UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Propuesta metodológica para el desarrollo de proyectos ingenieriles sustentables con innovación social

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Doctora en Innovación Tecnología y Hábitat

Presenta:
MDI. Angélica Rocío Serrano Farfán

Dirigida por:
Dra. Claudia Gutiérrez Antonio

Directora: Dra. **Claudia** Gutiérrez Antonio
Secretaria: Dra. **Beatriz** Utrilla Sarmiento
Vocal: Dra. **Reina Isabel** Loredo Cansino
Suplente I: Dra. **Polyxeni** Papadaki
Suplente II: Dra. **Maria** Papadaki

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Julio 2026. México

SOMOS UAQ
EDUCAR CRECER CONSOLIDAR

REPOSITORIO INSTITUCIONAL DGBSDI-UAQ

La presente obra está bajo la licencia:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es

CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada , brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios . Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales .

SinDerivadas — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar la forma en que utilice el material.



A todas las madres científicas y a todas las mujeres mexicanas que han decidido habitar, resistir y transformar los espacios de la ciencia y la ingeniería.

Esta tesis está dedicada a ustedes.

A quienes han tenido que aprender a existir en un ámbito históricamente construido desde lógicas que pocas veces nos contemplaron. A quienes sostienen la vida, los cuidados, la maternidad, el trabajo académico y la investigación al mismo tiempo, muchas veces desde el silencio, el cansancio y la resistencia cotidiana.

Hoy comprendo que obtener el grado de Doctora no representa únicamente un logro académico; representa también una superposición al sistema, una forma de irrumpir en estructuras que durante años delimitaron quiénes podían ocupar estos espacios y desde dónde podían hacerlo. Por ello, esta tesis también es un acto de protesta, de permanencia y de reivindicación.

Conformar un sínodo integrado por mujeres dentro del contexto de la ingeniería en una universidad pública no fue sencillo. Fue una lucha que tuvo que sostenerse desde la paciencia, la fortaleza, la perseverancia y la disciplina. Defender esta conformación significó hacer visible que las mujeres también construimos conocimiento, lideramos procesos científicos y tenemos derecho a ocupar espacios de legitimidad académica sin tener que justificar constantemente nuestra presencia.

Es momento de dejar de vernos únicamente como "ingenieras mujeres" y comenzar a reconocernos, primero, como mujeres dentro de la ingeniería: mujeres con historias, contextos, emociones, maternidades, saberes y luchas distintas, pero capaces de transformar profundamente este campo.

Dedico esta tesis a todas las mujeres mexicanas como una invitación abierta, vehemente y necesaria para que se integren a estos espacios. México las necesita. La ciencia las necesita. La ingeniería también.

Porque cada mujer que logra permanecer
abre camino para muchas más.

Agradecimientos

Son muchas las personas que hicieron posible esta tesis y que me acompañaron durante este proceso de formación académica, profesional y personal.

Agradezco profundamente a la Dra. Claudia Gutiérrez Antonio por cada conversación, cada consejo académico y cada enseñanza de vida. Después de estos años, puedo decir que no sólo ha sido mi mentora académica y profesional, sino también una mentora de vida. Gracias por escucharme siempre, por ayudarme a construir estrategias, por su paciencia, por su empatía y por acompañarme en uno de los procesos más complejos y transformadores de mi vida.

Agradezco enormemente a la Dra. Beatriz Utrilla por comprender la esencia de esta tesis y ayudarme a dimensionar la importancia de lo que implicaba construirla. Gracias por cada conversación, por toda su paciencia, por su sensibilidad y por su apoyo constante durante este camino.

Agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de manutención otorgada durante mis estudios doctorales, así como a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, institución que me abrió las puertas desde el año 2020 durante mis estudios de maestría junto con mi hijo Jesús Valentino, y que también me brindó apoyo para continuar con mis estudios doctorales.

Agradezco también a todos los profesores del programa y a mis compañeros del doctorado, quienes, de distintas maneras, formaron parte de este proceso. Gracias por las conversaciones, los aprendizajes y los momentos compartidos.

A mis padres, gracias por enseñarme desde pequeña el valor de la perseverancia, del esfuerzo y de la disciplina. Gracias por impulsarme siempre a seguir adelante aun en los momentos más difíciles.

Y a ti, Jesús López.

Gracias por ser el padre y esposo amoroso, atento y cariñoso que supo entender que muchas veces llegaba tarde porque estaba dando clase, tomando clase, escribiendo artículos o intentando sostener todo al mismo tiempo. Gracias por comprender que esto era importante para mí y por caminar conmigo durante todo este proceso.

Gracias por escucharme cada noche: mis dudas, mis desesperaciones, mis anhelos y mis sueños. Gracias por sostener nuestra vida como padres mientras la carga de trabajo aumentaba semestre tras semestre. Gracias por permanecer presente como padre y como esposo incluso en los momentos más difíciles.

Porque tú también estuviste ahí cuando tuvimos que construir este sínodo, cuando escribíamos artículos, cuando participábamos en congresos, cuando me desvelaba, cuando olvidaba comer, cuando sentía que no podía más.

Gracias por tomar mi mano y no soltarla nunca. Te amo.

Y gracias al motor chiquito, pero inmensamente poderoso, que me impulsó todos los días. Al niño que me dejaba cartitas cuando llegaba tarde. Al pequeño que me abrazaba con sus manitas y que ahora ya tiene ocho años. Al chiquillo enamorado de los trenes. Al que me acompañaba a mis clases doctorales y conoció cada rincón de la UAQ.

Gracias, Jesusillo. Esta tesis también es tuya.

Índice

Agradecimientos 3
Índice 5
Índice de figuras 9
Índice de tablas 10
Lista de abreviaciones 11
Resumen 12
Abstract 14
La mirada desde el Diseño Industrial 16
Introducción 19
Marco teórico 23
El sistema-mundo moderno/colonial: perspectiva desde la decolonialidad 23
Colonialidad del poder y pensamiento fronterizo 24
El desarrollo sostenible y la colonialidad del saber 25
Perspectiva de Enrique Leff sobre sustentabilidad 26
Innovación social. 28
Metabolismo social 29
Planteamiento de la problemática 31
Problema o preguntas de investigación 32
Justificación 33
Objetivos 35
Objetivo general 35
Objetivos específicos 35
Metodología de investigación 36
Capítulo I. El Metabolismo Social en la Ingeniería: Un Diagnóstico Crítico 41
La crisis de sustentabilidad en la ingeniería contemporánea 41
Metodología de búsqueda y análisis 43
Resultados de la revisión 46

Marco conceptual del metabolismo social 49
Resultados desde la perspectiva de la ingeniería 55
Capitalismo y degradación ambiental 55
Sustentabilidad agrícola 55
Conflictos socioambientales y justicia 56
Reconstrucción en contextos de posconflicto 56
Países que abordan problemáticas desde el metabolismo social 59
Conclusiones sobre la revisión 62
Aporte del Capítulo I 64
Capítulo II. La Colonialidad de la Evaluación: La investigación en México 68
El sistema científico mexicano 70
Metodología del estudio de caso de investigadores 72
Orientación fenomenológica 73
Construcción de categorías 77
Mapeo de co-ocurrencia semántica 80
Integración analítica 80
Radiografía histórica y crítica del sistema mexicano de Ciencia, Tecnología e Innovación (1984–2025) 82
1984–2000: institucionalización tecnocrática y emergencia del paradigma de la productividad 83
De la dependencia tecnológica al régimen tecnocrático 84
2000–2018: neoliberalismo maduro y hegemonía de la evaluación 85
2018–2025: reformulación institucional y persistencia de mecanismos de evaluación 87
Dispositivos de evaluación y estructuras de incentivos 90
Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) 90
Financiamiento competitivo 92
Efectos en la definición de problemas, métodos y métricas 93
Caso: biocombustibles 95
Mapeo semántico de las racionalidades de los investigadores 96

La brecha ciencia–sociedad desde la innovación social 105
Principios para transformar la evaluación en la investigación baja en carbono 110
Conclusiones 111
Aporte del capítulo II 112
Capítulo III Cartografías del Cuidado: Saberes Situados 116
Colonialidad y la marginalización epistémica del cuidado 120
El *thick mapping* como práctica de recuperación epistémica 121
Diseño de la investigación basada en el thick mapping 123
Estudio de caso y participantes 124
Recolección de datos 125
Resultados del caso de estudio en Puerto Blanco, Guanajuato 126
Infraestructuras domésticas del cuidado 127
Transiciones temporales en las prácticas de uso de pañales 131
Discusión sobre el caso de thick mapping 132
Aporte del Capítulo III 133
Capítulo IV. Desplazando Paradigmas: El Biodiseño como Camino hacia una Ingeniería Sustentable 137
El biodiseño como paradigma emergente 139
El diseño industrial como eje articulador 140
Cambio de paradigma en la pedagogía del diseño 141
Hacia una metodología de biodiseño 142
Metodología de estudio para el manejo de celulosa bacteriana 143
Diseño del estudio de caso y justificación 145
Recolección de datos y procedimiento de codificación 146
Desarrollo del curso (análisis longitudinal) 146
Entrevistas y análisis 148
Resultados 148
Diseño y formalización de la metodología de biodiseño con celulosa bacteriana 150
Etapas de la metodología 151
Sensibilización del biomaterial / ciclo de crecimiento 151

Mapeo de variables y formulación de hipótesis 152
Experimentación controlada 152
Prototipado aplicado 153
Evaluación comparativa 154
Reflexión y documentación 155
Perspectiva de estudiantes de arquitectura sobre la celulosa bacteriana 156
Discusión 157
Sostenibilidad práctica y pensamiento de ciclo de vida 158
Usabilidad e integración diseño–material 159
Barreras de adopción 159
Educación en diseño centrada en el conocimiento 160
Conclusiones 160
Aporte del Capítulo IV 161
Capítulo V. Propuesta Metodológica: Innovación Social y Enfoque Mixto para Proyectos de Ingeniería 165
Enfoque mixto 166
Trazabilidad de las etapas metodológicas 169
Conclusiones generales 187
Contribución teórica 189
Contribución metodológica 190
Alcances y limitaciones 192
Futuras líneas de investigación 193
Reflexión final 195
Referencias 196

Índice de figuras

Figura 1. Fases de la metodología de investigación 39
Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología PRISMA 44
Figura 3. Diagrama de codificación en el programa Atlas.ti 45
Figura 4. Colaboración internacional sobre el metabolismo social. 46
Figura 5. Entrada y salida de la revisión sistemática. 48
Figura 6. Frecuencia de tópicos en la revisión 53
Figura 7. Análisis de tópicos del metabolismo social en proyectos de ingeniería. 59
Figura 8. Países que abordan el metabolismo social 60
Figura 9. Metodología para el estudio fenomenológico del Sistema de CTI en México 73
Figura 10. Perspectiva de los investigadores sobre su práctica científica y sus impactos 97
Figura 11. Perspectiva de los investigadores sobre su práctica científica y el impacto social 101
Figura 12. Flujos de co-ocurrencia asociados al discurso de los investigadores sobre impacto social 103
Figura 13. Metodología Thick Mapping aplicada en Puerto Blanco, Guanajuato 124
Figura 14. Infraestructura doméstica en hogares de Puerto Blanco, Guanajuato 127
Figura 15. Red de apoyo entre mujeres que vivían en Puerto Blanco (1961–1993) 129
Figura 16. Maquetación realizada con el material. 150
Figura 17. Marco de biodiseño en seis etapas 151
Figura 18. De la estructura de la fibra a la forma aplicada: evaluación comparativa de la celulosa bacteriana a lo largo de las etapas experimentales 155

Índice de tablas

Tabla 1. Agrupación de códigos y construcción de categorías analíticas ____ *78*
Tabla 2. Triangulación entre análisis histórico-documental, categorías emergentes e implicaciones metodológicas ____ *81*
Tabla 3. *Relación entre los hallazgos de la investigación y las etapas de la propuesta metodológica* ____ *167*
Tabla 4. Trazabilidad de los hallazgos, fundamentos, instrumentos y resultados esperados de la propuesta metodológica ____ *170*

Lista de abreviaciones

ODS – Objetivos de Desarrollo Sostenible

MS – Metabolismo Social

CTI – Ciencia Tecnología e Innovación

CB – Celulosa Bacteriana

CONAHCYT – Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías

SECIHTI - -Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

GATT - Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio

TLCAN - Tratado de Libre Comercio de América del Norte

SNII – Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores

STEM - -Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas

CICC - Comisión Intersecretarial de Cambio Climático

SINACC – Sistema Nacional del Cambio Climático

OCDE – Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

DDP - Deep Decarbonization Pathways

IDH – Índice de Desarrollo Humano

STS – Ciencia Tecnología y Sociedad

MDTD – Material Driven Textile Design

Resumen

Esta investigación parte de una pregunta central: ¿por qué la ingeniería, a pesar de sus avances técnicos, continúa desarrollándose con frecuencia de manera desconectada de los territorios y de las personas que los habitan? Para abordar esta problemática, se recurrió al metabolismo social como marco de análisis para comprender la relación entre los flujos materiales y energéticos y las dinámicas sociales, así como para identificar posibles fracturas metabólicas asociadas con proyectos técnicos que no consideran de manera suficiente su contexto. A partir de este diagnóstico, se exploró el biodiseño como una vía para fortalecer la relación entre los proyectos de ingeniería, los usuarios y el entorno. El trabajo con materiales vivos, particularmente con celulosa bacteriana, permitió observar que la sustentabilidad no depende únicamente de la incorporación de nuevos materiales o procesos, sino también de la capacidad de contextualizar las decisiones técnicas y de integrar dimensiones sociales durante el desarrollo de los proyectos. Posteriormente, mediante un estudio fenomenológico con investigadores en México, se identificó la denominada “colonialidad de la evaluación”, entendida como la influencia de los sistemas de incentivos y de los regímenes de productividad científica en la definición del éxito académico. Los resultados muestran que estas estructuras tienden a privilegiar publicaciones y métricas internacionales sobre la relevancia territorial y la innovación social, lo que limita la incorporación sistemática de estas dimensiones en los proyectos de ingeniería. De manera complementaria, un estudio cartográfico sobre cuidado y salud materna permitió identificar redes femeninas, conocimientos situados y prácticas comunitarias vinculadas con el cuidado infantil. El uso de

cartografías densas o thick mapping mostró que el bienestar también se produce en espacios domésticos y comunitarios, y que estos conocimientos pueden constituirse como información relevante para el desarrollo tecnológico. Finalmente, estos hallazgos convergen en una propuesta metodológica conceptual y exploratoria de investigación con enfoque mixto orientada a contextualizar los proyectos de ingeniería, incorporar dimensiones sociales y evaluar variables como el sacrificio percibido, la conciencia ambiental y la apropiación comunitaria. La propuesta busca contribuir a una ingeniería más situada, pertinente y socialmente apropiable, orientada no sólo a resolver problemas técnicos, sino a fortalecer su relación con la vida cotidiana y con los territorios.

Palabras clave: metabolismo social; biodiseño; colonialidad de la evaluación; ingeniería situada; apropiación comunitaria

Abstract

This research begins with a central question: why does engineering, despite its technical advances, continue to develop in ways that are often disconnected from territories and from the people who inhabit them? To address this problem, social metabolism was used as an analytical framework to understand the relationship between material and energy flows and social dynamics, as well as to identify possible metabolic rifts associated with technical projects that do not sufficiently consider their context. From this diagnosis, biodesign was explored as a way to strengthen the relationship between engineering projects, users, and their environment. Work with living materials, particularly bacterial cellulose, showed that sustainability does not depend only on the incorporation of new materials or processes, but also on the capacity to contextualize technical decisions and integrate social dimensions throughout project development. Subsequently, through a phenomenological study with researchers in Mexico, the concept of the "coloniality of evaluation" was identified, understood as the influence of incentive systems and scientific productivity regimes on the definition of academic success. The findings show that these structures tend to privilege publications and international metrics over territorial relevance and social innovation, limiting the systematic incorporation of these dimensions into engineering projects. In addition, a cartographic study on care and maternal health identified women's networks, situated knowledge, and community practices associated with childcare. The use of thick mapping showed that well-being is also produced in domestic and community spaces, and that this knowledge can constitute relevant information for technological development. Finally, these

findings converge in a mixed-method research methodology aimed at contextualizing engineering projects, incorporating social dimensions, and assessing variables such as perceived sacrifice, environmental awareness, and community appropriation. The proposal seeks to contribute to a more situated, relevant, and socially appropriable form of engineering, oriented not only toward solving technical problems but also toward strengthening its relationship with everyday life and territories.

Keywords: Social metabolism; Biodesign; Coloniality of evaluation; Situated engineering; Community appropriation

La mirada desde el Diseño Industrial

Esta investigación surge desde mi formación como diseñadora industrial y de una inquietud que se fue haciendo evidente al observar la distancia que existe entre algunos desarrollos científicos y las necesidades cotidianas de la población. El caso que inicialmente detonó esta tesis fue el pañal desechable. Resultaba difícil comprender cómo, mientras en artículos científicos y trabajos de investigación ya se reportaban alternativas fabricadas con materiales biodegradables e incluso procesos para la valorización de pañales usados, el producto que continúa utilizándose de manera generalizada mantiene una elevada carga ambiental y depende, entre otros componentes, de polímeros superabsorbentes de difícil degradación. La pregunta entonces dejó de ser únicamente si existen alternativas tecnológicas, para convertirse en otra: ¿por qué, si estas soluciones ya han sido investigadas, no logran llegar a la sociedad?

Esta contradicción llevó a observar el problema más allá del desarrollo tecnológico en sí mismo. Muchas investigaciones alcanzan resultados técnicamente satisfactorios dentro del laboratorio, se documentan mediante tesis o publicaciones científicas; sin embargo, éstas encuentran dificultades para convertirse en soluciones que puedan ser utilizadas, apropiadas o sostenidas por las personas. No comprender esta distancia generó la necesidad de estudiar la epistemología desde la cual los investigadores construyen sus proyectos y, particularmente, identificar qué elementos pueden estar limitando la conexión entre la investigación científica, los usuarios y el contexto en el que una solución pretende implementarse.

Desde el Diseño Industrial, esta preocupación resulta especialmente significativa. Las metodologías proyectuales han insistido históricamente en que una solución no puede

construirse únicamente desde el objeto o desde su factibilidad técnica. Desde propuestas como ¿Cómo nacen los objetos? de Bruno Munari hasta enfoques contemporáneos como el Design Thinking, el usuario, la observación, el contexto, la identificación de necesidades y la retroalimentación forman parte del proceso de diseño. La solución se construye mediante aproximaciones sucesivas a la realidad, y no exclusivamente bajo condiciones ideales.

Es precisamente desde esta mirada que se desarrolla la propuesta metodológica presentada en esta tesis. El interés no radica en cuestionar la capacidad de la ciencia para generar conocimiento o soluciones tecnológicas, sino en analizar qué ocurre entre el resultado científico y su llegada a la sociedad. Desde la epistemología del diseño, esta investigación propone incorporar al proceso científico una observación más cercana de los usuarios, sus recursos, sus capacidades, sus limitaciones y su disposición para participar, con la intención de reducir la distancia entre aquello que puede funcionar técnicamente y aquello que puede funcionar en la realidad.

INTRODUCCIÓN

Ciencia, desarrollo sostenible
y epistemologías del Sur



Introducción

Desde el Reporte de Bruntland, el concepto de desarrollo sostenible se ha convertido en el objetivo principal de las ciencias y avance tecnológico a nivel global, instrumentalizándose en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Hidalgo et al., 2019). La ciencia y la tecnología entonces obedecen al cumplimiento de los ODS, enfocándose en la resolución de los problemas globales que se dictan desde la agenda 2030. Esto resulta contrastante con la epistemología latinoamericana (Mignolo, 2003; Crespo y Vila, 2014), pues identifica al desarrollo implícito en los ODS como un modelo de mal-desarrollo insostenible, sustentado en la colonialidad-patriarcalidad-heteronormalidad del poder-saber-ser (Escobar, 2007), en el capitalismo y en el antropocentrismo. La investigación científica y tecnológica se dispone a atender la racionalidad ambiental (Leff, 2004) sin la completud de las epistemologías locales.

En las últimas décadas, los ODS se han consolidado como el marco hegemónico de referencia, bajo la promesa de alcanzar el desarrollo sostenible; debido a esto, las políticas científicas, educativas y tecnológicas a escala global se han enfocado en alcanzarlos y satisfacerlos. Pese a que los ODS reproducen un modelo de desarrollo lineal, antropocéntrico y tecnocrático que mantiene la dependencia de los países del Sur respecto al poder del Norte Global resultan ser pauta para el desarrollo de proyectos. Frente a esta visión homogeneizadora, en América Latina han emergido alternativas críticas que buscan reivindican otras racionalidades del habitar y del conocer, como la propuesta del Buen Vivir (Sumak Kawsay). Esta epistemología y filosofía, proveniente del Ecuador, se construye desde

el sur que cuestiona paradigmas como el de los ODS, particularmente sobre la colonialidad del saber y del ser (Hidalgo et al., 2019).

El Buen Vivir funciona como ejemplo que parte de una ontología relacional en la que la vida humana, la naturaleza y la comunidad forman un tejido inseparable, no contempla el crecimiento económico como prioridad, mientras que la armonía entre sistemas vivos, el equilibrio ecosistémico y la equidad social son la columna vertebral de este paradigma. La noción de buen vivir invita así a descentrar el enfoque de los ODS, para entonces, colocar en el centro del debate la diversidad epistémica y los saberes territoriales que históricamente han sostenido modos alternativos de sustentabilidad (Vásquez et al., 2021). Sin embargo, en México, como en gran parte de América Latina, la visión de la ciencia y la tecnología fue moldeada por el paradigma industrial y fordista del siglo XX. Como analiza Don Parson, el modelo fordista no sólo transformó la organización del trabajo en la línea de ensamblaje, sino que extendió su lógica de control, eficiencia y especialización hacia los sistemas educativos y científicos. Esta racionalidad industrial configuró a los investigadores como resolutores de problemas técnicos más que como actores sociales; de igual manera, la racionalidad industrial desplazó la función pública del conocimiento hacia la producción de soluciones estandarizadas al servicio de la acumulación industrial.

La presente investigación tiene como objetivo diseñar una propuesta metodológica para desarrollar proyectos ingenieriles sustentables basada en el sistema de significados de los investigadores. El primer capítulo se desarrolla una revisión sistemática en la que se analiza el concepto del metabolismo social. Esta revisión ayudó a ver otra cara de la ingeniería. Lo que es interesante fue el análisis que la misma ingeniería pudo analizar sobre sus propios

resultados. Este análisis también arroja luz sobre el por qué los proyectos de ingeniería deberían alejarse de las agendas internacionales. Con base en el diagnóstico de los primeros capítulos, el segundo capítulo se conforma bajo la cuestión ¿por qué México investiga dentro de los márgenes internacionales? Entonces, el segundo capítulo se conforma en un recorrido histórico en el cual se evidencia como los intereses económicos internacionales van enmarcando y configurando, tanto la educación como la investigación en México. El capítulo concluye con un estudio de caso de un grupo de profesores-investigadores dentro de una universidad pública. Los resultados sobre este estudio brindan las primeras pautas sobre el diseño de la metodología que tiene como objetivo migrar la investigación de ingeniería a la innovación social. Esta primera parte de la tesis busca entender la estructura, el contexto y los antecedentes que forjan la ciencia y a los investigadores que actualmente están activos dentro del sistema. La segunda parte de la tesis, integrada por los capítulos III y IV, incluye estudios de campo en los que se busca entender cómo la ciencia ha tenido impacto en la sociedad. El tercer capítulo aborda el tema del cuidado de los infantes antes de la llegada del pañal desechable. Para ello, se lleva a cabo un estudio cartográfico en el cual se entrevistan a mujeres de la tercera edad que viven en una comunidad en Guanajuato. El testimonio de las mujeres resulta muy enriquecedor, debido a que el tema de los saberes ancestrales, así como su divulgación son el eje central de este estudio de caso. Se pudo recopilar información de *otras* formas de cuidado infantil. También se pudo visibilizar que las redes entre las mujeres eran fundamental tanto para el cuidado de la familia como para el mismo sustento. Si bien el avance tecnológico ha desarrollado nuevas propuestas de pañales altamente biodegradables, no ha concebido la idea de que el cuidado materno no sólo se basa en productos si no en

redes sociales. Este estudio de caso es altamente valioso debido a las perspectivas que arroja sobre el potencial que tienen estos estudios profundos dentro de la ingeniería. El capítulo IV que se titula Desplazando Paradigmas: El Biodiseño como camino hacia una Ingeniería Sustentable, desemboca en el diseño e implementación de una metodología. Este caso de estudio se lleva a cabo a partir de la experimentación y enseñanza de un biomaterial. Esta metodología se implementa a lo largo de 3 semestres en una universidad pública con alumnos de las licenciaturas de Diseño Industrial y Arquitectura. La metodología propuesta se basa en el aprendizaje y enseñanza de un nuevo material, así como en la ingeniería la propuesta metodológica enseña y aprende una nueva forma de ver las investigaciones.
Significativamente el aporte de este capítulo a la metodología propuesta de innovación social es que se enfoca en atender las dificultades que tienen los sujetos que podrían usar la metodología. La primera parte de la metodología de esta enfocada a enseñar y guiar al usuario para superar la curva de aprendizaje, de tal manera que las siguientes fases de la metodología sean fáciles en su ejecución. Este principio se pudo identificar gracias a este estudio. Este capítulo es un ensayo que abona significativamente a la estructura y al diseño de la metodología propuesta con innovación social, pues se pudieron integrar principios de usabilidad que fueron observados en esta metodología de biomateriales. El capítulo 5 es el marco conceptual de la metodología propuesta con innovación social, así como la estructura que se diseñó para la metodología. La visualización completa de la metodología quedó inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con el número de registro 03-2026-073114491200-01.

Marco teórico

"Lo que hemos conseguido hasta el momento es un desequilibrio entre las distintas velocidades de la innovación en lo económico, lo político, lo tecnológico y lo social" *(Barkin, De la protesta a la propuesta: 50 años imaginando y construyendo el futuro, 2018)*

El sistema-mundo moderno/colonial: perspectiva desde la decolonialidad

La idea central de Mignolo es que la modernidad no puede existir sin la colonialidad. Lo que se entiende como modernidad (cristianización, civilización, progreso, modernización y desarrollo) es sólo una cara del sistema-mundo, mientras que la otra cara, oculta y muchas veces ignorada, es la colonialidad, la cual se manifiesta como violencia, atraso, subdesarrollo y exclusión. Esta dualidad explica cómo la modernidad se ha construido a costa de la subordinación de otros saberes y formas de vida (Mignolo, 2003).

Desde el siglo XVI hasta la actualidad, estos modelos han reforzado la idea de que sólo hay una historia universal válida, dejando de lado conocimientos alternos. Sin embargo, estos saberes, que han sido rechazados por la visión eurocéntrica, pueden aportar enfoques valiosos para la construcción de un pensamiento decolonial (Sosa, 2009) que son capaces de aportar, nuevas metodologías y enfoques a problemas modernos.

Este mismo esquema se refleja en las soluciones ingenieriles, que están enmarcadas en el paradigma del desarrollo sostenible. Aunque este modelo busca ser una alternativa al crecimiento económico sin límites, sigue basándose en las ideas occidentales de progreso y civilización. Como resultado, muchas soluciones tecnológicas se diseñan desde esta visión dominante, ignoran los conocimientos locales, prácticas tradicionales y saberes ancestrales que podrían ofrecer formas distintas de abordar la sostenibilidad (Lim et al., 2018).

Para lograr una ingeniería sostenible es necesario incorporar epistemologías alternas, es decir, conocimientos que han sido ignorados y desplazados por instituciones y normativas, generadas por la modernidad colonial. Esto implicaría cuestionar la idea de que los modelos actuales de desarrollo sostenible son universales y abrir espacio para perspectivas diversas. Construir una ingeniería decolonial, se basaría en integrar distintas formas de conocimiento de forma equitativa y que promueva una sostenibilidad más justa y equitativa (Backes et al., 2022).

El sistema-mundo moderno/colonial no sólo define la estructura económica y política global, sino también la forma en que se ha legitimado un solo tipo de conocimiento, excluyendo otros saberes. Superar esta visión requiere un proceso de descolonización del saber, que reconozca y valore las epistemologías que han resistido la colonización y que pueden ofrecer soluciones más inclusivas y contextualizadas (Fang et al., 2023).

Colonialidad del poder y pensamiento fronterizo

Desde la propuesta de un “paradigma otro”, Mignolo (2003) hace la crítica hacia la modernidad Europea, destacando que es el pensamiento “otro” el que visibiliza y critica la modernidad del Norte Industrial que coloniza la cultura, encubre las desigualdades de poder, lo que constituye la colonialidad del poder. Esta colonialidad se manifiesta tanto en las historias locales de las naciones que configuran estructuras globales como en aquellas que se adaptan a dichas estructuras, como lo es el imaginario del desarrollo sostenible (Lim et al., 2018). En este marco emergen "otros paradigmas" y "otras epistemologías" que, a partir de la experiencia, toman conciencia de la diferencia colonial. Tomando así la perspectiva de la

decolonización no sólo como un objeto de estudio, sino como una fuerza de pensamiento que desafía los paradigmas agotados y las narrativas de la modernidad (Martínez, 2003).

> *"El pensamiento fronterizo desde la perspectiva de la subalternidad es una máquina de descolonización intelectual y, por lo tanto, de descolonización política y económica" (Martínez S., 2003).*

Los enfoques del sistema-mundo, las teorías posmodernas presentan una limitación, pues consideran la diferencia colonial epistémica ni el surgimiento del pensamiento fronterizo como una nueva perspectiva epistemológica (Martínez, 2003). Por esta razón, Mignolo propone situarse en los márgenes del mundo moderno/colonial, donde estas diferencias se hacen evidentes, lo que provoca que la descolonización de la historia se genere mediante un enfoque transdisciplinario (Mignolo, 2003).

El desarrollo sostenible y la colonialidad del saber

Revisión de la crítica latinoamericana sobre la epistemología del desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible se ha convertido en un concepto ampliamente debatido, generando metas que, aunque son bien intencionadas, suelen ser difíciles de alcanzar debido a las estructuras de poder y consumo que rigen el sistema mundo-moderno. Según Barkin (1998), el modelo de desarrollo sostenible reconoce que los niveles actuales de consumo de recursos de los países del norte industrializados no pueden generalizarse globalmente, ni mantener a largo plazo esta forma de consumo, sin provocar un deterioro ambiental severo. Este modelo se basa en la idea de que los elementos naturales como el suelo, el agua, el aire, los bosques y los océanos son parte del capital natural heredado, que el manejo inadecuado de

este capital pone en riesgo la sostenibilidad de las organizaciones sociales y productivas a nivel mundial (Barkin, 2018). Debido a esto, hay un creciente interés internacional, pues las consecuencias del deterioro de la calidad de vida y la creciente desigualdad social son situaciones que se están presentando de forma globalizada. Se ha podido analizar que los sistemas productivos modernos no sólo exacerban la crisis ambiental, sino que también perpetúan estructuras sociales injustas y antidemocráticas. Como señala Barkin, la acumulación de riqueza en estos sistemas genera pobreza; las poblaciones marginadas se ven obligadas a contribuir a la degradación ambiental debido a la falta de alternativas laborales.

Perspectiva de Enrique Leff sobre sustentabilidad

Enrique Leff es uno de los principales exponentes latinoamericanos en el estudio de la sustentabilidad, debido a la profunda crítica que hace sobre la racionalidad instrumental y al modelo de desarrollo impuesto por la modernidad occidental. Desde su perspectiva, la crisis ambiental no es sólo un problema técnico, sino una crisis civilizatoria derivada de una visión reduccionista, que concibe a la Naturaleza como un recurso explotable (Leff, 2004).

Leff, entonces, sostiene que la sustentabilidad implica una revalorización de los saberes locales, las prácticas tradicionales y las cosmovisiones indígenas, que ofrecen alternativas a la lógica extractivista del capitalismo global. Para Leff, el conocimiento ambiental debe articular una ecología política que reconozca la diversidad cultural y epistemológica; lo anterior para que exista un diálogo con los saberes y el enfoque sostenible para así generar un futuro sostenible basado en la justicia ambiental y social (Canal et al., 2014). Privilegiar el bienestar común y la recuperación del control de los territorios y recursos por parte de las

comunidades, por encima del crecimiento económico ilimitado, es el cambio de paradigma que se plantea desde este enfoque de Leff.

La colonialidad del ser, del saber y del poder influyen de manera profunda en cómo se construyen y aplican los modelos de desarrollo en la región de Latinoamérica. Como señala Mignolo (2003), la modernidad y la colonialidad son dos caras de un mismo sistema-mundo: la modernidad es visible en la idea de progreso, modernización y desarrollo, mientras que la colonialidad, con su lado oscuro, marcado por la violencia, el atraso y la exclusión (Martínez, 2003). Esta dualidad se ve reflejada en la forma en que se abordan las problemáticas sociales desde enfoques que privilegian modelos externos y descontextualizados, perpetuando una dependencia epistemológica y práctica.

Debido a lo anterior, es crucial reconocer la colonización de los proyectos de ingeniería, los cuales se ven enmarcados en la colonialidad global de la ciencia y la tecnología. Esta colonialidad no sólo nombra y describe la realidad, sino que también la trastoca y transforma, con el objetivo de conocer, controlar y modificar aquello que estudia, como lo menciona Enrique Leff (2004). Esta perspectiva se manifiesta claramente en los proyectos sustentables de ingeniería, cuyos títulos y objetivos suelen alinearse directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Sin embargo, este enfoque frecuentemente prioriza el cumplimiento de metas globales estandarizadas por encima de la atención a las necesidades específicas de las comunidades locales (Max-Neef, 1998).

Como resultado, estas iniciativas terminan reproduciendo una visión homogénea del desarrollo, desarticulada de los saberes y prácticas locales (Hidalgo et al., 2019), entonces si bien este enfoque acerca a los proyectos al modelo del desarrollo sostenible también los aleja

de racionalidad sustentable de Enrique Leff (2004). Para superar esta limitación es fundamental replantear el papel de la innovación social dentro de los programas de las Universidades. Promover la construcción de proyectos que estén enfocados a la resolución de problemas locales, la integración de perspectivas locales y saberes, generaría un cambio de paradigma tanto en la ciencia como en la tecnología que se desarrolla dentro de las universidades.

Innovación social.

La globalización, el auge de alianzas estratégicas, la creciente competencia tecnológica y la internacionalización de empresas e investigaciones han transformado el contexto local e internacional para la producción y difusión de innovaciones. Además, factores como el aumento de los costos de investigación, el desempleo y las preocupaciones ambientales han reforzado la necesidad de intervención pública en este ámbito. La inversión en investigación, desarrollo, educación, formación e información es clave para instituciones y empresas. Por ello, es fundamental equilibrar estrategias a mediano y largo plazo mientras se responde ágilmente a los desafíos y oportunidades actuales (socioambientales) (Comisión Europea, 1995).

Es así que la innovación social comenzó a cobrar relevancia como un campo de estudio y un tema de interés en políticas públicas desde la década de los 80´s (Moulaert et al., 2020). El aumento de los desafíos sociales exigió soluciones que involucraran a múltiples instituciones y actores (The Young Foundation, 2010). Las innovaciones sociales se definen como actividades y servicios innovadores motivados por la intención de satisfacer una

necesidad social; así, las innovaciones sociales son generadas y difundidas principalmente por organizaciones cuyo propósito principal es atender problemas y necesidades sociales.

El Libro Verde de la Innovación sostiene que la innovación representa una alternativa clave para enfrentar los desafíos sociales, ya que se enfoca en buscar el bien común, mejorar la calidad de vida en diversos ámbitos, tales como la salud, la seguridad, el transporte, las comunicaciones, la protección laboral y el medio ambiente (Comisión Europea, 1995), esto debido a que es un concepto transversal que abarca múltiples dimensiones.

