autoorganizados se mantienen en un estado de autosostenibilidad gracias al desequilibrio entre su configuración y el entorno, siendo la información y la capacidad de retroalimentación factores fundamentales en este proceso (Morin, 2005).
3. La profase es la primera fase de la mitosis y la meiosis, en la que los cromosomas se condensan, los nucléolos y la carioteca se separan, dispersando sus componentes en el citoplasma (Nota de la autora).
4. La citocinesis es el proceso por el cual el citoplasma de una célula eucariota se divide para formar dos células hijas. Consiste, por lo tanto, en la división del citoplasma (Nota de la autora).



## Referencias bibliográficas

- Amabis, J. M., & Martho, G. R. (2019). *Biologia das células 1: Origem da vida, citologia, histologia, embriologia* (2ª ed., Vol. 1). São Paulo: Moderna.
- Benyus, J. M. (2009). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Adobe Digital Edition: HarperCollins e-books.
- Bistagnino, L. (2009). *Design sistemico: Progettare la sostenibilità produttiva e ambientale*. Bra: Slow Food. Tratto il giorno 01 28, 2024 da [https://ecosdeotraparte.files.wordpress.com/2012/07/design-sistemico\\_2-ed.pdf](https://ecosdeotraparte.files.wordpress.com/2012/07/design-sistemico_2-ed.pdf)
- Buchanan, R. (1992, Spring). Wicked Problems in Design Thinking. *Design Issues*, 8(n.2), pp. 5-21. Retrieved outubro 12, 2019, from <http://www.jstor.org/stable/1511637>
- Cardoso, R. (2012). *Design para um mundo complexo*. São Paulo: Cosac Naify.
- Carvalho, A., pereira, E., Orefice, M. M., Guilherme Ikeda, R. R., Moraes, V. T., & Alves, A. P. (2022). Design de wearable: interatividade e sistemas complexos. *Entropia - SIIMI/202 / #21.ART / 9th Balance-Unbalance*, (p. 14). doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.7515693>
- Cross, N. (1982, oct). Designerly ways of knowing. *Design Studies*, 3(Nº 4), pp. 221-227. Retrieved 01 09, 2020, from <https://oro.open.ac.uk/39253/8/Designerly%20Ways%20of%20Knowing%20DS.pdf>
- Fab Foundation. (2024). *Fablabs.io*. Retrieved 01 29, 2024, from [Fablabs.io: https://www.fablabs.io/](https://www.fablabs.io/)
- Fab Foundation. (2024). *Getting started with Fab Labs*. Retrieved 01 29, 2024, from Fab Foundation: <https://fabfoundation.org/getting-started/>
- Facca, C. A. (2020). *A contribuição do pensamento do design na formação do engenheiro: o espaço do Fab Lab como experiência transversal*. Tese de Doutorado, Universidade Anhembi Morumbi, PPG Design, São Paulo.
- Facca, C. A., Carvalho, A. R., Moraes, V. T., & Rocha, C. (2023). Biodiseño y Bioaprendizaje: Diálogo con sistemas naturales y complejos. *Cuaderno 178 | Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, págs. 169-185. doi:<https://doi.org/10.18682/cdc.vi178.8643>
- Gershenfeld, N. (2012, 11/12). How to Make Almost Anything. The Digital Fabrication Revolution. *Foreign Affairs*, 91(6), 42-57. Retrieved 12 17, 2019, from <http://cba.mit.edu/docs/papers/12.09.FA.pdf>
- IMT. (fevereiro de 2018). *Press-Releases*. Accedido el 10 de abril de 2020, disponible en Instituto Mauá de Tecnologia: <https://maua.br/imprensa/press-releases/instituto-maua-tecnologia-inaugura-primeiro-fab-lab-do-grande-abc>
- Leite, M. (09 de 09 de 2021). *O pensar sistêmico e o design do futuro*. Accedido el 29 de enero de 2024, disponible en M/L8 Design: <https://www.ml8design.com/post/o-pensar-sist%C3%AAmico-e-o-design-do-futuro>
- Mancuso, S. (2018). *The Revolutionary Genius of Plants: a new understanding of plant intelligence and behavior*. New York: Atria Books.
- Martin, L. (2015). The Promise of the Maker Movement for Education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 5(Issue 1), pp. 30-39. doi:<https://doi.org/10.7771/2157-9288.1099>
- Mazzarello, P. (1999). A unifying concept: the history of cell theory. *Nat Cell Biol* 1(E13-E15). doi:<https://doi.org/10.1038/8964>

