

Fronteras permeables. Explorando colaboraciones transdisciplinarias en biodiseño para la innovación

Diana Marcela Quiroga Gómez

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Los retos actuales no pueden resolverse desde una sola disciplina; la colaboración transdisciplinar es esencial para abordar problemáticas complejas desde enfoques integrados. Esto requiere cooperación entre distintas disciplinas y la incorporación de actores no académicos, trascendiendo los límites tradicionales del conocimiento. En la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Los Andes el área de biodiseño se ha consolidado como un espacio donde estudiantes y profesores de distintas áreas enfrentan desafíos relacionados con la construcción y validación del conocimiento, las condiciones de los estudiantes y las dinámicas metodológicas de las clases. Este artículo analiza las colaboraciones transdisciplinarias orientadas a la innovación a partir del estudio de caso de tres asignaturas de biodiseño. A través de entrevistas, observaciones y revisión de materiales pedagógicos, se identificaron las principales tensiones y aprendizajes derivados del trabajo conjunto. La investigación responde al interrogante: ¿cómo fortalecer las dinámicas de colaboración entre profesores y estudiantes para que la diversidad de perspectivas contribuya a una cooperación genuina? Como resultado, se desarrolló un conjunto de herramientas de análisis y diagnóstico que permite a los docentes reconocer avances, estancamientos y oportunidades de mejora en sus prácticas para ajustar sus metodologías y seguir promoviendo la colaboración y el aprendizaje transdisciplinar.

Palabras clave: biodiseño, innovación, transdisciplinar, objetos frontera, paradigmas

Introducción

El biodiseño es un campo que integra diseño y biología, involucra a organismos vivos en los procesos de creación y articula saberes de campos como la microbiología, la ingeniería, la química, el arte y la arquitectura para responder a desafíos contemporáneos como la crisis climática. Sin embargo, su desarrollo enfrenta limitaciones en la integración disciplinar y en su transferencia a contextos productivos y sociales.

En la Universidad de Los Andes, la reforma académica de 2006 permitió incorporar biología sintética y biodiseño al programa de Diseño. Desde 2017 la participación en el Biodesign Challenge y en proyectos como RootKnit, Pseudofreeze y Must(go) consolidó una trayectoria que impulsó la creación de asignaturas como Biomoda y Diseño y Biotecnología, así como un ecosistema docente con prácticas crecientemente transdisciplinares.

A partir del análisis de los aprendizajes, tensiones y desafíos de estos proyectos, el estudio busca comprender cómo se configuran, avanzan o interrumpen las colaboraciones entre disciplinas y de qué manera pueden fortalecerse en la formación en biodiseño.

El enfoque transdisciplinar se entiende aquí como la cooperación entre disciplinas y actores no académicos para producir conocimiento integrado; sin embargo, en los casos analizados, esta transdisciplinariedad se manifiesta principalmente dentro de la academia, en la articulación entre diseño y biología. De forma incipiente, se observan vínculos con contextos y sujetos para quienes se diseña, prototipos in situ y esfuerzos por reconocer valores, necesidades y proyecciones de comunidades o entornos involucrados. Aunque los casos no incorporan directamente saberes o actores externos, evidencian estrategias iniciales de ampliación metodológica e incorporación de perspectivas externas que constituyen un punto de partida para prácticas transdisciplinares más robustas.

Metodología

Esta investigación adopta un enfoque cualitativo mediante un estudio de casos múltiples para analizar las experiencias de profesores y estudiantes que participaron en tres asignaturas de biodiseño de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Los Andes. El proceso inició con una revisión de literatura sobre la relación entre ciencia y diseño, para definir el biodiseño y la innovación, y analizar casos de colaboraciones entre científicos, diseñadores y artistas en contextos universitarios.

La información empírica se recopiló mediante entrevistas semiestructuradas a estudiantes y docentes, complementadas con análisis documental de materiales de las clases, lo que permitió examinar dinámicas grupales, prácticas colaborativas y tensiones del proceso formativo. El análisis cualitativo para la construcción de categorías analíticas se desarrolló mediante codificación temática, combinando criterios inductivos y deductivos, a partir de la recurrencia de temas, el contraste entre actores y la comparación entre casos.

Posteriormente, se realizó una comparación transversal y una triangulación de fuentes y perspectivas para identificar patrones, divergencias y condiciones contextuales que influyeron en las experiencias de colaboración transdisciplinar. Con base en estos hallazgos se diseñó y testeó una herramienta diagnóstica con los docentes participantes, a partir de la cual se generaron recomendaciones pedagógicas para fortalecer la colaboración transdisciplinar en cursos futuros.

Criterios de selección de los casos y participantes

Los casos correspondieron a cursos del área de biodiseño de la Facultad de Arquitectura y Diseño que contaban con docentes de distintas disciplinas o con trayectorias híbridas entre diseño/arte y ciencias, habían sido dictados previamente por lo menos una vez por los mismos profesores e incorporaban estudiantes de diversas disciplinas, metodologías propias

del diseño y la ciencia, y trabajo colaborativo dentro del currículo.

Los estudiantes seleccionados pertenecían a grupos que finalizaron el curso con resultados sólidos y cumplieron todos los entregables. En cada caso se eligieron dos estudiantes que, cuando fue posible, representaran diversidad disciplinar, de género y de roles dentro del equipo. Todos participaron activamente en la mayoría de las fases del curso y se encontraban en los últimos semestres de su formación académica.

El diseño y la ciencia son complementarios

Según Owen (2007), los problemas contemporáneos exigen revisar los procesos de toma de decisiones, ya que en ellos el pensamiento científico con frecuencia no se escucha o no se tiene en cuenta, y el pensamiento de diseño no se emplea en absoluto. Este último, entendido como complemento del primero, “encarna una amplia gama de características creativas, así como una serie de otras cualidades especiales de gran valor para los tomadores de decisiones” (Owen, 2007, p. 17). La complementariedad entre ambos radica en que el pensamiento de diseño y el pensamiento científico difieren en la forma de construir y validar el conocimiento, y su articulación del pensamiento de acuerdo con el autor cubre adecuadamente las áreas para la toma de decisiones.

Para explicar esto, en primer lugar, Owen (2007) considera que las personas creativas tienden a trabajar de dos formas, como *descubridores* o *creadores*, y plantea los dominios que se ven en la Figura 1.

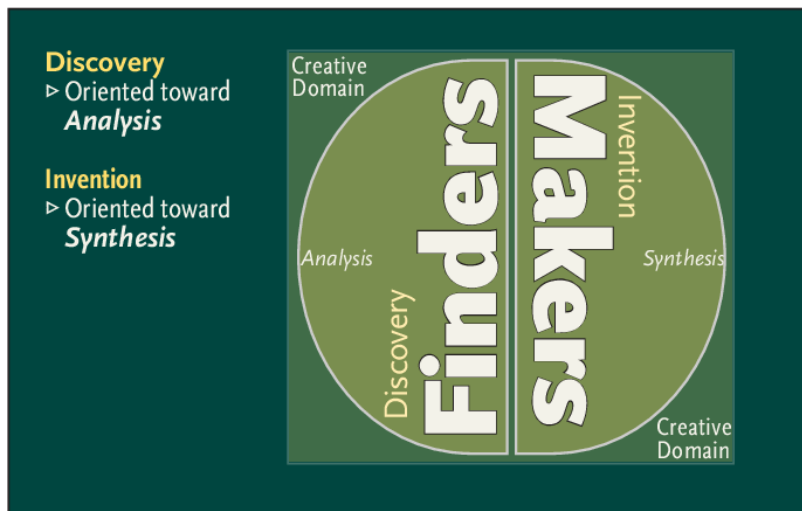


Figura 1. Los dominios del modelo creativo. Reproducido de Owen (2007, p. 17).

Los descubridores ejercen su creatividad a través de los hallazgos y están motivados por la necesidad de entender y encontrar explicaciones para fenómenos que no están bien comprendidos. Aquí se sitúan los científicos. Los creadores ejercen su creatividad a través de la invención, están motivados por la necesidad de sintetizar lo que saben en nuevas construcciones, composiciones, conceptos, etc. que aporten expresiones tangibles y frescas de lo que puede ser. La complementariedad entre las ciencias y el diseño se hace aún más evidente en la Figura 2 que muestra una división de los dominios del modelo creativo a partir de la intersección entre dos ejes que dan cabida a todas las disciplinas dentro de este. El eje vertical representa la dimensión simbólica/real de acuerdo con el contenido o el ámbito de actividad del campo disciplinar y el eje horizontal comprende el componente analítico/sintético que clasifica los campos según la forma en la que trabajan.