The Young Foundation (2010) describe la innovación social como una solución a un problema social que resulta más eficaz, eficiente y sostenible que las alternativas existentes; cuyo valor es beneficiar a la sociedad en lugar de beneficiar solo a individuos específicos. Esta innovación puede manifestarse en diversas formas, desde productos y procesos tecnológicos hasta principios, ideas, normativas, movimientos sociales o intervenciones, y combinaciones de estos elementos.

Metabolismo social

El metabolismo social puede entenderse como el conjunto de procesos mediante los cuales las sociedades establecen intercambios continuos de materia y energía con el entorno biofísico para sostener su organización, funcionamiento y reproducción. El concepto tiene sus antecedentes en Marx y Engels, quienes emplearon la noción de metabolismo para describir la relación material entre los seres humanos y la naturaleza mediada por el trabajo. La sociedad no constituye un sistema separado del medio natural, sino que depende permanentemente de la extracción, transformación, circulación, consumo y posterior excreción de recursos

materiales y energéticos (Haberl et al., 2019; Kolinjivadi, 2019; Martín et al., 2019; Paredes, 2023; Tetreault, 2022).

El metabolismo social permite observar a los sistemas socioeconómicos como estructuras que, de manera semejante a los organismos o los ecosistemas, requieren flujos constantes de materia y energía para mantener sus funciones y estructuras internas. Sin embargo, estos procesos no responden únicamente a condiciones biofísicas. La manera en que los recursos son apropiados, transformados, distribuidos, utilizados y descartados se encuentra determinada también por condiciones sociales, económicas, tecnológicas y culturales. Por ello, el metabolismo social constituye un enfoque que articula las dimensiones natural y social, permitiendo estudiar las interacciones entre ambas como parte de un mismo sistema socioecológico (Scheidel et al., 2018; Gabriel et al., 2020; Quintero et al., 2020; Yousefi et al., 2021; Dermott et al., 2022).

Esta perspectiva ha permitido ampliar el análisis hacia las consecuencias que derivan de las formas específicas de apropiación y utilización de los recursos. El estudio de los flujos y stocks materiales hace posible identificar no sólo cuánto consume una sociedad, sino también de qué manera estos procesos se relacionan con determinadas actividades económicas, formas de producción, modelos de desarrollo y condiciones de bienestar. Este concepto se ha vinculado con campos como la economía ecológica, la justicia ambiental y los estudios sobre sostenibilidad, ya que permite reconocer que los costos y beneficios asociados con la extracción y transformación de recursos no necesariamente se distribuyen de manera equitativa entre los diferentes grupos sociales o territorios (Fuente et al., 2019; Haberl et al., 2019; Noll et al., 2019; Bogadóttir, 2020).

Por lo tanto, más que constituir únicamente una herramienta para contabilizar entradas y salidas de materiales, el metabolismo social ofrece un marco interdisciplinario para analizar cómo una sociedad se apropia de la naturaleza, transforma sus recursos, construye y mantiene sus estructuras materiales, satisface determinadas necesidades y finalmente devuelve materia y energía al entorno. Su estudio permite relacionar los procesos biofísicos con las dinámicas socioeconómicas que los originan y, con ello, comprender las transformaciones que ocurren tanto en los sistemas naturales como en las propias sociedades a través del tiempo (Haberl et al., 2019; Paredes, 2023; Fishman et al., 2021; Dermott et al., 2022).

Planteamiento de la problemática

Los proyectos ingenieriles enfocados en sustentabilidad proponen soluciones innovadoras para mitigar el impacto ambiental y promover el desarrollo sostenible. Sin embargo, la adopción de estas iniciativas enfrenta desafíos significativos. Las metodologías empleadas para el desarrollo de estos proyectos se alejan de metodologías en las que el usuario es parte del estudio. Si bien hay metodologías de diseño en las cuales se considera al usuario, esto representa una barrera para la ejecución de la metodología, ya que dependen de especialistas capacitados o presentan limitaciones en su aplicabilidad inmediata. Aunado a lo anterior, las soluciones tecnológicas suelen enmarcarse en paradigmas occidentales de modernidad y desarrollo (Barkin, 1998); es decir, no contemplan dentro de la investigación los conocimientos locales y prácticas tradicionales, los cuales podrían ofrecer enfoques más adecuados y contextualizados para la resolución de problemas socioambientales (Mignolo,

2003). Esta brecha entre innovación social y aplicación efectiva en contextos sociales requiere un replanteamiento metodológico que incorpore principios de innovación social, así como un enfoque sistémico para garantizar un impacto positivo y sostenible (Foladori et al., 2005).

Desde la decolonialidad, el desarrollo sostenible y las metodologías de innovación predominantes se han basado en el modelo eurocéntrico que subordina, ignora otras epistemologías y formas de conocimiento (Escobar, 2007). La modernidad, que está estrechamente ligada a la colonialidad, ha impuesto estructuras económicas, políticas y científicas que excluyen saberes ancestrales y prácticas locales. El reto que enfrenta la ingeniería sustentable es descolonizar sus enfoques, incorporando epistemologías subalternas y promoviendo una mayor diversidad en la construcción del conocimiento (Hidalgo, et al., 2019). Esto implica también, cuestionar la dependencia de modelos de desarrollo estandarizados y abrir espacio a soluciones que reconozcan la diversidad cultural y ambiental, permitiendo fomentar un pensamiento fronterizo que desafíe las narrativas de la modernidad y proponga alternativas inclusivas y situadas.

Problema o preguntas de investigación

¿De qué manera puede integrarse la innovación social en el desarrollo de proyectos de ingeniería sustentable para que éstos generen impactos sostenibles tanto en el entorno como en las comunidades involucradas?

¿Es posible decolonizar los proyectos de ingeniería en México para que, en lugar de alinearse a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se diseñen en función de las necesidades y dinámicas sociales locales?

¿Cómo afecta la colonialidad global de la ciencia y la tecnología en la definición de los problemas y soluciones en proyectos sustentables de ingeniería?

Justificación

En México, la investigación científica y tecnológica no es un ejercicio aislado ni autónomo; ésta se encuentra profundamente vinculada a los lineamientos establecidos por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), así como a los esquemas de financiamiento público que sostienen la formación de investigadores a nivel de posgrado. Esto implica reconocer algo fundamental: gran parte del conocimiento que se produce en el país es financiado, directa o indirectamente, por la sociedad mexicana. Siendo congruente con lo antes mencionado, surge una pregunta necesaria, ¿para quién se está investigando?

A pesar de este origen público, una parte importante de la investigación en ingeniería sigue estando orientada hacia agendas globales, indicadores internacionales y marcos de validación externa, que privilegian la productividad académica por encima de la pertinencia social. Esto genera que el contexto y las lógicas en las que se desarrollan los proyectos del Sur Global no se enfoquen en atender las necesidades y problemáticas reales (Mignolo, 2003; Hidalgo et al., 2019).

Esta desconexión ha provocado lo que se ha denominado como “fractura metabólica”, ya que la optimización de flujos materiales y energéticos han dejado de lado las dinámicas sociales y territoriales (Haberl et al., 2019; Tetreault, 2022). Pareciera entonces que la

sostenibilidad se ha reducido a una cuestión de eficiencia y eficacia, que no cuestiona las estructuras que producen las problemáticas que se buscan resolver (Scheidel et al., 2018; Dermott et al., 2022).

Aunado a lo antes mencionado, en el contexto mexicano esta situación se ve reforzada y agravada por un sistema de evaluación científica que privilegia lo cuantificable, lo medible y lo comparable a escala internacional. La colonialidad de la evaluación es la lógica bajo la cual se determina qué se investiga, sino cómo se investiga y qué se considera valioso dentro de la producción científica, generando una forma de colonialidad de la evaluación (Aguado et al., 2021). En consecuencia, el aspecto social queda sistemáticamente relegado, contribuyendo a la consolidación de una ingeniería descontextualizada.

Es esencial entonces, reorientar la práctica ingenieril hacia los territorios. Iniciando por integrar saberes ancestrales en la construcción de soluciones pertinentes y sostenibles. Acercarse a los problemas locales desde la ingeniería implicaría reconstruir el valor que tienen los saberes, prácticas y formas de organización que han sido histórica y sistemáticamente invisibilizadas, pero que siguen sosteniendo la vida cotidiana (Fuente et al., 2019; Subercaseaux et al., 2020).

La presente tesis no busca únicamente analizar una problemática, sino proponer una forma distinta de aproximarse a ella. Apostar por estudios situados, por escalas pequeñas y por la comprensión profunda de contextos específicos es una estrategia para construir conocimiento más significativo. Comprender la sociedad, estudiarla desde las propias realidades y generar soluciones desde ahí, se vuelve entonces altamente pertinente.

La contribución de este trabajo radica en romper con el paradigma de atender únicamente de modelos globales, sino que sea capaz de construirse desde lo local y para lo local. Es decir, una ingeniería que no sólo optimice procesos, sino que también comprenda la vida que esos procesos afectan, así como las opciones que puede brindar para que estos procesos impacten de manera positiva y regenerativa en las comunidades; una ingeniería que, finalmente, pueda responder a quienes, desde el inicio, la han hecho posible.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una propuesta metodológica para desarrollar proyectos ingenieriles sustentables basada en el análisis del sistema de significados de los investigadores.

Objetivos específicos

I. Analizar, a partir de una revisión teórica y documental, la colonialidad del saber y las epistemologías críticas latinoamericanas, con el fin de identificar su influencia en la conceptualización y desarrollo de proyectos ingenieriles sustentables con enfoque de innovación social.

II. Caracterizar el sistema de significados de los investigadores sobre sustentabilidad e innovación social a través de un análisis fenomenológico de entrevistas en profundidad, para comprender cómo construyen y orientan sus proyectos en función de su marco epistemológico.

III. Diseñar una propuesta metodológica para el desarrollo de proyectos ingenieriles sustentables con innovación social a partir de los significados identificados en el

análisis fenomenológico, para así asegurar que la metodología propuesta sea coherente con los enfoques epistemológicos de los investigadores.

Metodología de investigación

La presente investigación se plantea desde un enfoque metodológico mixto, que articula revisión sistemática, análisis fenomenológico y estudios de caso como vías complementarias; dicha estructura se planteó para diseñar la propuesta metodológica en ingeniería sustentable con enfoque de innovación social. Más allá de plantearse como una suma de métodos, la tesis se configura como un proceso progresivo de indagación y de aprendizaje que se ve aplicada en la propuesta metodológica **(Figura 1)**.

En la primera etapa se realizó un análisis de antecedentes, el cual satisface el objetivo específico I. La revisión se llevó a cabo bajo la metodología PRISMA, en la que se analizaron proyectos de ingeniería sustentable desde el lente del metabolismo social. Este enfoque permitió identificar cómo los proyectos ingenieriles han sido conceptualizados y desarrollados bajo racionalidades predominantemente tecnocráticas; esto evidencia una desconexión entre los flujos materiales, energéticos y las dinámicas sociales y territoriales. Más allá de una caracterización descriptiva, esta etapa permitió construir un diagnóstico crítico de la ingeniería contemporánea; es decir, posibilitó señalar la existencia de una “fractura metabólica” y establecer las bases teóricas para comprender la necesidad de enfoques de innovación social.

La segunda etapa responde al objetivo específico II. En esta fase se adopta un enfoque cualitativo con orientación fenomenológico, mediante entrevistas en profundidad a investigadores pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (N=5).

Aunado a las entrevistas se realizó un diseño de estudio de caso, instrumental y colectivo para analizar y establecer los sistemas de significados que orientan la práctica científica, particularmente en torno a la sustentabilidad y el impacto social. El análisis, apoyado en herramientas como Atlas.ti y diagramas de co-ocurrencia semántica (Sankey), permitió identificar que los regímenes de evaluación configuran las racionalidades de los investigadores; esto da lugar a lo que se denomina una "colonialidad de la evaluación". Esta etapa permitió comprender que la forma en que se diseñan los proyectos de ingeniería no depende únicamente de decisiones técnicas, sino de marcos epistemológicos e institucionales que delimitan lo que se considera conocimiento válido y que al mismo tiempo delimitan los proyectos.

La tercera etapa corresponde al objetivo específico III; ésta se desarrolla a partir de dos estudios de caso que funcionan como espacios de observación y experimentación para la construcción de la propuesta metodológica. El primer caso es presentado en el capítulo de *Cartografías del Cuidado: Saberes Situados y las Barreras de lo Invisible*. En este caso se emplea la técnica cartográfica *thick mapping* como estrategia metodológica para visibilizar prácticas de cuidado, redes comunitarias y saberes situados en contextos rurales, actividades económicas, etc. Este análisis permitió visibiliza las formas de conocimiento no institucionalizadas que sostenían la vida antes de la llegada de productos globalizados como es el caso de los pañales desechables. Las observaciones y análisis de estos caso de estudio arrojaron información cualitativa que resultaron fundamentales para replantear la pertinencia social de la ingeniería. El segundo caso, que se titula como *Desplazando Paradigmas: El Biodiseño como Camino hacia una Ingeniería Sustentable*, se centra en la implementación de una metodología de biodiseño en

contextos educativos, que integra experimentación con biomateriales y procesos de diseño iterativo. Este estudio permitió explorar cómo la práctica proyectual puede transitar de una lógica procedimental hacia una lógica reflexiva y de co-creación con el entorno.

Este estudio permitió explorar cómo la práctica proyectual puede transitar de una lógica procedimental hacia una lógica reflexiva y de co-creación con el entorno.

En conjunto, las tres etapas desarrolladas en este trabajo no operan de manera aislada, sino que se articulan como un sistema de análisis y construcción de conocimiento que converge en la propuesta metodológica. Aunque esta propuesta no ha sido validada de manera integral, su formulación se construye a partir de los distintos ensayos, estudios y aproximaciones desarrollados durante la investigación. Cada uno de ellos permitió identificar, contrastar y ajustar elementos que posteriormente fueron integrados en la metodología. Por ello, la propuesta se plantea como un marco metodológico sustentado en evidencia derivada del propio proceso de investigación, pero todavía abierto a procesos posteriores de evaluación, ajuste y validación.



Figura 1. Fases de la metodología de investigación

El objetivo principal de la metodología de investigación diseñada es generar conocimiento en prácticas situadas que son transversalizadas por las dimensiones sociales, epistemológicas y territoriales. Cada etapa de la metodología aportó conocimiento para la propuesta metodológica; el uso de varias técnicas como la revisión sistemática, análisis fenomenológico y casos de estudios permitió comprender las racionalidades que sostienen la estructura ingenieril que predomina para poder proponer la metodología.


I
CAPÍTULO 1
La Perspectiva del Metabolismo Social en la Ingeniería: Un Diagnóstico Crítico
Ciencia, desarrollo sostenible y epistemologías del Sur
Hacia una ingeniería que reconoce la diversidad de saberes y construye futuros sostenibles desde los territorios.
CIENCIA Y TECNOLOGÍA
Conocimiento, innovación y soluciones para la sustentabilidad
SOCIEDAD Y CULTURA
Saberes, valores, necesidades y organización
BIENESTAR COLECTIVO
Buen vivir, justicia ambiental y equidad intergeneracional
NATURALEZA Y TERRITORIO
Ecosistemas, recursos y biodiversidad
Diálogo de saberes y construcción conjunta
ECOLOGÍAS
TERRITORIOS
DIVERSIDAD
CONOCIMIENTOS
Pensamiento crítico y situado
Diálogo de saberes y diversidad epistémica
Integración de disciplinas y actores
Responsabilidad socioambiental
Transformación para el buen vivir

Capítulo I. El Metabolismo Social en la Ingeniería: Un Diagnóstico Crítico

La crisis de sustentabilidad en la ingeniería contemporánea

"Los nuevos paradigmas tienden a prosperar en áreas donde las instituciones están más abiertas a ellos y donde las fuerzas del viejo sistema son más débiles (The Young Foundation, 2010)."

Dentro de la ingeniería, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el concepto de desarrollo sostenible se han convertido en referentes para orientar proyectos, políticas y programas educativos. Estos objetivos plantean una ruta común para atender problemas ambientales y sociales que actualmente afectan a diferentes regiones del mundo. Sin embargo, aplicar los mismos objetivos en territorios con condiciones históricas, sociales, ambientales y económicas diferentes también genera cuestionamientos.

Desde diferentes perspectivas desarrolladas en América Latina se ha señalado que el concepto de desarrollo sostenible puede ocultar desigualdades estructurales y reproducir modelos de desarrollo que no necesariamente responden a las condiciones del Sur Global (Cabrales et al., 2016; Hidalgo et al., 2019). El problema no se encuentra en plantear objetivos relacionados con pobreza, educación, acceso a recursos o deterioro ambiental. El problema aparece cuando se considera que las mismas estrategias pueden aplicarse de la misma manera en todos los territorios.

Las condiciones socioecológicas actuales muestran precisamente esta dificultad. Mulder (2012) señala que dentro de la educación en ingeniería la sostenibilidad suele relacionarse principalmente con tecnologías verdes, eficiencia energética o reducción en el

uso de recursos. Estos esfuerzos son necesarios, pero pueden mantener la misma lógica de producción y consumo que genera parte de los problemas que intentan resolver.

Desde diferentes autores latinoamericanos también se ha cuestionado que algunos planteamientos del desarrollo sostenible continúen relacionados con dinámicas de extractivismo, crecimiento económico y antropocentrismo (Shiva et al., 1997; Mignolo, 2003; Hidalgo et al., 2019).

Ante esta situación surge una pregunta importante para esta investigación: ¿cómo puede la ingeniería comprender problemas que no son únicamente técnicos? Dentro de esta discusión, el metabolismo social ofrece una posibilidad. El metabolismo social estudia los intercambios de materia y energía que ocurren entre la sociedad y la naturaleza (Scheidel et al., 2018). El concepto tiene antecedentes en la economía y posteriormente fue utilizado para analizar flujos de materiales y recursos dentro de diferentes sistemas (Toledo, 2013). Su aplicación se ha extendido hacia áreas como agricultura, sistemas alimentarios, procesos socioeconómicos, justicia ambiental, conflictos armados y dinámicas socioecológicas. Esto permite observar que los problemas ambientales no ocurren de manera aislada. La extracción de un recurso está relacionada con una forma de producción. Esa producción requiere energía, trabajo, infraestructura y transporte. Posteriormente existe un consumo y finalmente se generan residuos. Cada una de estas etapas también está relacionada con personas y territorios. Sin embargo, buena parte de las investigaciones sobre metabolismo social continúa concentrándose en medir flujos de materiales y energía. Cuando esto ocurre, las dimensiones culturales, sociales o políticas pueden quedar nuevamente fuera del análisis. La literatura también muestra que cuando el metabolismo social se utiliza para observar diferentes escalas

aparecen relaciones que no siempre son visibles mediante indicadores convencionales de sostenibilidad. Por ejemplo, los estudios de Bahers (2018) permiten observar que una ciudad puede disminuir aparentemente algunos de sus impactos mientras desplaza residuos o cargas materiales hacia otros territorios. Esto modifica la lectura del problema. Una ciudad puede parecer más eficiente dentro de sus límites y al mismo tiempo depender de la extracción de recursos o de la disposición de residuos en otros lugares. Por esta razón, el análisis territorial y multiescalar resulta importante cuando se trabaja con sostenibilidad. La incorporación del metabolismo social dentro de la ingeniería continúa siendo diversa y no existe una metodología única para utilizarlo. A partir de esto se plantearon las siguientes preguntas:

¿De qué manera la ingeniería ha integrado el metabolismo social para enfrentar los problemas socioambientales?

¿Qué resultados se han obtenido mediante estos análisis?

Para responder a esta pregunta, se llevó a cabo una revisión sistemática con tres objetivos: (i) identificar los principales patrones espaciotemporales y disciplinarios en la literatura; (ii) analizar cómo se interpreta y operacionaliza el concepto; y (iii) examinar los tipos de resultados y escenarios de solución propuestos desde la perspectiva ingenieril.

Metodología de búsqueda y análisis

La revisión se realizó utilizando las bases de datos Web of Science y Scopus.

En Web of Science se estableció como criterio que el término **“social metabolism”** apareciera en el título o dentro de las palabras clave. La búsqueda inicial generó 298 registros.

Posteriormente se aplicaron filtros relacionados con conservación de biodiversidad, estudios de desarrollo, ecología, ingeniería, ciencias ambientales, estudios ambientales, ciencia verde y sostenible y ciencia multidisciplinaria. Después de aplicar estos criterios se seleccionaron 53 artículos y 9 revisiones. De manera paralela se realizó una búsqueda en Scopus utilizando la misma palabra clave y criterios relacionados con sostenibilidad, ecología, ingeniería y ciencias ambientales. Esta segunda búsqueda generó 68 artículos y 9 revisiones.

Después de eliminar los documentos duplicados entre ambas bases de datos se obtuvo un total de **92 documentos** para realizar el análisis.

La Figura 2 muestra el procedimiento de selección mediante la metodología PRISMA.

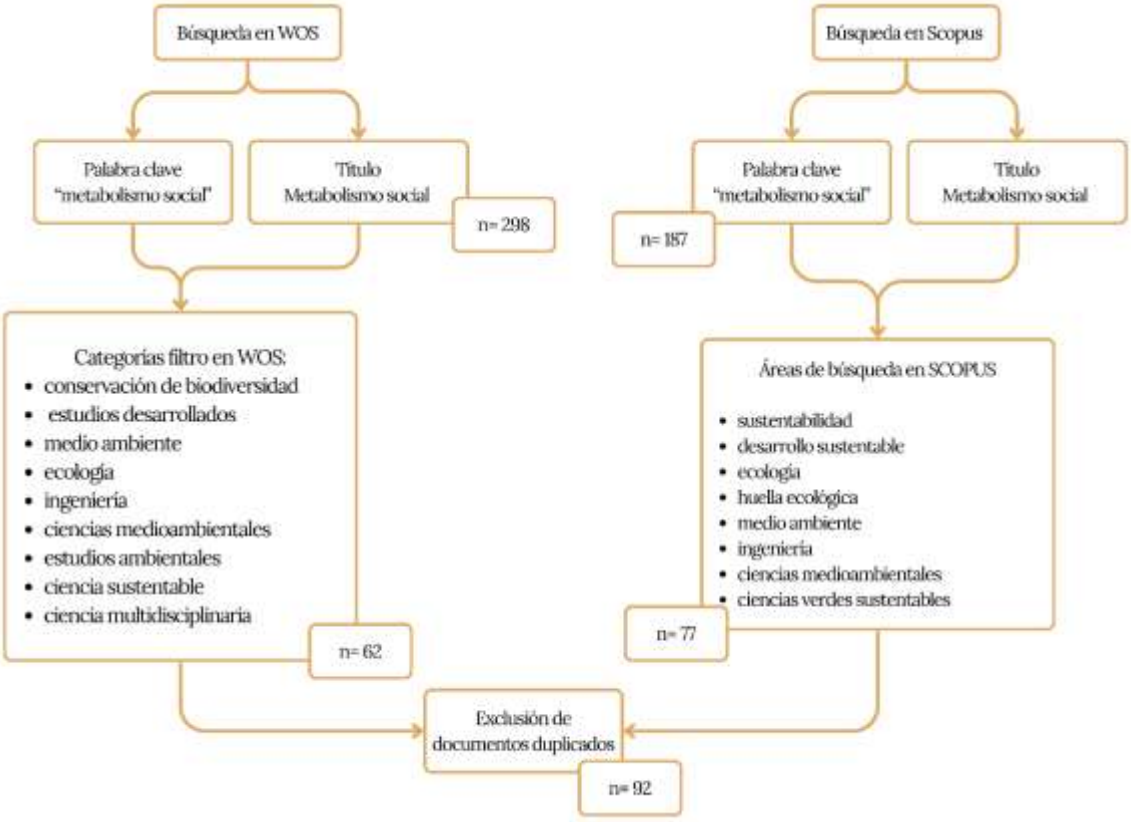


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología PRISMA

Los documentos seleccionados se incorporaron al programa Atlas.ti, versión 2023.

El análisis se realizó mediante codificación temática. El primer ciclo buscó identificar cómo definía cada autor el metabolismo social. Esta etapa permitió reconocer las principales formas de interpretar el concepto. El segundo ciclo se concentró en los resultados y conclusiones de los artículos. La intención fue conocer qué tipo de soluciones aparecían después de utilizar el metabolismo social como herramienta de análisis y observar si estas soluciones continuaban concentradas en aspectos técnicos o si incorporaban condiciones sociales, políticas y territoriales. La Figura 3 muestra la estructura de codificación utilizada en Atlas.ti.

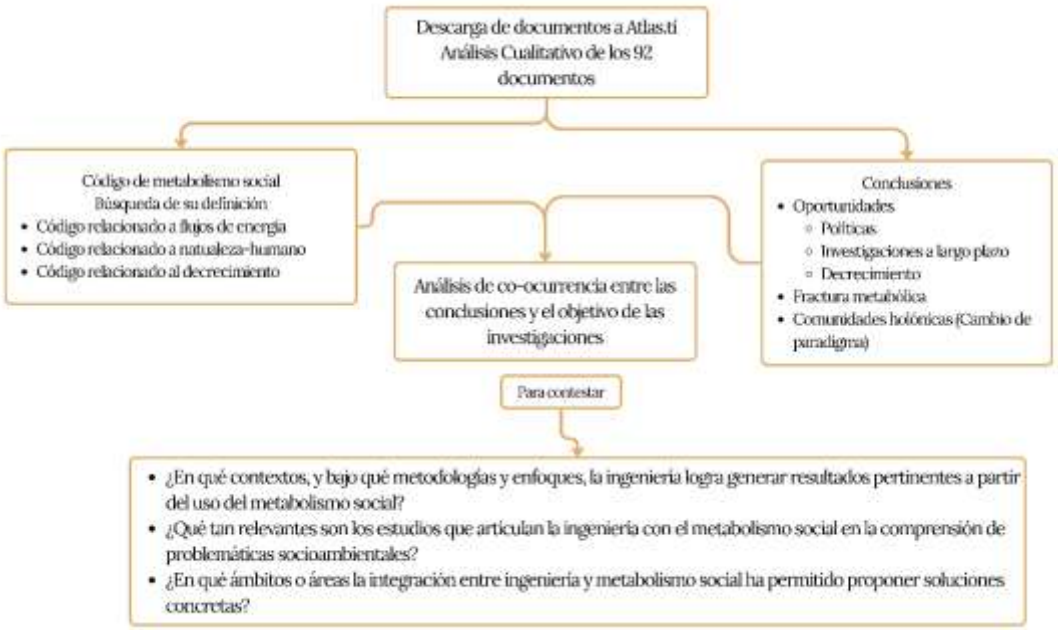


Figura 3. Diagrama de codificación en el programa Atlas.ti

Lo importante fue conocer cómo se estaba utilizando el concepto y qué ocurría después del diagnóstico. Esta diferencia resulta importante para la investigación porque una

herramienta puede permitir comprender correctamente un problema, pero esto no garantiza que la solución propuesta incorpore todos los elementos identificados durante el análisis.

Resultados de la revisión

Uno de los primeros resultados fue identificar que las investigaciones relacionadas con metabolismo social presentan una colaboración internacional importante. Las relaciones más frecuentes se encontraron entre Europa y América del Norte, así como entre Europa y América del Sur. La Figura 4 muestra estas relaciones entre regiones.

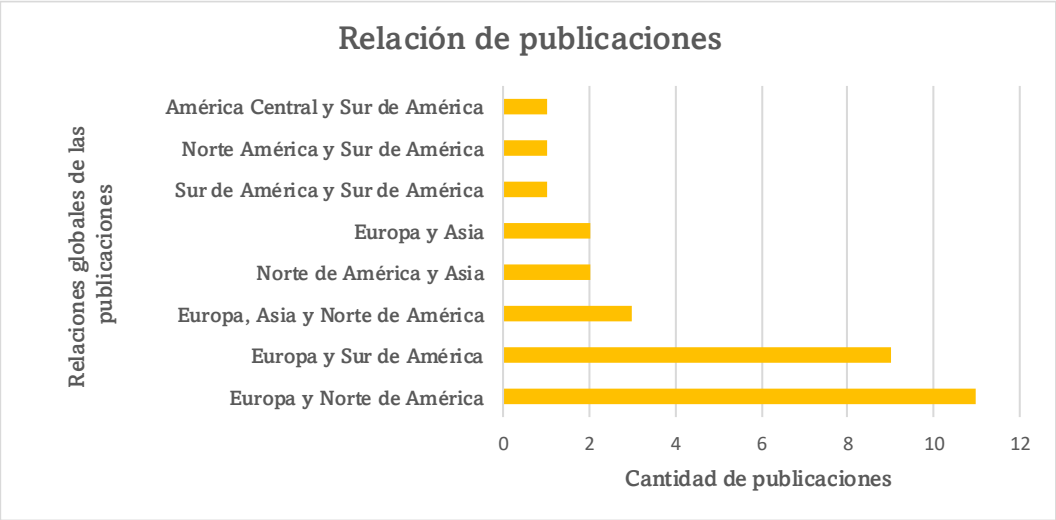


Figura 4. Colaboración internacional sobre el metabolismo social.

Algunos estudios realizados desde Europa utilizan conceptos desarrollados o utilizados ampliamente dentro de América Latina. Por ejemplo, Bahers (2018), al estudiar ciudades intermedias en Francia, utiliza aproximaciones relacionadas con metabolismo territorial. Auerbach y Clark (2019), desde Estados Unidos, retoman elementos de la teoría ecológica

marxista que también han sido utilizados en América del Sur para analizar economías extractivas. Esto permite observar que existen conceptos que circulan entre diferentes regiones. Entre ellos aparecen la fractura metabólica, metabolismo territorial, justicia ambiental, post-extractivismo y resiliencia socioecológica. Estas relaciones muestran que existe un intercambio de conocimiento entre diferentes regiones. Sin embargo, también aparece una contradicción.

Aunque muchos conceptos buscan reconocer las diferencias territoriales, gran parte de la investigación continúa desarrollándose desde instituciones localizadas en Europa y América del Norte. Esto adquiere importancia cuando los casos analizados se encuentran en América Latina u otros territorios del Sur Global. El investigador puede utilizar una metodología adecuada y aun así desconocer parte de las condiciones del territorio que está estudiando. Por esta razón, no solamente importa qué metodología se utiliza. También importa quién realiza la investigación, desde dónde la realiza y qué relación mantiene con las personas y el territorio analizado. Este resultado comienza a mostrar una de las limitaciones de aplicar metas universales de sostenibilidad sin considerar las características específicas de cada lugar. Los ODS establecen objetivos comunes. El metabolismo social permite observar que los caminos para alcanzar esos objetivos no necesariamente pueden ser iguales.

Evolución del concepto de metabolismo social

Desde la década de 1990, el uso del metabolismo social ha aumentado dentro de diferentes disciplinas (Goebel et al., 2022). Conforme se ha utilizado en nuevos contextos también han surgido conceptos derivados como metabolismo urbano, metabolismo socioeconómico, metabolismo agrario, metabolismo rural y metabolismo socioecológico.

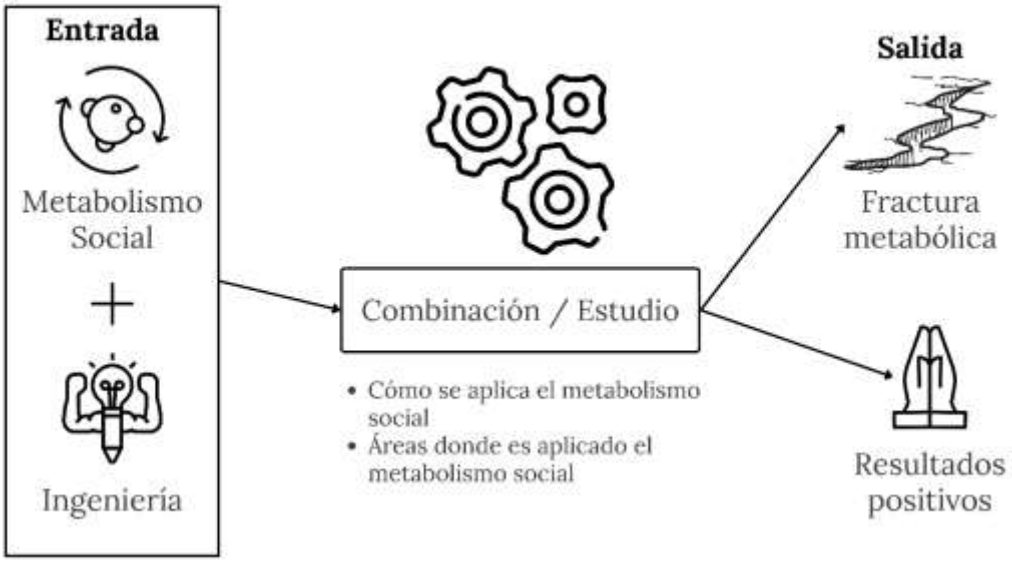


Figura 5. Entrada y salida de la revisión sistemática.

También existen diferencias respecto a la escala. Puede analizarse el metabolismo de una comunidad, una ciudad, una región, un país o incluso relaciones globales. Esto demuestra que el concepto tiene suficiente flexibilidad para ser utilizado en problemas diferentes. El metabolismo social parte de una analogía con el metabolismo biológico. Un organismo necesita entradas para mantenerse vivo. Consume agua, oxígeno y alimentos y posteriormente genera diferentes salidas. Una sociedad también necesita entradas. Extrae materiales, utiliza energía, produce objetos, transporta recursos, consume y finalmente genera residuos. Sin embargo, en la sociedad estos flujos no dependen únicamente de una necesidad biológica. Están condicionados por el trabajo, las formas de organización, la economía, la cultura y las decisiones políticas (Haas et al., 2020; Infante et al., 2017). Por esta razón, el metabolismo social permite observar al mismo tiempo el intercambio material y las condiciones que lo

producen. La Figura 5 representa esta relación entre metabolismo social e ingeniería y los posibles resultados identificados durante la revisión.

Marco conceptual del metabolismo social

Relación de intercambio material entre la sociedad humana y el entorno biofísico (Marx y Engels).

La revisión permitió identificar diferentes formas de definir y utilizar el metabolismo social. Aunque existen diferencias entre los autores, estas aproximaciones comparten una preocupación: comprender la relación entre sociedad y naturaleza.

El concepto desarrollado a partir de Marx y Engels comprende el metabolismo social como el intercambio material entre las sociedades humanas y el ambiente, mediado por el trabajo. Posteriormente, la economía ecológica retomó este planteamiento y desarrolló herramientas para cuantificar materiales que entran, circulan y salen de diferentes economías (Haberl et al., 2019; Kolinjivadi, 2019; Martín et al., 2019; Paredes, 2023; Tetreault et al., 2022). Esta aproximación permite conocer cuánto material necesita una sociedad para mantener determinadas formas de producción y consumo.

Producir, circular, transformar, consumir y excretar productos

Otra forma de comprender el metabolismo social es mediante la comparación de los sistemas socioeconómicos con organismos. Las sociedades necesitan materiales y energía para mantener sus actividades. Estos recursos son extraídos, transportados, transformados, consumidos y posteriormente desechados. Analizar esta secuencia permite observar que la economía no funciona como un sistema cerrado. Depende permanentemente de entradas

provenientes de la naturaleza y genera salidas que regresan al ambiente (Scheidel et al., 2018; Kolinjivadi, 2019; Quintero et al., 2020; Yousefi et al., 2021).

Relación naturaleza–sociedad

El intercambio material también depende de factores culturales. Dos comunidades pueden habitar territorios semejantes y utilizar los recursos de manera diferente. Sus prácticas de consumo, producción, alimentación o manejo de residuos pueden modificar completamente sus flujos materiales. Por esta razón, algunos estudios relacionan el metabolismo social con justicia ambiental y decrecimiento económico para analizar estrategias de sostenibilidad y bienestar humano (Díez et al., 2019; Fuente et al., 2019; Haberl et al., 2019; Noll et al., 2019; Bogadóttir, 2020; Paredes, 2023; Subercaseaux et al., 2020; Tetreault, 2022; Dermott et al., 2022).

Vinculado a la socioecología

Desde la socioecología se analiza a sociedad y naturaleza como sistemas relacionados.