- Mendonça, B. R., & Neves, D. B. (09 de 2017). Metadesign e Sustentabilidade em Redes: Complexidade e construção de sentido. *CHAPON Cadernos de Design / Centro de Artes / UFPEL(0)*. Accedido el 29 de enero de 2024, disponible en <https://www.researchgate.net/publication/330894820>
- Morin, E. (2005). *Introdução ao Pensamento Complexo* (5ª ed.). (E. Lisboa, Trad.) Porto Alegre, RS: Sulina.
- Pêgo, K. A. (2021). Design Sistêmico: Por uma Sustentabilidade Ampliada. Em A. F. Pereira, C. D. Gaudio, & (orgs.), *Ecovisões Projetuais: Pesquisas em Design e Sustentabilidade no Brasil* (Vol. 2, pp. 145 -162). doi:<http://dx.doi.org/10.1016/9786555500493-11>
- Rittel, H., & Webber, M. (1973, 06). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4, pp. 155-169. doi:<https://doi.org/10.1007/BF01405730>
- Senge, P. (2013). *A quinta disciplina: Arte e prática da organização que aprende* (38ª ed.). Rio de Janeiro: Best Seller.
- Vassão, C. A. (2008). *Arquitetura Livre: Complexidade, Metadesign e Ciência Nômade*. Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo: FAUUSP. doi:10.11606/T.16.2008.tde-17032010-140902

---

**Abstract:** This article explores the intersection between complex systems, systems thinking and design, and biological systems, presenting the process of creation and implementation of the Mauá Mobile Fab Lab, the first digital fabrication lab on wheels in Brazil, duly registered in the global network of Fab Labs (Fab Foundation, linked to MIT in the USA) and an organic extension of the Mauá Fab Lab, at the Mauá Institute of Technology, in São Paulo, Brazil. Complex systems are sets of interconnected elements whose interactions can lead to complex and unpredictable behaviour. And systems thinking, in a holistic approach, considers the system as a whole, focusing on the interactions between its parts. This is fundamental to the practice of systems design, which aims to create solutions by considering not just the individual components, but how they fit into larger systems, addressing complex problems and considering the consequences of interactions.

This is fundamental to the practice of systems design, which aims to create solutions by considering not just the individual components, but how they fit into larger systems, addressing complex problems and considering the consequences of interactions. Biological systems, such as living organisms, and processes such as mitosis (cell division), are examples of complex systems in nature. The relationship between biological systems and systemic design is treated in this context in a metaphorical way, where design seeks inspiration from natural processes to guide projects organically, although this connection is indirect and abstract. The case study of the Mauá Mobile Fab Lab –a daughter cell– originating from the Mauá Fab Lab –the mother cell– demonstrates how the application of systemic principles and the understanding of the complex dynamics of biological systems are essential for innovative and interdisciplinary educational projects, reflecting on the language of design, its respective meaning and the whole teaching-learning process.

Inspiration from nature can inspire design, promoting new connections, unusual, more integrated and effective solutions.

**Keywords:** Complex System - Systemic Thinking - Systemic Design - Complex Problems - Holistic Thinking - Biological System - Interdisciplinarity - Bioinspiration - Fab Lab - Biolearning

**Resumo:** Este artigo explora a interseção entre sistemas complexos, pensamento e design de sistemas e sistemas biológicos, apresentando o processo de criação e implementação do Mauá Mobile Fab Lab, o primeiro laboratório de fabricação digital sobre rodas do Brasil, devidamente registrado na rede global de Fab Labs (Fab Foundation, ligada ao MIT nos EUA) e uma extensão orgânica do Fab Lab Mauá, do Instituto Mauá de Tecnologia, em São Paulo, Brasil. Sistemas complexos são conjuntos de elementos interconectados cujas interações podem levar a comportamentos complexos e imprevisíveis. E o pensamento sistêmico, em uma abordagem holística, considera o sistema como um todo, concentrando-se nas interações entre suas partes.

Isso é fundamental para a prática do design de sistemas, que visa criar soluções considerando não apenas os componentes individuais, mas como eles se encaixam em sistemas maiores, abordando problemas complexos e considerando as consequências das interações. Os sistemas biológicos, como os organismos vivos e processos como a mitose (divisão celular), são exemplos de sistemas complexos na natureza. A relação entre os sistemas biológicos e o design sistêmico é tratada nesse contexto de forma metafórica, em que o design busca inspiração nos processos naturais para orientar os projetos de forma orgânica, embora essa conexão seja indireta e abstrata. O estudo de caso do Mauá Mobile Fab Lab –uma célula-filha– originada do Mauá Fab Lab –a célula-mãe– demonstra como a aplicação de princípios sistêmicos e a compreensão da dinâmica complexa dos sistemas biológicos são essenciais para projetos educacionais inovadores e interdisciplinares, refletindo sobre a linguagem do design, seu respectivo significado e todo o processo de ensino-aprendizagem. A inspiração na natureza pode inspirar o design, promovendo novas conexões, soluções inusitadas, mais integradas e eficazes.

**Palavras-chave:** Sistema Complexo - Pensamento Sistêmico - Design Sistêmico - Problemas Complexos - Pensamento Holístico - Sistema Biológico - Interdisciplinaridade - Bioinspiração - Fab Lab - Biolearning

---