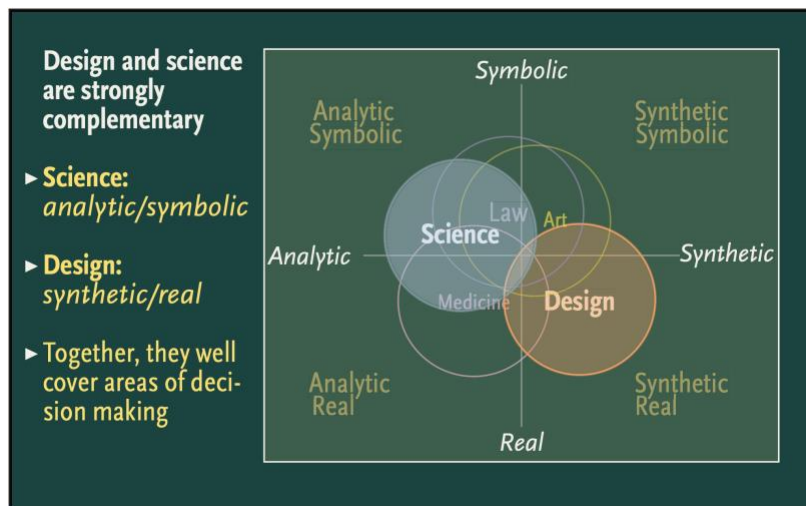


Figura 2. El diseño y la ciencia son complementarios. Reproducido de Owen (2007, p. 18).

Frente a estas posiciones, el autor considera que: donde el científico examina los hechos para descubrir patrones y perspectivas, el diseñador inventa nuevos patrones y conceptos para abordar hechos y posibilidades. En un mundo con problemas crecientes que necesitan desesperadamente comprensión y perspicacia, también hay una gran necesidad de ideas que puedan combinar esa comprensión y perspicacia en soluciones creativas.

Por su parte, autoras como Oxman (2016) proponen el Ciclo de Krebs de la creatividad (Figura 3) con el objetivo de: Representar la hipótesis antidisciplinaria: que el conocimiento ya no puede atribuirse o producirse dentro de límites disciplinarios, sino que está completamente enredado. El objetivo es establecer una cartografía tentativa, pero holística, de la interrelación entre estos dominios, donde un reino puede incitar la (r)evolución dentro de otro; y donde un solo individuo o proyecto puede residir en múltiples dominios. En su mayor parte, se trata de una invitación a cuestionar y modificar lo que se está proponiendo.

Respecto a la dupla ciencia–diseño, Owen (2007) considera que ambos son valiosos, pero juntos traen el mejor equilibrio entre la indagación escéptica y la aplicación imaginativa.

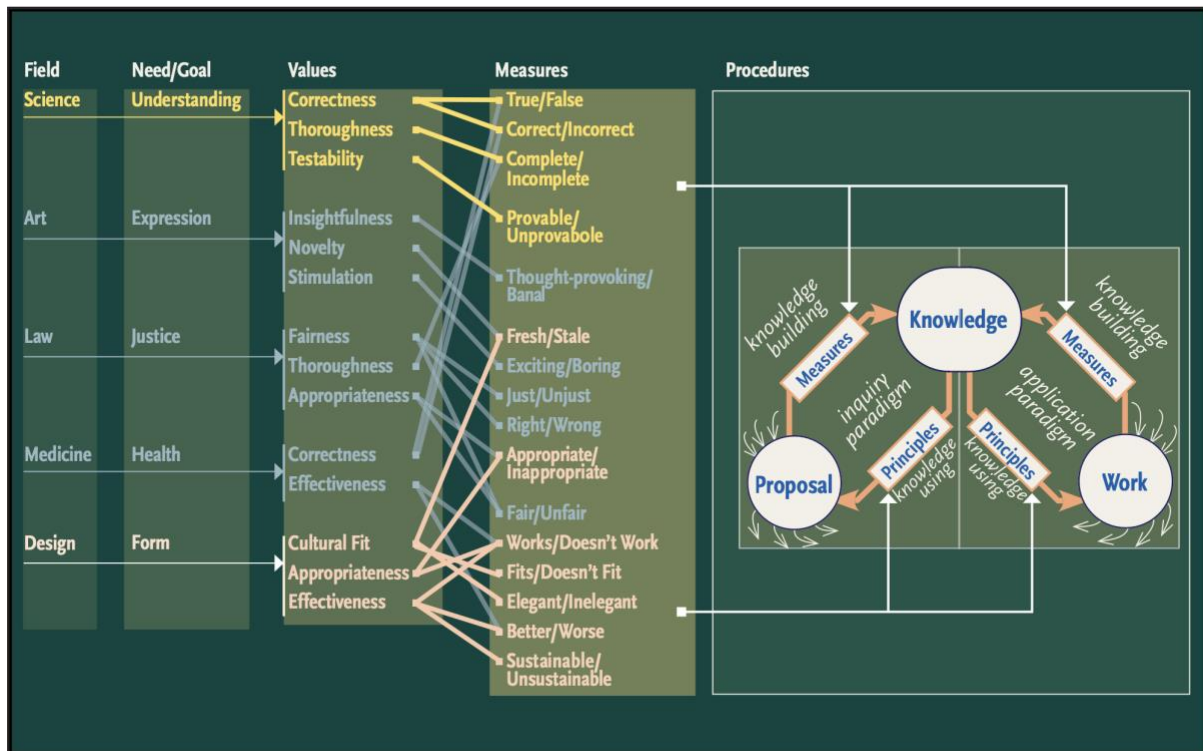


Figura 4. Cimientos: puntos de vista y valores para ciencia, arte, derecho, medicina y diseño. Reproducido de Owen (2007, p. 21).

El biodiseño como una nueva forma de producción de conocimiento

En este trabajo, el biodiseño se entiende como un campo que integra diseño con saberes científicos, tecnológicos y creativos como la biología, la ingeniería, el arte y la arquitectura para fomentar la creación y la investigación conjunta. Esta convergencia representa una nueva forma de producir conocimiento al combinar distintos modos de pensamiento y plantea retos de adaptación disciplinar, especialmente en contextos científicos tradicionales. En la Universidad de Los Andes, donde la colaboración con diversas disciplinas y comunidades es parte central del plan de estudios, estas propuestas resultan especialmente beneficiosas. Las prácticas de biodiseño se sustentan en el pensamiento de diseño, definido por Owen (2007) como una metodología inventiva, visual, colaborativa y optimista, que combina visión sistémica y habilidades comunicativas. Al interactuar con otras formas de pensamiento,

surgen nuevas maneras de validar y producir conocimiento, que varían según los objetivos y contextos de cada proyecto, reflejando tanto la naturaleza emergente del biodiseño como su potencial para generar enfoques diversos e innovadores.

Propósitos colaborativos

El estudio de los propósitos colaborativos en biodiseño permite comprender cómo se construye y valida conocimiento en la intersección entre diseño y ciencia. Según Bénony y Maudet (2020), al complementar a Driver et al. (2011), estas colaboraciones pueden orientarse a apoyar la comercialización de nuevas tecnologías, guiar la dirección de la investigación o comunicar la ciencia (Figura 5); para esta investigación abordaremos los dos primeros propósitos. En las clases de biodiseño de la Universidad de Los Andes predominan dinámicas interdisciplinarias con aspiraciones transdisciplinarias, aunque la integración equitativa de actores académicos y no académicos sigue siendo un reto. Estudios previos evidencian tensiones similares, como las dificultades en la traducción del conocimiento biológico al diseño (Kennedy et al., 2015), y la evolución de los roles entre científicos y diseñadores hacia funciones de mediación, aprendizaje mutuo, provocación ética y guía (Bénony & Maudet, 2020).

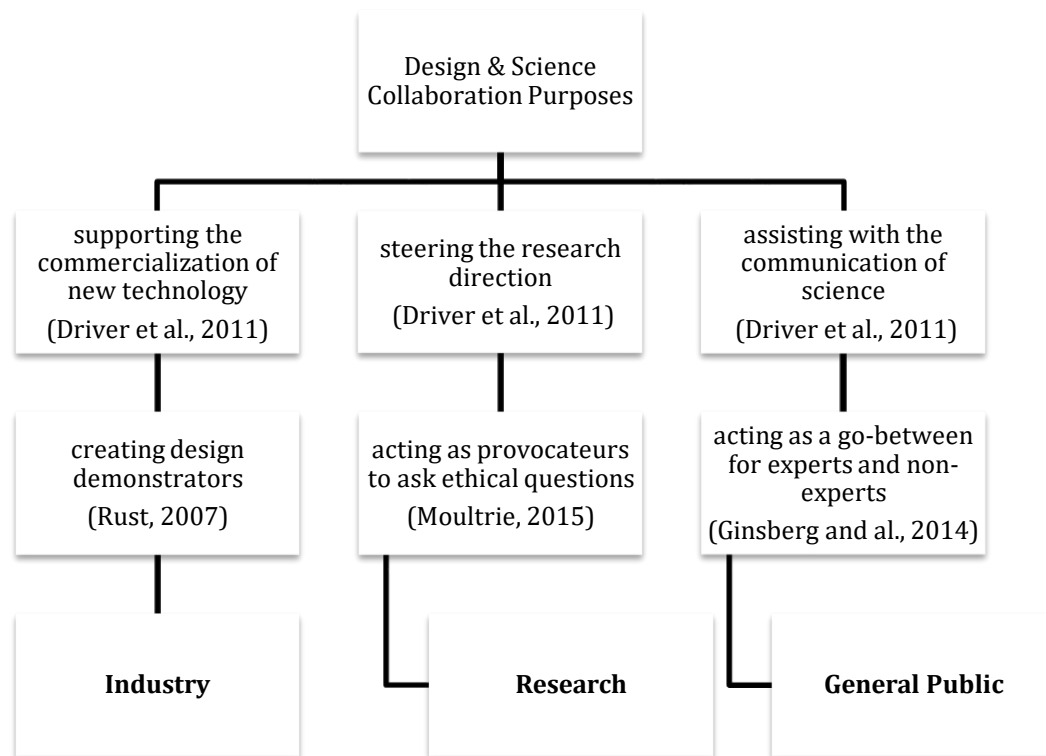


Figura 5. Propósitos de colaboración entre diseño y ciencia. Adaptado de Bénony y Maudet (2020, p. 559).