Un cambio dentro de uno puede modificar al otro. La naturaleza deja entonces de entenderse únicamente como una fuente de recursos externos al sistema económico. Forma parte del mismo sistema que hace posible la vida y las actividades humanas. Esta aproximación permite trabajar con diferentes escalas espaciales y temporales y observar cómo los sistemas cambian conforme interactúan (Padró et al., 2020; Gabriel et al., 2020; Subercaseaux et al., 2020; Yousefi et al., 2021; Dermott et al., 2022).

Vinculado a la justicia ambiental

El metabolismo social también se utiliza para analizar quién recibe los beneficios de una actividad económica y quién asume sus impactos. Esta pregunta resulta importante en territorios relacionados con extracción de recursos, conflictos armados o procesos de reconstrucción. Medir cuánto material se extrae no es suficiente si no se conoce qué ocurre con las personas que viven en el lugar donde se realiza esa extracción. Por esta razón, la justicia ambiental incorpora preguntas relacionadas con distribución, acceso, participación y consecuencias sociales (Bogadóttir, 2020; Fuente et al., 2019).

Vinculado a procesos socioeconómicos

Otros trabajos se concentran en cuantificar las existencias materiales y los servicios que éstas proporcionan. Esto permite observar las relaciones entre existencias, flujos y servicios y conocer cuánta infraestructura o material requiere una sociedad para mantener determinadas funciones. Esta diversidad confirma que el metabolismo social no tiene una sola metodología de aplicación. Puede utilizarse para cuantificar materiales, analizar relaciones socioecológicas o estudiar problemas relacionados con justicia y distribución. Lo importante para esta investigación es que todos estos enfoques permiten hacer visible la dependencia que existe entre las sociedades y sus recursos. Las sociedades necesitan materiales para mantenerse. Pero la manera en la que estos materiales son extraídos, distribuidos y utilizados también responde a decisiones sociales y políticas.

Limitaciones identificadas en la ingeniería

La revisión permitió observar que diferentes investigaciones reconocen que los métodos convencionales de ingeniería tienen dificultades para analizar sistemas socioambientales complejos (Marín et al., 2022). La ingeniería puede medir recursos, eficiencia, energía o emisiones.

El problema aparece cuando una solución requiere comprender también relaciones sociales, formas de organización o conflictos territoriales. Un ejemplo puede observarse en agricultura. La agricultura industrial y la ganadería intensiva tienen una participación importante en consumo energético, emisiones y contaminación asociada con agroquímicos (Marull et al., 2018).

Ante estos problemas, muchas propuestas se concentran en mejorar eficiencia energética o disminuir insumos. Sin embargo, recuperar la capacidad ecológica de un paisaje agrícola también puede requerir modificar prácticas de manejo y formas de participación social. Esto significa que la tecnología puede resolver una parte del problema, pero no necesariamente todo el sistema.

Una situación semejante aparece dentro de la educación en ingeniería. Gardelle (2025) encontró que la sostenibilidad ha sido incorporada dentro de diferentes programas educativos europeos. Sin embargo, esta incorporación ocurre principalmente mediante actividades pedagógicas, interdisciplinariedad o aprendizaje activo. Los supuestos relacionados con crecimiento económico, consumo o solucionismo tecnológico reciben menor atención.

Esto permite observar un patrón. La ingeniería ha incorporado la sostenibilidad, pero con frecuencia lo hace utilizando las mismas herramientas con las que tradicionalmente ha

resuelto problemas. Por esta razón, incorporar sostenibilidad no significa necesariamente modificar la forma en la que se entiende el problema.

Principales temas identificados

El análisis mediante Atlas.ti permitió identificar diferentes agrupaciones temáticas. La Figura 6 muestra la frecuencia de estos temas dentro de los documentos analizados.



Figura 6. Frecuencia de tópicos en la revisión

Uno de los grupos con mayor presencia se relacionó con capitalismo, extractivismo, sobreconsumo, servicios energéticos, decrecimiento y existencias materiales. Esta relación coincide con el origen del metabolismo social dentro de la economía política marxista. Los estudios analizan cómo determinados modelos de producción requieren una extracción creciente de recursos y generan impactos sociales y ambientales (Scheidel et al., 2018; Kolinjivadi, 2019; Quintero et al., 2020; Yousefi et al., 2021).

Agricultura

Otro grupo importante corresponde a agricultura y agroecología. En estos estudios aparecen prácticas tradicionales, eficiencia energética, uso de suelo y sistemas productivos. Una característica importante es que algunos trabajos comparan formas de producción industrial con prácticas desarrolladas antes de la industrialización. Esto permite observar que algunas prácticas tradicionales pueden ofrecer alternativas para disminuir impactos o reorganizar sistemas alimentarios. También permite reconocer que la agricultura no es solamente una actividad productiva. Es un espacio donde existen relaciones entre comunidad, cultura, territorio y recursos.

Conflictos socioambientales

Un tercer grupo está relacionado con conflictos socioambientales. Aquí aparecen temas como despojo territorial, justicia ambiental, ecología política, reconstrucción después de conflictos y biopolítica. Estos estudios muestran claramente que algunos problemas ambientales no pueden explicarse únicamente desde la cantidad de recursos extraídos. También existen disputas por el territorio, relaciones de poder y desigualdad en la distribución de los impactos.

Este grupo resulta particularmente importante porque muestra que el metabolismo social puede utilizarse para observar problemas que salen de la esfera estrictamente técnica. Sin embargo, la profundidad con la que se incorporan estas dimensiones sociales es diferente entre los estudios.

Resultados desde la perspectiva de la ingeniería

Después de identificar cómo se utiliza el metabolismo social, se analizaron las soluciones propuestas. Esta parte de la revisión fue importante porque permitió comparar el diagnóstico con la intervención. Una investigación puede reconocer un problema social complejo y finalmente proponer una solución concentrada nuevamente en tecnología. Precisamente esta diferencia fue uno de los patrones encontrados.

Capitalismo y degradación ambiental

Los estudios relacionados con modos de producción capitalistas proponen principalmente respuestas desde política pública, regulación e incentivos económicos. Entre estas acciones se encuentran impuestos a actividades contaminantes, subsidios para tecnologías de menor impacto y estrategias de economía circular (Krausmann et al., 2020; Kalt et al., 2021; Schaffartzik et al., 2021). Estas soluciones buscan reducir los impactos ambientales sin necesariamente modificar completamente el sistema productivo. La economía circular aparece frecuentemente en este tipo de propuestas porque permite disminuir residuos y extracción de recursos manteniendo la productividad.

Sustentabilidad agrícola

En agricultura aparecen propuestas relacionadas con capacitación, inversión en investigación, conservación del suelo, biodiversidad y manejo del agua. También se plantea utilizar incentivos económicos para facilitar la transición hacia prácticas más sustentables. Los estudios de largo plazo tienen una importancia particular porque permiten observar

transformaciones que no ocurren inmediatamente. Cambiar un sistema agrícola requiere tiempo. También requiere observar cómo cambian las condiciones ambientales, económicas y sociales durante el proceso (Fernández et al., 2019; Martin et al., 2019; Shindler et al., 2019; Wiktor et al., 2020; Fishman et al., 2021; Marull et al., 2021; Padró et al., 2020; Quintero et al., 2021; Dermott et al., 2022).

Conflictos socioambientales y justicia

Los estudios relacionados con conflictos socioambientales son los que incorporan con mayor claridad a las comunidades. Esto tiene una explicación. Las personas que habitan los territorios suelen ser quienes reciben directamente los impactos de la degradación ambiental. Por esta razón, estos estudios señalan la necesidad de incorporar a comunidades locales y grupos marginados dentro de la toma de decisiones (Bahers et al., 2018; Hartley, 2018; Panez et al., 2018; Perez et al., 2018; Tetreault, 2022). Este hallazgo es importante para esta tesis porque muestra que la participación social aparece con mayor fuerza cuando el conflicto ya existe. La pregunta que surge es si esa participación podría incorporarse antes. Si una comunidad será afectada por un proyecto, su conocimiento y participación deberían aparecer desde las primeras etapas y no únicamente cuando el daño ya se produjo.

Reconstrucción en contextos de posconflicto

En los casos relacionados con posconflicto, la restauración ambiental aparece como parte de los procesos de reconstrucción. Aquí se combinan tecnologías verdes, gobernanza y participación. Estos estudios muestran la necesidad de coordinación entre gobiernos,

organizaciones y comunidades debido a que ninguna de estas partes puede resolver por sí sola la complejidad del problema (Fuente et al., 2019; Martín et al., 2019; Krausmann et al., 2020).

Escenarios identificados

A partir del análisis de resultados se identificaron tres escenarios principales. Estos escenarios no representan predicciones. Son una forma de organizar los tipos de respuestas encontrados en la literatura.

Escenario positivo

El primer escenario reúne proyectos que plantean soluciones concretas. Aparecen regulaciones, planificación territorial, disminución de insumos, agricultura orgánica y políticas para reducir impactos ambientales. En estos casos, el desarrollo tecnológico continúa teniendo un papel importante. La diferencia es que la tecnología se acompaña de regulación. Esto permite disminuir algunos impactos sin necesariamente modificar de manera profunda el modelo económico que los genera.

Fractura metabólica

Otro escenario aparece cuando el crecimiento económico y la industrialización aumentan la presión sobre los recursos y generan deterioro social y ambiental. La fractura metabólica puede observarse cuando se rompe la relación entre los sistemas sociales y naturales.

Algunos de sus efectos son:

- pérdida de valor del capital natural y social frente al capital económico;
- disminución de biodiversidad;
- erosión de suelo;

- pérdida de prácticas tradicionales;
- marginación de pequeños productores;
- disminución de resiliencia de los ecosistemas (Martín, 2019; Tetreault, 2022).

Este escenario permite observar que un aumento en productividad no necesariamente significa un aumento equivalente en bienestar. Una actividad puede ser económicamente eficiente y al mismo tiempo disminuir la capacidad del territorio para sostenerse.

Modelo holónico

El tercer escenario corresponde al modelo holónico. Este modelo organiza los sistemas en diferentes niveles. Cada unidad funciona como un sistema completo, pero al mismo tiempo forma parte de otro sistema mayor. A estas unidades se les denomina holones. El modelo permite relacionar productos, procesos, recursos e infraestructura y observar cómo interactúan entre diferentes escalas (Díez et al., 2019; Fuente et al., 2019; Haberl et al., 2019; Noll et al., 2019; Bogadóttir, 2020). Se identifican tres niveles principales:

- Micro: productos, procesos y organizaciones.
- Meso: parques ecoindustriales y distritos industriales.
- Macro: cadenas de suministro y sistemas de mayor escala.

También pueden incorporarse escalas geográficas que van desde la ciudad hasta el nivel global (Kirchherr, 2017; Martin, 2019). Este modelo resulta importante porque permite observar que una solución desarrollada a pequeña escala puede generar consecuencias en otros niveles. También ayuda a comprender que los problemas no ocurren de forma aislada.

Una decisión sobre materiales puede afectar producción, transporte, territorio y cadenas de suministro.

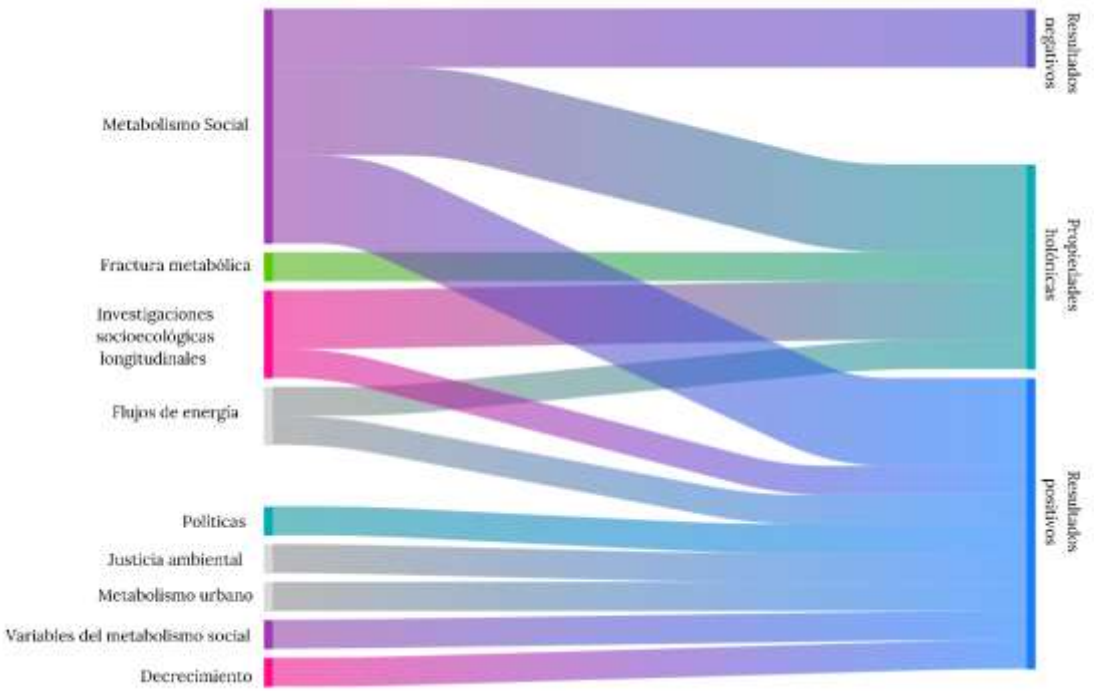


Figura 7. Análisis de tópicos del metabolismo social en proyectos de ingeniería.

Países que abordan problemáticas desde el metabolismo social

La distribución geográfica de los estudios permitió identificar otro resultado importante.

Una parte de los estudios sobre territorios del Sur Global es desarrollada por investigadores afiliados a instituciones del Norte Global. Este patrón aparece especialmente en investigaciones relacionadas con agricultura en América Latina (Villamor et al., 2019). Esto

genera una contradicción. El metabolismo social busca comprender las condiciones de un territorio.

Sin embargo, parte del conocimiento sobre ese territorio se produce desde instituciones que se encuentran fuera de él. Esto no significa que un investigador extranjero no pueda estudiar un territorio. Lo que pone sobre la mesa es otra pregunta: ¿qué conocimientos se están incorporando dentro del análisis?

Una investigación puede utilizar datos de producción, extracción y consumo y aun así no conocer las prácticas, relaciones o interpretaciones de las personas que viven allí.

La Figura 8 muestra la relación entre los problemas analizados y los países donde se desarrollan los estudios

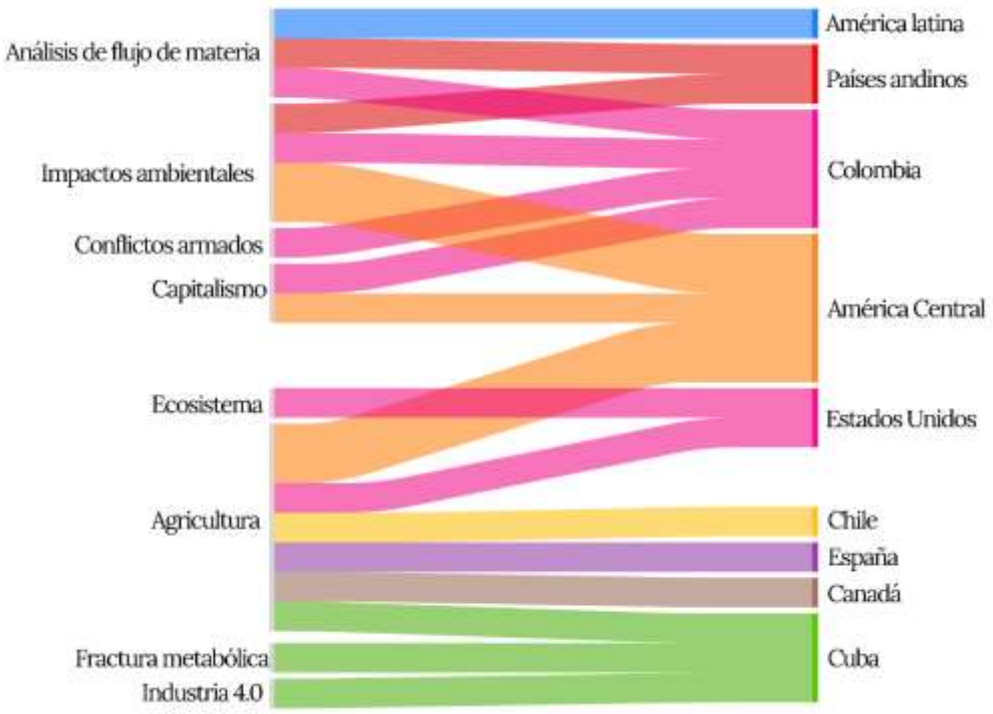


Figura 8. Países que abordan el metabolismo social

Este hallazgo hace visible que la posición del investigador puede modificar la forma en la que se define un problema. También puede influir en las soluciones que finalmente se consideran viables. Esto adquiere mayor importancia en territorios con desigualdades históricas, conflictos ambientales y economías extractivas.

Tendencias futuras

La revisión muestra que mejorar la eficiencia material y energética continuará siendo una prioridad dentro de la ingeniería. Esto responde a una necesidad real. Existe presión sobre los recursos y es necesario disminuir consumo de materiales, emisiones y residuos. Sin embargo, concentrarse únicamente en eficiencia mantiene fuera variables relacionadas con equidad, participación, gobernanza y capacidad de decisión de las comunidades. Un ejemplo puede encontrarse en estudios sobre agricultura en España. Algunas investigaciones concentran sus esfuerzos en mejorar la eficiencia energética de los sistemas agrícolas (Marnie et al., 2022). Estos resultados aportan información importante sobre el comportamiento biofísico del sistema. El problema es que esta información no necesariamente explica cómo realizar una transición agrícola que pueda ser aceptada y mantenida por las personas que trabajan y viven dentro de esos territorios (Marull et al., 2021).

Por esta razón, una de las tendencias futuras debería ser incorporar indicadores sociales dentro de los proyectos. El metabolismo social también puede relacionarse con economía circular. Reducir flujos no circulares, extracción de recursos, emisiones y residuos puede disminuir la presión sobre los sistemas naturales (Haas et al., 2020). Sin embargo, América Latina presenta condiciones particulares. Se prevé un aumento en los flujos de

energía y materiales asociado con crecimiento económico, especialmente dentro del sector agrícola.

Los estudios revisados señalan que las trayectorias de sostenibilidad y equidad podrían depender en buena medida de la movilización social y del fortalecimiento de redes comunitarias, más que de estrategias desarrolladas exclusivamente desde instituciones internacionales o agendas estatales (Paredes, 2023; Fishman et al., 2021; Dermott et al., 2022). Este resultado es importante. La transformación no depende únicamente de diseñar una tecnología más eficiente. También requiere conocer quién puede implementarla, quién participa en las decisiones y qué condiciones existen para mantenerla. Por esta razón, las investigaciones futuras que relacionen ingeniería y metabolismo social deberían incorporar indicadores sociales, conocimientos territoriales y relaciones de poder. También existen temas todavía poco desarrollados.

Entre ellos se encuentran pobreza, violencia de género y relaciones de poder relacionadas con la producción de conocimiento (Scheidel et al., 2018; Haberl et al., 2019). Incorporarlos ampliaría la capacidad del metabolismo social para comprender problemas que actualmente se analizan principalmente desde sus componentes materiales.

Conclusiones sobre la revisión

La revisión permitió conocer cómo se está utilizando el metabolismo social dentro de investigaciones relacionadas con ingeniería. El primer resultado es que no existe una sola manera de utilizarlo. Algunos estudios se concentran en medir flujos de materiales y energía. Otros incorporan relaciones socioecológicas, justicia ambiental, conflictos, poder y

condiciones territoriales. Esto confirma que el metabolismo social funciona como un marco flexible que puede adaptarse a diferentes tipos de problemas. También se identificó una concentración importante de producción científica en instituciones de Europa y América del Norte, incluso cuando los territorios analizados se encuentran en el Sur Global (Noll et al., 2020; Dermott et al., 2022). Este resultado hace necesario observar quién produce el conocimiento y qué relación mantiene con el contexto analizado. Respecto a las soluciones propuestas, se identificó otro patrón. Aunque los diagnósticos incorporan cada vez más dimensiones sociales, las respuestas continúan concentrándose principalmente en regulación, tecnología y eficiencia (Savini, 2023). Esta diferencia es importante.

La ingeniería puede reconocer que un problema tiene causas sociales y posteriormente intentar resolverlo únicamente mediante una mejora técnica. Cuando esto ocurre, parte del diagnóstico se pierde durante el desarrollo de la solución. Los estudios relacionados con decrecimiento, justicia ambiental o modelos holónicos muestran otras posibilidades. Sin embargo, siguen siendo menos frecuentes que las propuestas centradas en eficiencia.

Una de las principales limitaciones encontradas fue la poca presencia de indicadores sociales dentro de los análisis ingenieriles. La ingeniería cuenta con herramientas muy desarrolladas para medir energía, materiales, emisiones y eficiencia. Tiene menos herramientas para medir apropiación, participación, distribución de beneficios, relaciones de poder o pertinencia territorial. Esta diferencia también aparece en la enseñanza. Aunque la sostenibilidad se ha incorporado dentro de diferentes programas de ingeniería, continúa siendo frecuente que se enseñe mediante eficiencia, reducción de impactos o tecnologías verdes (Thürer, 2017).

Esto permite responder la pregunta inicial del capítulo. La ingeniería sí ha incorporado el metabolismo social y este concepto le ha permitido observar sistemas complejos, relaciones entre sociedad y naturaleza y diferentes escalas de impacto. Sin embargo, todavía existe una distancia entre lo que el metabolismo social permite diagnosticar y aquello que la ingeniería finalmente propone como solución. Esta distancia es uno de los principales hallazgos de este capítulo.

Aporte del Capítulo I

La revisión permitió identificar el primer elemento que será incorporado a la metodología propuesta en esta tesis: conocer la comunidad y el territorio antes de desarrollar la solución. Los proyectos de ingeniería buscan resolver problemas. Sin embargo, una solución puede estar técnicamente bien desarrollada y no responder completamente a las condiciones de las personas que pretende beneficiar. Los contextos históricos, políticos, culturales y materiales son complejos. Precisamente por esto no pueden eliminarse del análisis. Deben incorporarse desde el inicio. Antes de decidir qué tecnología desarrollar, el proyecto necesita conocer dónde será aplicada, qué recursos existen, quiénes participan y qué consecuencias puede generar. La ingeniería tiene una capacidad importante para mejorar procesos y aumentar eficiencia. Pero mejorar un proceso no garantiza que los beneficios sean distribuidos de forma equitativa. Por esta razón, el análisis realizado en este capítulo genera cuatro preguntas que deberían acompañar a los proyectos:

- ¿Quién decide?
- ¿Quién se beneficia?

- ¿Quién participa?
- ¿Quién asume los impactos?

Estas preguntas permiten llevar el análisis del metabolismo social hacia la metodología que se desarrolla en esta tesis. El metabolismo social permitió observar la complejidad de las relaciones entre sociedad y naturaleza. Sin embargo, la revisión también permitió identificar la diferencia entre diagnosticar esa complejidad y posteriormente intervenir sobre ella. Esta brecha es importante. Si el diagnóstico reconoce relaciones sociales, territoriales y ambientales, la solución también debería incorporarlas. Por esta razón, la primera fase de la metodología propuesta coloca a las comunidades y a los usuarios desde el inicio del proyecto. El objetivo es conocer sus necesidades, capacidades, recursos y condiciones antes de definir la solución. Esta etapa no pretende sustituir el análisis técnico. Lo complementa. Conocer la comunidad permite que posteriormente las decisiones técnicas puedan dirigirse hacia necesidades que realmente existen y evita que el proyecto sea desarrollado completamente antes de descubrir que las condiciones del territorio no permiten implementarlo. Este capítulo aporta entonces una primera condición para la metodología:

la ingeniería debe conocer el sistema donde pretende intervenir antes de diseñar la intervención.

El metabolismo social permite observar ese sistema mediante sus flujos, relaciones y escalas. La propuesta metodológica retoma ese conocimiento y lo coloca al inicio del proyecto para disminuir la distancia entre aquello que se desarrolla desde la investigación y aquello que finalmente puede ser utilizado por la comunidad.

El análisis desde el metabolismo social permitió identificar una primera tensión: la distancia entre los procesos técnicos de investigación y las condiciones sociales, territoriales y materiales en las que posteriormente se pretende insertar una solución. Este hallazgo sustenta el principio de contextualización incorporado en la propuesta metodológica, en el que el problema debe definirse no sólo desde su dimensión técnica, sino también a partir de los flujos, actores, prácticas y condiciones del territorio. Sin embargo, este diagnóstico abrió una segunda interrogante: si existen marcos y metodologías capaces de incorporar estas dimensiones, ¿por qué continúan siendo marginales dentro de muchos proyectos de ingeniería? Esta pregunta condujo al análisis desarrollado en el capítulo II, centrado en los investigadores y en las estructuras institucionales que orientan su práctica. El estudio sobre la colonialidad de la evaluación permitió identificar que la selección de problemas, métodos y resultados no depende únicamente de decisiones individuales, sino también de los incentivos, criterios de productividad y formas de reconocimiento que estructuran el trabajo científico. En este sentido, el primer capítulo identifica la desconexión entre investigación, territorio y sociedad, mientras que el segundo examina uno de los mecanismos que contribuye a reproducirla. Esta relación permite comprender que la propuesta metodológica no surge sólo de la necesidad de mejorar la formulación técnica de los proyectos, sino también de incorporar mecanismos que favorezcan la contextualización, la participación y la valoración de dimensiones sociales que suelen quedar fuera de los criterios tradicionales de evaluación.

II

CAPÍTULO 2

La Colonialidad de la Evaluación:

Por qué se investiga como se hace en México

Regímenes de evaluación, conocimiento y poder en el sistema científico mexicano

Un análisis crítico de cómo los mecanismos de evaluación científica han reproducido lógicas tecnocráticas y prioridades industriales, y sus efectos en la producción de conocimiento y su vínculo con la sociedad.



Historia y política de la CTI en México

Regímenes de evaluación

Análisis crítico de sus efectos

Ciencia y sociedad: una brecha estructural

Hacia la justicia cognitiva y los saberes territoriales

Capítulo II. La Colonialidad de la Evaluación: La investigación en México

Las transiciones energéticas desarrolladas en México durante las últimas décadas muestran una contradicción importante. Por una parte, buscan disminuir emisiones y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Por otra, algunos proyectos han generado conflictos en los territorios donde son implementados.

La Reforma Energética de 2013 y la Ley de Transición Energética de 2015 forman parte de este proceso. Ambas impulsaron cambios relacionados con inversión, producción energética y desarrollo de fuentes renovables. Sin embargo, en algunos territorios también surgieron problemas relacionados con gobernanza, justicia y participación comunitaria (Natorski & Solorio, 2023).

Esta situación no ocurre únicamente en México. En otros países de América Latina, algunos proyectos desarrollados bajo objetivos ambientales han reproducido desigualdades sociales o conflictos territoriales. Un ejemplo se encuentra en los proyectos eólicos instalados en comunidades zapotecas de Oaxaca. Aunque estos proyectos se presentan como alternativas de energía limpia, diferentes investigaciones muestran que durante su implementación los conocimientos locales, las formas de organización comunitaria y las demandas territoriales pueden quedar fuera de las decisiones principales (Velasco et al., 2022).

Debido a esto, surge una primera pregunta para este capítulo: ¿una tecnología puede considerarse sustentable si disminuye emisiones, pero genera conflictos con las personas que habitan el territorio donde será implementada?

Esta situación ha sido analizada mediante el concepto de **colonialidad verde**, el cual permite observar cómo una propuesta ambiental puede mantener relaciones de poder semejantes a las existentes antes de la transición tecnológica (Svampa et al., 2022). El problema, por lo tanto, no se encuentra únicamente en la tecnología utilizada. También es necesario conocer quién decide desarrollarla, quién define sus beneficios, qué conocimientos son considerados válidos y quién asume sus consecuencias.

Desde diferentes perspectivas del Sur Global se ha señalado que algunas transiciones energéticas continúan respondiendo a sistemas tecnocráticos vinculados con competitividad internacional y objetivos globales de descarbonización (Diezmartínez, 2021). Esto puede observarse en las estrategias de descarbonización hacia 2050, las cuales permiten establecer metas de reducción de emisiones y construir escenarios energéticos. Sin embargo, estos escenarios pueden dejar fuera aspectos relacionados con autonomía territorial y conocimientos locales (Buira et al., 2021; Mendoza, 2023).

Lo anterior no significa que las metas climáticas no sean necesarias. La reducción de emisiones continúa siendo un objetivo fundamental. Sin embargo, una meta ambiental no puede considerarse suficiente para afirmar que una transición será socialmente pertinente.

Existen otros paradigmas, como el **Buen Vivir** o **Sumak Kawsay**, que plantean una relación distinta entre sociedad, naturaleza y desarrollo. Desde estas perspectivas, el bienestar colectivo y la relación con los sistemas vivos tienen mayor importancia que el crecimiento económico continuo. Debido a esto, también cambia la forma de entender una transición energética. Disminuir emisiones sigue siendo importante, pero la transición debe considerar

además reciprocidad, ecosistemas, justicia y territorio (Paredes, Guanga, Orozco, & Vargas, 2023).

Estas diferencias muestran que no existe una sola forma de entender la sostenibilidad. Por esta razón, resulta importante analizar cómo se construyen los criterios mediante los cuales se decide qué investigación, tecnología o proyecto es considerado relevante.

El sistema científico mexicano

Para comprender cómo se produce actualmente la investigación en México fue necesario revisar la evolución del sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI).

A partir de la década de 1980, las universidades mexicanas comenzaron a experimentar cambios relacionados con políticas económicas neoliberales y con una mayor incorporación de criterios de productividad y competitividad. Estos cambios también modificaron la forma de evaluar a los investigadores.

La creación del CONACYT en 1970 y, posteriormente, del Sistema Nacional de Investigadores en 1984 permitió institucionalizar mecanismos para reconocer la producción científica. Estos sistemas contribuyeron al fortalecimiento de la investigación mexicana y generaron criterios para evaluar productividad y trayectoria académica.

Sin embargo, al mismo tiempo comenzaron a definir qué productos tenían mayor valor dentro del sistema. Publicaciones, citas, patentes, formación de estudiantes y participación en proyectos adquirieron mayor importancia como indicadores de productividad.

Debido a esto, la evaluación no funciona únicamente como un mecanismo para registrar resultados. Cuando un sistema reconoce y recompensa determinados productos, los investigadores tienen razones para orientar parte de su trabajo hacia ellos.

Por esta razón, la forma en que se evalúa la ciencia también puede influir en la forma en que se desarrolla la investigación.

El problema central de este capítulo no consiste únicamente en identificar qué políticas científicas necesita México. También es necesario conocer cómo los investigadores que participan dentro del sistema construyen conceptos como impacto, pertinencia y sostenibilidad, y de qué manera estos significados se relacionan con los mecanismos de evaluación existentes.

El presente capítulo tiene como objetivo analizar la trayectoria institucional y documental del sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) en México durante el periodo 1984–2025, con énfasis en los mecanismos de evaluación, los criterios de productividad científica y los cambios que han orientado la práctica investigadora. También se consideran algunas tendencias económicas y políticas de escala global cuando resultan necesarias para comprender la configuración del sistema mexicano de CTI.

Esta revisión no pretende representar de manera exhaustiva el funcionamiento del sistema nacional. Su finalidad es identificar los principales procesos institucionales que permiten contextualizar el problema de investigación. Para complementar este análisis se desarrolla un estudio de caso localizado en un grupo consolidado de investigación en Energía y Biocombustibles perteneciente a una universidad pública. El objetivo es conocer cómo estas lógicas institucionales son interpretadas dentro de una comunidad científica específica.

Rojas (2024) señala que la brecha entre ciencia y sociedad no debe entenderse como un problema aislado, sino como una condición relacionada con la forma en que se organiza y evalúa la investigación. Estos mecanismos de evaluación se encuentran vinculados con modelos de formación y productividad de carácter fordista y neoliberal (Jaguaribe, 2011). Debido a esto, algunos criterios institucionales pueden influir en la manera en que se define qué conocimiento es relevante y qué resultados reciben mayor reconocimiento.

Este planteamiento permite ampliar la discusión hacia otras formas de evaluación que consideren no sólo productividad y desempeño científico, sino también pertinencia social, contexto territorial y otras formas de conocimiento.

Si los mecanismos actuales privilegian determinados productos y trayectorias, también es posible incorporar criterios relacionados con justicia cognitiva, conocimiento territorial y desarrollo tecnológico con mayor pertinencia social.

Metodología del estudio de caso de investigadores

El estudio se desarrolló mediante un enfoque cualitativo. El objetivo fue conocer cómo los mecanismos de evaluación se relacionan con la forma en que los investigadores entienden su práctica científica y, particularmente, el impacto social de sus proyectos.

La metodología se organizó en cuatro etapas:

- análisis histórico-documental del sistema de CTI entre 1970 y 2025
- estudio de caso de un grupo de investigación
- entrevistas y análisis fenomenológico mediante Atlas.ti

- identificación de principios para orientar una CTI socialmente pertinente (Figura 9)



Figura 9. Metodología para el estudio fenomenológico del Sistema de CTI en México

El interés no se centró únicamente en conocer las políticas y mecanismos de evaluación existentes. También se buscó identificar cómo estos elementos aparecen posteriormente en la forma en que los investigadores explican su trabajo, sus decisiones y los resultados que consideran importantes.

Orientación fenomenológica

Desde la fenomenología de Husserl (1982) y de Patočka (2004), el fenómeno no se analiza únicamente como un objeto externo. También se estudia a partir de la experiencia de las personas y de la forma en que interpretan aquello que viven dentro de un contexto determinado.

Por esta razón, la fenomenología permitió acercarse a la experiencia de los investigadores. Se buscó conocer qué consideran importante dentro de su trabajo, cómo definen los problemas, qué dificultades enfrentan y qué significado atribuyen al impacto social.

Esta parte fue necesaria porque los sistemas de evaluación pueden conocerse mediante reglamentos, lineamientos y documentos institucionales. Sin embargo, estos documentos no permiten conocer por sí mismos cómo son interpretados por quienes trabajan diariamente dentro de ese sistema.

Debido a esto, las entrevistas permitieron relacionar las exigencias institucionales con las decisiones y significados construidos por los investigadores.

Diseño del estudio de caso

La investigación utilizó el enfoque de estudio de caso propuesto por Stake (1999). El análisis se concentró en un grupo consolidado de investigación en Energía y Biocombustibles perteneciente a una universidad pública mexicana.

El grupo fue seleccionado porque trabaja dentro de un campo donde los resultados científicos pueden medirse mediante publicaciones, desarrollo tecnológico, eficiencia e innovación. Al mismo tiempo, sus líneas de investigación se relacionan con energía, biocombustibles, procesos sustentables y valorización de residuos.

Debido a esto, el caso permitió observar una tensión importante. Por una parte, los investigadores trabajan dentro de un sistema que reconoce productividad científica y resultados técnicos. Por otra, sus proyectos buscan atender problemáticas ambientales y sociales. Esta condición hizo posible analizar la relación entre productividad académica y generación de conocimiento con posible aplicación social y territorial.

La muestra estuvo conformada por cinco investigadores (**N = 5**). , La investigación utilizó el enfoque de estudio de caso propuesto por Stake (1999). El análisis se concentró en un grupo consolidado de investigación en Energía y Biocombustibles perteneciente a una universidad pública mexicana.

El grupo fue seleccionado porque trabaja dentro de un campo donde los resultados científicos pueden medirse mediante publicaciones, desarrollo tecnológico, eficiencia e innovación. Al mismo tiempo, sus líneas de investigación se relacionan con energía, biocombustibles, procesos sustentables y valorización de residuos.

Debido a esto, el caso permitió observar una tensión importante. Por una parte, los investigadores trabajan dentro de un sistema que reconoce productividad científica y resultados técnicos. Por otra, sus proyectos buscan atender problemáticas ambientales y sociales. Esta condición hizo posible analizar la relación entre productividad académica y generación de conocimiento con posible aplicación social y territorial.