En este estudio, a partir de entrevistas con estudiantes y profesores de biología y diseño, se identificaron los roles que cada disciplina asume según la etapa del proyecto. En *descubrir*, el diseñador fue invitado y el biólogo guía; al *definir*, el biólogo actuó como influenciador y el diseñador como “mente elástica”; en *desarrollo*, el diseñador fue aprendiz y el biólogo supervisor; y en *entrega*, el diseñador se convirtió en creador solitario y el biólogo fue excluido. En síntesis, ambas disciplinas avanzaron experimentalmente desde sus propios enfoques, aunque se evidenciaron diferencias significativas en su interacción y validación del conocimiento (Tabla 1).

Tabla 1. Tendencias asignadas a biólogos y diseñadores en el trabajo entre disciplinas a partir de los casos de estudio consignados en Bénony y Maudet (2020).

Científico(a)	Diseñador(a)
Se preocupa por cómo son las cosas.	Se preocupan por cómo deberían ser las cosas.

La ciencia explora lo inobservable.	Explora lo observable.
Producen nuevo conocimiento.	Crean nuevas experiencias
Lideran el contenido del proyecto.	Lideran el proceso.
Encuentran su lugar a través del interés (traducen las preocupaciones de los no científicos a sus propios términos)	Generalmente toman la delantera en la organización del tiempo y las actividades del proyecto.
	Tratan la biología como un material para diseñar, más que como un campo científico o disciplina por derecho propio.

A partir de la información recopilada previamente y un primer acercamiento desde la experiencia propia a proyectos de clases de biodiseño, se proponen las siguientes hipótesis sobre las colaboraciones transdisciplinarias (Tabla 2).

Tabla 2. Hipótesis sobre colaboraciones transdisciplinarias. Adaptado de Bénony y Maudet (2020).

Los diseñadores tienden a ver la ciencia (en este caso, la biología y microbiología) como un insumo para diseñar más que como una disciplina con la que colaborar. Se usa la ciencia como el medio para lograr un fin.	Uno de los principales desafíos al realizar trabajo transdisciplinario es garantizar la participación equitativa de todos los miembros a lo largo del proyecto.
A lo largo del proyecto los biólogos se convierten en los puentes entre las ideas y la realidad.	Herramientas como los prototipos, mapas, diarios de campo, entre otros, actúan como objetos frontera y median significativamente las contribuciones entre diseñadores y biólogos. Pueden ayudar a mejorar la comunicación y promover una participación más equitativa a lo largo de todo el proceso.
La colaboración entre biólogos y diseñadores generalmente se aborda a través de la metodología de aprendizaje basada en retos/proyectos en equipos.	Usualmente son los diseñadores los que toman el liderazgo en la organización del proceso de un proyecto y los que más se apropian de las herramientas que se proponen en este debido a su familiaridad con ellas.
Los biólogos generalmente se sienten más cómodos y participan más en las etapas de investigación y prototipado de un proyecto. Los	La creación de significado y validación del proceso de biodiseño se negocia de acuerdo con el propósito

diseñadores suelen excluir a los biólogos de la etapa de comunicación y se sienten más cómodos en la etapa de definición del problema e ideación.	colaborativo y la etapa en la que se encuentre el proyecto.
Incluir la etapa <i>biologizar el problema</i> en la metodología de biodiseño basado en problemas puede incentivar una mayor participación de los biólogos al incluir técnicas y herramientas científicas.	El rol del biólogo y del diseñador cambian sustancialmente de acuerdo con la metodología que se use para abordar el proyecto de biodiseño (basado en problemas, basado en soluciones, inspirado en la naturaleza, etc.) y las etapas dentro del mismo (aunque varían dependiendo de la clase, generalmente son: explorar, interpretar, idear, probar, evaluar y comunicar) (Figuras 13 a 15).
Los concursos de biodiseño y los emprendimientos son prácticas a través de las cuales se promueven colaboraciones exitosas entre diseñadores y biólogos/ microbiólogos.	

Más allá de desmentir o confirmar las hipótesis, los casos analizados evidencian las formas en que operan estos paradigmas y las diferencias con respecto a los marcos de pensamiento que rigen en cada disciplina.

La innovación como propósito colaborativo

En este punto, resulta necesario identificar los valores que sustentan al biodiseño y orientan la construcción y evaluación del conocimiento, siguiendo una lógica similar a la propuesta por Owen en la Figura 4. Este análisis busca establecer un objetivo común que articule las diversas áreas que conforman el biodiseño, reconociendo la innovación como un valor central del campo y entendida no solo como la introducción de novedades, sino también para mantenerlas, aplicarlas y generar transformaciones a partir de ellas. Comprender el biodiseño desde este valor permite abordarlo de manera más integral, considerando las múltiples dimensiones necesarias para que la innovación sea efectiva y sostenible.

Modelos y herramientas para trabajar juntos

Objetos Frontera

El concepto de objetos frontera es clave para facilitar la colaboración entre disciplinas con lenguajes y métodos distintos, como el diseño y la ciencia. Según Völk et al. (2019), estos objetos son lo bastante flexibles para adaptarse a las necesidades de cada actor, pero lo suficientemente estables para mantener una identidad común que posibilite la traducción y transferencia de conocimiento. En contextos multidisciplinares, los diagramas, modelos o prototipos funcionan como medios para representar, aprender y transformar el conocimiento, generando significado compartido. Heinemann et al. (2011) señalan que los objetos materiales en los talleres de innovación amplían la cognición colectiva y fomentan la creatividad, al construir entendimiento mutuo de forma situada. En los estudios de Völk et al. (2019), los diseñadores asumieron roles exploratorios, usando los objetos frontera para materializar ideas, mientras los científicos aportaban conocimiento especializado; el trabajo prolongado sobre un mismo objeto mejoró la calidad de las propuestas, evidenciando su función generativa, exploratoria y de registro. Aunque el aprendizaje resultante es ambiguo, situado y contextual, es esencial para la innovación interdisciplinaria. Así, aplicar este concepto al diseño de herramientas transdisciplinares permite crear puntos de encuentro, negociar significados y construir conocimiento colectivo.

Las dimensiones de la innovación para entender los casos de biodiseño

Según Arocena y Sutz (2003), las relaciones entre ciencia, tecnología e innovación han entrado en una etapa de mayor interdependencia, donde la innovación se entiende como un proceso social que tanto induce como requiere cambios, y agregan que: “las innovaciones sociales se mezclaron entre sí con las innovaciones técnico-productivas: las empresas crecieron... y el conjunto de ideas que se podía llevar a la práctica se incrementó por esa

razón” Arocena y Sutz (2003, p. 80). En este marco, Chanal et al. (2011) proponen tres dimensiones clave para analizar la innovación: mercado, tecnología y apropiación social, las cuales deben interactuar constantemente para lograr procesos sostenibles. Estas tres dimensiones se originan en disciplinas afines a estos principios (Figura 6) e, idealmente, deberían interactuar constantemente entre ellas para que una innovación sea exitosa y sostenible.



Figura 6. Dimensiones de la innovación. Adaptado de Chanal, et al. (2011).

Comprender los proyectos de biodiseño desde estas dimensiones permite identificar ajustes necesarios para tender a una innovación exitosa que, entre otras cosas, transite exitosamente de la academia al mundo real. Las relaciones entre las dimensiones pueden representarse mediante un sistema de triple hélice (Figura 7), donde cada dimensión envuelve y transforma a las demás, simbolizando el crecimiento y la evolución del proceso innovador.



Figura 7. Dimensiones de la innovación, sistema de triple hélice. Adaptado de Chanal et al. (2011).