Recolección y análisis de datos

El componente empírico estuvo conformado por cinco entrevistas semiestructuradas, una con cada participante del estudio.

Las entrevistas se realizaron entre el 21 de octubre y el 11 de noviembre de 2024. Tuvieron una duración de entre 30 y 90 minutos y fueron grabadas con consentimiento informado. Posteriormente, se transcribieron de manera literal para realizar el análisis.

La guía de entrevista se organizó alrededor de cinco temas:

- comprensión del impacto social;
- actores responsables de promover dicho impacto;

- indicadores y mecanismos de evaluación;
- tensiones entre productividad y relevancia territorial;
- reflexiones sobre los ODS y las agendas tecnológicas globales.

El análisis se realizó mediante Atlas.ti, versión 23. En una primera etapa se realizó la lectura completa de las entrevistas para identificar unidades de significado relacionadas con práctica científica, impacto social y mecanismos de evaluación.

A partir de estas unidades se construyeron códigos iniciales. Los códigos correspondieron a ideas, expresiones y significados que aparecían de manera recurrente dentro de las entrevistas.

Posteriormente, los códigos fueron comparados y agrupados de acuerdo con su cercanía semántica. Como resultado, se construyeron categorías emergentes y se identificaron relaciones entre ellas.

En una siguiente etapa se analizaron las coocurrencias entre códigos y categorías dentro del corpus completo. Estas relaciones se utilizaron para construir diagramas de Sankey.

Los diagramas permitieron observar qué asociaciones aparecían con mayor frecuencia y cuáles tenían menor presencia. El grosor de los flujos representa la frecuencia relativa de las relaciones codificadas y no el número de participantes que mencionaron una determinada idea.

Debido a esto, los diagramas no fueron utilizados como una representación estadística de la muestra. Su función fue apoyar la interpretación cualitativa de las relaciones presentes dentro del discurso.

Finalmente, las categorías fueron analizadas considerando su presencia, centralidad, menor frecuencia o ausencia. Como resultado, se identificaron patrones relacionados con perspectiva económica, industria, ingeniería y marcos globales de evaluación.

También se observó una menor presencia de categorías relacionadas con co-creación, conocimiento comunitario, justicia ambiental y necesidades locales.

Estos resultados sirvieron como base para interpretar la **colonialidad de la evaluación**, ya que permitieron observar qué tipos de significados aparecían con mayor fuerza dentro del sistema analizado y cuáles tenían menor presencia.

Construcción de categorías

Después de la codificación inicial, los códigos fueron comparados de acuerdo con su recurrencia y cercanía semántica. Como resultado, se agruparon en categorías más amplias relacionadas con la práctica científica, el impacto social y los mecanismos de evaluación. Estas categorías no fueron definidas antes de realizar las entrevistas. Se construyeron de manera inductiva a partir de los significados que aparecieron dentro del discurso de los investigadores. Debido a esto, la organización final respondió a las relaciones encontradas dentro del corpus y no a una clasificación establecida previamente. Posteriormente, se analizaron las coocurrencias entre códigos y categorías. Este análisis permitió identificar qué relaciones aparecían con mayor frecuencia y cuáles tenían menor presencia.

Para representar estas relaciones se utilizaron diagramas de Sankey. El grosor de los flujos muestra la frecuencia relativa de las asociaciones codificadas, pero no representa el número de

participantes que mencionó una determinada idea. Por esta razón, los diagramas se utilizaron como una herramienta de interpretación cualitativa. Su función fue hacer visibles las relaciones entre los significados identificados y no realizar una comparación estadística entre los participantes.

Tabla 1. Agrupación de códigos y construcción de categorías analíticas

Categoría analítica	Códigos y conceptos asociados
Orientación industrial y económica	Industria; necesidades de la industria; perspectiva económica; desarrollo industrial; generación de empleo.
Racionalidad técnico-ingenieril	Perspectiva desde la ingeniería; resolución de problemas; desarrollo tecnológico; eficiencia; reducción de riesgos.
Evaluación y productividad científica	SNII; productividad; publicaciones; indicadores; mecanismos de evaluación; financiamiento.
Marcos globales de sostenibilidad	ODS; sustentabilidad basada en los ODS; Índice de Desarrollo Humano; indicadores internacionales.
Impacto social	Perspectiva del impacto social; impacto social no económico; atención a necesidades; necesidades básicas; necesidades de grupos pequeños; impacto en la salud.
Relación con necesidades y contexto	Identificación de necesidades; necesidad-desarrollo; necesidades locales; monitoreo del proyecto.
Participación y conocimiento situado	Co-creación; conocimiento comunitario; conocimiento territorial; participación comunitaria.
Dimensiones socioambientales	Justicia ambiental; bienestar local; transformación socioambiental.

Categoría analítica	Códigos y conceptos asociados
Interdisciplinariedad	Multidisciplinariedad limitada; ausencia de relaciones con humanidades.

Los diagramas muestran una mayor concentración de relaciones alrededor de categorías económicas, industriales y técnico-ingenieriles. Por el contrario, categorías relacionadas con co-creación, conocimiento comunitario, justicia ambiental y necesidades locales presentan menor presencia dentro del corpus.

En el análisis específico del impacto social se identificaron asociaciones más fuertes con perspectiva económica, generación de empleo, Índice de Desarrollo Humano, ODS y necesidades de la industria. En cambio, categorías como innovación social, impacto no económico, identificación de necesidades y monitoreo del proyecto aparecen con menor centralidad.

La construcción de estas categorías permitió pasar de códigos aislados a relaciones de significado más amplias. A partir de estas relaciones fue posible observar cómo algunos criterios institucionales de evaluación pueden influir en aquello que los investigadores consideran relevante, medible o legítimo dentro de su práctica científica.

Debido a esto, la **colonialidad de la evaluación** no fue utilizada como una categoría previa de codificación. El concepto se construyó posteriormente como una interpretación de los patrones encontrados dentro del corpus y de la relación entre las categorías con mayor y menor presencia.

Mapeo de co-ocurrencia semántica

Para complementar el análisis se utilizaron diagramas de Sankey, con la finalidad de representar las coocurrencias semánticas identificadas dentro del corpus. Estas visualizaciones permitieron observar qué relaciones aparecían con mayor intensidad, cómo se agrupaban las categorías y cuáles tenían menor presencia (Aguado et al., 2021).

Los diagramas no se utilizaron únicamente para separar temas. Su función fue mostrar cómo se relacionaban los significados construidos por los investigadores y qué asociaciones aparecían con mayor fuerza dentro de su discurso.

A partir de estos patrones fue posible observar la relación entre los mecanismos de evaluación, los indicadores de desempeño y las formas en que se construye el valor científico. Al mismo tiempo, las categorías con menor presencia permitieron identificar dimensiones que podrían incorporarse de manera más explícita, como la relevancia territorial y la co-producción con comunidades.

Integración analítica

La etapa final consistió en integrar el análisis histórico-documental con los resultados del estudio de caso. Para ello, se compararon las categorías identificadas en la revisión de políticas, mecanismos de evaluación y cambios institucionales del sistema de CTI con las categorías obtenidas a partir de las entrevistas.

El objetivo fue conocer qué elementos coincidían, cuáles presentaban diferencias y de qué manera las condiciones institucionales aparecían dentro del discurso de los investigadores.

La integración se realizó mediante una matriz de contraste organizada en tres niveles: evolución histórica del sistema de CTI, mecanismos institucionales de evaluación y significados construidos por los investigadores.

Esta matriz permitió relacionar la consolidación de criterios como productividad, competitividad y evaluación con categorías presentes en las entrevistas, como SNII, industria, indicadores, impacto social y relevancia territorial. A partir de esta comparación se identificaron patrones entre el contexto institucional y los significados construidos por los participantes. Sin embargo, el análisis no buscó establecer una relación causal directa entre ambos elementos.

Como resultado de esta triangulación se identificaron aspectos que posteriormente fueron utilizados para formular principios orientadores. Estos principios se relacionan con justicia cognitiva, relevancia territorial, participación social y reconocimiento de diferentes formas de conocimiento. Debido a esto, la triangulación no funcionó únicamente como una etapa de comparación. También permitió obtener elementos que posteriormente fueron incorporados como referentes para la construcción de la metodología propuesta.

Tabla 2. Triangulación entre análisis histórico-documental, categorías emergentes e implicaciones metodológicas

Análisis histórico-documental	Categoría de entrevistas	Relación identificada	Implicación metodológica
Productividad y competitividad como criterios de evaluación	SNII, publicaciones, indicadores	Coincidencia entre criterios institucionales y significado de éxito científico	Ampliar criterios de evaluación
Vinculación con industria	Industria, desarrollo tecnológico, perspectiva económica	Predominio de una lógica técnico-productiva	Incorporar relevancia social y territorial
Estandarización mediante indicadores globales	ODS, IDH, métricas internacionales	El impacto social se traduce en indicadores reconocibles	Complementar métricas técnicas con criterios sociales
Débil reconocimiento del conocimiento territorial	Co-creación, conocimiento comunitario y necesidades locales con baja presencia	Distancia entre evaluación institucional y dimensiones situadas	Incorporar participación y contextualización

Radiografía histórica y crítica del sistema mexicano de Ciencia, Tecnología e Innovación (1984–2025)

La evolución del sistema mexicano de CTI no puede comprenderse de manera aislada de los procesos políticos y económicos globales, sino como parte de ellos o incluso como consecuencia de estos movimientos y tendencias globales. Desde mediados de la década de 1980, la política científica nacional transitó de una orientación desarrollista hacia una lógica neoliberal, adoptando criterios empresariales como eje de modernización (Amaro Rosales et al., 2025). Este giro epistémico e institucional dio lugar a un régimen de conocimiento en el

que la eficiencia, la productividad y la competitividad sustituyeron la relevancia social y territorial como principios rectores de la investigación. Son tres períodos en los que se divide este estudio histórico, que busca entender cómo es que la ciencia mexicana está constituida actualmente y de igual forma entender cómo permearon estas competencias e intereses al quehacer de investigación en México (Hernández et al., 2022).

1984–2000: institucionalización tecnocrática y emergencia del paradigma de la productividad

Durante este periodo comenzaron a consolidarse las bases de un modelo tecnocrático dentro del sistema científico mexicano. En 1984 se creó el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), con la finalidad de reconocer y estimular la producción científica. A partir de este momento, publicaciones, citas y productividad individual adquirieron mayor importancia como criterios de evaluación. Esto buscaba fortalecer la competitividad internacional de la investigación mexicana, pero también comenzó a relacionar el reconocimiento científico con estándares externos que no siempre coincidían con las necesidades del desarrollo nacional (Cabrero, 2024).

La lógica de evaluación también favoreció una mayor individualización del mérito. Los reconocimientos se otorgaban principalmente a partir de trayectorias personales, lo que podía disminuir el peso de procesos colectivos dentro de la producción científica.

Durante estos años también se fortaleció lo que se ha denominado tecnocratización del Estado, donde la planeación económica comenzó a tener mayor influencia en los programas educativos y de investigación. Como resultado, la modernización industrial adquirió un lugar importante dentro de la política de CTI en México (Petrovics et al., 2025).

La formación universitaria comenzó a responder con mayor fuerza a las necesidades del sector productivo. Esto permitió formar profesionales especializados en la resolución de problemas técnicos y favoreció el desarrollo económico. Sin embargo, también comenzó a generar una distancia entre la producción científica y algunas necesidades sociales.

Esta organización se relaciona con lo que Don Parson (1998) denominó fordismo cognitivo, entendido como una forma de producción del conocimiento organizada de manera semejante a una línea de ensamblaje. Bajo esta lógica, cada investigador ocupa una posición dentro de un sistema orientado a generar artículos, patentes, prototipos y otros productos evaluables.

Durante la década de 1990 se fortaleció la relación entre universidad e industria debido a la apertura comercial y a la competencia internacional. Como resultado, la investigación comenzó a relacionarse de manera más directa con productividad, innovación y competitividad (Aboites, 1999).

Este cambio también modificó la forma en que se valoraba la CTI. La producción científica comenzó a evaluarse mediante resultados cuantificables y transferibles, mientras que aspectos relacionados con equidad, necesidades sociales o desarrollo territorial tuvieron menor presencia dentro de los mecanismos de reconocimiento.

De la dependencia tecnológica al régimen tecnocrático

La apertura comercial mediante instrumentos como el GATT y posteriormente el TLCAN fortaleció una visión en la que modernización tecnológica, eficiencia y competitividad aparecían directamente relacionadas.

Durante este periodo también aumentó el uso de instrumentos de evaluación y financiamiento competitivo. Estos mecanismos permitieron establecer criterios comunes para comparar proyectos y trayectorias. Sin embargo, también reforzaron la utilización de modelos internacionales para definir qué se consideraba investigación de calidad.

Este punto es importante para la tesis. La dependencia tecnológica no ocurre únicamente cuando se importan máquinas, procesos o patentes. También puede presentarse cuando se adoptan criterios externos para decidir qué conocimiento tiene valor y qué resultados reciben reconocimiento.

2000–2018: neoliberalismo maduro y hegemonía de la evaluación

Durante las primeras décadas del siglo XXI estas tendencias continuaron. Las universidades incorporaron auditorías, indicadores y metas de productividad dentro de sus procesos de gestión. Publicaciones, factor de impacto, patentes y pertenencia al SNI adquirieron mayor importancia dentro de la trayectoria académica (Aboites, 1999; Kreimer, 2017).

Como resultado, la evaluación dejó de ser únicamente una etapa administrativa y comenzó a formar parte permanente del trabajo del investigador. Estos mecanismos permitieron documentar productividad y trayectoria científica, pero también fueron definiendo qué productos tenían mayor peso dentro de la carrera académica.

Esta orientación fortaleció una forma de valorar el conocimiento relacionada con competitividad, innovación tecnológica y participación en cadenas globales de valor. Debido a

esto, la innovación comenzó a vincularse principalmente con productividad y desarrollo económico.

Debido a esto, dimensiones sociales, ambientales y territoriales tuvieron menor presencia dentro de algunos criterios de reconocimiento científico y tecnológico (Leff, 2012).

Esta tendencia también pudo aumentar la distancia entre ciertas agendas de investigación y los territorios donde posteriormente se buscaba implementar sus resultados. Los conocimientos comunitarios y otras formas de saber situado no desaparecieron, pero tuvieron menores posibilidades de ser reconocidos dentro de los mecanismos institucionales de producción y evaluación del conocimiento (Aguado, 2021).

El **Plan de Reestructuración del CONACYT 2018–2024** reconoce parte de estas tensiones y señala que:

> *"el conocimiento científico se pervierte cuando se orienta exclusivamente hacia la generación de resultados con valor de mercado" (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, 2024).*

El documento también reconoce que los mecanismos de evaluación y financiamiento desarrollados durante este periodo favorecieron una mayor orientación hacia competitividad, vinculación productiva y resultados medibles. Como consecuencia, el conocimiento adquirió valor principalmente cuando podía traducirse en resultados económicos o tecnológicos, mientras que cooperación, soberanía científica y beneficio público tuvieron menor peso dentro de algunos instrumentos de política científica.

Las universidades mexicanas también se incorporaron de manera progresiva a circuitos internacionales de producción, evaluación y transferencia de conocimiento. Wionczek y Leal (2011) habían señalado la formación de un mercado global de tecnología donde el conocimiento también adquiere valor económico.

Esta incorporación no eliminó la función pública de la ciencia, pero sí generó tensiones entre la producción orientada hacia criterios internacionales de competitividad y aquella dirigida a atender problemas sociales y territoriales específicos.

Debido a esto, la dependencia epistémica no debe entenderse como una reproducción automática del conocimiento producido en el Norte Global. También puede observarse en la influencia que adquieren sus criterios de legitimación, productividad y circulación científica.

2018–2025: reformulación institucional y persistencia de mecanismos de evaluación

A partir de 2018 se realizaron cambios importantes dentro de la política científica y tecnológica mexicana. Sin embargo, algunos mecanismos construidos durante décadas anteriores continuaron formando parte de la organización del trabajo científico, particularmente aquellos relacionados con productividad, evaluación e indicadores cuantificables.

Amaro Rosales y Robles-Belmont (2025) identifican este periodo como una etapa de cambio institucional donde se modificaron reglas y estructuras previamente consolidadas, pero también permanecieron algunas continuidades y vacíos dentro del sistema de ciencia y tecnología.

La evaluación mediante publicaciones, producción académica e indicadores continuó teniendo importancia dentro de la trayectoria profesional de los investigadores. Estos mecanismos permiten comparar y documentar determinados resultados. Sin embargo, pueden ser insuficientes para reconocer otros efectos relacionados con participación social, relevancia territorial, transferencia de conocimiento o transformación socioambiental.

Por esta razón, el problema no se encuentra en la existencia de indicadores. El problema aparece cuando estos indicadores adquieren un peso mayor que otras formas de valorar la investigación.

Durante este periodo, la innovación continuó relacionada con desarrollo tecnológico y competitividad. Bajo esta lógica, su valor puede quedar asociado con productos, procesos, propiedad intelectual o vinculación con sectores productivos.

Esto no significa que otros tipos de innovación hayan desaparecido. Sin embargo, estos criterios pueden ser insuficientes para reconocer otros resultados relacionados con participación social, relevancia territorial, transferencia de conocimiento o transformación socioambiental.

Por esta razón, el problema no se encuentra en utilizar indicadores. El problema aparece cuando estos indicadores adquieren mayor peso que otras formas de valorar la investigación.

Durante este periodo, la innovación continuó vinculada con desarrollo tecnológico y competitividad. Bajo esta lógica, su valor puede asociarse con productos, procesos, propiedad intelectual o vinculación con sectores productivos.

Esto no significa que otras formas de innovación hayan desaparecido. Sin embargo, procesos relacionados con aprendizaje colectivo, fortalecimiento territorial, apropiación social o transformación socioambiental pueden tener menor presencia cuando no se traducen fácilmente en productos académicos o indicadores comparables.

Como resultado, algunas formas de conocimiento tienen mayores posibilidades de reconocimiento que otras. Los conocimientos comunitarios, las necesidades locales y los saberes situados pueden quedar con menor visibilidad cuando no pueden expresarse mediante indicadores estandarizados.

La incorporación de México a agendas internacionales también forma parte de esta trayectoria. En el caso de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, su adopción corresponde a la Agenda 2030 aprobada por Naciones Unidas en 2015. Desde entonces, los ODS se han utilizado como referencia para orientar políticas y proyectos relacionados con sostenibilidad.

Estos objetivos permiten establecer un lenguaje común para atender problemas globales. Sin embargo, también es necesario analizar cómo se aplican dentro de contextos nacionales y territoriales específicos.

Desde la perspectiva de esta tesis, el problema no consiste en utilizar una agenda global. El problema aparece cuando sus categorías sustituyen el conocimiento detallado de las condiciones locales.

Por esta razón, la participación de las universidades mexicanas en circuitos internacionales de publicación, financiamiento, propiedad intelectual y transferencia tecnológica plantea una pregunta importante: ¿qué conocimientos, problemas y resultados reciben reconocimiento dentro de estos sistemas y cuáles permanecen con menor visibilidad?

Esta pregunta permite centrar el análisis en los mecanismos mediante los cuales algunas formas de conocimiento adquieren mayor legitimidad que otras, sin reducir la discusión a una oposición entre ciencia nacional y ciencia global.

Dispositivos de evaluación y estructuras de incentivos

Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII)

El Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII, anteriormente SNI) constituye uno de los principales mecanismos de reconocimiento académico en México.

Su evaluación combina criterios cuantitativos, como publicaciones, citas e impacto de revistas, con otros relacionados con trayectoria académica, formación de recursos humanos y contribuciones científicas.

Sin embargo, la manera en que estos criterios son ponderados puede favorecer algunos tipos de producción sobre otros, principalmente cuando los resultados científicos pueden traducirse con mayor facilidad en productos e indicadores estandarizados (José et al., 2022).

Esta estructura puede generar tensiones entre productividad científica y pertinencia social. Aguado et al. (2021) señalan que los sistemas de evaluación influyen en las prácticas académicas porque establecen qué productos reciben mayor reconocimiento. Debido a esto, las decisiones de los investigadores pueden quedar relacionadas no sólo con los problemas que buscan atender, sino también con los resultados que tienen mayores posibilidades de ser reconocidos dentro del sistema.

A partir de esta relación puede analizarse la **colonialidad de la evaluación**. Esta aparece cuando criterios construidos dentro de marcos internacionales adquieren mayor

legitimidad que contribuciones relacionadas con conocimientos situados, necesidades locales o contextos territoriales.

Esto no significa que estas investigaciones desaparezcan. Sin embargo, pueden tener menores posibilidades de reconocimiento dentro de los mecanismos institucionales predominantes (Cervantes et al., 2025). Los incentivos relacionados con SNII, financiamiento e indicadores internacionales también pueden intervenir en la selección de problemas de investigación.

En áreas tecnológicas, una línea de investigación puede depender no sólo de su pertinencia social, sino también de programas de financiamiento, prioridades institucionales y marcos regulatorios. El desarrollo de tecnologías de almacenamiento energético constituye un ejemplo de esta relación entre investigación, financiamiento y política tecnológica (Dutrénit et al., 2024). Debido a esto, algunos problemas adquieren mayor visibilidad cuando pueden traducirse en indicadores, metas regulatorias o resultados tecnológicos.

Las dimensiones que son más difíciles de cuantificar pueden recibir menor atención dentro de sistemas organizados alrededor de resultados verificables. Esta lógica puede relacionarse con lo que se ha denominado colonialidad de la innovación, cuando las prioridades de investigación se construyen principalmente a partir de productividad, eficiencia y competitividad (Diezmartínez, 2021). También puede establecerse una relación entre los dispositivos de evaluación científica y algunos mecanismos de política climática mexicana. Solorio, Carrillo y Guzmán (2020), así como García et al. (2024), identifican problemas de coordinación institucional, continuidad y participación dentro de espacios como la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático y el SINACC.

La existencia de estructuras formales no garantiza por sí misma articulación, participación o capacidad para resolver conflictos.

Algo similar puede ocurrir dentro de los sistemas de evaluación científica cuando los procedimientos administrativos adquieren mayor importancia que los procesos de transformación social o territorial. El mercado del hidrógeno en México muestra otra expresión de esta tensión. Ávalos et al. (2022) señalan que su regulación se concentra en certidumbre jurídica, competitividad y cumplimiento de objetivos de descarbonización. Estos elementos son necesarios para desarrollar la tecnología. Sin embargo, no siempre incorporan con la misma profundidad los posibles efectos sociales, territoriales o comunitarios. Por esta razón, una transición tecnológica puede avanzar sin que exista una transformación equivalente en los mecanismos de participación o gobernanza territorial.

Financiamiento competitivo

Los esquemas de financiamiento competitivo también orientan las agendas de investigación. Estos programas permiten seleccionar proyectos mediante criterios comparables y procesos de evaluación. Sin embargo, cuando sus criterios se encuentran vinculados principalmente con agendas internacionales, los proyectos pueden formularse utilizando categorías previamente reconocidas por esos mismos sistemas.

Debido a esto, aspectos como continuidad territorial, participación comunitaria o necesidades locales pueden tener menor presencia cuando no forman parte explícita de los criterios de financiamiento. El caso analizado por Mejía-Montero (2023) sobre energía eólica

en el Istmo muestra que incluir formalmente a las comunidades dentro de un proyecto no garantiza una relación equilibrada entre diferentes formas de conocimiento.

La diferencia entre conocimiento experto y conocimiento comunitario puede mantenerse incluso dentro de procesos participativos. Este resultado es importante porque muestra que la participación no consiste únicamente en incorporar actores locales. También es necesario conocer qué conocimientos pueden intervenir realmente en la definición del problema y en la toma de decisiones.

Efectos en la definición de problemas, métodos y métricas

Los mecanismos de evaluación también pueden relacionarse con la forma en que se definen los problemas científicos y se seleccionan los métodos para analizarlos.

Cuando el reconocimiento institucional se concentra en publicaciones, patentes, financiamiento y resultados reproducibles, las metodologías experimentales y cuantificables encuentran una relación más directa con estos criterios. En cambio, procesos como apropiación comunitaria, transferencia social, participación o impactos territoriales de largo plazo son más difíciles de representar mediante indicadores convencionales.

Velasco-Herrejón et al. (2022) señalan que algunos modelos de planeación de la transición energética construyen definiciones homogéneas de sostenibilidad a partir de criterios económicos, tecnológicos y ambientales.

Esta situación también puede observarse dentro de los sistemas de evaluación científica. En ambos casos, algunas dimensiones encuentran mayor facilidad para incorporarse cuando pueden expresarse mediante indicadores comparables.

El problema no se encuentra en utilizar métricas. El problema aparece cuando estas métricas se consideran suficientes para representar la diversidad de conocimientos, necesidades y condiciones territoriales involucradas en un proyecto.

Las trayectorias de descarbonización profunda (*Deep Decarbonization Pathways*, DDP) representan un ejemplo de esta forma de planeación. Estos modelos convierten compromisos climáticos en escenarios cuantificables relacionados con energía, transporte, agricultura, emisiones y crecimiento económico.

En México, Buira et al. (2021) muestran que estos procesos requieren capacidades institucionales para construir y coordinar proyecciones entre diferentes sectores. Estas herramientas permiten organizar decisiones de política climática. Sin embargo, aspectos relacionados con experiencia territorial, participación o conocimientos situados pueden tener menor presencia cuando la planeación se concentra principalmente en variables cuantificables.

Natorski y Solorio (2023) muestran además que las transiciones energéticas pueden desarrollarse mediante cambios institucionales graduales. Los autores describen este proceso como bricolaje regulatorio, donde nuevas reglas se incorporan sin modificar completamente las estructuras existentes.

Esta idea también puede utilizarse para analizar los sistemas de evaluación científica. Modificar instrumentos o incorporar nuevos criterios no significa necesariamente que cambie la forma en que se reconoce el conocimiento.

Debido a esto, la colonialidad de la evaluación puede mantenerse incluso cuando existen cambios institucionales, si algunos tipos de resultados continúan recibiendo mayor reconocimiento que otros.

Caso: biocombustibles

El campo de los biocombustibles permite observar estas tensiones dentro de un área tecnológica específica.

La investigación ha generado desarrollos relacionados con biodiésel, bioetanol y combustibles sólidos. Sin embargo, obtener resultados técnicos favorables no significa que estos desarrollos puedan incorporarse de manera sostenida dentro de sistemas productivos o territoriales.

Esta diferencia permite distinguir entre **desarrollo tecnológico e implementación social**.

Un proyecto puede presentar buenos resultados de eficiencia, rendimiento o propiedades del producto y, al mismo tiempo, enfrentar problemas relacionados con infraestructura, regulación, disponibilidad de recursos, aceptación, capacidades locales o formas de organización.

Debido a esto, analizar únicamente la producción científica o tecnológica no permite conocer todas las condiciones que intervienen entre el desarrollo de una propuesta y su implementación.

El caso de los biocombustibles funciona como punto de transición hacia el componente empírico de esta investigación. El objetivo no es asumir que la falta de implementación se

debe únicamente a los sistemas de evaluación. Lo que se busca es conocer cómo los investigadores entienden su propia práctica, qué significado atribuyen al impacto social y cómo relacionan conocimiento científico, desarrollo tecnológico y necesidades sociales.

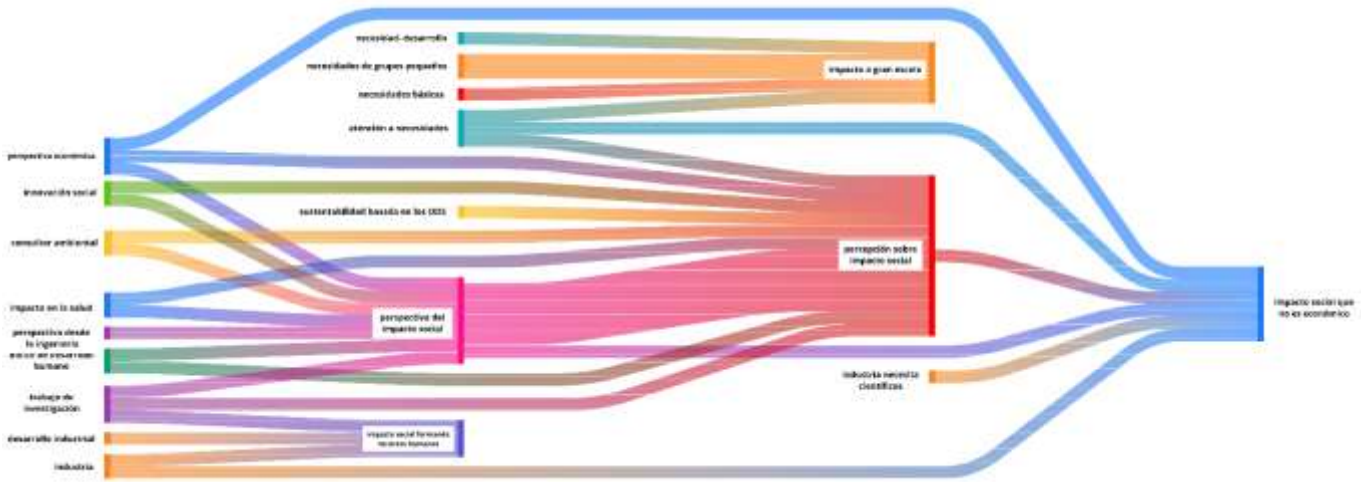
Mapeo semántico de las racionalidades de los investigadores

Para analizar estos significados se utilizaron diagramas de Sankey como herramienta de representación de las coocurrencias semánticas identificadas durante el análisis cualitativo. Las visualizaciones permiten observar las relaciones entre categorías y reconocer qué asociaciones presentan mayor presencia dentro del corpus. En este estudio, el grosor de los flujos representa la frecuencia relativa de las relaciones codificadas. No indica cuántos participantes mencionaron una determinada idea. Por esta razón, los diagramas se utilizaron como una herramienta de interpretación cualitativa y no como una representación estadística de la muestra (Wei, Chou, et al., 2025).

Los diagramas permitieron observar cómo se relacionaban los significados asociados con la práctica científica, el impacto y la evaluación. Su función no fue únicamente mostrar qué conceptos aparecían con mayor frecuencia, sino identificar qué relaciones tenían mayor presencia dentro del discurso de los investigadores.

A partir de estas relaciones fue posible observar que los sistemas de evaluación, los indicadores globales y las expectativas industriales forman parte del contexto en el que los investigadores definen qué resultados consideran relevantes, qué tipo de conocimiento reconocen como válido y cómo explican el impacto de sus proyectos.

Los flujos también permitieron identificar las categorías que presentaban menor presencia dentro del corpus. Esta diferencia fue importante porque permitió comparar los significados que aparecen con mayor fuerza con aquellos que ocupan una posición secundaria dentro del discurso. Esta diferencia resulta importante para analizar la colonialidad de la evaluación, ya que permite reconocer qué formas de conocimiento encuentran mayor correspondencia con los criterios institucionales y cuáles permanecen con menor presencia. A partir de estos patrones es posible discutir otras formas de orientar la práctica científica hacia la co-producción, la relevancia territorial y la construcción de imaginarios tecnológicos



plurales (Yen Lee et al., 2017).

Figura 10. Perspectiva de los investigadores sobre su práctica científica y sus impactos

La **Figura 10** muestra una red de co-ocurrencias en la que pueden distinguirse tres agrupaciones principales. La primera se relaciona con industria y economía; la segunda, con resolución de problemas y desarrollo tecnológico; y la tercera, con indicadores y marcos internacionales. Estas asociaciones permiten observar cómo se organiza el significado de la

práctica científica dentro del grupo estudiado. Uno de los investigadores lo expresó de la siguiente manera:

> *"Cuando nos preguntan por impacto social, quieren números. Quieren indicadores que podamos meter en un reporte: emisiones reducidas, eficiencia incrementada, riesgos minimizados. Ese es el tipo de impacto que la ingeniería permite calcular, y el tipo de impacto que el sistema valora. Pero, ¿qué pasa con las realidades que enfrentan las personas? ¿Qué pasa si la tecnología realmente mejora la vida de alguien? Esas cosas no aparecen en las métricas, entonces no cuentan."*

Las asociaciones más robustas se concentran alrededor de industria, necesidades de la industria, perspectiva económica, desarrollo industrial y generación de empleo. Esta configuración muestra que una parte importante del discurso vincula el trabajo científico con aplicación tecnológica, demanda industrial y contribución económica. La presencia de estas categorías resulta consistente con sistemas de evaluación que reconocen productividad, competitividad y vinculación con sectores productivos (Aguado et al., 2021).

También destacan los flujos relacionados con resolución de problemas, desarrollo tecnológico y perspectiva de ingeniería. Estas categorías muestran que una parte importante del discurso se concentra en la resolución de problemas, la optimización de procesos y la generación de resultados verificables. Los aspectos sociales y ambientales también aparecen, pero con menor presencia. Esto permite observar que los investigadores describen su práctica principalmente desde una lógica técnica propia de la ingeniería (García et al., 2024).

La tercera agrupación se relaciona con el Índice de Desarrollo Humano, los ODS y otros indicadores internacionales. Sus conexiones son menos intensas que las relacionadas

con industria, pero permanecen claramente identificables. Estos referentes funcionan como marcos para describir y comunicar el impacto de los proyectos. Sin embargo, no necesariamente permiten conocer las condiciones específicas de los territorios donde estos proyectos serán desarrollados o implementados (José et al., 2022).

En cambio, categorías como co-creación, conocimiento comunitario, justicia ambiental y necesidades locales presentan menor presencia dentro del corpus. Esta diferencia muestra que las asociaciones técnicas, económicas e internacionalmente reconocidas aparecen con mayor frecuencia que aquellas relacionadas directamente con territorio y comunidad.

A partir de este patrón puede hablarse de un **estrechamiento epistémico**. Esto no significa que los investigadores ignoren otras dimensiones del impacto. Lo que muestra es que algunas formas de expresar el valor científico encuentran mayor correspondencia con los criterios utilizados dentro del sistema de evaluación. Productividad económica, desarrollo tecnológico e indicadores internacionales pueden reconocerse con mayor facilidad, mientras que la pertinencia territorial o la transformación socioambiental requieren otros criterios de valoración.

La **Figura 10** permite, por tanto, analizar la relación entre los mecanismos de evaluación y los significados construidos por los investigadores. Los datos no permiten afirmar que los mecanismos institucionales determinen directamente lo que los investigadores piensan. Sin embargo, sí muestran una correspondencia entre varios de los criterios reconocidos por el sistema y las categorías que presentan mayor presencia dentro del discurso.

Sí muestran una correspondencia entre los criterios reconocidos por el sistema y varias de las categorías con mayor presencia dentro del discurso. Esta relación abre la discusión sobre la necesidad de incorporar otras formas de valoración vinculadas con co-producción, conocimiento territorial y relevancia social.

La **Figura 11** profundiza en esta relación al concentrarse en el significado atribuido al impacto social. Los flujos vuelven a agruparse alrededor de tres ámbitos: industria y necesidades de la industria; perspectiva de ingeniería, resolución de problemas y desarrollo tecnológico; y categorías económicas relacionadas con desarrollo industrial e Índice de Desarrollo Humano. Las referencias a territorio, comunidades, justicia ambiental o co-creación presentan menor peso dentro de la estructura semántica.