Cada dimensión responde a distintos tipos de innovación según el tipo de novedad, en dónde ocurre, quién posee el control sobre esta y quién la respalda. Como señalan Pinch y Bijker (2008), la innovación ha sido históricamente entendida como aquella novedad que, mediada por el descubrimiento, surge de la ciencia y la tecnología, aunque hoy se reconocen otras formas simultáneas. Las Figuras 8 a 10 sintetizan algunas de las características más importantes de cada tipo de innovación y la Figura 11 incorpora el concepto de innovación abierta, que surge cuando las tres dimensiones operan de manera equilibrada y dinámica. Este paradigma, descrito por Chesbrough (2003) y citado por Miralles et al., (2012), combina ideas internas y externas para crear valor mediante modelos de negocio flexibles, mientras que Miralles et al. (2012) destacan su énfasis en la gestión colaborativa del conocimiento a través de redes, propiedad intelectual, emprendimiento e I+D. La innovación abierta promueve cooperación, transparencia y aprendizaje mutuo, aunque plantea retos en integración de saberes, evaluación de resultados y derechos sobre el conocimiento. Aun así, constituye un horizonte deseable que ofrece condiciones adaptativas y colectivas respecto a los desafíos actuales de la producción de conocimiento.



Figura 8. Innovación centrada en la tecnología: la ciencia como guía. Adaptado de Chanal, et al. (2011) incluyendo conceptos descritos por Arocena y Sutz (2003).

- Ocurre a través del mercado (oferta y demanda).
- No controla las preferencias o valoraciones de la innovación.
- Incorpora características de la innovación tecnológica y social.
- La respaldan, entre otros, financiadores de STARTUPS.
- Mediado por el I+D y el I+D+I con el fin de crear nuevos conocimientos y aplicarlos de manera efectiva en el mercado. Requiere de la colaboración de diversas disciplinas y actores.

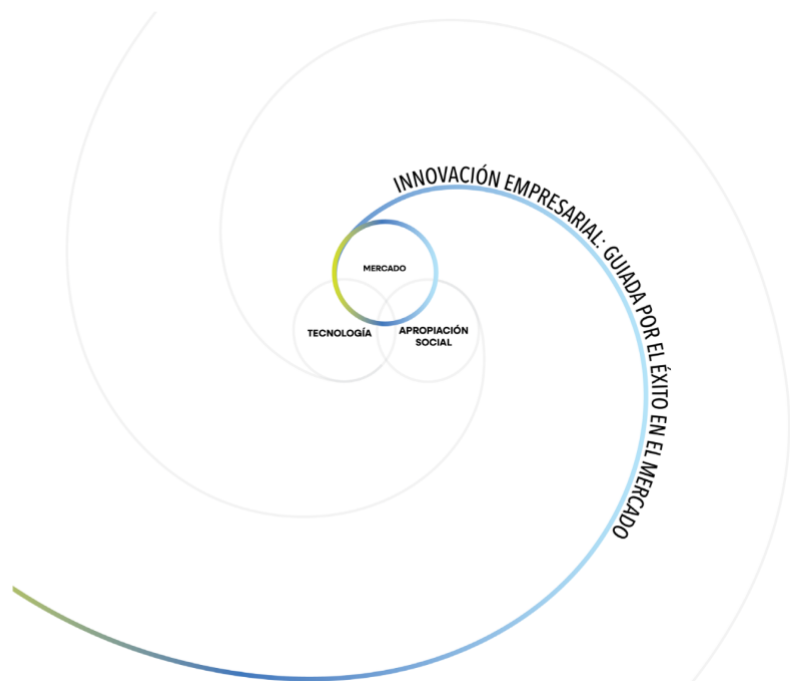
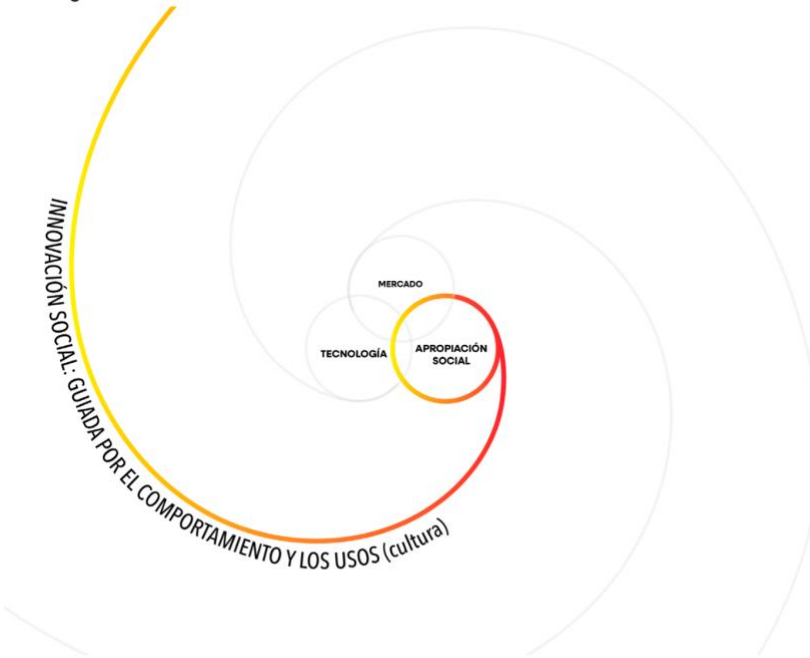


Figura 9. Innovación centrada en los negocios y la empresa: el éxito en el mercado como guía. Adaptado de Chanal, et al. (2011) incluyendo conceptos descritos por Arocena y Sutz (2003).

como guía



- Está mediada por la metodología de investigación-acción participativa y la co-creación entre diversos actores que incluyen gobiernos, empresas, organizaciones sin fines de lucro y comunidades.

- Ocurre y se mide a través de su impacto en las comunidades.

- Aún no tiene tanto equipamiento institucional, la respaldan sobretudo ONG, grupos de base, organismos de cooperación internacional y entidades como Prosperidad Social.

- Involucra colaboraciones transdisciplinarias.

Figura 10. Innovación centrada en el ser humano: el comportamiento y la apropiación social como guía.

Adaptado de Chanal, et al. (2011) incluyendo conceptos descritos por Arocena y Sutz (2003).



Figura 11. Dimensiones de la innovación y la innovación abierta. Adaptado de Chanal, et al. (2011) incluyendo conceptos descritos por Arocena y Sutz (2003).

Casos de biodiseño en clases y valoración de herramientas.

Se analizaron tres clases del programa de biodiseño como casos de estudio, la información para cada uno se condensó en una tabla (Figura 12). Los tres casos son: 1) *Diseño inspirado*

en la naturaleza, centrado en aplicar principios biológicos a soluciones sostenibles; 2) *Biomoda*, orientado al desarrollo de biomateriales para la industria textil; y 3) *Diseñando sistemas biológicos*, que integró diseño y microbiología para crear dispositivos basados en microorganismos. El análisis buscó comprender cómo los estudiantes se relacionan con las herramientas de aprendizaje y colaboración interdisciplinaria, evaluando su utilidad y articulación con las dimensiones de la innovación. En el caso 1, los estudiantes valoraron dos herramientas, entre ellas, el taller de prototipado por su capacidad para generar ideas, promover el aprendizaje colectivo y facilitar la interacción transdisciplinar, actuando como objeto frontera sin requerir consenso pleno (Figura 13). En el caso 2, las herramientas de corte científico como planes de caracterización y bibliografía anotada fueron percibidas por los diseñadores como poco intuitivas (Figura 14), lo que evidenció la necesidad de ajustarlas a los objetivos del proyecto. Finalmente, en el caso 3 se observó que distintas herramientas pueden cumplir funciones similares con niveles variables de efectividad, subrayando la importancia de su selección y adaptación al contexto colaborativo (Figura 15).

Diseñando sistemas biológicos / Biología sintética: diseñando el futuro

(nombre de la clase para la Facultad de Arquitectura y Diseño)

(nombre de la clase para la Facultad de Ciencias)

Tipo de clase Electiva
Tiempo 8 semanas

Profesores

Profesora 3 (Microbiología y Diseño)
Profesora 4 (Ciencias Biológicas)

Dirigido a
Estudiantes de Diseño y Ciencias
Biológicas (biología y microbiología)

Descripción de la clase

En un mundo en constante evolución, donde surgen retos y necesidades tanto humanitarias como ambientales, se reconoce la urgencia de crear oportunidades revolucionarias. La biología sintética permite diseñar organismos o construir "fábricas vivas" para que estos produzcan o realicen funciones o procesos deseados en la industria. En este curso exploraremos, la construcción creativa utilizando componentes biológicos, en una sinergia única entre creación y ciencia. Se busca que los estudiantes desarrollen la capacidad de identificar y proponer alternativas innovadoras en desafíos locales con aplicaciones globales al combinar estrategia y biología sintética en diferentes contextos industriales, abordando así de forma crítica los retos y posibles impactos de llevar la biología sintética más allá del laboratorio.

Metodología

Aprendizaje por medio de proyectos y prácticas de laboratorio. Estas últimas diseñadas para introducir y afianzar el conocimiento de biología sintética.