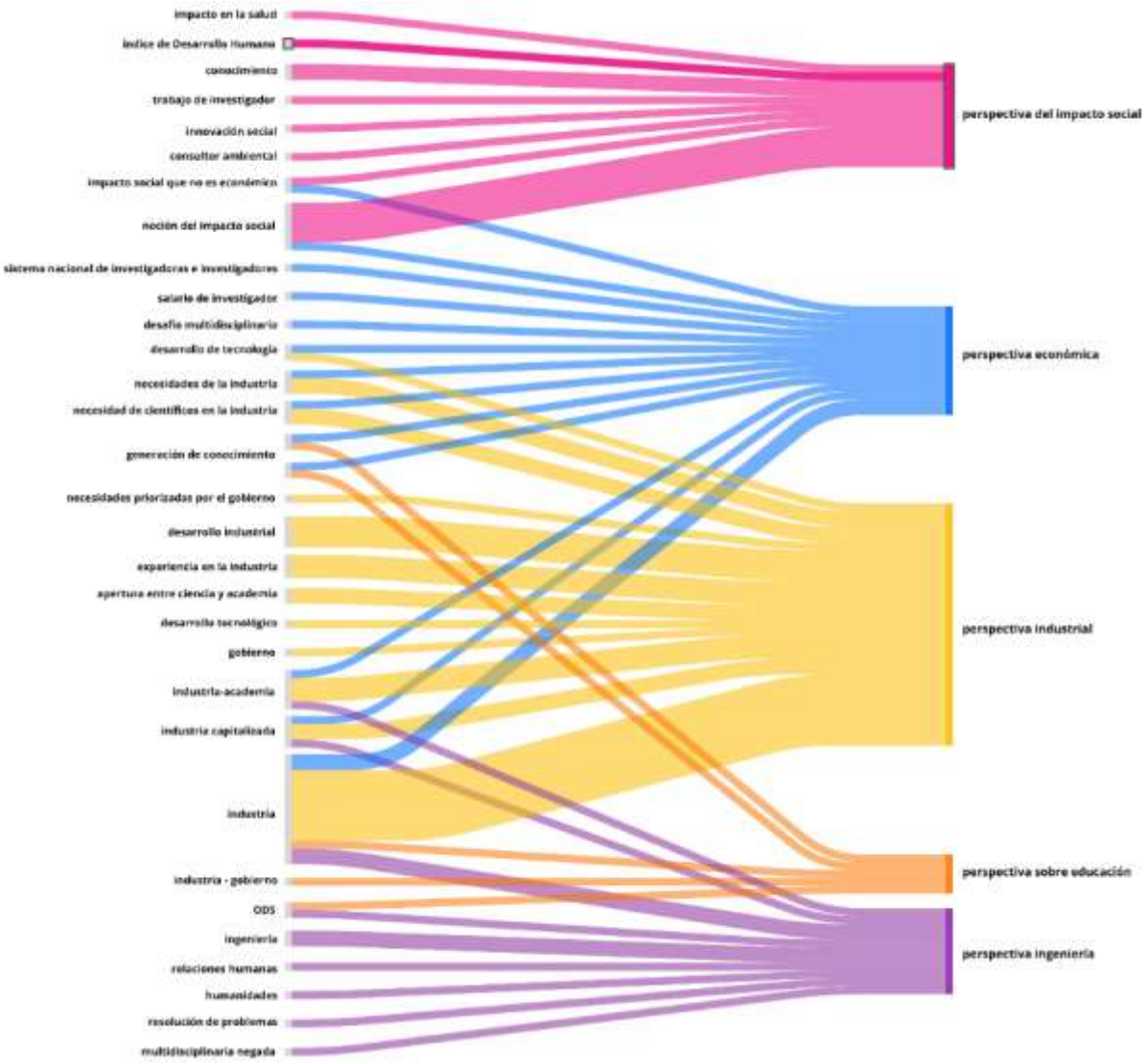


Figura 11. Perspectiva de los investigadores sobre su práctica científica y el impacto social

La presencia del SNII, los ODS y la industria muestra que el impacto social es interpretado mediante referentes que ya forman parte del entorno institucional de los investigadores. El resultado no permite afirmar que estos dispositivos “colonicen” por sí solos el significado del impacto, pero sí permite observar que participan en el lenguaje utilizado para definirlo y justificarlo.

También aparecen referencias a una multidisciplinariedad limitada y una escasa relación con las humanidades. Este hallazgo resulta importante porque muestra que ampliar la comprensión del impacto social puede requerir no sólo nuevos indicadores, sino también otras formas de colaboración y producción de conocimiento. Uno de los participantes explicó esta tensión de la siguiente manera:

> *"Cuando hablamos de impacto social en ingeniería, siempre se reduce a algo que la institución puede medir: indicadores, emisiones, eficiencia, reducción de riesgos. Pero el impacto real es más amplio: tiene que ver con si la vida de las personas mejora. El problema es que esas dimensiones desaparecen en el sistema de evaluación. Lo que queda son los números que la institución puede usar, no las realidades que viven las comunidades."*

La diferencia entre aquello que puede medirse con facilidad y aquello que requiere conocer con mayor detalle las condiciones del territorio aparece de manera recurrente. Aspectos como valor público, justicia ambiental o aprendizaje social son más difíciles de convertir en indicadores comparables. Esto no significa que tengan menor importancia. Sin embargo, pueden recibir menos reconocimiento dentro de sistemas de evaluación concentrados principalmente en resultados cuantificables.

> *"En la práctica, la lógica económica domina todo. La industria financia la investigación, el gobierno se alinea con las necesidades de la industria y los investigadores siguen los temas que garantizan publicaciones y financiamiento. Incluso si quieres trabajar en problemas sociales, el sistema te empuja de vuelta a agendas centradas en la industria. Por eso el impacto económico termina definiendo lo que cuenta como valor científico en este país."*

Este testimonio aporta una lectura situada sobre la relación entre financiamiento, productividad e intereses industriales. Su importancia radica en mostrar cómo uno de los participantes interpreta las condiciones bajo las cuales desarrolla su trabajo. No se utiliza como representación del conjunto del sistema científico mexicano, sino como evidencia cualitativa de una tensión identificada dentro del caso.

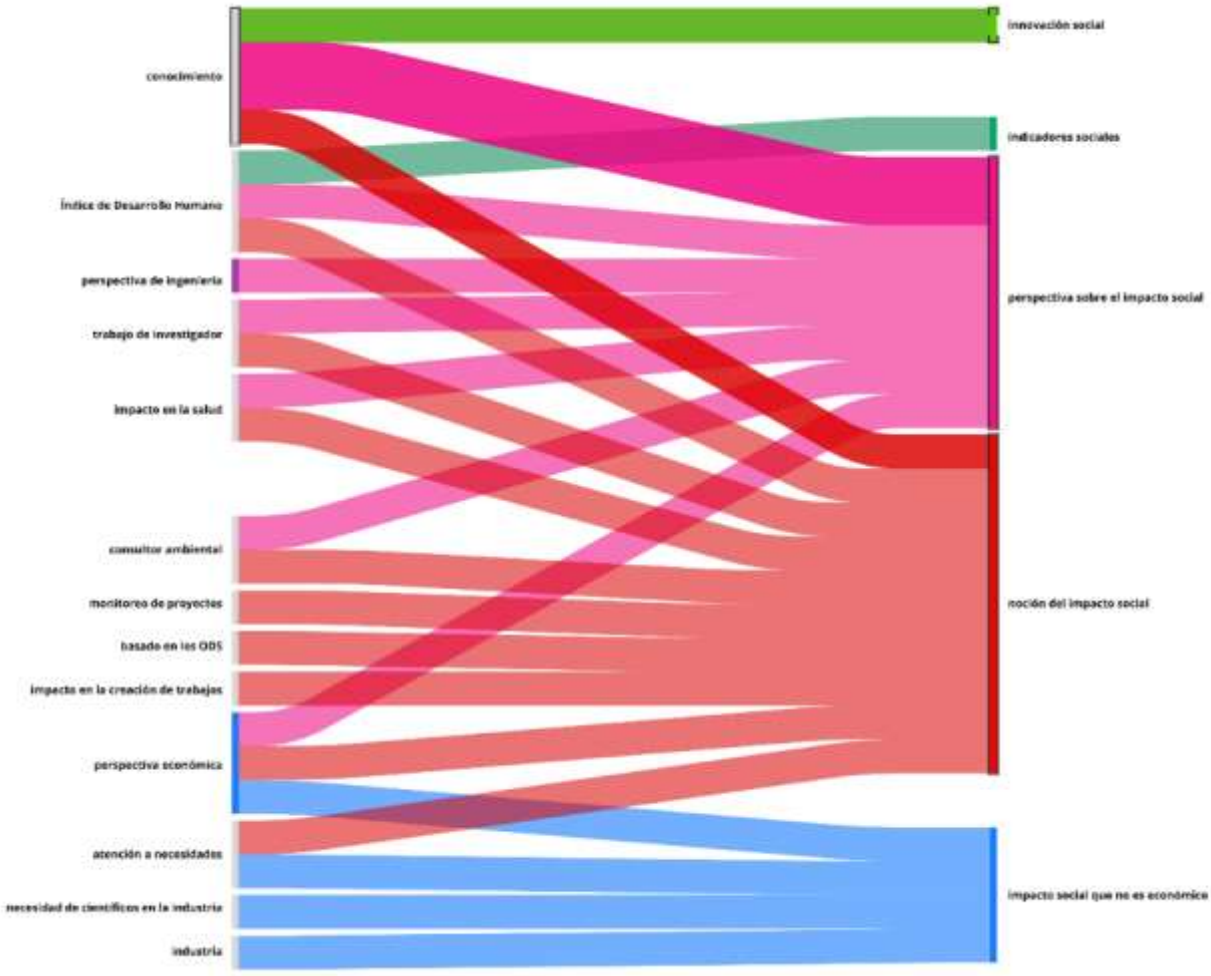


Figura 12. Flujos de co-ocurrencia asociados al discurso de los investigadores sobre impacto social

La **Figura 12** permite observar con mayor detalle las relaciones asociadas con la categoría de impacto social. Los flujos con mayor presencia corresponden a perspectiva económica, generación de empleo, Índice de Desarrollo Humano, sostenibilidad basada en los ODS y necesidades de la industria. En cambio, innovación social, impacto no económico, diagnóstico de necesidades y monitoreo de proyectos presentan menor intensidad.

Esta diferencia permite conocer cómo se organiza el significado del impacto social dentro del corpus. Las categorías económicas, productivas y reconocidas internacionalmente ocupan una posición más central que aquellas relacionadas con co-producción territorial o transformación socioambiental. Desde una lectura decolonial, esta diferencia puede analizarse como una jerarquía entre distintas formas de reconocer y legitimar el impacto científico (Mignolo, 2003).

La evaluación institucional forma parte de este proceso. Cuando algunas categorías son utilizadas de manera recurrente para justificar proyectos, reportar resultados o acceder a reconocimiento, también adquieren mayor presencia dentro del lenguaje científico. Debido a esto, conceptos como productividad, empleabilidad, ODS o vinculación industrial aparecen con mayor fuerza, mientras que co-creación, capacidades comunitarias, justicia ambiental, bienestar local o saberes territoriales presentan menos conexiones.

La distancia entre ambos grupos constituye uno de los principales resultados del diagrama. Las métricas institucionales permiten hacer visibles algunos resultados, pero no necesariamente representan con la misma precisión las condiciones territoriales donde una tecnología será utilizada. Esta diferencia muestra una de las tensiones identificadas en la tesis entre producción científica y pertinencia social (Tornel, 2023).

Los resultados también permiten analizar el papel de los incentivos. Cuando el sistema reconoce principalmente productividad económica, indicadores comparativos o vinculación industrial, estas dimensiones tienen mayores posibilidades de permanecer dentro de las prioridades de la práctica científica (Savini, 2023). Incorporar criterios relacionados con co-producción comunitaria, diagnóstico territorial, justicia ambiental, conocimientos locales, aprendizaje social o fortalecimiento de capacidades podría ampliar aquello que se considera relevante dentro de la evaluación (Toledo, 2013).

Sin embargo, modificar los instrumentos de evaluación no significa que las prácticas científicas cambiarán de manera automática. Los datos obtenidos no permiten establecer esta relación causal. Lo que sí muestran es que la evaluación forma parte de las condiciones institucionales mediante las cuales ciertos resultados pueden ser reconocidos, reportados y recompensados.

Por esta razón, la **Figura 12** permite observar tanto las categorías con mayor presencia como aquellas que permanecen con menor visibilidad. Esta diferencia es importante para el argumento del capítulo. La colonialidad de la evaluación no se plantea como una explicación única de la práctica científica, sino como un mecanismo mediante el cual algunos tipos de conocimiento e impacto encuentran mayores posibilidades de reconocimiento que otros.

La brecha ciencia–sociedad desde la innovación social

Este capítulo aporta a los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad mediante el desarrollo del concepto de **colonialidad de la evaluación**. El concepto parte de la idea de que los mecanismos de evaluación no sólo registran resultados. También establecen criterios

para reconocer qué productos, trayectorias e impactos reciben mayor valor dentro del sistema científico.

En el caso mexicano, indicadores, rankings y dispositivos de rendición de cuentas forman parte de la manera en que se evalúan productividad, pertinencia e impacto. Debido a esto, algunos criterios institucionales pueden adquirir mayor legitimidad que otros y, como resultado, ciertas formas de investigación socialmente situadas pueden presentar menor visibilidad (Gudynas, 2011; Cabrero, 2024; Dutrénit et al., 2024).

El capítulo también aporta a la discusión sobre co-producción e imaginarios científicos. Los diagramas de Sankey muestran que categorías como impacto económico, necesidades industriales, ODS y métricas de productividad presentan mayor presencia dentro del corpus que otras relacionadas con bienestar social, relevancia territorial o conocimientos comunitarios.

Este resultado no significa que los mecanismos de evaluación determinen directamente la manera de pensar de los investigadores. Sin embargo, sí permite observar una relación entre los criterios que reciben reconocimiento institucional y algunas de las categorías utilizadas para explicar el valor de la investigación.

A partir de estos resultados se propone discutir la incorporación de **métricas postcoloniales**. La propuesta no pretende sustituir los indicadores existentes, sino ampliar aquello que puede ser evaluado. Entre estas dimensiones se encuentran valor público, justicia ambiental, pertinencia territorial, participación y aprendizaje social.

Debido a esto, la discusión no se centra en eliminar los estándares internacionales de excelencia, sino en reconocer que estos criterios pueden ser insuficientes para evaluar

proyectos desarrollados dentro de contextos sociales y territoriales diferentes. El caso mexicano permite analizar esta tensión dentro de investigaciones relacionadas con transiciones hacia economías bajas en carbono en el Sur Global.

La adopción de objetivos internacionales dentro del sistema mexicano de Ciencia y Tecnología tampoco garantiza procesos de apropiación social o participación ciudadana. Algunos proyectos relacionados con energía limpia continúan evaluándose principalmente mediante capacidad instalada, reducción de emisiones o cumplimiento de metas técnicas.

Estos indicadores son necesarios para conocer el desempeño de los proyectos. Sin embargo, no permiten observar con la misma precisión resultados como fortalecimiento de capacidades locales, participación o transferencia de conocimiento. Esta diferencia contribuye a explicar parte de la distancia entre los marcos institucionales de sostenibilidad y las condiciones presentes en los territorios (McMaster et al., 2024; Diezmartínez, 2021).

El análisis de Velasco-Herrejón et al. (2022) permite observar esta situación dentro de proyectos de energías renovables en México. Sus resultados muestran que una tecnología considerada sustentable puede coexistir con relaciones asimétricas entre comunidades, empresas e instituciones.

Estas relaciones pueden limitar la capacidad de las comunidades para intervenir en las decisiones y también modificar prácticas territoriales previamente existentes. Debido a esto, la brecha entre ciencia y sociedad no puede explicarse únicamente como un problema de comunicación. También intervienen relaciones de poder, formas de participación y criterios mediante los cuales algunos conocimientos reciben mayor reconocimiento que otros.

En este contexto, la innovación social puede aportar herramientas para incorporar conocimientos territoriales y ampliar la participación durante la formulación e implementación de los proyectos. Su función no es resolver automáticamente las desigualdades existentes, sino generar espacios donde las necesidades, conocimientos y capacidades locales puedan participar en la construcción de las propuestas (Velasco et al., 2022).

> *"Podemos enseñar, podemos generar protocolos, podemos dejar manuales para que la gente los use. Pero no somos quienes pueden implementar soluciones en las comunidades. Esa responsabilidad le corresponde al gobierno. Si el Estado no da seguimiento, la ciencia se queda en el papel. Los científicos por sí solos no pueden resolver desigualdades estructurales."*

Este testimonio permite observar otra parte del problema. Los investigadores reconocen que el desarrollo técnico no es suficiente para garantizar la implementación de una solución. También intervienen instituciones, políticas públicas, seguimiento y capacidades externas al grupo de investigación.

La llamada "visión integrada" de la economía mexicana hacia 2050 plantea escenarios de descarbonización construidos mediante variables agregadas y proyecciones de largo plazo. Estos modelos permiten organizar metas nacionales y estimar posibles trayectorias de reducción de emisiones.

Sin embargo, una planeación nacional no necesariamente permite observar con el mismo detalle los conflictos que aparecen dentro de territorios específicos. Los casos de expansión de energías renovables en Oaxaca o Yucatán muestran que la transición energética

también se encuentra relacionada con disputas territoriales, relaciones de poder y capacidades diferentes para participar en la toma de decisiones.

Debido a esto, la ruta DDP para México puede analizarse como una forma de planeación donde los modelos climáticos, los indicadores y las proyecciones macroeconómicas adquieren un peso importante para definir la transición (Buira et al., 2021).

El estudio de Mejía-Montero (2023) permite observar esta tensión a escala local. En Unión Hidalgo, las interpretaciones sobre justicia energética son diferentes entre comuneros y propietarios y se encuentran relacionadas con desigualdades históricas, formas de tenencia y posiciones distintas frente a los proyectos.

Las diferencias entre conocimiento empírico y conocimiento técnico, así como entre propiedad comunal y privada, muestran que una transición baja en carbono puede incorporar nuevas tecnologías sin modificar necesariamente las relaciones sociales existentes dentro del territorio.

A partir de este resultado se plantea la noción de **colonialidad del futuro**. Este concepto se refiere a escenarios en los que innovación y sostenibilidad se legitiman principalmente mediante lenguaje técnico y promesas de modernización, mientras permanecen formas de exclusión social o epistémica.

Debido a esto, una transición no debe analizarse únicamente a partir de su capacidad para reducir emisiones. También es necesario conocer cómo se distribuyen las decisiones, qué conocimientos son reconocidos y qué relaciones de poder permanecen o se modifican durante el proceso.

Principios para transformar la evaluación en la investigación baja en carbono

Los resultados obtenidos muestran que los sistemas de evaluación pueden reducir la diversidad de criterios utilizados para valorar la práctica científica. Dentro del caso analizado, el impacto social aparece principalmente relacionado con indicadores medibles, mientras que aspectos territoriales, comunitarios o multidisciplinarios presentan menor presencia frente a criterios técnicos, productivos e industriales.

A partir de esta diferencia se construyó el concepto de **colonialidad de la evaluación**. Este concepto permite explicar cómo algunos indicadores y mecanismos de reconocimiento adquieren mayor importancia dentro del sistema científico y, como resultado, otras formas de relevancia social o territorial pueden quedar con menor visibilidad.

Con base en estos hallazgos se formularon tres principios orientadores. Estos principios no se plantean como lineamientos comprobados para transformar el sistema nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Se construyeron a partir de un caso específico y del contraste entre la trayectoria documental del sistema de CTI y la experiencia de los investigadores participantes.

Debido a esto, su alcance es analítico y propositivo. Los principios permiten identificar posibles rutas para ampliar la discusión sobre evaluación científica, pero necesitan ser contrastados en otros contextos disciplinares, institucionales y territoriales antes de considerarse como criterios de aplicación más amplia.

- **Principio 1.** Alinear los incentivos de evaluación con la co-producción y la relevancia territorial.

- **Principio 2.** Financiar infraestructuras experimentales situadas (laboratorios vivos, consorcios universidad–territorio).
- **Principio 3.** Adoptar métricas postcoloniales basadas en valor público, justicia ambiental y aprendizaje social.

En este sentido, los principios representan una síntesis analítica de las tensiones identificadas en el caso y no una propuesta normativa validada para todo el sistema de CTI. Su contribución consiste en abrir una ruta para discutir cómo la evaluación científica podría incorporar dimensiones que actualmente reciben menor reconocimiento, particularmente aquellas relacionadas con participación, territorio y pluralidad epistémica.

Conclusiones

La lectura de Buira (2021) muestra que el problema no se encuentra únicamente en las metas técnicas planteadas para la descarbonización, sino también en la forma en que se construyen estos escenarios. La crisis climática se traduce en variables, metas y trayectorias que pueden ser modeladas y comparadas. Sin embargo, este tipo de planeación puede dejar con menor presencia aspectos relacionados con participación, territorio y conflicto social.

Desde una perspectiva decolonial, la ciencia y la tecnología no pueden analizarse únicamente a partir de sus resultados técnicos. También deben considerarse las condiciones sociales y culturales donde se desarrollan. Debido a esto, una transición energética no depende solamente de coordinar sectores económicos o cumplir metas de reducción de emisiones. También requiere conocer las condiciones del territorio, las prácticas locales y los conocimientos de las personas que participan o son afectadas por estos procesos.

Esta discusión se relaciona con la propuesta de tecnologías pluriversales planteada por Velasco-Herrejón et al. (2022). Esta perspectiva reconoce que una transición puede construirse a partir de diferentes conocimientos, territorios y formas de participación. Por esta razón, tanto las tecnologías como los sistemas utilizados para evaluarlas deben considerar los criterios bajo los cuales se define qué conocimiento tiene valor y qué actores pueden intervenir en las decisiones.

El reto para la política científica mexicana no consiste únicamente en modificar los indicadores de evaluación. También es necesario revisar los criterios utilizados para reconocer el conocimiento, valorar los resultados e incorporar a los actores relacionados con los proyectos. Incluir dimensiones como justicia cognitiva, participación comunitaria y distintas racionalidades socioecológicas permitiría ampliar la forma en que se evalúa la pertinencia de una investigación.

El estudio de Mejía-Montero et al. (2023) permite observar esta necesidad dentro de un caso concreto. Sus resultados muestran que una transición considerada sustentable puede presentar diferencias relacionadas con género, territorio y formas de conocimiento. Debido a esto, una propuesta puede alcanzar resultados técnicos o ambientales favorables y, al mismo tiempo, mantener desigualdades cuando las condiciones sociales del territorio no son consideradas durante su desarrollo e implementación.

Aporte del capítulo II

El principal aporte de este capítulo a la propuesta metodológica consiste en identificar cómo los sistemas de evaluación y los criterios institucionales se relacionan con la forma en

que los investigadores definen la relevancia, el impacto y la orientación de sus proyectos. En el caso analizado, las categorías con mayor presencia estuvieron relacionadas con productividad, evaluación institucional, desarrollo tecnológico, industria, perspectiva económica e indicadores globales. En cambio, co-creación, conocimiento comunitario, conocimiento territorial, necesidades locales y justicia ambiental presentaron menor presencia dentro del corpus.

Estos resultados fueron retomados para construir la propuesta metodológica. La presencia de categorías relacionadas con productividad, indicadores y desarrollo tecnológico mostró que los investigadores cuentan con herramientas claras para justificar el desempeño técnico y científico de sus proyectos. Sin embargo, la menor presencia de territorio, comunidad y participación indicó que estas dimensiones necesitan incorporarse de manera explícita dentro del proceso.

Debido a esto, la primera etapa de la metodología amplía la revisión de antecedentes científicos e incorpora información social y territorial. Para ello, se propone identificar actores, necesidades, recursos disponibles, prácticas locales y condiciones de apropiación antes de definir por completo los requerimientos del proyecto. Esta información no sustituye el análisis técnico, sino que lo complementa y permite conocer si una propuesta puede desarrollarse bajo las condiciones reales del territorio.

El capítulo también permitió identificar una limitación. Los investigadores pueden construir antecedentes técnicos y científicos sólidos, pero estas herramientas no necesariamente permiten conocer cómo se vive un problema dentro de una comunidad ni qué

conocimientos cotidianos participan en su resolución. Como resultado, fue necesario ampliar el análisis hacia otros espacios donde también se produce conocimiento.

Por esta razón, el siguiente capítulo se concentra en saberes cotidianos, prácticas de cuidado y redes comunitarias. El objetivo es identificar información que aparece con menor frecuencia dentro de los sistemas formales de evaluación, pero que puede ser necesaria para comprender las condiciones de uso, mantenimiento y apropiación de una propuesta.

De esta manera, el capítulo II aporta dos elementos concretos a la metodología final. El primero consiste en ampliar los criterios utilizados para formular y evaluar un proyecto, incorporando dimensiones sociales y territoriales junto con las técnicas. El segundo consiste en reconocer que parte de la información necesaria para contextualizar una investigación no se encuentra únicamente dentro de las instituciones científicas. Debido a esto, el análisis continúa hacia los conocimientos y prácticas construidos dentro de las comunidades.


III
CAPÍTULO 3
Cartografías del Cuidado:
Saberes Situados y las Barreras de lo Invisible
Mapear el cuidado cotidiano para hacer visibles los saberes, las prácticas y las redes que sostienen la vida.
Un estudio cualitativo desde una comunidad rural en Guanajuato, México, sobre las prácticas de cambio de pañales, el trabajo de las mujeres y las transformaciones socioambientales del cuidado.
Este capítulo explora:
Las prácticas de cambio de pañales como trabajo de cuidado cotidiano.
Los saberes y organizaciones espaciales que sostienen el cuidado infantil y materno.
Las transformaciones socioambientales con la llegada de los pañales desechables.
El thick mapping como metodología decolonial para visibilizar lo invisible.
Patios y hogares
Rutas y lugares
Redes de cuidado
Saberes situados
Tiempos del cuidado
Thick Mapping
Redes de cuidado colectivo
Espacios domésticos e infraestructuras cotidianas
Saberes prácticos y corporales de las mujeres
Tiempos, trabajo y responsabilidades del cuidado
Implicaciones socioambientales del cuidado

Capítulo III Cartografías del Cuidado: Saberes Situados

La salud y el bienestar no se desarrollan únicamente dentro de hospitales, clínicas u otras instituciones formales. También se construyen a partir de prácticas cotidianas que ocurren en los hogares, los vecindarios y los espacios comunitarios. En estos lugares se llevan a cabo actividades relacionadas con alimentación, higiene, descanso y cuidado, las cuales dependen de condiciones materiales, conocimientos prácticos y relaciones entre las personas (Conradson, 2003; Dyck, Kontos, Angus, & McKeever, 2005).

Los estudios feministas y críticos de la salud han mostrado que muchas de estas actividades son realizadas principalmente por mujeres. Debido a que forman parte de la vida doméstica, suelen considerarse actividades ordinarias y pocas veces se reconocen como espacios donde también se genera conocimiento (Perez Hill, et al., 2024). El cambio de pañales forma parte de estas prácticas. Aunque puede parecer una actividad sencilla, implica decisiones relacionadas con higiene, salud infantil, confort, materiales, tiempo y trabajo.

Debido a esto, el pañaleo permite observar cómo se organiza el cuidado dentro de la vida cotidiana. Esto resulta especialmente importante cuando se analizan períodos en los que los pañales desechables todavía no eran la principal opción para el cuidado infantil.

En América Latina, y particularmente en México, gran parte de las investigaciones sobre pañales se han concentrado en el impacto ambiental de los productos desechables. También se han desarrollado propuestas relacionadas con reciclaje, compostaje, biodegradación y economía circular (Espinosa, 2002; Espinosa Valdemar, 2015; Sotelo Navarro, 2017). Estos estudios han permitido conocer los materiales, residuos y posibles

formas de tratamiento de los pañales desechables. Sin embargo, la mayoría analiza el problema desde la eficiencia técnica o la gestión del residuo.

Debido a esto, permanece una pregunta relacionada con el cuidado: ¿qué prácticas, conocimientos y formas de organización fueron modificadas cuando el pañal desechable se incorporó a la vida cotidiana?

Las perspectivas decoloniales han mostrado que algunos conocimientos locales, corporales y construidos históricamente han tenido menor reconocimiento frente al conocimiento experto e institucional (Hidalgo et al., 2019). Esta situación también puede observarse dentro del cuidado. Los conocimientos desarrollados por las mujeres en espacios domésticos suelen ser considerados menos importantes que aquellos producidos dentro de instituciones formales (Perez et al., 2024).

Cuestionar esta jerarquía implica conocer cómo se produce el conocimiento dentro de la vida cotidiana y qué experiencias han quedado fuera de los espacios formales de investigación (Walsh, 2005; Aschner et al., 2025). Por esta razón, recuperar las prácticas de cambio de pañales no sólo permite conocer cómo se cuidaba a los infantes en el pasado. También permite identificar conocimientos relacionados con salud, materiales, organización doméstica y uso de recursos. Esto brinda otra forma de aproximarse al problema, como lo plantea Mignolo (2003).

En este capítulo se analiza cómo siete mujeres de una comunidad rural de Guanajuato organizaban el cambio de pañales hace aproximadamente cuatro décadas. Durante este período, los pañales desechables todavía no eran la opción principal. Debido a esto, el cuidado infantil se sostenía mediante diferentes materiales, espacios domésticos y redes de apoyo.

El análisis busca conocer cómo se realizaba esta práctica, quién participaba, qué recursos eran necesarios y qué conocimientos permitían sostenerla. También se analiza cómo la incorporación de pañales desechables modificó algunos tiempos de cuidado, las responsabilidades de las mujeres y las condiciones materiales relacionadas con la higiene infantil.

El objetivo es comprender el cambio de pañales como una práctica cotidiana de salud y conocer cómo los espacios domésticos permitían generar redes de apoyo entre mujeres. También se busca identificar cómo las opciones de cuidado dependían de factores económicos, espaciales y materiales.

El pañaleo es un caso relevante para el desarrollo de proyectos ingenieriles sustentables porque integra dimensiones técnicas, materiales, ambientales y sociales. Elegir un tipo de pañal implica utilizar determinados materiales, agua, energía, tiempo y espacio. También implica generar residuos y organizar actividades relacionadas con higiene y cuidado.

Por esta razón, una solución técnicamente eficiente o ambientalmente favorable no necesariamente será pertinente para las personas que deben utilizarla. Si una propuesta incrementa el tiempo de trabajo, requiere recursos que no están disponibles o modifica significativamente las prácticas de cuidado, su implementación puede ser difícil.

Analizar cómo se realizaba el pañaleo antes del uso generalizado de productos desechables permite identificar conocimientos, recursos y condiciones que pueden ser útiles para diseñar alternativas actuales. Debido a esto, la sustentabilidad de una propuesta no depende únicamente del desempeño del material o de la reducción del residuo. También depende de las condiciones reales bajo las cuales será utilizada.

Para analizar estas relaciones se utilizó el *thick mapping* como metodología cualitativa. Este enfoque permitió transformar las entrevistas en representaciones que integraron información espacial, temporal, social y material. Los mapas se utilizaron para conocer dónde ocurrían las prácticas, cómo se relacionaban los espacios y qué personas participaban en ellas (Builes, et al., 2026).

El *thick mapping* permitió hacer visibles actividades y relaciones que normalmente aparecen separadas dentro de los testimonios. Debido a esto, se utilizó como una herramienta para recuperar prácticas y significados relacionados con el cuidado que suelen quedar fuera de los discursos formales sobre salud, sostenibilidad e innovación.

El estudio se organizó a partir de tres preguntas:

- ¿Cómo se insertaban las prácticas de cambio de pañales dentro de redes colectivas de cuidado e infraestructuras domésticas?
- ¿Qué formas de conocimiento y organización espacial sustentaban estas prácticas?
- ¿Cómo puede el *thick mapping* hacer visibles las relaciones cotidianas a través de las cuales se sostienen el cuidado y la salud?

A partir de estas preguntas, el capítulo busca mostrar que parte de la salud infantil se construye dentro de la vida cotidiana y mediante relaciones entre personas, espacios y recursos. También permite analizar cómo los conocimientos relacionados con el cuidado pueden formar parte de procesos de investigación y diseño.

Colonialidad y la marginalización epistémica del cuidado

La colonialidad puede entenderse como una estructura que influye en aquello que se reconoce como conocimiento válido (Harding, 2018). Los sistemas modernos de conocimiento han dado mayor reconocimiento a formas expertas, institucionales y abstractas de explicar la realidad. Debido a esto, conocimientos locales, corporales y construidos desde la experiencia cotidiana pueden tener menor presencia dentro de los espacios académicos.

El pensamiento decolonial latinoamericano ha cuestionado la idea de que el conocimiento producido en el Norte Global pueda utilizarse de manera universal sin considerar las condiciones históricas y culturales donde fue generado (Mignolo, 2003; Walsh, 2005; Leff, 2012; Hidalgo et al., 2019; Held, 2023). A partir de esta discusión, el conocimiento también debe analizarse considerando quién lo produce, dónde se produce y qué experiencias quedan fuera.

El cuidado es uno de los espacios donde esta diferencia puede observarse. Muchas actividades relacionadas con salud, alimentación, higiene y cuidado infantil han sido realizadas históricamente por mujeres dentro del hogar. Debido a esto, su conocimiento se ha considerado cotidiano y pocas veces ha sido tratado como conocimiento especializado.

El cambio de pañales permite observar esta situación. Engelen-Eigles (1991) señala que gran parte del conocimiento reconocido sobre pañales ha sido construido desde instituciones y expertos. En contraste, las experiencias de las madres aparecen con menor presencia, aunque son ellas quienes realizan directamente gran parte del cuidado.

Esta diferencia continúa presente en algunos debates sobre pañales y sostenibilidad. Las propuestas relacionadas con biodegradación, residuos y economía circular han permitido

desarrollar soluciones técnicas, pero suelen estudiar con menor detalle las condiciones sociales y espaciales donde ocurre el cuidado. Incluso algunos estudios socioecológicos se concentran principalmente en los sistemas de residuos y no en las prácticas cotidianas asociadas con el producto (Schenck et al., 2023).

Tecnificar el cuidado sin conocer estas prácticas también puede generar limitaciones. Estudios recientes han identificado riesgos relacionados con sustancias presentes en pañales desechables y posibles efectos asociados con su uso (Naz et al., 2022; Breinbjerg et al., 2021). Lo anterior muestra que una tecnología no puede considerarse favorable únicamente por su desempeño técnico (Foladori, 2005).

Por esta razón, recuperar las experiencias de mujeres de Puerto Blanco permite observar el cuidado desde otro espacio de producción de conocimiento. Las prácticas desarrolladas dentro de las viviendas, las redes de apoyo y los conocimientos transmitidos entre mujeres permiten conocer cómo se resolvían problemas cotidianos relacionados con higiene y salud. Estos conocimientos no se plantean como universales, sino como conocimientos situados que fueron construidos dentro de un contexto específico (Aschner et al., 2025).

El *thick mapping* como práctica de recuperación epistémica

El *thick mapping* se utilizó en esta investigación como una herramienta para organizar y representar información obtenida mediante entrevistas. Los mapas no se consideran únicamente como representaciones de lugares, sino como herramientas que permiten relacionar espacio, prácticas y experiencias.

De acuerdo con Perez et al. (2024), los mapas también pueden utilizarse para interpretar relaciones y hacer visibles elementos que normalmente permanecen separados. De forma similar, Presner et al. (2014) plantean que el *thick mapping* permite incorporar narrativas, símbolos, relaciones y procesos históricos dentro de una representación espacial.

Esto resultó importante para esta investigación porque el objetivo no era únicamente conocer dónde se cambiaban los pañales. También era necesario identificar cómo los espacios domésticos se relacionaban con las prácticas de cuidado.

Las cartografías permitieron ubicar viviendas, patios, cocinas, áreas de lavado y otros espacios utilizados durante el cuidado infantil. También permitieron observar la proximidad entre los hogares y las relaciones de apoyo existentes entre las mujeres.

Debido a esto, el *thick mapping* permitió integrar información que aparecía dispersa en los testimonios. Las actividades domésticas dejaron de observarse de forma aislada y comenzaron a analizarse como parte de una organización más amplia donde participaban espacios, rutinas, materiales y relaciones entre personas (Builes et al., 2026).

Estudios recientes han utilizado el *thick mapping* para integrar información histórica, emocional y territorial. Flores et al. (2026), por ejemplo, muestran que esta herramienta puede utilizarse dentro de procesos participativos para organizar narrativas, información ecológica y decisiones comunitarias.