Etapas del pensamiento de diseño:

- Identificar
- Crear
- Validar
- Presentar

Ajustes de validación

Para que la clase pueda ser validada como electiva para los programas de ciencias biológicas tiene que cumplir requisitos como:

- Utilizar un contenido industrial
- Hacer uso de microorganismos

"Ahora ciencias biológicas está haciendo un proceso de transformación. Pasaron de tener un primer super candidato a ser más abiertos, entonces, le están metiendo al tema de innovación con emprendimiento. También crearon unas electivas por enfoque y cada una tiene un color, si no estoy mal, las blancas son las de industria"

Profesora 3

¿Cómo se evalúa la clase? (Principales criterios)

- Trabajo en grupo (roles y liderazgo, actitud, uso del tiempo)
- Comprensión de conceptos básicos de biología sintética
- Contexto empresarial e intención de diseño
- Explicación de la metodología empleada a lo largo del proceso de diseño, desde la formulación de insights hasta el proceso de prototipado
- Presentación de información en diagramas que demuestren el uso de herramientas de diseño de forma clara y precisa
- Justificación selección de insights
- Informes de práctica
- De solución al menos parcial a la problemática identificada a partir de la funcionalidad del circuito y la experiencia de usuario

Caso: Microbio

Estudiantes:

- Juan: microbiología y música
- Ana: diseño
- Pedro: microbiología e ingeniería biomédica
- Alejandra: diseño

Microbio aborda una posibilidad de innovación en el área de tratamiento de residuos de la Universidad de los Andes, problematizando la segregación de residuos orgánicos y ordinarios y cuestionando distintas soluciones desde la microbiología. Mediante el diseño estratégico, plantean alianzas colaborativas entre agentes de escalas micro (microorganismos) y macro (seres humanos), promoviendo así nuevas respuestas para la cultura ambiental en los espacios de diseño primario de residuos de la universidad. La propuesta atiende específicamente a la oportunidad de cómo producir ayudas en los procesos de separación primaria del manejo de residuos desde la microbiología? La propuesta final, plantea la intervención de botes de basura mediante tapas "vivas", una forma de hiperdimensionar el contenido microbiológico dentro del contenedor para impulsar dinámicas de cuidado entre sistemas micro y usuarios de separación primaria. Con dispositivos diseñados para la biodegradación y expresión estética, se propuso la creación de sender sistemas vivos a través de la separación de residuos orgánicos; botes de basura cuyas tapas están hechas para ser vistas, reconocidas y nutridas con los residuos de la alimentación propia.



Figura 12. Ficha técnica de la clase Diseñando sistemas biológicos/Biología sintética: diseñando el futuro. Elaboración propia a partir del programa de la clase.

Valoración de herramientas

Nombre de la herramienta:

Taller de Prototipado: Makerspace

¿Qué hice con esta herramienta? ¿Para qué me sirvió?

En el taller llevamos los hallazgos de la ecografía de la planta (escala macro, meso y micro) y buscamos materiales y herramientas para replicarlos. Usamos los materiales para imitar la movilidad, propiedades y dimensiones de la planta para entender su comportamiento y describir la planta.

Nos sirvió para comenzar a delimitar el principio activo y buscar las propiedades más relevantes que queríamos estudiar y aplicar en otros contextos.

Describe en 3 palabras su relación con la herramienta en la clase. Piense en los atributos y defectos que consideró de la herramienta cuando la usó

- Experimentación
- Aplicación (de los hallazgos a un contexto tangible)
- Versatilidad (posibilidad de explorar según cada proyecto)

¿Cuál es su fuente?

- Hallazgos propios de la ecografía de la planta
- Referencias de fuentes relacionadas con la planta
- Información de profesores y monitores sobre construcción de prototipos

En escala de 1-10 ¿qué tanto me sirvió esta herramienta en la clase?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

En función de la metodología de la clase ¿en cuál de estas categorías clasificaría esta herramienta? Encierrela en un círculo. (puede elegir varias)

Comunicación Categorización **Probar/testear algo** **Explorar las posibilidades** Síntesis

Comprensión/Entendimiento **Construcción de conceptos** Tomar decisiones Otra:

En función de la innovación ¿en cuál de estas categorías clasificaría esta herramienta? Encierrela en un círculo. (puede elegir varias)

Favorece la generación de nuevas ideas que contemplan diversidad de enfoques y perspectivas **Aprendizaje colectivo** **Flexibilidad/adaptabilidad** Colaboración transdisciplinar

Beneficio colectivo Otra:

Figura 13. Matriz 1 de valoración de herramientas de María. Elaboración de María a partir de plantilla propia.

Valoración de herramientas

Nombre de la herramienta: **Bibliografía Anotada**

¿Cuál es su fuente? **Clase**

En escala de 1-10 ¿qué tanto me sirvió esta herramienta en la clase?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

En función de la metodología de la clase ¿en cuál de estas categorías clasificaría esta herramienta? Encierrela en un círculo. (puede elegir varias)

Comunicación Categorización Probar/testear algo Explorar las posibilidades Síntesis

Comprensión/Entendimiento **Construcción de conceptos** Tomar decisiones Otra: **Investigación**

En función de la innovación ¿en cuál de estas categorías clasificaría esta herramienta? Encierrela en un círculo. (puede elegir varias)

Favorece la generación de nuevas ideas que contemplan diversidad de enfoques y perspectivas Aprendizaje colectivo Flexibilidad/adaptabilidad Colaboración transdisciplinar

Beneficio colectivo Otra:

¿Qué hice con esta herramienta? ¿Para qué me sirvió?

Con esta herramienta investigamos y recogimos información que consideramos que sería relevante para realizar el proyecto. A medida que avanzaba el proyecto buscábamos información que nos distaba en el momento, pero nunca usamos la de la bibliografía anotada. Algunas fuentes nos sirvieron para tener proyectos como referentes en metodología, pero no llegué a ver la relevancia o utilidad de la herramienta.

Describe en 3 palabras su relación con la herramienta en la clase. Piense en los atributos y defectos que consideró de la herramienta cuando la usó

- No relevante
- Investigación
- Recolectar info

Figura 14. Matriz 2 de valoración de herramientas de Sara. Elaboración de Sara a partir de plantilla propia.

Valoración de herramientas

Nombre de la herramienta:

Informes de laboratorio

¿Qué hice con esta herramienta? ¿Para qué me sirvió?

Me sirvió para comprender mejor el contexto científico del curso y de mi proyecto.

Describe en 3 palabras su relación con la herramienta en la clase. Piense en los atributos y defectos que consideró de la herramienta cuando la usó

- Difíciles
- Diversos
- Didácticos

¿Cuál es su fuente?

Era parte de la sección del laboratorio

En escala de 1-10 ¿qué tanto me sirvió esta herramienta en la clase?



En función de la metodología de la clase ¿en cuál de estas categorías clasificaría esta herramienta? Enciérrela en un círculo. (puede elegir varias)

Comunicación Categorización Probar/testear algo Explorar las posibilidades Síntesis

Comprensión/Entendimiento Construcción de conceptos Tomar decisiones Otra:

En función de la innovación ¿en cuál de estas categorías clasificaría esta herramienta? Enciérrela en un círculo. (puede elegir varias)

Favorece la generación de nuevas ideas que contemplan diversidad de enfoques y perspectivas Aprendizaje colectivo Flexibilidad/adaptabilidad Colaboración transdisciplinar Beneficio colectivo Otra:

Figura 15. Matriz 2 de valoración de herramientas de Juana. Elaboración de Juana a partir de plantilla propia.

Categorías de potenciales paradigmas

Las condiciones y dilemas que influyeron en el éxito o fracaso de las colaboraciones entre disciplinas en los casos estudiados se denominaron paradigmas, en referencia al concepto propuesto por Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas* (1962). Aunque en este punto no todos se podrían constituir como paradigmas definitivos del biodiseño, marcan el punto de partida de posibles paradigmas. Se categorizaron de la siguiente manera:

Condiciones de los participantes (estudiantes, profesores y asesores).

1. Experiencia
2. Disciplina de origen
3. Estereotipos e invalidación
4. Trayectoria grupal
5. Dinámicas de enseñanza y aprendizaje
6. Momento de vinculación

Condiciones de la disciplina

7. Validación científica
8. Diferencias de propósitos y puntos de partida
9. Lidar con incertidumbre

Condiciones de la clase

10. Herramientas y ejercicios
11. Desafiar la lógica monodisciplinar
12. Aprendizaje desde cero
13. Significado negociado
14. Traducciones de sentido
15. Voto de confianza
16. Desbalance de aprendizajes
17. Disparidad entre disciplinas
18. Tiempo

Metodología de esquematización del modelo aplicado a los casos estudiados

La información recopilada del programa de la clase y los testimonios estudiantiles permitió identificar los paradigmas descritos, así como los momentos, herramientas y etapas del proyecto en los que los participantes se sintieron más o menos cómodos y aquellas fases que representaron mayores dificultades en términos de avance y trabajo conjunto. Estos hallazgos se representaron mediante un modelo de espirales (Figuras 16 a 18) para analizar el desarrollo del proyecto en relación con las tres dimensiones de la innovación. Para su interpretación, se utilizaron símbolos que indican paradigmas:



favorecedores.



desfavorecedores o momentos difíciles durante el proyecto.

☁ con efectos no concluyentes.

Además, se integró un *emotional journey* con emojis para representar las emociones de los participantes y se ubicó el nombre de cada estudiante en la espiral correspondiente a su disciplina de origen.

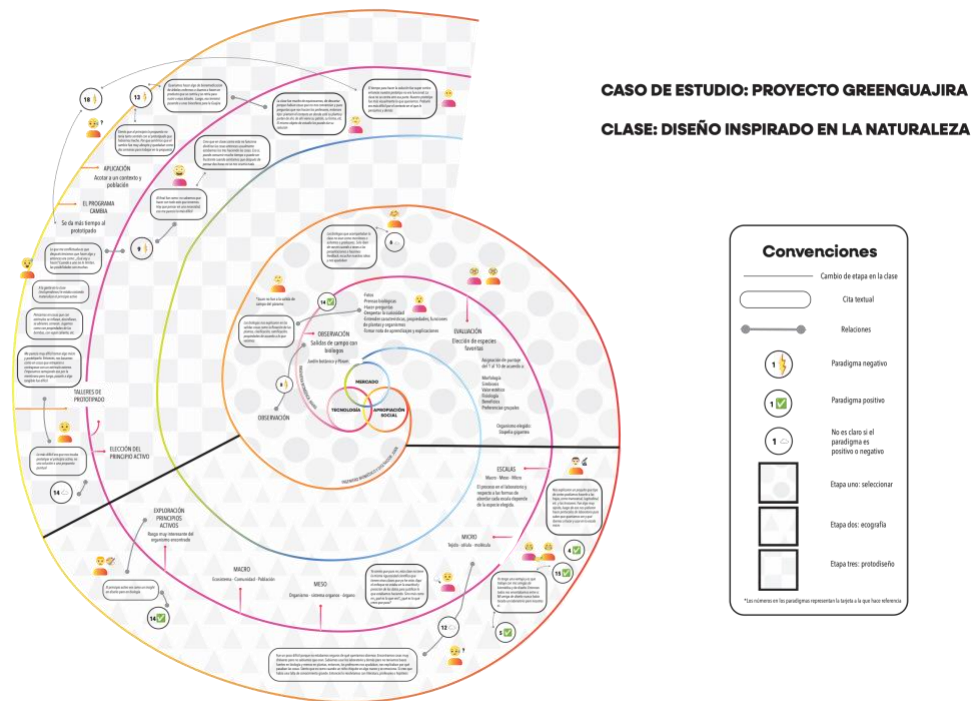


Figura 16. Modelo de innovación con el proyecto greenguajira de la clase de diseño inspirado en la naturaleza. Elaboración propia a partir de testimonios de los estudiantes que llevaron a cabo el proyecto.

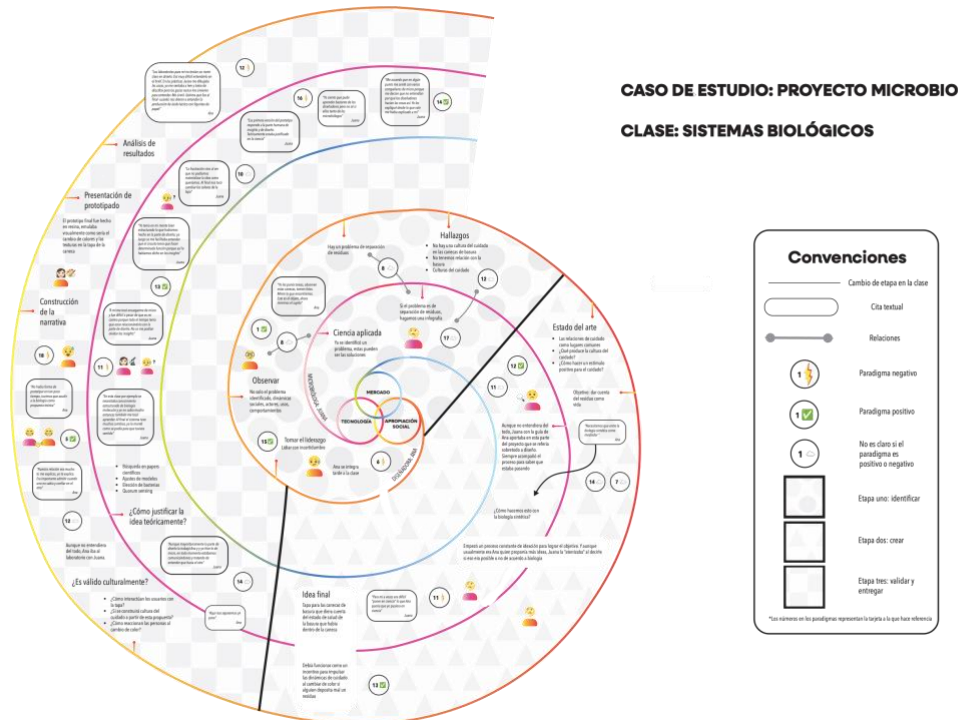


Figura 17. Modelo de innovación con el proyecto Microbio de la clase Sistemas biológicos. Elaboración propia a partir de testimonios de los estudiantes que llevaron a cabo el proyecto.

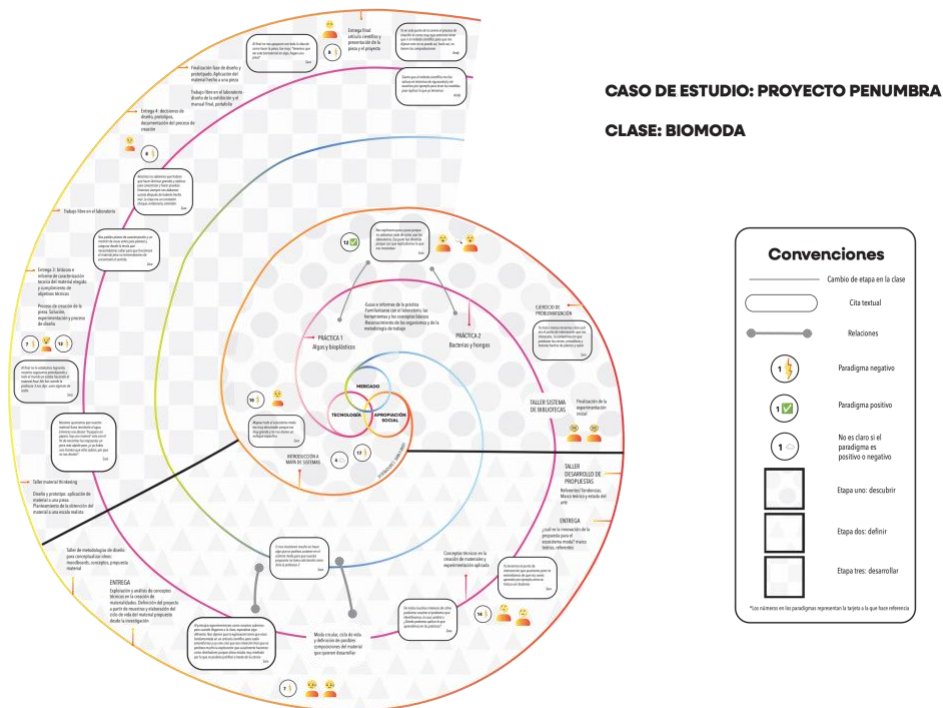


Figura 18. Modelo de innovación con el proyecto Penumbra de la clase Biomoda. Elaboración propia a partir de testimonios de los estudiantes que llevaron a cabo el proyecto.

Aunque el modelo de innovación considera el análisis de los casos desde sus tres dimensiones (mercado, tecnología y apropiación social), la naturaleza académica de los proyectos limitó la posibilidad de explorarlas de manera equilibrada. Por ello, este ejercicio debe entenderse como un punto de partida para identificar el grado de desarrollo de cada dimensión y orientar futuras investigaciones.

Prototipos

Los paradigmas identificados, junto con emociones, testimonios e interacciones, constituyen una herramienta de análisis para comprender las colaboraciones transdisciplinarias en biodiseño. A partir de estos insumos, se realizaron sesiones de socialización con los docentes (Figuras 19 a 21) en las que se presentaron los casos construidos con base en los relatos de los estudiantes con el fin de reflexionar e identificar oportunidades de mejora que fortalecieran aspectos específicos de la colaboración entre disciplinas. A continuación, se describen los principales resultados obtenidos en estas sesiones.