Con base en estos antecedentes, el pañaleo se analizó como una práctica cotidiana de salud sostenida dentro de espacios domésticos. También se buscó conocer cómo las posibilidades económicas, los recursos disponibles y el espacio de las viviendas modificaban las formas de cuidado.

Diseño de la investigación basada en el thick mapping

La investigación utilizó un diseño cualitativo para analizar el cambio de pañales como una práctica cotidiana relacionada con cuidado, espacio doméstico y condiciones materiales. El pañaleo no se estudió únicamente como una actividad higiénica. También se analizó como una práctica relacionada con el trabajo de las mujeres, la organización del hogar y la salud infantil.

Se utilizaron entrevistas semiestructuradas y *thick mapping*. Las entrevistas permitieron conocer las experiencias de las participantes y el mapeo permitió reconstruir dónde ocurrían las actividades y cómo se relacionaban los espacios.

Como se muestra en la **Figura 13**, la metodología integra las entrevistas con diferentes capas de información espacial, social, temporal y material.

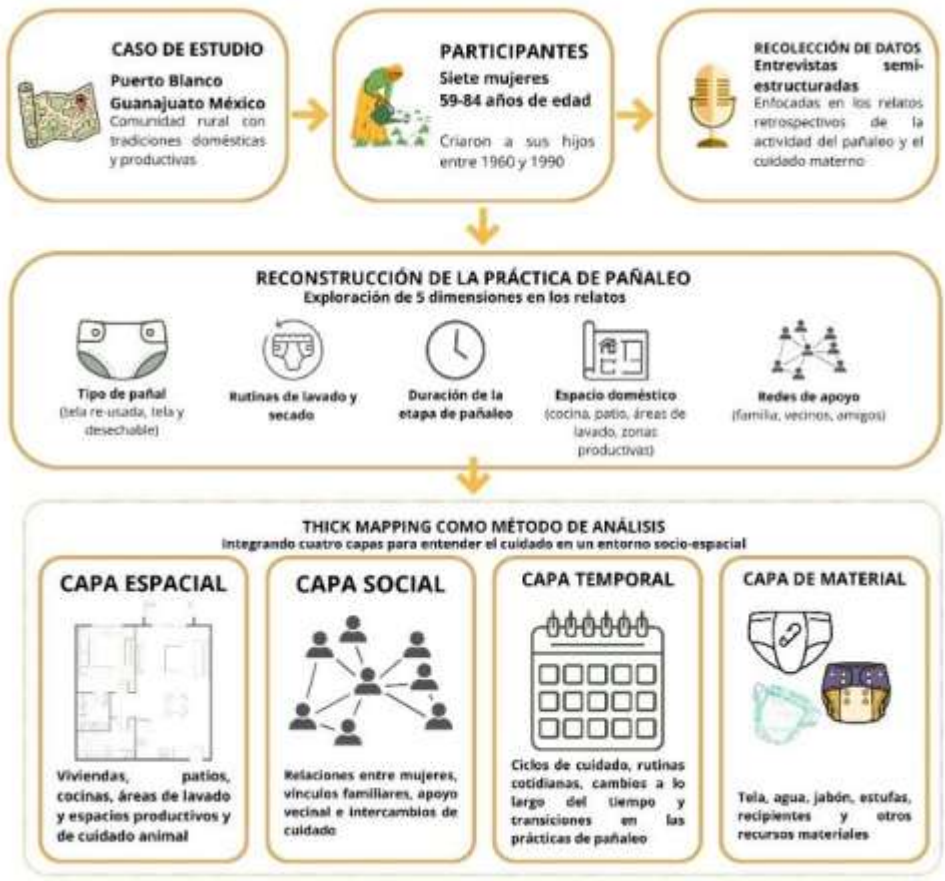


Figura 13. Metodología Thick Mapping aplicada en Puerto Blanco, Guanajuato

Estudio de caso y participantes

El estudio se realizó en Puerto Blanco, Guanajuato. Esta comunidad fue seleccionada porque permitió conocer prácticas de cuidado desarrolladas antes de que los pañales desechables se utilizaran de manera predominante.

Participaron siete mujeres de la comunidad. Las entrevistas se realizaron durante el semestre de enero a junio de 2024. Las participantes tenían entre 59 y 84 años y fueron seleccionadas considerando el período en el que tuvieron hijos.

Sus testimonios permitieron reconstruir prácticas desarrolladas entre las décadas de 1960 y 1990. Durante este período se utilizaban pañales de tela, prendas reutilizadas y, posteriormente, pañales desechables.

Al tratarse de un estudio de caso, los resultados permiten conocer cómo se desarrollaban estas prácticas dentro de Puerto Blanco. Los resultados no buscan representar a todas las comunidades rurales mexicanas.

Recolección de datos

La información se recopiló mediante entrevistas semiestructuradas. Antes de cada entrevista se explicó el objetivo de la investigación y el uso de los testimonios. Las participantes firmaron un consentimiento informado y autorizaron la grabación de su voz.

También se solicitó autorización para observar y registrar visualmente las viviendas. Esto permitió identificar espacios relacionados con lavado, almacenamiento, preparación de alimentos y cuidado infantil.

La guía de entrevista incluyó preguntas relacionadas con:

- Tipo de pañales utilizados.
- Número de hijos.
- Período de uso de pañales.
- Actividades realizadas además del trabajo doméstico.

También se preguntó sobre apoyo familiar, apoyo comunitario, duración del uso de pañales y espacios donde se realizaban las actividades de cuidado.

Durante las visitas se realizó un levantamiento visual de las viviendas. No se desarrollaron mediciones arquitectónicas formales. La información espacial se obtuvo mediante observación, explicación de las participantes y referencias aproximadas apoyadas con Google Maps.

Como resultado, fue posible identificar cocinas, patios, espacios de lavado, zonas productivas, áreas de almacenamiento y espacios de convivencia.

Resultados del caso de estudio en Puerto Blanco, Guanajuato

Puerto Blanco es una comunidad rural del municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato. Se encuentra aproximadamente a 27.6 kilómetros de la cabecera municipal y a 2,148 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2025).

La comunidad cuenta con pocas viviendas habitadas y presenta acceso parcial a servicios básicos. Estas condiciones resultaron importantes para comprender las prácticas de cuidado, ya que actividades como lavar, secar y almacenar pañales dependían directamente de los recursos disponibles.

Las viviendas no funcionaban como unidades completamente independientes. Los patios, áreas de lavado, caminos y espacios productivos formaban parte de la organización cotidiana.

Para analizar estas condiciones se desarrolló una reconstrucción cartográfica de los hogares. La cartografía relacionó la ubicación de las viviendas con espacios interiores y exteriores utilizados para alimentación, lavado, almacenamiento y cuidado.

Infraestructuras domésticas del cuidado

La **Figura 14** muestra que el cambio de pañales estaba relacionado con la organización de la vivienda. La cocina, el patio, las áreas de lavado y los espacios de circulación se utilizaban de manera cotidiana durante el cuidado.

Estos espacios permitían lavar, secar, almacenar y reutilizar pañales de tela. Debido a esto, el pañaleo dependía de una infraestructura doméstica que incluía agua, espacio y tiempo de trabajo.

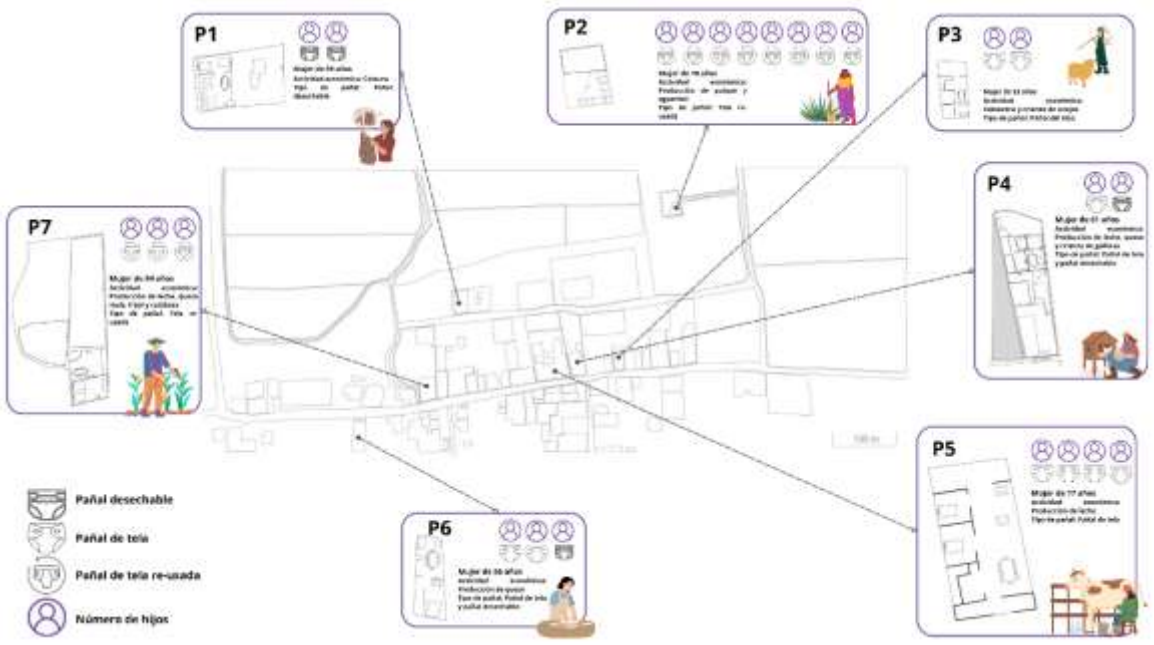


Figura 14. Infraestructura doméstica en hogares de Puerto Blanco, Guanajuato

Las viviendas presentaban diferencias en tamaño, distribución y recursos disponibles. Debido a esto, las prácticas de cuidado también eran diferentes. Cada familia resolvía el cuidado utilizando los espacios y recursos con los que contaba.

La vivienda también funcionaba como un lugar de encuentro. En algunos casos, familiares y otras mujeres visitaban a la madre después del nacimiento del bebé. Durante estas visitas se compartían recomendaciones relacionadas con el cuidado posparto, irritaciones y atención del recién nacido.

La Participante 4 lo describió de la siguiente manera:

La Participante 4 lo describió de la siguiente manera:

> *"Al día siguiente de que nacieron mis hijas, mi familia de San José Iturbide vino a conocerlas".*

Estos encuentros ocurrían principalmente dentro de las habitaciones. Debido a esto, algunos espacios privados también funcionaban como lugares donde se transmitían conocimientos sobre cuidado.

La cartografía muestra también que los terrenos eran amplios en comparación con las viviendas. Muchas participantes criaban animales y cultivaban alimentos como frijol, chile, maíz y nopal. También se producían alimentos y bebidas como queso, leche y pulque.

Algunas mujeres utilizaban prendas desgastadas para fabricar pañales. La Participante 2 utilizaba camisetas del padre y la Participante 7 elaboraba pañales con su propia ropa.

En algunos casos, los hijos mayores apoyaban en el cuidado de los menores. Esto permitía reducir otras cargas de trabajo.

La Participante 1 presentó una situación diferente. Ella trabajaba como costurera y prefería utilizar pañales desechables porque podía destinar su tiempo a actividades

productivas. Los ingresos obtenidos le permitían comprar jabón, medicamentos y otros productos.

Sin embargo, también reconocía el problema de los residuos. Debido a que la comunidad no contaba con recolección de basura, enterraba los pañales lejos de las viviendas.

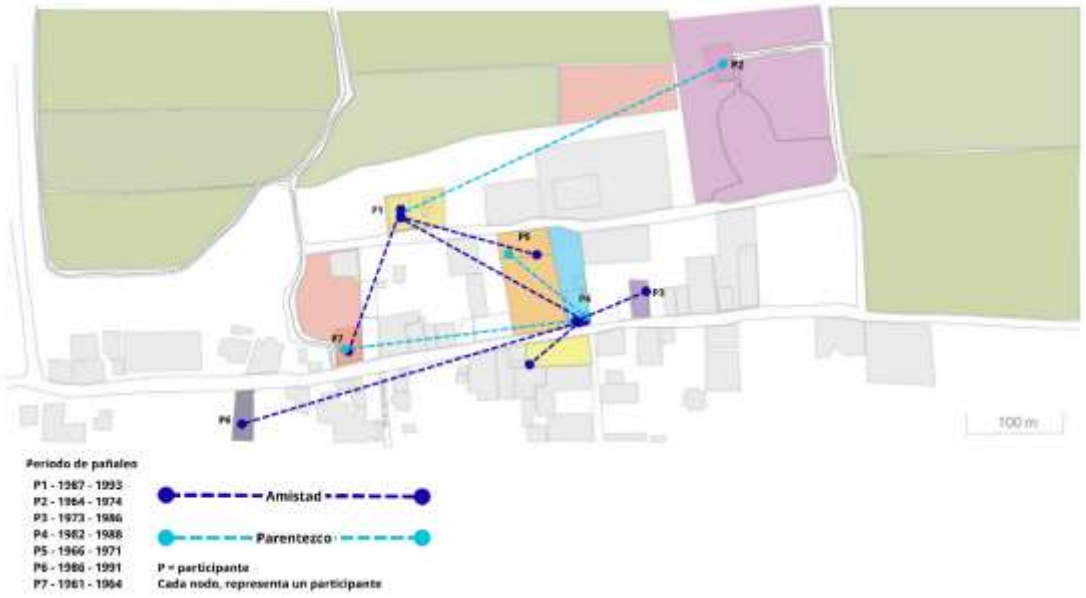


Figura 15. Red de apoyo entre mujeres que vivían en Puerto Blanco (1961–1993)

Estos encuentros ocurrían principalmente dentro de las habitaciones. Debido a esto, algunos espacios privados también funcionaban como lugares donde se transmitían conocimientos sobre cuidado.

La cartografía muestra también que los terrenos eran amplios en comparación con las viviendas. Muchas participantes criaban animales y cultivaban alimentos como frijol, chile, maíz y nopal. También se producían alimentos y bebidas como queso, leche y pulque.

Algunas mujeres utilizaban prendas desgastadas para fabricar pañales. La Participante 2 utilizaba camisetas del padre y la Participante 7 elaboraba pañales con su propia ropa.

En algunos casos, los hijos mayores apoyaban en el cuidado de los menores. Esto permitía reducir otras cargas de trabajo.

La Participante 1 presentó una situación diferente. Ella trabajaba como costurera y prefería utilizar pañales desechables porque podía destinar su tiempo a actividades productivas. Los ingresos obtenidos le permitían comprar jabón, medicamentos y otros productos.

Sin embargo, también reconocía el problema de los residuos. Debido a que la comunidad no contaba con recolección de basura, enterraba los pañales lejos de las viviendas.

"la señora de enfrente me ayudaba mucho"

La proximidad física facilitaba estas relaciones. La Participante 3 recordó que las mujeres se reunían en patios para preparar alimentos y conversar. Debido a esto, los conocimientos relacionados con el cuidado se transmitían mediante observación, conversación y ayuda directa.

La red no estaba formada únicamente por familiares. También participaban amigas y vecinas. Este resultado muestra que el cuidado no se encontraba limitado a la familia nuclear.

La **Figura 15** permite observar que el cuidado se sostenía mediante una combinación de proximidad, relaciones sociales y disponibilidad de ayuda. Debido a esto, el cambio de pañales no aparece como una actividad completamente individual.

Transiciones temporales en las prácticas de uso de pañales

Las entrevistas muestran que el cambio de pañales de tela hacia pañales desechables no ocurrió de manera inmediata. Durante varios años las mujeres utilizaron diferentes materiales dependiendo de sus necesidades.

La Participante 4 señaló:

> *"… a Lupita sí la fajé con pañal de tela, pero cuando tuve a Carito, combiné pañales de tela y desechables…"*

Este testimonio muestra que ambas opciones coexistieron. La selección dependía del tiempo disponible, del trabajo doméstico y de las condiciones económicas.

La Participante 2 explicó que en algunos momentos no podía lavar los pañales porque debía cocinar, limpiar y cuidar a otros integrantes de la familia. Debido a esto, los pañales desechables podían disminuir parte del trabajo relacionado con lavado y secado.

Sin embargo, las participantes también reconocieron problemas asociados con los residuos. La Participante 1 señaló que los pañales desechables contaminaban.

Este resultado muestra una contradicción. El pañal desechable podía disminuir tiempo de trabajo, pero aumentaba la generación de residuos.

La transición también estuvo relacionada con cambios en el trabajo de las mujeres. Algunas comenzaron a generar ingresos monetarios además de realizar actividades domésticas. Debido a esto, el tiempo disponible para lavar pañales disminuyó.

El cambio no fue uniforme. Algunas mujeres utilizaron tela, otras combinaron tela y desechables y otras adoptaron los pañales desechables de manera más frecuente.

Discusión sobre el caso de thick mapping

Los resultados muestran que el cambio de pañales en Puerto Blanco no era una actividad aislada. Se encontraba relacionado con la vivienda, las redes entre mujeres y los conocimientos construidos dentro de la vida cotidiana.

Esto coincide con los planteamientos de la geografía de la salud, donde el bienestar no se limita a las instituciones médicas, sino que también se construye dentro de los hogares y las relaciones sociales (Conradson, 2003; Dyck et al., 2005; Perez et al., 2024).

Las cartografías permitieron observar dos elementos. La **Figura 14** mostró la importancia de los espacios domésticos. La **Figura 15** permitió identificar la proximidad y las relaciones entre mujeres.

Como resultado, el cuidado puede entenderse como una práctica que dependía tanto de recursos materiales como de redes sociales.

Los conocimientos sobre cuidado tampoco circulaban mediante instituciones formales. Se transmitían mediante visitas, observación y conversación. Esto coincide con Engelen-Eigles (1991), quien cuestiona la forma en que el cuidado se ha reducido a un problema técnico o de consumo.

Los resultados también muestran que este conocimiento estaba organizado territorialmente. La cercanía entre viviendas hacía posible que las mujeres se visitaran y compartieran prácticas.

Por esta razón, los conocimientos identificados pueden entenderse como conocimientos situados. No representan formas universales de cuidado, sino conocimientos

construidos dentro de condiciones específicas (Walsh, 2005; Harding, 2018; Aschner et al., 2025).

Este capítulo analizó el cambio de pañales como una práctica cotidiana de salud sostenida por infraestructuras domésticas, redes sociales y conocimientos locales. Los resultados corresponden a siete mujeres de una comunidad específica. Debido a esto, no se pretende generalizar estas prácticas al conjunto de las comunidades rurales mexicanas.

El valor del caso se encuentra en mostrar cómo se organizaba el cuidado dentro de un territorio determinado y qué tipo de información puede obtenerse cuando se analizan espacios, prácticas y relaciones de manera conjunta.

También se identificó que los conocimientos cotidianos pueden aportar información que normalmente no aparece dentro de los estudios técnicos. Esto resulta importante cuando se diseñan soluciones que posteriormente deberán incorporarse a la vida cotidiana.

Aporte del Capítulo III

El principal aporte de este capítulo a la metodología se encuentra en la etapa de Democratización del Proyecto y en la etapa de Evaluación, Retroalimentación y Escalabilidad. El thick mapping permitió identificar que el cuidado infantil no dependía únicamente de decisiones individuales. También dependía de redes entre mujeres, espacios dentro de las viviendas y formas cotidianas de transmitir conocimiento. Las mujeres aprendían observando, preguntando y compartiendo experiencias. Debido a esto, el conocimiento no se transmitía únicamente mediante instrucciones. Se construía mientras las prácticas se realizaban.

Este resultado fue importante para la metodología. Identificar los conocimientos locales no es suficiente para saber si una nueva propuesta podrá incorporarse dentro de una comunidad. También es necesario generar espacios donde las personas puedan conocer el proyecto, probarlo y modificarlo. Por esta razón, la metodología incorpora una fase experimental y pedagógica. La finalidad es que las personas conozcan los materiales y procesos antes de que el proyecto sea implementado de manera completa.

Durante esta fase se pueden identificar dudas, dificultades, recursos disponibles y modificaciones necesarias. Esto permite conocer no sólo si el proyecto funciona técnicamente, sino también si puede comprenderse y utilizarse dentro de las condiciones reales de la comunidad. La consulta previa también se incorpora como parte de esta etapa. Elementos como espacio disponible, tiempo, conocimientos previos y forma de organización pueden modificar la forma en que un proyecto debe desarrollarse.

Debido a esto, estas condiciones dejan de considerarse externas al proyecto y pasan a formar parte de sus requerimientos. La comunicación entre los participantes también resulta importante. Durante el caso de Puerto Blanco se observó que los conocimientos se ajustaban mediante intercambio y experiencia cotidiana. Este mismo principio se incorpora en la etapa de evaluación y retroalimentación. La finalidad es que las personas puedan señalar problemas, modificar prácticas y explicar qué elementos funcionan y cuáles necesitan cambiar. Como resultado, la fase experimental funciona como un espacio donde el conocimiento técnico puede relacionarse con el conocimiento de las personas que utilizarán la propuesta. La etapa final permite conocer si esa relación puede mantenerse con el tiempo y si el proyecto puede adaptarse o transferirse a otros contextos.

De esta manera, el aporte del capítulo no consiste en trasladar directamente las prácticas de Puerto Blanco hacia otros proyectos. Lo que se incorpora a la metodología es la necesidad de generar espacios para aprender, experimentar, compartir conocimiento y ajustar una propuesta antes y después de su implementación.


IV
CAPÍTULO 4
Desplazando Paradigmas:
El Biodiseño como Camino hacia una Ingeniería Sustentable
Experimentar con la vida para diseñar futuros regenerativos
Hacia una práctica proyectual reflexiva, interdisciplinaria y situada, que integra ciencia, diseño y naturaleza para crear soluciones sostenibles junto con los sistemas vivos.
CIENCIA
Biología y materiales vivos
DISEÑO
Creatividad y pensamiento proyectual
TECNOLOGÍA
Fabricación digital y herramientas abiertas
NATURALEZA
Regeneración y coexistencia
DEL DISEÑO PROCEDIMENTAL A LA CO-CREACIÓN REGENERATIVA
LÓGICA PROCEDIMENTAL
Técnica
Lineal
Antropocéntrica
LÓGICA REFLEXIVA Y CO-CREACIÓN
Biológica
Iterativa
Regenerativa
PROCESO DE BIODISEÑO
Comprender el sistema vivo
Experimentar y co-crear
Diseñar (Iterar)
Evaluar e integrar
Regenerar y volver al ciclo
KOMBUCHA SCOBY
CELULOSA BACTERIANA
(Biomaterial vivo)
Este capítulo explora:
La implementación del biodiseño en contextos educativos de pregrado.
La experimentación con celulosa bacteriana como biomaterial vivo.
El tránsito hacia una práctica de diseño reflexiva, colaborativa y basada en evidencia.
La formación de nuevas competencias para una ingeniería sustentable y regenerativa.
Biomateriales y vida
Aprendizaje experiencial
Iteración y co-creación
Sustentabilidad y regeneración
Pensamiento crítico e interdisciplinario
Impacto social y territorial

Capítulo IV. Desplazando Paradigmas: El Biodiseño como Camino hacia una Ingeniería Sustentable

El biodiseño surge de la relación entre las ciencias biológicas, el diseño y la ingeniería. Una de sus características es que permite trabajar directamente con organismos vivos y utilizarlos dentro de los procesos de diseño. Esta forma de trabajo ha comenzado a incorporarse dentro de la educación superior, aunque todavía existen dificultades para llevarla a los primeros niveles de formación de los estudiantes.

Desde el diseño, trabajar con organismos vivos modifica la manera tradicional de desarrollar un proyecto. El diseñador ya no solamente selecciona un material para darle una forma o una función, también necesita conocer cómo crece, qué condiciones necesita, cómo puede modificarse y qué ocurre con éste después de su uso. Debido a esto, el biodiseño puede entenderse como un campo donde el conocimiento científico y el conocimiento del diseño tienen que trabajar de manera conjunta (Pollini, 2024).

Esta relación también modifica la forma en la que tradicionalmente colaboran las diferentes disciplinas. Las ciencias biológicas o la ingeniería no deberían limitarse a proporcionar información técnica al diseñador. Para desarrollar este tipo de proyectos es necesario que las decisiones sean tomadas desde diferentes áreas y que cada disciplina participe en la construcción del proyecto (Formosa, 2025).

El crecimiento del biodiseño también puede observarse en el aumento de programas educativos, investigaciones interdisciplinarias y empresas que están desarrollando biomateriales. Sin embargo, todavía existen problemas para enseñar estos procesos dentro de

las licenciaturas. Muchas de las metodologías disponibles requieren conocimientos avanzados, equipo especializado o experiencia previa en el manejo de materiales biológicos.

Un ejemplo es la metodología Material-Driven Textile Design (MDTD), diseñada principalmente para el desarrollo de nuevos materiales dentro del campo textil. Aunque esta metodología puede ser útil para diseñadores que trabajan con materiales emergentes, su aplicación requiere conocimientos y recursos que no siempre se encuentran disponibles para estudiantes de licenciatura (Ribul et al., 2021).

Debido a esto, existe la necesidad de desarrollar metodologías que permitan acercar a los estudiantes al biodiseño desde los primeros niveles de formación y que al mismo tiempo mantengan el rigor necesario para trabajar con organismos vivos.

La educación en diseño ha cambiado con el tiempo. Desde la integración entre diseño, tecnología y ciencia que se trabajó en escuelas como Ulm, hasta las discusiones actuales relacionadas con sostenibilidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la disciplina ha ido incorporando nuevas problemáticas. A pesar de esto, buena parte de la enseñanza continúa concentrada en el desarrollo de proyectos y en el aprendizaje de herramientas, dejando menos espacio para que los estudiantes desarrollen experimentaciones que puedan ser comprobadas mediante evidencia.

Por esta razón, este capítulo busca responder dos preguntas: (1) ¿Cómo influye el trabajo práctico con celulosa bacteriana en la forma en la que los estudiantes de licenciatura razonan los proyectos de diseño y la sostenibilidad? (2) ¿Qué principios pedagógicos pueden identificarse cuando los estudiantes trabajan directamente con biomateriales?

El biodiseño como paradigma emergente

El biodiseño plantea una modificación en la forma en la que se utilizan los recursos naturales dentro del diseño. En lugar de observar la naturaleza solamente como una fuente de inspiración, propone trabajar directamente con ella y, en algunos casos, con organismos vivos que forman parte del proceso de desarrollo del material o del producto (Williams et al., 2021; Goidea et al., 2022). Esto modifica la relación entre diseño, ciencia y producción material (Pedroso, 2024).

Cuando se trabaja con un organismo vivo no es posible controlar todas sus características de la misma forma que ocurre con un material industrial. El diseñador tiene que aprender sus tiempos, condiciones de crecimiento y respuestas a diferentes variables. Debido a esto, diseñar con organismos vivos implica aceptar cierto grado de variabilidad y aprender a trabajar con ella. Esta condición también genera un reto dentro de la educación. Un estudiante de diseño está acostumbrado a trabajar con materiales que puede cortar, unir, moldear o transformar casi inmediatamente. En materiales como la celulosa bacteriana, antes de diseñar es necesario cultivar el material y conocer las condiciones que modifican su crecimiento.

La interacción con el biomaterial debe comenzar entonces antes del desarrollo formal del objeto. Los estudiantes necesitan conocer sus características técnicas, pero también manipularlo, observarlo, olerlo, doblarlo, cortarlo y experimentar con él. Este primer acercamiento permite que posteriormente puedan tomar decisiones de diseño con mayor conocimiento del material (Bell et al., 2023).

El diseño industrial como eje articulador

El Diseño Industrial trabaja constantemente entre diferentes áreas de conocimiento. Para desarrollar un producto pueden intervenir aspectos técnicos, sociales, ambientales, económicos y de producción. Esta característica permite que pueda funcionar como un vínculo entre la ingeniería, las ciencias naturales y las ciencias sociales (Chan et al., 2018).

En el caso del biodiseño, esta característica adquiere mayor importancia. El diseñador necesita comprender información biológica y técnica y posteriormente convertirla en decisiones relacionadas con uso, forma, producción y aplicación. Esto permite que conocimientos que inicialmente pertenecen a otras áreas puedan convertirse en propuestas de diseño (Marnie et al., 2022). Sin embargo, esto también obliga a modificar la manera en la que se enseña diseño.

No es suficiente enseñar un procedimiento para desarrollar un producto. El estudiante necesita conocer por qué un material se comporta de cierta forma, qué variables pueden modificarlo y cómo puede demostrar que los resultados obtenidos no fueron únicamente producto de una observación aislada.

Formosa (2025) plantea la necesidad de avanzar hacia un diseño más centrado en el conocimiento. Esto resulta especialmente pertinente en el biodiseño porque las decisiones formales no pueden separarse completamente del conocimiento biológico del material. También existe una discusión respecto a la jerarquía entre las disciplinas.

Durante mucho tiempo, la ciencia ha sido entendida como la encargada de generar conocimiento y el diseño como una disciplina que utiliza ese conocimiento para desarrollar

aplicaciones. Esta división limita las posibilidades del diseño dentro de proyectos interdisciplinarios (Mignolo, 2003; Escobar, 2018).

Cuando los estudiantes cultivan celulosa bacteriana, modifican variables, comparan resultados y documentan los cambios que observaron, también están generando información sobre el material. En este proceso dejan de ser solamente usuarios del conocimiento producido por otras disciplinas y comienzan a participar en su construcción (Pedgley et al., 2021).

Cambio de paradigma en la pedagogía del diseño

El diseño ha mantenido una relación constante con la ingeniería, la tecnología y la producción. Actualmente se incorporan también problemas relacionados con cambio climático, degradación ambiental y uso de recursos.

Esto ha generado interés por parte de los estudiantes en materiales y procesos que disminuyan el impacto ambiental de los productos (Karp et al., 2004). Sin embargo, reducir el impacto ya no es el único objetivo. El desarrollo de biomateriales también permite plantear proyectos que puedan degradarse, reincorporarse a ciclos naturales o incluso participar en procesos regenerativos. Esta posibilidad modifica la forma en la que se piensa el ciclo de vida de los productos.

El problema es que la educación en diseño no siempre ha avanzado al mismo ritmo que estas nuevas necesidades (Rowe, 2025). Para trabajar con biomateriales es necesario que los estudiantes puedan relacionarse con conocimientos que tradicionalmente pertenecen a otras

disciplinas. Un proyecto puede requerir conocimientos de química, biología, ingeniería, diseño o arquitectura.

Debido a esto, la colaboración interdisciplinaria deja de ser una actividad adicional y se convierte en una condición necesaria para desarrollar este tipo de propuestas (Teixeira, 2010; McQuillan & Karana, 2025; Benony et al., 2020).

Hacia una metodología de biodiseño

Una metodología de biodiseño debe considerar que trabajar con organismos vivos no es igual que trabajar con materiales convencionales.

Existen diferentes niveles de relación con la naturaleza. En algunos casos se observa para identificar principios que puedan ser trasladados al diseño, como ocurre con la biomimética. En otros casos el organismo vivo forma parte directa del proceso de producción o incluso puede ser modificado mediante técnicas biotecnológicas (Williams & Collet, 2021).

Uno de los principales problemas identificados durante esta investigación fue la diferencia entre la forma de experimentar del diseño y los requerimientos de la experimentación científica. Dentro del diseño se aprende haciendo. Se realizan pruebas, se cambia una forma, se modifica un material y se vuelve a probar. Este proceso iterativo es importante porque permite explorar diferentes posibilidades.

La ciencia requiere además controlar variables, documentar procedimientos y generar resultados que puedan repetirse. Cuando estos dos procesos no se comprenden pueden aparecer dificultades durante el trabajo interdisciplinario (Ackermann, 2023; Pollini, 2024; Formosa, 2025).

Por esta razón, una metodología de biodiseño dirigida a estudiantes debería mantener la libertad de experimentación propia del diseño, pero incorporar algunos principios básicos de la investigación científica. El objetivo no es convertir a los diseñadores en biólogos o químicos. El objetivo es que puedan formular preguntas, identificar variables, realizar comparaciones y documentar lo que ocurre durante el desarrollo de un biomaterial.

Metodología de estudio para el manejo de celulosa bacteriana

Para esta investigación se diseñó una metodología que permitió que estudiantes de las licenciaturas en Diseño Industrial y Arquitectura cultivaran celulosa bacteriana obtenida mediante la fermentación de kombucha y posteriormente la utilizaran para desarrollar propuestas de diseño.

La intención inicial fue que los estudiantes conocieran el material antes de utilizarlo. Por esta razón, el proceso comenzó con el cultivo. Los estudiantes observaron cómo se desarrolla la celulosa bacteriana, las condiciones necesarias para mantener el cultivo y las variaciones que podían presentarse. Posteriormente comenzaron a experimentar con el material, modificarlo y utilizarlo dentro de diferentes aplicaciones.

Esto permitió relacionar el conocimiento biológico con decisiones estéticas, estructurales y funcionales. El uso de plásticos representa actualmente uno de los problemas ambientales relacionados con el desarrollo de productos debido a su baja degradabilidad. A pesar de esto, dentro de las universidades todavía existe poca integración entre las metodologías de diseño y los procesos experimentales que se desarrollan dentro de las ciencias.

Trabajar con biomateriales permite generar un espacio en el que estas disciplinas puedan encontrarse.

En este caso, el Diseño Industrial puede participar como una disciplina capaz de transformar el conocimiento sobre un material en posibles aplicaciones, mientras que las ciencias biológicas y la ingeniería permiten comprender y controlar las variables necesarias para producirlo.

El estudio se llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Querétaro durante tres semestres consecutivos: 2024-1 (enero–julio), 2024-2 (agosto–diciembre) y 2025-1 (enero–julio), con estudiantes de Diseño Industrial y Arquitectura que cursaban entre tercer y noveno semestre. Participaron 34 estudiantes de Diseño Industrial y Arquitectura que cursaban entre tercero y noveno semestre. En el primer periodo participaron 16 estudiantes, en el segundo 12 y en el tercero 6.

La investigación se trabajó desde un enfoque cualitativo, exploratorio y mediante estudio de caso. No se pretendió medir experimentalmente cuánto aprendieron los estudiantes. El interés estuvo en observar cómo incorporaban formas de investigación científica dentro de sus proyectos de diseño y qué modificaciones aparecían conforme aumentaba su experiencia con el material.

Para realizar este análisis se utilizaron observaciones de taller, entrevistas, proyectos desarrollados por los estudiantes, rúbricas de evaluación y reflexiones registradas durante el curso. La propuesta se estructuró inicialmente a partir de las etapas del Design Thinking. Sin embargo, conforme se desarrollaron los tres periodos se incorporaron actividades específicas

relacionadas con el cultivo, experimentación, evaluación y documentación de la celulosa bacteriana.

La finalidad fue generar una metodología pedagógica que permitiera trabajar el biodiseño dentro de la licenciatura y desarrollar competencias que facilitaran la relación con otras disciplinas.

Diseño del estudio de caso y justificación

El estudio se desarrolló como un caso único exploratorio y descriptivo, siguiendo las directrices propuestas por Yen Lee et al. (2017). El caso corresponde a la materia optativa Biomateriales, impartida en la Universidad Autónoma de Querétaro entre enero de 2024 y julio de 2025. Se analizaron tres generaciones consecutivas.

Esta continuidad permitió observar cómo fue cambiando la forma de trabajar con la celulosa bacteriana y también modificar las actividades del curso a partir de los resultados obtenidos en cada semestre. Se seleccionó este caso porque existen pocos antecedentes documentados donde estudiantes de licenciatura cultiven directamente celulosa bacteriana y posteriormente la utilicen dentro de proyectos de diseño.

También fue importante mantener el seguimiento durante los tres semestres, debido a que esto permitió observar una evolución desde ejercicios básicos de manipulación hasta propuestas que incorporaron mayor experimentación.

Los límites del caso se establecieron por institución, periodo, nivel académico de los participantes y secuencia de actividades. Debido a esto, los resultados corresponden al

contexto específico de la Universidad Autónoma de Querétaro y no pueden considerarse automáticamente representativos de todos los programas de diseño.

Para disminuir posibles sesgos se utilizaron diarios reflexivos, validación con participantes y una cadena de evidencia que permitiera conocer cómo se obtuvieron los resultados.