Figura 19. Profesora 1 e invitada asistente de la clase en la sesión de prototipado interactuando con la herramienta de socialización. Elaboración propia.

Diseño inspirado en la naturaleza		
Etapa 1: seleccionar	Etapa 2: ecografía	Etapa 3: protodiseño
Objetivos/Propósitos - Sensibilizar a los estudiantes - Despertar interés y curiosidad - Acercar a los estudiantes a la naturaleza. Herramientas/Ejercicios - Salidas de campo - Exploración sensorial - Dibujo botánico - Universos estéticos - Investigación de segunda mano Indicadores de éxito - Actitud de los estudiantes - Comentarios y emoción a lo largo de esta etapa	Objetivos/Propósitos - Profundizar en una especie mentora - "Ser expertos" en la especie mentora - Cuestionar la investigación Herramientas/Ejercicios - Aproximación geométrica - Experiencia en laboratorio con microscopía - Revisión bibliográfica - Identificación de principio activo Indicadores de éxito - Profundidad de la investigación - Apropiación del conocimiento de la especie mentora.	Objetivos/Propósitos - Explorar el principio activo - Definir aplicación y contexto Herramientas/Ejercicios - Sesiones de prototipado individual y grupal - Taller de estructura - Taller de movimiento - Prototipado digital Indicadores de éxito - Prototipos de mayor resolución y contextos acotados.

Figura 20. Matriz de propósitos, herramientas e indicadores de éxito de la profesora 1. Elaboración propia.

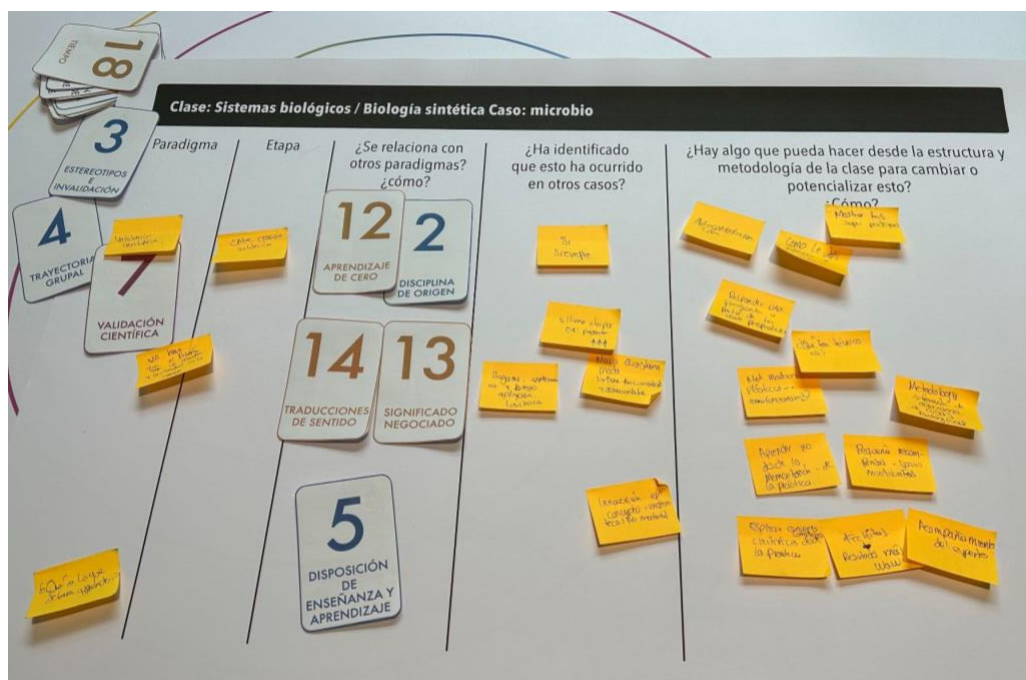


Figura 21. Matriz de relación de paradigmas e ideación de la profesora 3. Elaboración propia.

Clasificación de resultados

El análisis de los tres casos permitió identificar aprendizajes comunes y desafíos específicos en las colaboraciones transdisciplinarias en biodiseño (Tabla 3). En el caso 1, se destacó la

necesidad de fortalecer la dimensión del mercado y el contexto de aplicación, incorporando referentes reales de la industria, economía circular para conectar la exploración biológica con escenarios sostenibles y ajustes metodológicos que favorezcan la cohesión grupal y la experimentación. En el caso 2, surgieron tensiones metodológicas y de lenguaje entre diseño y ciencia, especialmente al exigir justificación científica detrás de las decisiones estéticas o materiales. Fueron abordadas mediante cambios en la estructura del curso como la fragmentación del sistema moda y el uso del árbol de problemas para mejorar la claridad metodológica orientados a mejorar la claridad metodológica y la apropiación crítica del conocimiento.

En el caso 3, el principal reto fue la validación científica: los estudiantes mostraron dificultad para comprender y aplicar procesos rigurosos de la ciencia, lo que llevó a proponer ejercicios intermedios que equilibren teoría y práctica promoviendo un rol más activo de los diseñadores respecto al conocimiento científico. De manera transversal, los tres casos destacaron la importancia de extender las experiencias más allá del aula para fortalecer la continuidad, escalabilidad e impacto de las colaboraciones.

Tabla 3: Síntesis de comparación de casos.

Caso / Asignatura	Disciplinas involucradas	Actores participantes	Tipo de colaboración	Herramientas y metodologías	Nivel de innovación	Principales resultados	Condiciones y dilemas que incidieron en el éxito o fracaso de la colaboración *
Caso 1. Diseño inspirado en la naturaleza – GreenGuajira	Diseño, biología, microbiología e ingeniería biomédica.	Docentes de arquitectura, ingeniería biomédica diseño y ciencias; estudiantes de diseño e ingeniería biomédica.	Colaboración interdisciplinar con intención de migrar a la transdisciplinariedad.	- Observación de la naturaleza y contacto directo con sistemas biológicos. - Selección de una <i>especie mentora</i>. - Identificación de un principio activo relevante. - Desarrollo de modelos experimentales para su simulación y comprensión.	Transita en las dimensiones tecnológica y de apropiación social de la innovación, aunque esta última no se explora de manera muy profunda. La dimensión del mercado no se explora.	Producto: kit de esferas diseñado para contrarrestar la salinidad y nutrir el suelo, el cual podría ser usado para transformar terrenos áridos en suelos fértiles. A través de su propuesta, el equipo buscaba fomentar la agricultura a pequeña escala para que	Condiciones de los participantes (estudiantes, profesores y asesores) 4. Trayectoria grupal 5. Dinámicas de enseñanza y aprendizaje 6. Momento de vinculación Condiciones de la disciplina 8. Diferencias de propósitos y

				- Formulación de propuestas de diseño con potencial de aplicación en un contexto y una necesidad específicos.		familias del departamento de La Guajira pudiesen acceder a alimentos cultivados en sus hogares.	puntos de partida 9.Lidiar con incertidumbre Condiciones de la clase 13.Significado negociado 15.Voto de confianza 16.Desbalance de aprendizajes 18.Tiempo
Caso 2. Biomoda – Penumbra	Microbiología y diseño.	Docentes de diseño y microbiología; estudiantes de diseño.	Trabajo interdisciplinar limitado	- Prácticas de laboratorio orientadas a la exploración de materiales. - Experimentación técnica con materiales y procesos aplicables al sistema moda. -Ejercicios prácticos de diseño para integrar los conocimientos adquiridos. -Desarrollo de propuestas orientadas a responder a necesidades del ecosistema moda.	Se mantiene sobre todo en la dimensión de apropiación social con un gran esfuerzo por justificar la dimensión tecnológica, no explora la dimensión del mercado.	Producto: biomaterial a partir de gelatina, agua, polvo de cáscara de huevo, grafito y glicerina. Surge de la problemática que causa la producción en masa de fornituras como botones, cremalleras y velcro tradicionales; usualmente hechas a partir de materiales contaminantes como el plástico PET, resinas, nylon y acrílico. Aprendizajes: Conocimiento teórico y práctico para explorar nuevas maneras de crear moda a través de una propuesta que solucione un reto identificado.	Condiciones de los participantes (estudiantes, profesores y asesores) 4. Trayectoria grupal Condiciones de la disciplina 7.Validación científica 8.Diferencias de propósitos y puntos de partida Condiciones de la clase 10.Herramientas y ejercicios 12.Aprendizaje desde cero 14.Traduccion de sentido 17.Disparidad entre disciplinas
Caso 3. Sistemas biológicos – Microbio	Diseño, microbiología y biología.	Docentes y estudiantes de ciencias biológicas y diseño.	Colaboración interdisciplinar con aproximaciones iniciales a la transdisciplinariedad.	- Aproximación progresiva al contexto de estudio. - Clases teóricas orientadas a la comprensión de fundamentos de biología sintética. - Experimentación	Transita de manera muy pareja en la dimensión tecnológica y de apropiación social de la innovación. No explora la dimensión del mercado.	Producto: intervención de los botes de basuras de la universidad mediante tapas “vivas” para producir una ayuda desde la microbiología en los procesos	Condiciones de los participantes (estudiantes, profesores y asesores) 1.Experiencia 5.Dinámicas de enseñanza y aprendizaje 6.Momento de vinculación

n guiada en laboratorio. - Uso de herramientas de diseño para prototipar y comunicar resultados. - Integración de conceptos científicos en propuestas innovadoras orientadas a desafíos locales (Figura 12).	de separación primaria del manejo de residuo se impulsar dinámicas de cuidado entre los sistemas micro y los usuarios encargados de la separación primaria. Aprendizajes: Introducción a procesos científicos y comprensión básica de sistemas biológicos para aplicarlos en una propuesta de diseño con base en la/s problemática/s identificadas.	Condiciones de la disciplina 8.Diferencias de propósitos y puntos de partida Condiciones de la clase 10.Herramientas y ejercicios 11.Desafiar la lógica monodisciplinar 12.Aprendizaje desde cero 13.Significado negociado 14.Traduccion de sentido 15.Voto de confianza 16.Desbalance de aprendizajes 17.Disparidad entre disciplinas 18.Tiempo
--	--	---

*La numeración de la última colimna corresponde al paradigma nombrado en la sección “Categorías de potenciales paradigmas”.

Conclusiones y perspectivas a futuro

Este trabajo analizó colaboraciones transdisciplinares en biodiseño desde las tres dimensiones de la innovación (mercado, tecnología y apropiación social), desarrollando herramientas para recopilar y analizar experiencias de estudiantes y docentes. Los paradigmas identificados permitieron reflexionar sobre prácticas pedagógicas que fortalecen la colaboración, destacando el rol del lenguaje, las alianzas, la conexión con el contexto de aplicación y el vínculo academia–industria. El modelo de dimensiones se validó con docentes como un objeto frontero que facilita la comunicación y el aprendizaje interdisciplinar, aunque requiere iteraciones y mayor articulación con programas y metodologías existentes. Más que una guía prescriptiva, la metodología promueve la reflexión crítica sobre los valores del biodiseño y sus aportes a la innovación.

El estudio se limitó a tres cursos y a una sola institución, lo que restringe la generalización de los resultados. La muestra priorizó experiencias exitosas y estudiantes con

alta continuidad académica, excluyendo perspectivas que podrían complejizar el análisis. Futuros estudios deberían incorporar proyectos fallidos, estudiantes que abandonaron y equipos sin cercanía con la autora, para identificar tensiones, obstáculos y barreras estructurales de la colaboración transdisciplinar.

Asimismo, aunque el enfoque fue transdisciplinar, el análisis se centró en disciplinas académicas internas y no incluyó actores ni saberes externos, fundamentales en una concepción amplia de la transdisciplinariedad. Incluir comunidades, laboratorios ciudadanos, industria, colectivos artísticos, expertos no académicos y saberes locales permitiría analizar la negociación de límites epistémicos y éticos del biodiseño.

Estas consideraciones tienen implicaciones curriculares: el biodiseño requiere estructuras pedagógicas que reconozcan su naturaleza híbrida, con espacios de encuentro interdisciplinar, mecanismos de traducción conceptual, tiempos para la experimentación, criterios de evaluación sensibles a la diversidad metodológica y vínculos sostenidos con actores externos, fortaleciendo la coherencia de los cursos y su alineación con el ecosistema de innovación.

Finalmente, se abren líneas de investigación futura: aplicar la metodología en otros cursos e instituciones; crear repositorios de buenas prácticas y objetos frontera; explorar el rol de tecnologías emergentes (IA generativa, biofabricación avanzada, herramientas de análisis biológico accesible); e incorporar actores externos para comprender cómo la transdisciplinariedad redefine las relaciones entre universidad, sociedad y ecosistemas de innovación. En conjunto, el estudio aporta un marco conceptual y metodológico para analizar las colaboraciones transdisciplinares en biodiseño y su contribución a los debates sobre innovación, sostenibilidad y formación científico-creativa. Lejos de cerrar la discusión, la investigación invita a seguir explorando nuevas líneas de investigación sobre la formación en contextos transdisciplinares.

Consideraciones éticas

El estudio se desarrolló siguiendo principios éticos de consentimiento informado, confidencialidad, transparencia y minimización de riesgos. Aunque el consentimiento inicial de docentes y estudiantes se obtuvo en el marco de un trabajo de grado, la evolución del proyecto hacia una publicación académica ha requerido gestionar un consentimiento adicional específico para difusión en revista, informando sobre la naturaleza de la publicación, los materiales incluidos y el derecho a aprobar, modificar o retirar su participación. En ausencia de autorización, se eliminarán fotografías, descripciones, datos contextuales o fragmentos que permitan su identificación directa o indirecta.

Dado que el estudio utiliza información de clases reales (nombres de cursos y fotografías con docentes), existe un riesgo potencial de identificación. Para mitigarlo, se empleó pseudonimización (nombres ficticios y denominaciones genéricas como profesora 1, 2, 3), se evitaron referencias personales y se revisaron cuidadosamente las imágenes. Las fotografías solo se incluirán con autorización escrita; en caso contrario, se reemplazarán por diagramas, versiones anonimizadas o descripciones textuales.

Los datos no se utilizarán para evaluación académica ni se compartirán con equipos docentes responsables de calificar a los estudiantes, garantizando la separación entre los roles pedagógicos e investigativos y un riesgo mínimo para los participantes.

Se reconoce un conflicto de interés leve, dado el conocimiento previo de la investigadora con algunos participantes, que pudo influir en la selección de casos o la interpretación de resultados. Para gestionarlo, se adoptaron criterios de selección predefinidos, transparencia en la declaración de roles y procesos de anonimización; en futuras investigaciones se recomienda que la recolección de datos sea realizada por un tercero independiente o que se fortalezcan los protocolos de imparcialidad.

Finalmente, se respetaron las consideraciones de propiedad intelectual: los prototipos, entregables y materiales visuales o textuales producidos por estudiantes y docentes se utilizarán únicamente con autorización explícita, respetando los derechos morales y patrimoniales de sus autores.

Diana Marcela Quiroga Gómez

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

d.quirogag@uniandes.edu.co

ORCID ID 0009-0001-0213-6994

Diseñadora con opción en Biología interesada en el biodiseño, el diseño de procesos de innovación social, las metodologías de cocreación y la divulgación científica. Orientada hacia el trabajo con comunidades, la pedagogía, la investigación y el trabajo de campo. Con experiencia en el diseño y gestión de recursos pedagógicos y estrategias lúdicas para la enseñanza de biomímesis con niños y biodiseño, así como en la apropiación de herramientas educativas innovadoras.

Referencias

- Arocena, R., & Sutz, J. (2003). *Subdesarrollo e innovación: Navegando contra el viento*. Cambridge University Press.
- Bénony, M., & Maudet, N. (2020). From Guests and Guides to Collaborators: Negotiating Roles in Design and Biology Collaborations. *The Design Journal*, 23(4), 557–574.
<https://doi.org/10.1080/14606925.2020.1762339>
- Chanal, V., Akselsen, S., Blanco, S., Caron-Fasan, M. L., Cartoux, B., Deschamps, B., ... & Ytterstad, P. (2011). *Rethinking business models for innovation*. HAL Open Archive.
<https://shs.hal.science/halshs-00566298v2/document>
- Heinemann, T., Boess, S., Landgrebe, J., Mitchell, R., & Neville, M. (2011). Making sense of “things”: Developing new practices and methods for using tangible materials in collaborative processes. In *Proceedings of the DESIRE 2011 Conference on Creativity and Innovation in Design* (pp. 221–225).
<https://doi.org/10.1145/2079216.2079248>
- Kennedy, B., Buikema, A., & Nagel, J. (2015). Integrating Biology, Design, and Engineering for Sustainable Innovation. In *Proceedings of the 5th IEEE Integrated STEM Education Conference* (pp. 88–93).
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Miralles, F., Giones, F., & Cuesta, G. (2012). *Open innovation* [Working paper]. La Salle Innova Institute, Universidad Ramon Llull.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3260.4246>
- Owen, C. (2007). Design Thinking: Notes on its Nature and Use. *Design Research Quarterly*, 2(1), 16–27.

Oxman, N. (2016). Age of Entanglement. *Journal of Design and Science*.

<https://doi.org/10.21428/7e0583ad>

Pinch, T. J., & Bijker, W. E. (2008). La construcción social de hechos y de artefactos: O acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden beneficiarse mutuamente. In H. Thomas & A. Buch (Eds.), *Actos, actores y artefactos: Sociología de la tecnología* (pp. 19–62). Universidad Nacional de Quilmes Editorial.

Välik, S., Maudet, N., & Mougnot, C. (2019). Exploring how boundary objects can support multidisciplinary design and science collaboration. In *Proceedings of the International Association of Societies of Design Research Conference* (pp. 1–16).