Recolección de datos y procedimiento de codificación

La información se obtuvo mediante cuatro fuentes principales:

- observaciones realizadas durante los talleres;
- seis entrevistas semiestructuradas;
- proyectos y artefactos desarrollados por los estudiantes;
- rúbricas de evaluación.

Las entrevistas fueron transcritas de manera literal utilizando Word.

Los estudiantes participaron mediante consentimiento informado y se mantuvieron criterios de confidencialidad y derecho a retirarse del estudio. Para disminuir el posible sesgo relacionado con la participación de la docente dentro de la investigación, un asistente de posgrado apoyó en la realización de las entrevistas y en el proceso de codificación. También se utilizaron diarios reflexivos para registrar posibles dinámicas de poder o situaciones que pudieran influir en los resultados.

Desarrollo del curso (análisis longitudinal)

La materia Biomateriales se impartió durante tres periodos consecutivos entre enero de 2024 y julio de 2025. La experiencia no fue igual en los tres semestres.

Los ejercicios fueron cambiando conforme se identificaban nuevas posibilidades del material y también conforme se conocían mejor las dificultades que tenían los estudiantes para trabajarlo.

Periodo 2024-1

Durante el primer periodo se realizó un acercamiento inicial a la celulosa bacteriana. Los estudiantes trabajaron principalmente con formas geométricas y orgánicas. El objetivo fue conocer el cultivo, manipular las láminas y experimentar con diferentes posibilidades formales. En esta primera experiencia predominó el trabajo manual. Los estudiantes mostraron interés por el material y comenzaron a reconocer algunas de sus características. Sin embargo, todavía existía poca relación entre las decisiones de diseño y las variables que intervenían durante su producción.

Periodo 2024-2

Durante el segundo periodo la metodología se aplicó con estudiantes de Arquitectura. El cambio de perfil disciplinar permitió observar otras formas de utilizar el biomaterial. Los estudiantes comenzaron a explorar aplicaciones de mayor escala y aparecieron propuestas como velarias tensadas. También incorporaron herramientas como el corte láser y comenzaron a utilizar diferentes estados de la celulosa bacteriana. En esta etapa se observó mayor interés por las propiedades estéticas y estructurales del material.

Periodo 2025-1

Durante el tercer periodo se incorporaron ejercicios más experimentales. Los estudiantes trabajaron con pigmentos naturales, transparencias y modificaciones en las condiciones del material. También comenzaron a establecer criterios propios para comparar

los resultados. Esto permitió observar mayor autonomía. El estudiante ya no solamente seguía una indicación para producir una muestra, sino que comenzaba a preguntarse qué variable modificar y qué resultado podía obtener. Esta diferencia fue importante para el desarrollo posterior de la metodología.

Entrevistas y análisis

Durante el periodo 2025-1 se realizaron entrevistas semiestructuradas a seis estudiantes organizados en tres pares. Las entrevistas tuvieron una duración aproximada de 15 minutos y se desarrollaron dentro del aula-taller. El objetivo fue conocer cómo percibían la celulosa bacteriana después de haber trabajado directamente con ella. Se realizaron dos preguntas principales. La primera estuvo relacionada con la posibilidad de utilizar el material como recurso constructivo o de prototipado. La segunda buscó identificar las posibilidades y limitaciones que los estudiantes encontraban para utilizarlo posteriormente dentro de su práctica profesional. Las entrevistas fueron codificadas mediante un proceso abierto y posteriormente se compararon las respuestas. De este análisis surgieron temas relacionados con sostenibilidad, facilidad de uso y barreras para adoptar el biomaterial.

Resultados

Los resultados obtenidos durante los tres semestres mostraron que enseñar biomateriales no debería reducirse a entregar una receta para producirlos. El estudiante puede aprender a cultivar celulosa bacteriana siguiendo una serie de pasos. Sin embargo, esto no significa que comprenda qué variables modifican el material o por qué obtiene determinados

resultados. Esta diferencia se hizo más visible conforme avanzaron los semestres. Durante el primer periodo predominó la exploración.

En el segundo comenzaron a desarrollarse aplicaciones más complejas.

En el tercero aparecieron preguntas relacionadas con las variables del cultivo y los estudiantes mostraron mayor capacidad para comparar resultados. Esto permitió reconocer que la metodología necesitaba incorporar una progresión. Primero se conoce el material. Después se identifican las variables. Posteriormente se experimenta, se diseña, se compara y finalmente se documenta lo aprendido.

En la Figura 16 puede observarse esta evolución. Los primeros proyectos muestran una experimentación principalmente formal. Posteriormente aparecen propuestas espaciales y técnicas de unión más complejas, hasta llegar al periodo 2025-1 donde el biomaterial comenzó a utilizarse como una membrana con posibilidades estructurales y expresivas.



2024 (enero–julio)
Exploración inicial. Formas simples y pigmentación natural.

2024 (agosto–diciembre)
Propuestas espaciales y técnicas avanzadas de unión y transparencia.

2025 (enero–julio)
Consolidación del material como membrana estructural y expresiva.

Figura 16. Maquetación realizada con el material.

Diseño y formalización de la metodología de biodiseño con celulosa bacteriana

Los tres semestres permitieron identificar que los ejercicios aislados debían organizarse dentro de una secuencia. Conforme aumentó la familiaridad de los estudiantes con la celulosa bacteriana también aumentó la atención hacia las variables que modificaban el material y hacia la necesidad de comprobar los resultados. Debido a esto, se estructuró una metodología iterativa de seis etapas. La metodología retoma principios del Design Thinking, pero incorpora actividades relacionadas con la experimentación científica.

Las seis etapas son:

1. Sensibilización al biomaterial y comprensión de su ciclo de crecimiento.
2. Mapeo de variables y formulación de hipótesis.
3. Experimentación controlada.
4. Prototipado.
5. Evaluación comparativa.
6. Reflexión y documentación.

La **Figura 17** muestra la relación entre estas etapas. La metodología permite regresar de la evaluación a la experimentación cuando los resultados no son los esperados. Esta condición es importante porque el trabajo con organismos vivos presenta variaciones que pueden obligar a modificar el proceso.



Figura 17. Marco de biodiseño en seis etapas

Etapas de la metodología

Sensibilización del biomaterial / ciclo de crecimiento

La primera etapa tiene como objetivo que el estudiante conozca el biomaterial antes de intentar diseñar con él. Para esto, los estudiantes cultivaron kombucha y observaron el desarrollo de la celulosa bacteriana. Este proceso requiere tiempo.

A diferencia de otros materiales disponibles inmediatamente dentro de un taller, la celulosa bacteriana debe crecer antes de ser utilizada. Esto obliga al estudiante a reconocer que el material tiene un ciclo propio. Durante el cultivo también se conocen problemas como contaminación, condiciones de higiene y cambios que pueden aparecer dependiendo del

ambiente. Esta etapa permite desarrollar conocimientos básicos sobre cultivo, pero también genera un primer acercamiento a la responsabilidad de trabajar con organismos vivos.

Competencias: conciencia ambiental, fundamentos de cultivo estéril y ética relacionada con el uso de biomateriales.

Mapeo de variables y formulación de hipótesis

Una vez que los estudiantes conocen el material, comienzan a identificar las variables que pueden modificarlo. Entre ellas se encontraron el espesor, tiempo de secado, pigmentación y técnicas de molienda. El objetivo de esta etapa es que el estudiante deje de modificar el material únicamente para observar qué ocurre y comience a plantear previamente qué espera obtener. Para esto se construyen relaciones entre variables y resultados. Por ejemplo, se puede preguntar si aumentar el espesor modifica la transparencia o si determinado pigmento cambia las características del material. A partir de estas preguntas se formulan hipótesis sencillas que posteriormente pueden comprobarse mediante experimentación.

Competencias: pensamiento crítico, planeación experimental y aplicación de criterios ingenieriles dentro del diseño.

Experimentación controlada

En esta etapa se realizan pequeños ensayos para comprobar las relaciones planteadas anteriormente. Cada equipo produce muestras y registra los cambios observados. Entre las variables que se documentaron estuvieron peso, humedad, espesor y color. También se realizaron comparaciones visuales utilizando diferentes condiciones de iluminación. Esto

permitió relacionar espesor, translucidez, densidad de fibra y comportamiento estructural. Las muestras de 5 mm presentaron redes fibrosas más densas y mayor resistencia, mientras que las muestras de 3 mm permitieron mayor transmisión de luz, aunque presentaron menor rigidez. Esta comparación permitió a los estudiantes observar que una modificación en el cultivo produce consecuencias que posteriormente pueden utilizarse dentro del diseño. También se realizaron tres cultivos paralelos utilizando 200 gramos de SCOBY durante 18 días. Los resultados mostraron variaciones en espesor, peso y dimensiones. Las láminas obtenidas presentaron espesores de 5, 4 y 3 mm y pesos finales de 531, 615 y 643 gramos. Registrar estas diferencias permitió comparar los cultivos y relacionar las condiciones de producción con las propiedades observadas posteriormente. La finalidad de esta etapa es que las decisiones relacionadas con el material no dependan solamente de la intuición. La experimentación permite obtener información que posteriormente puede convertirse en un requerimiento de diseño.

Competencias: metodología científica básica, análisis comparativo y manejo de datos.

Prototipado aplicado

Después de conocer los resultados de la experimentación, los estudiantes utilizan el material dentro de un proyecto. En esta etapa se desarrollaron propuestas como velarias, luminarias y láminas con posibilidades estructurales. También se utilizaron herramientas de fabricación digital como corte láser y diferentes sistemas de moldeado y unión. La diferencia respecto a los ejercicios iniciales es que el prototipo ya no parte únicamente de una intención formal. La información obtenida durante la experimentación permite decidir qué espesor

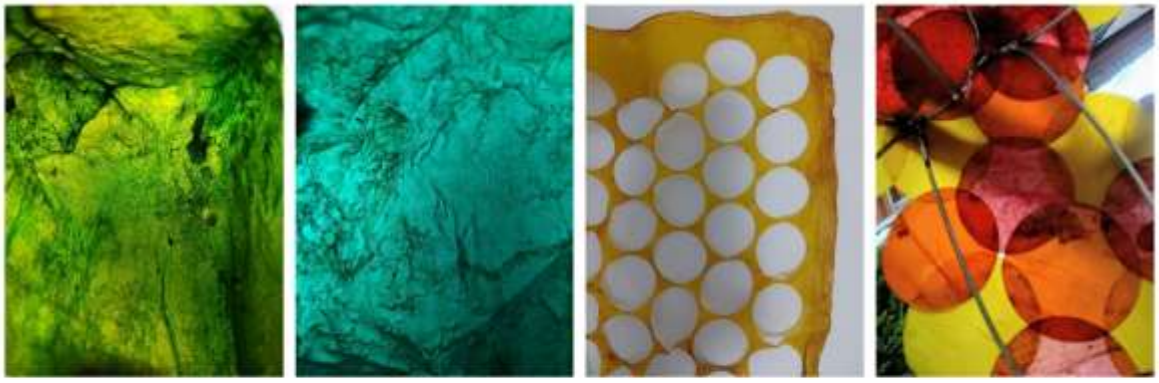
utilizar, qué nivel de transparencia se requiere o qué tratamiento puede ser más adecuado para determinada aplicación.

Competencias: materialización, iteración e integración de herramientas digitales.

Evaluación comparativa

Los prototipos desarrollados se someten posteriormente a evaluación.

Se consideran características estéticas y funcionales como uniformidad, transparencia y resistencia. También pueden incorporarse variables ambientales relacionadas con biodegradabilidad, consumo de agua o energía. Durante esta etapa los estudiantes realizaron análisis de textura, translucidez, variación de color e integridad estructural. Estas observaciones fueron documentadas mediante fotografías y bitácoras. La Figura 18 muestra diferentes resultados obtenidos con celulosa bacteriana: variaciones en la densidad de la fibra, textura, perforaciones realizadas mediante corte láser y aplicaciones dentro de una maqueta. La comparación permite identificar qué condiciones de producción generan las características que posteriormente resultan útiles para el proyecto. Cuando el resultado no cumple con los requerimientos, la metodología permite regresar a la etapa de experimentación y modificar las variables.



Fotografía macro de la densidad y textura de la celulosa bacteriana obtenida

Celulosa bacteriana pintada en contra luz.

Celulosa bacteriana cortada en láser

Celulosa bacteriana aplicada a una maqueta

Figura 18. De la estructura de la fibra a la forma aplicada: evaluación comparativa de la celulosa bacteriana a lo largo de las etapas experimentales

Reflexión y documentación

La última etapa corresponde a la documentación. Cada equipo registra qué hizo, cuáles fueron las variables utilizadas, qué resultados obtuvo, qué problemas aparecieron y qué modificaciones realizó. Esta información puede organizarse dentro de repositorios abiertos como GitBook o Notion. Documentar los errores es tan importante como registrar los resultados favorables. Cuando únicamente se presenta el resultado final, otros estudiantes o investigadores no pueden saber qué ocurrió durante el proceso ni qué condiciones provocaron que alguna prueba no funcionara. En biomateriales esta información adquiere especial importancia porque existen variaciones relacionadas con temperatura, humedad, tiempo de cultivo y contaminación. La documentación permite que experiencias desarrolladas dentro de un curso puedan posteriormente servir como antecedentes para nuevas experimentaciones.

Competencias: comunicación académica, transparencia metodológica y manejo de datos abiertos. La metodología propuesta permite entonces acercar a estudiantes de Diseño y Arquitectura a algunas prácticas utilizadas dentro de la investigación científica. El objetivo no es modificar su formación disciplinar. El objetivo es que puedan desarrollar proyectos de diseño utilizando evidencia obtenida por ellos mismos.

Perspectiva de estudiantes de arquitectura sobre la celulosa bacteriana

Las entrevistas permitieron identificar cómo percibían los estudiantes el material después de utilizarlo. Una de las características mencionadas con mayor frecuencia fue su facilidad de manipulación. Los estudiantes indicaron que la celulosa bacteriana podía cortarse manualmente o mediante láser, doblarse y posteriormente recuperar su forma. Uno de los estudiantes señaló:

> *"Lo que nos gustó es que es muy trabajable… he usado formas complejas y fue fácil hacer cada una de ellas." (Estudiante de arquitectura, UAQ)*
>
> *"La doblé porque no cabía, pero simplemente la desdoblé y parecía que no había pasado nada; eso es una ventaja del material." (Estudiante de arquitectura, UAQ)*

Estas características hicieron que los estudiantes identificaran posibilidades para producir geometrías complejas sin requerir procesos de transformación demasiado complicados. También valoraron que el material pueda degradarse después de cumplir su función. Uno de ellos señaló:

> *"Conocer un material que no necesita desmontarse, sino que el tiempo mismo se encarga de ello, podría ser interesante para aplicarlo en un proyecto." (Estudiante de arquitectura, UAQ)*

Esta observación resulta importante porque muestra que el estudiante comenzó a relacionar las características del material con su disposición final. Sin embargo, también identificaron problemas. Entre los principales se encontraron la necesidad de mantener condiciones higiénicas durante el cultivo, el riesgo de contaminación y el olor a vinagre cuando el material permanece húmedo. Estas características pueden disminuir su aceptación. A pesar de ello, los estudiantes propusieron diferentes aplicaciones, entre ellas maquetas, velarias translúcidas, paneles semejantes a vitrales, pabellones temporales, elementos decorativos y bolsas biodegradables. Esto muestra que las limitaciones del material no necesariamente provocaron su rechazo. Los estudiantes comenzaron a pensar en aplicaciones donde sus características podían convertirse en ventajas.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la celulosa bacteriana funcionó como un medio para acercar a los estudiantes a formas de investigación que normalmente no forman parte de los talleres de diseño. El material obligó a esperar, observar, registrar y comparar. Estas actividades modificaron progresivamente la forma en la que los estudiantes tomaban decisiones. Durante los primeros ejercicios predominó la exploración formal. Conforme avanzaron las experiencias aparecieron preguntas relacionadas con el espesor, transparencia, resistencia y condiciones de producción.

Por esto, el principal aporte no se encuentra solamente en enseñar a utilizar celulosa bacteriana. El biomaterial funcionó como un medio para incorporar investigación científica dentro del proceso de diseño. A pesar de esto, los resultados deben analizarse considerando las limitaciones del estudio. El aumento en la autonomía observado durante los tres periodos puede estar relacionado con diferentes factores. Las cohortes no fueron las mismas y tampoco pertenecieron completamente a la misma disciplina. Además, la experiencia acumulada por la docente pudo modificar la manera en la que se desarrollaron las actividades. Debido a esto, no se puede afirmar que todos los cambios observados sean consecuencia directa de la metodología. Lo que sí puede identificarse son patrones que aparecieron durante el desarrollo del caso.

Sostenibilidad práctica y pensamiento de ciclo de vida

Una de las características valoradas por los estudiantes fue la posibilidad de degradar la celulosa bacteriana después de su uso. Esto permitió que el ciclo de vida del material fuera entendido mediante la propia experiencia. El estudiante cultiva el material, lo transforma, lo utiliza y sabe que posteriormente puede degradarse. Esta secuencia permite observar directamente una situación que normalmente se explica de manera teórica dentro de las materias relacionadas con sostenibilidad. Pensar en el final de vida desde las primeras etapas del proyecto modifica también las decisiones de diseño. Un material que se degrada no necesariamente debe utilizar los mismos sistemas de unión, acabados o procesos que uno diseñado para permanecer durante décadas. Por esta razón, conocer el ciclo de vida del material puede convertirse también en un requerimiento de diseño.

Usabilidad e integración diseño–material

Los estudiantes también señalaron que la celulosa bacteriana es relativamente fácil de manipular. Puede cortarse, doblarse y utilizarse con herramientas de fabricación digital. Esta característica permitió desarrollar diferentes posibilidades formales. La facilidad para transformar un material resulta importante durante los primeros acercamientos, ya que reduce la dificultad técnica y permite que el estudiante concentre parte de su atención en comprender sus características. Sin embargo, esta facilidad no elimina la necesidad de conocer las variables que modifican su comportamiento. Precisamente por esta razón la metodología propone experimentar antes de desarrollar el prototipo final.

Barreras de adopción

La aceptación del biomaterial no fue completa. Los estudiantes también identificaron condiciones que pueden dificultar su uso. Entre ellas se encuentran el tiempo necesario para producirlo, que puede variar entre siete y catorce días, el riesgo de contaminación durante el cultivo y el olor característico. Estas condiciones son importantes porque forman parte del esfuerzo necesario para trabajar con el material.

A pesar de reconocer estas dificultades, los estudiantes no descartaron su utilización. Propusieron alternativas como utilizar láminas previamente secadas o desarrollar tratamientos que permitan reducir el olor. Este hallazgo resulta importante para la investigación porque permite observar que una característica negativa no necesariamente provoca el rechazo de una propuesta. La utilidad que el usuario encuentra en el material puede generar disposición para aceptar algunas de sus limitaciones.

Educación en diseño centrada en el conocimiento

Durante las entrevistas también se propuso incorporar este tipo de materiales desde los primeros semestres de formación. Esto permitiría que el estudiante conociera otras posibilidades materiales antes de desarrollar criterios completamente relacionados con materiales convencionales. La incorporación temprana también podría favorecer una mayor alfabetización material. Conocer un material no debería significar únicamente memorizar sus propiedades. Implica manipularlo, observar cómo responde y comprender qué condiciones modifican su comportamiento. En este caso, el cultivo de celulosa bacteriana permitió que ese conocimiento surgiera mediante la experiencia.

Conclusiones

Los resultados obtenidos durante los tres semestres muestran que es posible incorporar el biodiseño dentro de la formación de estudiantes de Diseño Industrial y Arquitectura mediante una metodología estructurada. La celulosa bacteriana funcionó como un material que permitió relacionar conocimientos científicos con procesos propios del diseño. Su cultivo obligó a los estudiantes a conocer variables biológicas antes de tomar decisiones formales. Posteriormente, la experimentación permitió comparar resultados y utilizar esa información dentro de los prototipos. Esto generó una modificación progresiva en la forma de trabajar con el material. Durante los primeros ejercicios predominó la exploración. Posteriormente los estudiantes comenzaron a formular preguntas, modificar variables y establecer criterios para evaluar sus resultados. Respecto a la primera pregunta de investigación, el trabajo práctico con celulosa bacteriana permitió observar cambios en la manera en la que los estudiantes

estructuraban algunas decisiones de diseño, principalmente relacionadas con formulación de hipótesis, comparación de resultados, evaluación del material y análisis de su ciclo de vida. Respecto a la segunda pregunta, se identificaron seis elementos que pueden incorporarse dentro de una metodología pedagógica de biodiseño: sensibilización al biomaterial, identificación de variables, formulación de hipótesis, experimentación controlada, evaluación comparativa y documentación.

La metodología no pretende sustituir el proceso de diseño, sino proponer una forma de incorporar herramientas experimentales que permitan sustentar algunas decisiones de diseño con información obtenida durante el trabajo con biomateriales. Los resultados observados muestran el potencial de este enfoque para facilitar la articulación entre ciencia y diseño desde etapas tempranas del proyecto, así como para favorecer procesos de análisis, comparación y justificación de decisiones. Sin embargo, estos hallazgos corresponden a un caso específico y no permiten afirmar todavía su aplicación general. Será necesario implementar la propuesta con otros grupos, materiales y contextos para identificar qué componentes pueden mantenerse, cuáles requieren ajustes y bajo qué condiciones este enfoque puede consolidarse como una metodología pedagógica de biodiseño.

Aporte del Capítulo IV

Los resultados obtenidos durante la aplicación de la metodología de biomateriales aportaron directamente a la construcción de las etapas 2 y 3 de la metodología propuesta: Democratización del Proyecto y Medición del Sacrificio y la Conciencia Ambiental. El trabajo con celulosa bacteriana permitió observar que la apropiación de una propuesta no depende

únicamente de su funcionamiento técnico, sino también del aprendizaje necesario para utilizarla, de los recursos requeridos y de la disposición de las personas para asumir ciertas condiciones de uso.

Las entrevistas realizadas a los estudiantes permitieron identificar estos elementos de manera concreta. Sus respuestas mostraron que, antes de diseñar con el biomaterial, fue necesario aprender a cultivarlo, cuidarlo, secarlo y comprender sus posibilidades de aplicación. También permitieron reconocer aspectos que podían generar resistencia, como el olor, sin que ello implicara el rechazo del material. Al mismo tiempo, los participantes señalaron su utilidad, sus posibilidades de aplicación y su disposición para continuar trabajando con él. A partir de estas respuestas se formuló la necesidad de incorporar una etapa de **democratización**, entendida como un espacio previo para conocer, probar, discutir y comprender el proyecto antes de su implementación.

Las mismas entrevistas también dieron origen a la etapa de **Medición del Sacrificio y la Conciencia Ambiental**. El tiempo, el esfuerzo, el espacio, los recursos y la aceptación de determinadas características del material aparecieron como condiciones que podían influir en su apropiación. A partir de este hallazgo, la propuesta metodológica incorpora la necesidad de valorar qué está dispuesto a aportar el usuario frente a los beneficios que reconoce. Esta relación permite identificar situaciones en las que una solución puede ser técnicamente viable, pero difícil de adoptar en condiciones reales.

En conjunto, los dos casos aportan elementos que pueden transferirse a otros proyectos, aunque no todos sus hallazgos son generalizables. Del caso de *thick mapping* se transfiere la necesidad de reconocer actores, redes de apoyo, espacios de aprendizaje y

conocimientos situados antes de formular una intervención. Del caso de biodiseño se transfiere la necesidad de generar procesos de aprendizaje, experimentación, valoración del esfuerzo y retroalimentación antes de considerar una propuesta como apropiable. Estos principios pueden incorporarse en otros proyectos porque se relacionan con condiciones generales de participación, uso y apropiación.

Sin embargo, otros elementos permanecen ligados a las condiciones específicas de cada caso. Las redes de cuidado identificadas entre mujeres, los espacios domésticos donde circulaban los saberes, el olor de la celulosa bacteriana, los tiempos de cultivo y los recursos requeridos para trabajar con el biomaterial corresponden a contextos particulares y no deben trasladarse de manera directa a otros proyectos. Lo que se transfiere, por tanto, no es el contenido específico de cada caso, sino el principio metodológico que permite preguntar por esas condiciones en nuevos contextos.


V
CAPÍTULO 5
Propuesta Metodológica:
Innovación Social y Enfoque Mixto para Proyectos de Ingeniería
Metodología para construir conocimiento situado, diseñar con los territorios y transformar la práctica ingenieril.
Una guía flexible, participativa e iterativa que integra saberes, ciencia y contextos para generar soluciones socialmente deseadas, ambientalmente justas y territorialmente pertinentes.
ENFOQUE MIXTO
La riqueza interpretativa de lo cualitativo
+
La precisión de lo cuantitativo
Integración secuencial para validar la aceptación y la viabilidad real del proyecto.
SABERES SITUADOS
JUSTICIA COGNITIVA
PARTICIPACIÓN
SUSTENTABILIDAD
BIENESTAR COLECTIVO
LAS CINCO ETAPAS DE LA INNOVACIÓN SOCIAL
1
Revisión de literatura y análisis del contexto
Diagnóstico situado a partir de literatura, testimonios y datos digitales. Construcción de mapas de empatía.
2
Democratización del proyecto
Talleres participativos para abrir el proyecto al escrutinio de la comunidad y ajustar requerimientos.
3
Medición del sacrificio y la conciencia ambiental
Cuestionarios para medir disposición, esfuerzo y conciencia ambiental. Prevención del éxito antes de implementar.
4
Implementación en laboratorio y condiciones de campo
Pruebas controladas y réplica con recursos reales. Identificación y adaptación de brechas.
5
Evaluación, retroalimentación y escalabilidad
Validación de satisfacción y percepción de valor para planificar réplica o transferencia.
HERRAMIENTAS PARA UNA INGENIERÍA HUMANA
Mapas de empatía digital
Extracción de sentimientos, necesidades y dolores de los usuarios en foros y redes sociales.
Cuestionarios de disposición
Escalas que desglosan el tiempo y esfuerzo que los usuarios están dispuestos a invertir.
Escalas de percepción de valor
Miden si la comunidad siente que el proyecto es útil y si pueden adaptarlo con sus propios recursos.
PRINCIPIOS QUE GUÍAN LA METODOLOGÍA
Participación activa y co-creación
Conocimiento situado y plural
Justicia cognitiva
Rigor científico con pertinencia social
Iteración y aprendizaje continuo
Diagnosticar con el contexto
Diseñar con las personas
Evaluar para aprender y mejorar
INGENIERÍA PARA LA VIDA
¿CÓMO ESCALAMOS?
Transición desde la validación local hacia la replicación sistémica y territorial.
Validación social y técnica
Documentación abierta
Transferencia de conocimiento
Adaptabilidad y replicación
Impacto territorial y sistémico
CONCLUSIÓN DE LA PROPUESTA
Esta metodología es la respuesta a la necesidad de una ingeniería para la vida. Permite navegar la complejidad social sin perder el rigor científico, asegurando que la tecnología sea, ante todo, socialmente deseada, apropiada y generadora de bienestar colectivo.
Repensar la ingeniería no es sólo cambiar de metodología, es cambiar de mirada y de relación con la vida.

Capítulo V. Propuesta Metodológica: Innovación Social y Enfoque Mixto para Proyectos de Ingeniería

La propuesta metodológica que se presenta en este capítulo surge de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación y de las problemáticas que se identificaron en los casos analizados. No se plantea como una serie de pasos que deban seguirse de forma rígida, ya que las condiciones sociales, ambientales, económicas y territoriales cambian dependiendo del lugar y de las personas que participan en cada proyecto.

Uno de los problemas identificados durante esta investigación fue que una propuesta puede estar correctamente desarrollada desde el aspecto técnico y aun así presentar dificultades cuando se intenta implementar. Esto ocurre porque las condiciones que existen dentro de un laboratorio o de una institución no necesariamente son las mismas que tienen las personas que utilizarán la tecnología.

Debido a esto, la metodología propone incorporar a los usuarios desde las primeras etapas del proyecto. Su participación permite conocer las necesidades, los recursos disponibles, las capacidades existentes y también aquello que las personas están dispuestas a realizar para que una propuesta pueda funcionar.

El investigador continúa teniendo una participación importante debido al conocimiento técnico y científico que aporta al proyecto, pero no es el único que puede generar conocimiento. Los usuarios conocen las condiciones del lugar, los recursos disponibles y las prácticas que realizan diariamente. Esta información resulta necesaria para definir si una propuesta realmente puede implementarse.

Enfoque mixto

La propuesta metodológica adopta un **diseño mixto secuencial exploratorio**, en el que una fase cualitativa precede y orienta una fase cuantitativa. Esta decisión responde al proceso seguido durante la investigación. En una primera fase fue necesario comprender las experiencias, necesidades, prácticas, recursos y condiciones de las personas involucradas en cada contexto. Para ello se recurrió a herramientas cualitativas como entrevistas, observación, talleres, grupos focales y mapeos. La finalidad de esta primera aproximación no es medir variables previamente definidas, sino identificar cuáles resultan relevantes dentro de cada proyecto.

A partir de los hallazgos cualitativos, una segunda fase incorpora herramientas cuantitativas para valorar algunos de los elementos previamente identificados. Entre ellos pueden encontrarse la aceptación de una propuesta, la percepción de valor, la disposición para participar, la conciencia ambiental o el esfuerzo que una persona está dispuesta a realizar para obtener determinado beneficio. De esta manera, la medición no antecede al conocimiento del contexto, sino que se construye a partir de éste.

La relación entre ambos componentes sigue una secuencia cualitativa–cuantitativa, en la que los resultados obtenidos durante la fase cualitativa orientan la definición de las variables o dimensiones que posteriormente serán medidas. Esta lógica responde también a uno de los principales hallazgos de la investigación: una solución técnicamente viable no necesariamente puede implementarse en las mismas condiciones en las que fue desarrollada. Por ello, las herramientas cualitativas y cuantitativas no se plantean como procedimientos independientes.

Las primeras permiten reconocer condiciones que inicialmente pueden no ser visibles para el investigador; las segundas permiten valorar su magnitud, comparar resultados y establecer criterios para la toma de decisiones.

A partir de los diferentes estudios desarrollados durante esta investigación se estructuraron cinco etapas metodológicas. Sin embargo, las cinco etapas no cuentan con el mismo nivel de sustento empírico. Algunas derivan directamente de los casos analizados, mientras que otras fueron formuladas mediante la integración de hallazgos, literatura y necesidades identificadas durante el proceso. Por esta razón, la propuesta debe entenderse como una metodología construida progresivamente a partir de evidencia empírica e inferencias analíticas, y no como un modelo validado integralmente.

Tabla 3. Relación entre los hallazgos de la investigación y las etapas de la propuesta metodológica

Etapa de la metodología	**Origen dentro de la investigación**	**Tipo de sustento**
1. Definición de requerimientos	El análisis del metabolismo social y el estudio de los investigadores mostraron la necesidad de incorporar información territorial, social y comunitaria desde la formulación del problema.	Sustentada por análisis documental y evidencia empírica, aunque la etapa completa no fue validada como procedimiento.
2. Democratización del Proyecto	El thick mapping mostró la importancia de redes, espacios de aprendizaje y transmisión de saberes. El caso de biodiseño mostró la necesidad de conocer, experimentar y aprender antes de apropiarse de una propuesta.	Sustentada empíricamente por ambos casos, con transferencia metodológica inferida hacia otros contextos.

Etapa de la metodología	Origen dentro de la investigación	Tipo de sustento
3. Medición del Sacrificio y la Conciencia Ambiental	En el caso de biodiseño se identificaron tiempo, esfuerzo, espacio, aceptación del material y disposición para continuar participando como condiciones relevantes para su apropiación.	Derivada directamente de evidencia empírica del caso de biodiseño, aunque su aplicación comunitaria requiere validación posterior.
4. Implementación en Laboratorio y Campo	Surge de la diferencia identificada entre las condiciones controladas de desarrollo y las condiciones reales de aplicación.	Inferida a partir de los hallazgos de los casos y de la problemática general de la investigación. No fue evaluada como una etapa completa.
5. Evaluación, Retroalimentación y Escalabilidad	El thick mapping mostró procesos continuos de aprendizaje y ajuste dentro de las redes de cuidado; la innovación social aportó la necesidad de evaluar apropiación, retroalimentación y continuidad.	Sustentada parcialmente por evidencia empírica e inferida mediante integración conceptual. Requiere validación en aplicaciones posteriores.

La distinción entre estos niveles de sustento es importante porque la metodología final integra resultados obtenidos en contextos diferentes. Los casos permitieron identificar mecanismos y condiciones que posteriormente fueron traducidos en principios metodológicos, pero no todas las etapas fueron aplicadas de manera conjunta como parte de un mismo proyecto. En consecuencia, la propuesta no se presenta como una metodología integralmente validada. Su aportación consiste en organizar los hallazgos de la investigación en una estructura susceptible de ser aplicada, evaluada y ajustada en estudios posteriores.

Trazabilidad de las etapas metodológicas

Para hacer explícita la relación entre los hallazgos de la investigación y la estructura de la propuesta, cada etapa se organizó a partir de cuatro componentes: el hallazgo que dio origen a su incorporación, el fundamento teórico o conceptual que orienta su función, las técnicas o instrumentos mediante los cuales puede desarrollarse y el resultado esperado. Esta organización permite distinguir entre el origen empírico de las etapas y la forma en que los hallazgos fueron traducidos en decisiones metodológicas. No implica que todos los instrumentos hayan sido aplicados de manera conjunta durante esta investigación, sino que establece una estructura operativa susceptible de ser evaluada y ajustada en aplicaciones posteriores.

Tabla 4. Trazabilidad de los hallazgos, fundamentos, instrumentos y resultados esperados de la propuesta metodológica

Etapa	Hallazgo de origen	Fundamento teórico o conceptual	Técnica o instrumento	Resultado esperado
1. Definición de requerimientos y análisis del contexto	El análisis del metabolismo social mostró que los proyectos técnicos pueden formularse sin considerar suficientemente los flujos, actores y condiciones del territorio. El estudio de investigadores mostró además una fuerte orientación hacia antecedentes científicos y criterios técnicos, con menor presencia de información comunitaria y territorial.	Metabolismo social, contextualización territorial y diseño mixto secuencial exploratorio. Se parte de que la definición del problema debe incorporar información técnica y social antes de establecer los requerimientos del proyecto.	Revisión de literatura; análisis documental; entrevistas y observación cuando sean necesarias; análisis de testimonios y fuentes digitales; Atlas.ti; mapa de empatía.	Diagnóstico inicial del problema que integre antecedentes técnicos, necesidades, actores, recursos y condiciones territoriales. A partir de éste se establecen los primeros requerimientos del proyecto.
2. Democratización del Proyecto	El thick mapping mostró que los conocimientos y prácticas se transmiten mediante redes, espacios cotidianos e interacción entre personas. El caso de biodiseño mostró que	Conocimiento situado, participación, innovación social y biodiseño. La apropiación no se considera posterior a la solución, sino como un	Talleres reflexivos y participativos; presentación de la propuesta; ejercicios demostrativos; experimentación inicial; diálogo con usuarios;	Identificación de aceptación inicial, dudas, conocimientos previos, recursos disponibles y restricciones. Ajuste de los requerimientos antes de continuar con el desarrollo técnico.

Etapa	Hallazgo de origen	Fundamento teórico o conceptual	Técnica o instrumento	Resultado esperado
	trabajar con una nueva tecnología o biomaterial requiere aprendizaje previo, experimentación y comprensión del proceso antes de su apropiación.	proceso que comienza desde su formulación.	registro de observaciones y necesidades.	
3. Medición del Sacrificio y la Conciencia Ambiental	Durante el caso de biodiseño, los participantes reconocieron beneficios del biomaterial, pero también señalaron condiciones que requerían tiempo, esfuerzo, espacio y aceptación de características poco agradables. Esto mostró que reconocer el valor de una propuesta no equivale necesariamente a estar dispuesto a realizar lo que requiere para funcionar.	Apropiación tecnológica, percepción de valor, participación y relación entre beneficio percibido y sacrificio requerido. La conciencia ambiental se considera junto con las condiciones materiales reales de participación.	Cuestionarios estructurados de disposición; escalas de conciencia ambiental; escalas de percepción de valor; desagregación de actividades requeridas por el proyecto.	Perfil de sacrificio o disposición del usuario y relación con los beneficios percibidos. Criterio para decidir si el proyecto continúa, requiere ajustes o debe regresar a la definición de requerimientos.
4. Implementación en Laboratorio y	Los casos mostraron que las condiciones controladas de investigación no necesariamente	Rigor científico, reproducibilidad, experimentación situada y comparación entre	Protocolos experimentales de laboratorio; prueba de campo; observación;	Comprobación del funcionamiento técnico y contextual de la propuesta. Identificación de brechas relacionadas con

Etapa	Hallazgo de origen	Fundamento teórico o conceptual	Técnica o instrumento	Resultado esperado
Condiciones de Campo	corresponden con los recursos, conocimientos, infraestructura y condiciones ambientales presentes en los espacios donde una propuesta será utilizada.	condiciones controladas y condiciones reales.	registro de variables; comparación de resultados; matriz o registro de brechas entre laboratorio y campo.	materiales, infraestructura, conocimientos, tiempo, recursos o condiciones territoriales y definición de ajustes necesarios.
5. Evaluación, Retroalimentación y Escalabilidad	El thick mapping mostró que las prácticas de cuidado se mantenían mediante aprendizaje, modificación y transmisión continua dentro de redes sociales. Esto permitió reconocer que la implementación no constituye el final del proceso y que los usuarios generan conocimiento durante el uso.	Innovación social, apropiación comunitaria, conocimiento situado y aprendizaje social. Para el análisis de escalabilidad se retoma además la lectura multiescalar del metabolismo social mediante el concepto de holón.	Escalas de satisfacción y percepción de valor; evaluación de apropiación; entrevistas o sesiones de retroalimentación; documentación de modificaciones y problemas; análisis de escalabilidad; análisis micro, meso y macro mediante holones.	Identificación del nivel de satisfacción, valor percibido y apropiación. Retroalimentación del proyecto y decisión sobre ajuste, continuidad, transferencia o escalamiento. Si la apropiación es baja, retorno a la Etapa 1.

Los resultados esperados señalados en la tabla funcionan como criterios de salida para cada etapa y no como resultados comprobados de la metodología completa. Algunas relaciones fueron observadas directamente en los estudios desarrollados durante esta investigación, mientras que otras corresponden a inferencias metodológicas construidas a partir de la integración de los hallazgos. Su función es establecer qué información debería producir cada etapa para permitir la toma de decisiones y la continuidad del proceso. La evaluación conjunta de estas cinco etapas deberá realizarse en aplicaciones posteriores de la metodología.

- Etapa 1. Revisión de Literatura y Análisis del Contexto

La primera etapa tiene como objetivo conocer el problema y las condiciones en las que se pretende desarrollar el proyecto. La revisión de literatura permite identificar qué se ha investigado, cuáles son los avances existentes y qué problemas continúan sin resolverse. Esta revisión no debería limitarse a conocer las tecnologías disponibles. También es necesario observar qué ocurre cuando estas tecnologías intentan aplicarse y por qué algunas propuestas, aun cuando han presentado resultados favorables, no logran llegar a los usuarios. La búsqueda de información puede complementarse con testimonios, videos, foros y redes sociales cuando estos medios aporten información relacionada con la experiencia de los usuarios. El análisis de estas fuentes puede realizarse mediante herramientas como Atlas.ti para identificar problemas, necesidades, opiniones y patrones.

A partir de la información obtenida se propone realizar un mapa de empatía. El objetivo es conocer qué observan los usuarios, qué problemas enfrentan, qué esperan de una posible solución y qué condiciones pueden modificar la forma en que utilizan una tecnología. Esta

primera etapa permite definir los requerimientos del proyecto con base en información técnica, pero también considerando las condiciones del contexto.

Esta etapa se origina en la identificación de una distancia entre la formulación técnica de los proyectos y las condiciones sociales y territoriales de implementación. Se sustenta en el metabolismo social y en la necesidad de contextualización identificada en los capítulos I y II. Mediante revisión documental, análisis de contexto y mapas de empatía, busca producir como resultado un conjunto inicial de requerimientos técnicos, sociales y territoriales.

Etapa 2. Democratización del Proyecto

Una vez identificados los primeros requerimientos, la propuesta debe presentarse a las personas que podrían utilizarla o participar en ella. Esta etapa surge de los resultados obtenidos durante el trabajo con biomateriales. Durante su aplicación se observó que aprender a producir y utilizar un biomaterial requiere una curva de aprendizaje. Las personas deben conocer el proceso de cultivo, los cuidados necesarios, la forma de transformación y las posibles aplicaciones.

Esto permitió identificar que una propuesta no debería desarrollarse completamente para después presentarse a los usuarios. Si las personas van a participar en su elaboración, mantenimiento o uso, es necesario conocer desde las primeras etapas si existe interés y si cuentan con las condiciones para hacerlo. Por esta razón, la democratización del proyecto propone presentar la idea mediante talleres reflexivos o ejercicios participativos. En estos espacios se explica la propuesta, pero también se reciben opiniones, dudas y observaciones.

La finalidad es conocer si la propuesta responde a una necesidad percibida por las personas y qué modificaciones serían necesarias antes de continuar con el desarrollo.

También permite identificar los recursos disponibles dentro de la comunidad. Una tecnología puede requerir determinados materiales, herramientas, espacios o conocimientos que no necesariamente están disponibles. Identificar esto antes de desarrollar completamente el proyecto permite ajustar los requerimientos.

Si durante esta etapa se observa una baja aceptación o que las condiciones necesarias para desarrollar el proyecto no existen, se deberá regresar a la etapa anterior para revisar nuevamente el problema y los requerimientos.

Esta etapa deriva de los hallazgos sobre transmisión de saberes, redes de aprendizaje y curva de aprendizaje del biodiseño. Se sustenta en el conocimiento situado, la participación y la innovación social. Mediante talleres y ejercicios participativos, busca conocer la aceptación inicial, los recursos disponibles y las modificaciones necesarias antes de continuar con el desarrollo.

- Etapa 3. Medición del Sacrificio y Conciencia Ambiental

La tercera etapa surge directamente de uno de los resultados obtenidos durante la aplicación del biomaterial. Durante su evaluación, los participantes identificaron algunas características poco agradables, principalmente relacionadas con el olor. Esto no provocó necesariamente el rechazo del material. Los participantes reconocieron su utilidad y manifestaron disposición para continuar utilizándolo. También indicaron que estaban dispuestos a dedicar tiempo, espacio y esfuerzo para cultivarlo.

Este resultado permitió identificar una variable que no había sido considerada inicialmente: el sacrificio. Para esta investigación, el sacrificio se entiende como aquello que una persona debe aportar, modificar o aceptar para obtener los beneficios de una propuesta.

Este sacrificio puede estar relacionado con el tiempo necesario para realizar una actividad, el esfuerzo físico, el espacio disponible, los recursos económicos, los materiales requeridos o la modificación de una práctica cotidiana. Por ejemplo, una persona puede considerar útil una composta y reconocer sus beneficios ambientales, pero esto no necesariamente significa que esté dispuesta a separar diariamente sus residuos, airearla y dedicar un espacio de su vivienda para mantenerla.

La misma situación puede presentarse en otros proyectos. Separar pañales, cultivar un biomaterial, almacenar residuos o modificar una práctica cotidiana implica diferentes niveles de participación. Por esta razón, no es suficiente preguntar si una persona considera buena o útil una propuesta. También es necesario conocer qué está dispuesta a hacer para que pueda funcionar. Para medir esta variable se propone utilizar cuestionarios estructurados que permitan identificar diferentes niveles de disposición. Las preguntas deberán corresponder a las actividades reales que requiere el proyecto.

Posteriormente, esta información puede compararse con la percepción de los beneficios ambientales, sociales o funcionales de la propuesta. Esta comparación es importante porque una persona puede tener una conciencia ambiental alta y reconocer los beneficios de una tecnología, pero no contar con el tiempo, espacio o recursos necesarios para utilizarla. Por lo tanto, el sacrificio no se plantea como algo necesariamente negativo. Se utiliza como una variable para conocer las condiciones reales que requiere la participación. Si el sacrificio solicitado es mayor que los beneficios percibidos, existe la posibilidad de que el proyecto sea abandonado después de su implementación. En este caso se deberán revisar nuevamente sus requerimientos y buscar alternativas que reduzcan el esfuerzo solicitado.

Por el contrario, si las personas reconocen los beneficios y consideran aceptable aquello que deben aportar, el proyecto puede continuar hacia la siguiente etapa.

Esta etapa surge de la identificación empírica del esfuerzo que los participantes estaban dispuestos a realizar frente a los beneficios percibidos. Mediante cuestionarios de disposición y escalas de percepción, busca valorar la relación entre sacrificio, conciencia ambiental y beneficio esperado.

- Etapa 4. Implementación en Laboratorio y Condiciones de Campo

La cuarta etapa responde a otra problemática identificada durante la investigación: la diferencia que existe entre desarrollar un proyecto dentro del laboratorio y utilizarlo posteriormente en condiciones reales. El laboratorio permite controlar variables y utilizar materiales, herramientas y equipos específicos. Estas condiciones son necesarias para realizar pruebas y conocer el comportamiento de una propuesta. El problema aparece cuando se considera que un resultado favorable dentro del laboratorio es suficiente para demostrar que el proyecto podrá funcionar fuera de éste.

Los usuarios pueden no contar con los mismos equipos, materiales o conocimientos técnicos. Las condiciones ambientales también pueden cambiar y algunos materiales que son fáciles de conseguir dentro de una institución pueden no estar disponibles en el lugar donde se pretende implementar el proyecto. Debido a esto, la metodología propone realizar la implementación en dos momentos. El primero corresponde al laboratorio. En este espacio se controlan las variables necesarias para comprobar el funcionamiento de la propuesta y se identifican las condiciones básicas que requiere. Posteriormente, el mismo proyecto debe

probarse en condiciones de campo utilizando, hasta donde sea posible, los recursos que realmente tienen disponibles los usuarios.

Comparar ambas experiencias permite conocer la diferencia entre el funcionamiento esperado y lo que realmente ocurre durante la implementación. Estas diferencias se consideran brechas. Una brecha puede estar relacionada con la falta de materiales, infraestructura, conocimientos, herramientas, tiempo o recursos económicos. También puede surgir por las características ambientales o territoriales del lugar. Identificarlas permite modificar la propuesta.

El objetivo no es solicitar a la comunidad que reproduzca las condiciones ideales que existían dentro del laboratorio. El proyecto deberá ajustarse, siempre que sea posible, a las condiciones reales en las que será utilizado. Esta etapa permite entonces responder tres preguntas: si la propuesta funciona, bajo qué condiciones funciona y qué necesita para mantenerse. Si durante la implementación se identifica que alguna condición impide su funcionamiento, el proyecto deberá regresar a las etapas anteriores para realizar los cambios necesarios.

El laboratorio continúa siendo necesario para experimentar y controlar variables, pero no debería ser el único lugar donde se determine que una propuesta es viable. La prueba en campo permite conocer si aquello que se desarrolló puede ser reproducido y mantenido por las personas utilizando los recursos disponibles en su contexto.

Esta etapa se deriva de la diferencia identificada entre las condiciones controladas de investigación y las condiciones reales de aplicación. Se sustenta en los principios de

reproducibilidad y experimentación situada. La comparación entre laboratorio y campo busca identificar brechas y establecer los ajustes necesarios para la implementación.

- Etapa 5. Evaluación, Retroalimentación y Escalabilidad

La última etapa se construyó principalmente con los resultados obtenidos en el Capítulo III. Durante ese caso se observó que algunas prácticas relacionadas con el cuidado de los infantes se mantienen y transmiten mediante redes de mujeres que comparten conocimientos y experiencias. La transmisión no dependía únicamente de una persona. Las prácticas eran explicadas, modificadas y aprendidas mediante la interacción con otras integrantes de la comunidad.

También se identificó que parte de este intercambio ocurría dentro de espacios privados de las viviendas que funcionaban como lugares de reunión. Este resultado permitió reconocer que implementar una propuesta no necesariamente significa que el proceso haya terminado. Después de la implementación es necesario conocer qué ocurrió cuando las personas comenzaron a utilizarla.

Por esta razón, en la Etapa 5 se evalúa la satisfacción de los usuarios, la percepción de valor y el nivel de apropiación del proyecto. La evaluación técnica continúa siendo necesaria, pero se incorpora también la experiencia de las personas. Se busca conocer qué dificultades tuvieron, qué elementos funcionaron, cuáles modificaron y qué consideran que debería cambiarse. Esta información permite retroalimentar el proyecto.

Los usuarios pueden generar conocimiento durante el uso de una tecnología. Pueden encontrar formas de utilizarla que no habían sido consideradas durante su desarrollo, modificar procedimientos o identificar problemas que solamente aparecen después de

utilizarla durante cierto tiempo. Esta información deberá reincorporarse al proyecto. La apropiación puede identificarse cuando las personas comprenden la propuesta, pueden utilizarla, realizan modificaciones y son capaces de transmitir a otras personas los conocimientos necesarios para mantenerla.

Esto es importante para la innovación social debido a que una propuesta difícilmente podrá mantenerse si depende permanentemente de la presencia del investigador. Cuando los conocimientos comienzan a circular dentro de la propia comunidad, aumenta la posibilidad de que el proyecto continúe después de la intervención.

Posteriormente puede analizarse su escalabilidad.

Escalar no significa solamente aumentar el tamaño o reproducir exactamente el mismo proyecto en otro sitio. Antes de hacerlo es necesario identificar cuáles de sus características dependen del territorio y cuáles pueden trasladarse.

Las condiciones sociales, ambientales, culturales, económicas y espaciales pueden cambiar considerablemente entre comunidades. Por esta razón, una propuesta que funciona en un lugar no necesariamente puede reproducirse sin modificaciones en otro.

Si durante la evaluación se identifica una baja satisfacción, poca apropiación o una percepción de valor insuficiente, la metodología propone regresar a la Etapa 1.

Esto permite revisar nuevamente los requerimientos y determinar qué necesidad o condición pudo haber sido interpretada de forma incorrecta. Si los resultados son favorables y existe apropiación por parte de los usuarios, entonces puede analizarse la posibilidad de transferir o replicar la propuesta. La metodología termina en esta etapa, pero el proyecto no

necesariamente termina. Los resultados obtenidos durante la evaluación pueden generar nuevos requerimientos y comenzar nuevamente el proceso.

Esta etapa se origina en los procesos de aprendizaje, modificación y transmisión observados en las redes de cuidado. Se sustenta en innovación social, apropiación y aprendizaje situado. Mediante evaluación, retroalimentación y análisis de escalabilidad, busca determinar si la propuesta puede mantenerse, adaptarse o transferirse a otros contextos.

3. Herramientas para una Ingeniería Humana

Para desarrollar las diferentes etapas se proponen tres instrumentos principales.

1. Mapas de Empatía Digital

Los mapas de empatía permiten organizar información relacionada con las necesidades, opiniones, problemas y expectativas de los usuarios. La información puede obtenerse directamente mediante entrevistas y observación, pero también pueden analizarse testimonios disponibles en foros, videos o redes sociales cuando éstos aporten información pertinente para el proyecto. Su finalidad es generar un primer acercamiento a las condiciones de las personas antes de definir completamente la solución.

2. Cuestionarios de Disposición

Los cuestionarios de disposición se utilizan principalmente en la Etapa 3. Su objetivo es desglosar las actividades que requiere una propuesta y conocer cuáles de ellas está dispuesto a realizar el usuario. No se recomienda preguntar únicamente si una persona utilizaría determinada tecnología. Las preguntas deberán especificar el tiempo, esfuerzo, espacio, recursos o modificaciones que implica utilizarla. Esto permite obtener una medición más cercana a las condiciones que tendrá que enfrentar la persona durante la implementación.

Escalas de Percepción de Valor

Para escalar un proyecto primero es necesario demostrar que funciona técnica y socialmente en el contexto en el que fue desarrollado. Una propuesta que obtiene buenos resultados dentro del laboratorio, pero que no puede ser utilizada por las personas, difícilmente podrá mantenerse cuando aumente su escala.

Por esta razón, el escalamiento se analiza después de la implementación y de la evaluación de la percepción de valor.

Ciclo de escalabilidad

La Etapa 5 permite determinar si existen condiciones para transferir o replicar el proyecto.

Antes de escalarlo deberá conocerse el nivel de satisfacción y apropiación alcanzado. También será necesario documentar los procedimientos, problemas, modificaciones y resultados obtenidos.

Documentar los resultados positivos es importante, pero también deben registrarse los errores y las condiciones en las que el proyecto no funcionó.

Esta información permite que otros investigadores o comunidades conozcan las condiciones necesarias para reproducirlo y evita presentar únicamente los resultados favorables.

Cuando el nivel de apropiación es bajo, el proyecto deberá regresar a la definición de requerimientos. Escalar una propuesta que todavía no ha sido aceptada o apropiada puede aumentar el tamaño del problema en lugar de resolverlo.

Escalamiento mediante holones

Desde el metabolismo social, el proyecto también puede analizarse en diferentes niveles mediante el concepto de holón. Un holón puede entenderse como una unidad que funciona como un todo, pero al mismo tiempo forma parte de un sistema mayor.

En el nivel micro pueden analizarse productos, procesos, personas u organizaciones. El nivel meso permite observar la relación entre diferentes proyectos, organizaciones o sistemas locales, como pueden ser distritos o parques industriales.

En el nivel macro se observan relaciones de mayor escala, entre ellas las cadenas de suministro, las instituciones y los flujos que ocurren entre diferentes territorios.

Analizar el proyecto desde estos niveles permite observar qué ocurre cuando una solución deja de funcionar únicamente como un proyecto aislado y comienza a relacionarse con otros sistemas.

Infraestructura para el escalamiento

Una limitación para llevar las investigaciones hacia condiciones reales es la falta de espacios intermedios entre el laboratorio y la implementación. Las plantas piloto y los laboratorios vivientes pueden funcionar como espacios para realizar este tipo de pruebas. En ellos se pueden mantener ciertos controles necesarios para la investigación, pero al mismo tiempo incorporar a usuarios, comunidades, gobiernos locales y otras instituciones. Este tipo de infraestructura permite observar problemas que difícilmente aparecen cuando el proyecto permanece únicamente dentro del laboratorio.

También es necesario revisar los indicadores que se utilizan para evaluar el éxito de una propuesta. La cantidad de publicaciones, la capacidad instalada o la reducción de emisiones son datos importantes, pero no necesariamente indican si las personas pueden

apropiarse de la tecnología o si el conocimiento generado puede mantenerse dentro del territorio. Por esta razón, la evaluación deberá considerar también la participación, transferencia de conocimiento y capacidad de adaptación de las personas involucradas.

Rigor científico y reproducibilidad

Trabajar con usuarios y comunidades no significa disminuir el rigor científico del proyecto. Una propuesta deberá continuar utilizando protocolos, mediciones y métodos que permitan comprobar sus resultados. Esto resulta particularmente importante en proyectos relacionados con biomateriales, donde pequeñas modificaciones en las condiciones de cultivo, procesamiento o almacenamiento pueden modificar considerablemente sus propiedades.

El reto consiste en mantener el rigor necesario para demostrar que una propuesta funciona, pero posteriormente comprobar si esos mismos resultados pueden obtenerse fuera de las condiciones ideales del laboratorio. La reproducibilidad debe analizarse entonces en dos sentidos: que otros investigadores puedan repetir el experimento y que las personas que utilizarán la propuesta puedan reproducir, mantener o adaptar los procesos necesarios dentro de su contexto.

La metodología planteada surge de los problemas y resultados encontrados durante esta investigación. Su estructura responde principalmente a la necesidad de acercar el desarrollo técnico y científico a las condiciones reales donde una propuesta pretende implementarse.

Los cinco pasos permiten revisar el problema, consultar a las personas, medir aquello que están dispuestas a aportar, comparar el funcionamiento dentro y fuera del laboratorio y finalmente evaluar si la propuesta fue apropiada. Uno de los elementos que se incorpora es la

medición del sacrificio. Esta variable permite reconocer que aceptar una propuesta no significa necesariamente estar dispuesto a realizar todo aquello que requiere para funcionar.

También se incorpora la comparación entre laboratorio y campo, debido a que los recursos disponibles en ambos espacios pueden ser muy diferentes. Finalmente, la retroalimentación y la apropiación permiten conocer si el proyecto puede mantenerse sin depender permanentemente de quienes lo desarrollaron. Una propuesta que funciona técnicamente pero que no puede ser reproducida, utilizada o mantenida por las personas continuará teniendo dificultades para llegar a la sociedad.

Por esta razón, la metodología busca que la viabilidad técnica se evalúe junto con las condiciones sociales y territoriales desde las primeras etapas del proyecto. El conocimiento científico continúa siendo indispensable, pero debe encontrarse con el conocimiento que ya existe en los lugares donde se pretende intervenir.

Es precisamente en esa relación donde puede comenzar a reducirse la distancia entre una investigación que obtiene resultados dentro de una institución y una investigación que logra convertirse en una solución utilizada por la sociedad.


CONCLUSIONES
Hacia una Ingeniería Sustentable con Innovación Social
Construir conocimiento situado, desde los territorios y con las personas, para regenerar la vida.
Esta tesis propone una transformación de la práctica ingenieril: del paradigma tecnocrático hacia enfoques participativos, reflexivos y socialmente pertinentes que ponen la vida en el centro.
LO QUE SE APRENDIÓ
La tecnología no es neutra ni universal: es cultural y territorial.
El cuidado y los saberes situados son fuentes legítimas de conocimiento.
La evaluación científica necesita justicia epistémica y criterios contextualizados.
La experimentación con biodiseño abre caminos regenerativos.
La co-creación transforma proyectos en motores de bienestar colectivo.
PARTICIPACIÓN ACTIVA
Comunidades y actores como protagonistas.
TERRITORIOS VIVOS
Comprender el contexto para diseñar soluciones pertinentes y sostenibles.
SABERES DIVERSOS
Diálogo entre conocimientos académicos, locales y ancestrales.
INGENIERÍA SUSTENTABLE CON INNOVACIÓN SOCIAL
Para la vida, con la vida y desde la vida.
INNOVACIÓN REGENERATIVA
Ciencia, diseño y tecnología al servicio de la regeneración ecosistémica.
JUSTICIA COGNITIVA
Reconocer, valorar y legitimar los conocimientos situados.
APORTACIONES DE LA TESIS
Diagnóstico crítico del sistema ingenieril contemporáneo.
Comprensión de las racionalidades de la evaluación científica.
Visibilización de prácticas de cuidado y saberes situados.
Desarrollo y aplicación del biodiseño como camino alternativo.
Propuesta metodológica integral, flexible y situada.
ECOLOGÍAS
TERRITORIOS
DIVERSIDAD
SABERES LOCALES
CUIDADO Y BIENESTAR COLECTIVO
SOLUCIONES CO-DISEÑADAS
DIVERSIDAD Y EQUIDAD
CONSTRUCCIÓN DE FUTUROS POSIBLES
Más que una conclusión, esta tesis es una invitación a imaginar y co-crear otras formas de hacer ingeniería.
TRANSFORMACIÓN
De paradigmas tecnocráticos a enfoques humanos y situados.
CO-CREACIÓN
Conocimiento y soluciones con, desde y para las comunidades.
REGENERACIÓN
De ecosistemas y relaciones sociales para el buen vivir.
APRENDIZAJE
Interdisciplinario, reflexivo y contextual.
DIÁLOGO
Entre conocimientos, culturas y visiones del mundo.
FUTUROS POSIBLES
Para una ingeniería justa, inclusiva y sustentable.

Conclusiones generales

El objetivo general de esta investigación fue diseñar una propuesta metodológica para desarrollar proyectos ingenieriles sustentables basada en el análisis del sistema de significados de los investigadores. A partir de los resultados obtenidos se estructuró una metodología de cinco etapas, en la cual se integran elementos técnicos, sociales y territoriales. Estas etapas corresponden a la definición de requerimientos, la democratización del proyecto, la medición del sacrificio y la conciencia ambiental, la implementación en laboratorio y campo y, finalmente, la evaluación, retroalimentación y escalabilidad.

La metodología no se construyó únicamente a partir de una revisión teórica. Durante la investigación se analizaron diferentes casos que permitieron identificar problemas que aparecen cuando una propuesta técnica intenta implementarse fuera del laboratorio. También se estudió la forma en que los investigadores construyen sus proyectos y los criterios bajo los cuales evalúan sus resultados. Como resultado, se identificó que los investigadores cuentan con herramientas sólidas para desarrollar antecedentes técnicos, realizar experimentación y medir resultados. Sin embargo, aspectos relacionados con territorio, comunidad, participación y apropiación tuvieron menor presencia dentro del sistema de significados analizado. Debido a esto, estas dimensiones fueron incorporadas de manera explícita dentro de la metodología propuesta.

Respecto al primer objetivo específico, se analizaron la colonialidad del saber y las epistemologías críticas latinoamericanas para conocer de qué manera pueden influir en el desarrollo de proyectos ingenieriles sustentables. La revisión permitió identificar que la

construcción de los problemas de investigación también depende del contexto institucional en el que se desarrolla la ciencia. Los criterios de productividad, los sistemas de evaluación, las agendas internacionales y las formas de reconocimiento pueden orientar aquello que los investigadores consideran relevante dentro de sus proyectos.

A partir de este resultado se construyó el concepto de colonialidad de la evaluación. Este concepto permitió analizar cómo los mecanismos utilizados para reconocer y recompensar la investigación pueden favorecer algunos tipos de resultados sobre otros. Lo anterior no significa que los sistemas de evaluación determinen completamente las decisiones de los investigadores. Sin embargo, sí forman parte de las condiciones bajo las cuales se seleccionan problemas, se justifican resultados y se define aquello que se considera impacto.

Respecto al segundo objetivo específico, se caracterizó el sistema de significados de los investigadores mediante entrevistas en profundidad y un análisis fenomenológico. Como resultado, se encontró una mayor presencia de categorías relacionadas con desarrollo tecnológico, productividad científica, industria, perspectiva económica, indicadores y marcos globales de sostenibilidad. Por el contrario, categorías como conocimiento situado, co-creación, necesidades locales, participación comunitaria y justicia ambiental tuvieron menor presencia.

Estos resultados permitieron conocer qué elementos forman parte con mayor frecuencia de la práctica científica de los participantes y cuáles aparecen con menor fuerza. Debido a esto, el análisis no se utilizó para señalar una ausencia de sensibilidad social por parte de los investigadores, sino para identificar qué dimensiones requieren ser incorporadas

de manera más clara cuando se busca desarrollar proyectos con innovación social y pertinencia territorial.

El tercer objetivo específico consistió en diseñar una propuesta metodológica a partir de los significados identificados. Para esto se retomaron tanto las fortalezas como los vacíos encontrados dentro del sistema de significados. Los elementos relacionados con experimentación, desarrollo tecnológico, rigor científico y evaluación de resultados se conservaron dentro de la metodología. Sin embargo, la menor presencia de territorio, comunidad y participación indicó la necesidad de incorporar herramientas para conocer necesidades, recursos, redes, conocimientos locales y condiciones de apropiación.

Debido a esto, la metodología no pretende modificar la forma completa en que los investigadores desarrollan sus proyectos. La propuesta parte de procesos que ya forman parte de su práctica y agrega información que puede ser necesaria para conocer si una solución puede funcionar fuera de las condiciones controladas de investigación.

Contribución teórica

Una de las principales contribuciones teóricas de esta tesis consiste en relacionar tres elementos que durante la investigación aparecieron conectados: los sistemas de evaluación científica, los conocimientos situados y las condiciones de apropiación de una tecnología.

La distancia entre desarrollo científico y aplicación social no puede explicarse únicamente por fallas técnicas o por falta de transferencia tecnológica. Durante la investigación se identificó que esta distancia también puede comenzar desde la forma en que se define un problema, continuar en los criterios mediante los cuales se reconoce la

investigación y hacerse visible cuando una tecnología llega a un contexto donde las condiciones son diferentes a las consideradas durante su desarrollo.

Debido a esto, el concepto de colonialidad de la evaluación permitió analizar la relación entre evaluación, incentivos y práctica científica. Los mecanismos de evaluación establecen criterios de reconocimiento. Estos criterios pueden generar incentivos y, a partir de ellos, algunos resultados científicos tienen mayores posibilidades de ser reconocidos que otros. Esta relación no se plantea como una causa única de la forma en que se desarrolla la investigación, sino como una condición institucional que puede influir en su orientación.

Otro aporte teórico se encuentra en la forma de entender la pertinencia dentro de los proyectos ingenieriles sustentables. Una propuesta no es pertinente únicamente porque funcione técnicamente o porque disminuya determinado impacto ambiental. También es necesario conocer si el problema es reconocido por las personas, si existen recursos para implementar la propuesta, qué beneficios identifican los usuarios y qué están dispuestos a modificar para utilizarla.

Por esta razón, la sustentabilidad no se analiza únicamente desde las características de una tecnología. También se estudia a partir de la relación que esa tecnología establece con las personas y con el territorio donde pretende implementarse.

Contribución metodológica

La principal contribución metodológica de esta tesis es una propuesta integrada por cinco etapas. La finalidad es incorporar información social y territorial dentro del desarrollo de proyectos ingenieriles sin sustituir las herramientas técnicas propias de la ingeniería.

La primera etapa corresponde a la Definición de requerimientos. En esta etapa se amplía la revisión técnica mediante la identificación de actores, necesidades, recursos, prácticas y condiciones del territorio. La segunda etapa corresponde a la Democratización del Proyecto, en la cual las personas conocen la propuesta, pueden opinar sobre ella y experimentan con algunos de sus procesos antes de que el proyecto se encuentre completamente desarrollado.

La tercera etapa corresponde a la Medición del Sacrificio y la Conciencia Ambiental. Esta etapa surge a partir de los resultados obtenidos durante el trabajo con biomateriales. Se identificó que una persona puede reconocer los beneficios de una propuesta y, al mismo tiempo, no estar dispuesta a realizar el esfuerzo necesario para utilizarla. Debido a esto, la metodología incorpora variables como tiempo, espacio, esfuerzo, recursos y modificación de prácticas.

La cuarta etapa corresponde a la Implementación en Laboratorio y Campo. Durante la investigación se identificó que las condiciones de laboratorio no siempre existen cuando una propuesta llega al lugar donde será utilizada. Por esta razón, la metodología propone comparar ambos escenarios y reconocer las diferencias que puedan afectar la implementación.

Finalmente, la quinta etapa corresponde a la Evaluación, Retroalimentación y Escalabilidad. En esta fase se busca conocer la satisfacción, percepción de valor, apropiación y posibilidad de continuidad del proyecto. Los resultados obtenidos en esta etapa pueden llevar a modificar etapas anteriores, debido a esto la metodología se plantea como un proceso iterativo.

Uno de los aportes particulares de la propuesta es el concepto de sacrificio. Este concepto se incorporó porque durante los casos se observó que utilizar una tecnología puede requerir tiempo, esfuerzo, dinero, espacio o cambios en prácticas cotidianas. Debido a esto, no es suficiente preguntar si una persona acepta una propuesta. También es necesario conocer qué está dispuesta a realizar para obtener sus beneficios.

Otro aporte corresponde a la diferencia entre las condiciones controladas y las condiciones reales de implementación. La metodología busca mantener la reproducibilidad científica, pero también conocer si el proyecto puede ser reproducido o mantenido con los recursos disponibles fuera del laboratorio. Esta comparación permite identificar problemas antes de considerar que una solución está lista para ser implementada.

Alcances y limitaciones

Los resultados obtenidos corresponden a estudios realizados en contextos específicos. Debido a esto, los significados identificados no pueden generalizarse al conjunto de los investigadores mexicanos. De igual forma, las redes de cuidado estudiadas no representan a todas las comunidades rurales y los resultados obtenidos con biomateriales no pueden trasladarse directamente a otros usuarios o tecnologías.

El alcance de estos casos fue principalmente analítico. Cada uno permitió observar una parte diferente del problema y, a partir de los resultados, se identificaron elementos que posteriormente fueron incorporados a la metodología.

Otra limitación corresponde al nivel de validación de la propuesta. Las cinco etapas fueron construidas a partir de distintos estudios, pero no fueron aplicadas de manera conjunta

dentro de un mismo proyecto. Algunas etapas cuentan con mayor evidencia empírica y otras fueron construidas a partir de la integración de resultados y fundamentos teóricos.

Por esta razón, la metodología no puede considerarse todavía como un modelo validado integralmente. La propuesta se encuentra sustentada en los hallazgos obtenidos durante la investigación, pero será necesario aplicarla en proyectos posteriores para conocer cómo funcionan las cinco etapas cuando se utilizan de manera conjunta.

También será necesario validar algunos instrumentos. Variables como sacrificio, apropiación, percepción de valor, conciencia ambiental y disposición para participar requieren procedimientos de medición más específicos. Esto permitirá conocer si estas variables pueden utilizarse para comparar proyectos y apoyar la toma de decisiones.

Finalmente, la investigación integró conocimientos provenientes del Diseño Industrial, ingeniería, antropología, estudios de ciencia y tecnología, sustentabilidad y biodiseño. Esta diversidad permitió observar el problema desde diferentes perspectivas. Sin embargo, algunos de los conceptos desarrollados requieren continuar estudiándose desde áreas específicas.

Futuras líneas de investigación

Una primera línea de investigación consiste en aplicar la metodología completa dentro de proyectos ingenieriles reales. Esto permitirá conocer cómo funciona la secuencia de las cinco etapas, qué etapas requieren modificaciones y qué elementos pueden mantenerse cuando cambia el tipo de proyecto o el territorio.

Otra línea consiste en desarrollar instrumentos para medir sacrificio, percepción de valor, apropiación, disposición para participar y conciencia ambiental. Será necesario analizar

la relación entre estas variables y conocer si pueden ayudar a identificar barreras antes de la implementación de una tecnología.

El concepto de colonialidad de la evaluación también deberá continuar estudiándose. Los resultados obtenidos corresponden a un grupo específico de investigadores. Debido a esto, será necesario comparar otras disciplinas, universidades, niveles del SNII y sistemas de evaluación para conocer qué resultados se mantienen y cuáles cambian.

Los saberes situados y las redes de conocimiento representan otra línea de investigación. Durante el estudio del cuidado se observó que la transmisión de conocimiento dependía de confianza, acompañamiento y comunicación. Futuras investigaciones podrían analizar cómo se construyen estas redes en otros contextos y qué posibilidades existen para mantenerlas mediante herramientas digitales.

También será necesario continuar estudiando la relación entre laboratorio y campo. Las plantas piloto, laboratorios vivientes y otros espacios intermedios pueden ayudar a conocer qué sucede con una propuesta cuando se incorporan usuarios, recursos limitados y condiciones reales de implementación.

Finalmente, la metodología puede aplicarse dentro de programas educativos de ingeniería y diseño. Esto permitiría analizar si trabajar con usuarios y territorio desde las primeras etapas modifica la forma en que los estudiantes definen problemas y toman decisiones durante el desarrollo de proyectos.

Reflexión final

Esta tesis comenzó con una pregunta relacionada con la distancia que existe entre aquello que la ciencia puede desarrollar y aquello que finalmente llega a utilizarse dentro de la sociedad.

Durante la investigación se identificó que esta distancia no tiene una sola causa. Puede iniciar desde la forma en que se define un problema, continuar en los sistemas que orientan y evalúan la investigación y hacerse evidente cuando una tecnología llega a un contexto donde las personas no cuentan con los mismos recursos, conocimientos o condiciones consideradas durante su desarrollo.

Debido a esto, la propuesta metodológica busca identificar estas condiciones antes de que el proyecto llegue a la etapa final. Su objetivo no es garantizar que una tecnología tendrá éxito. La intención es generar información que permita conocer con anticipación algunas de las barreras que pueden dificultar su implementación.

La ingeniería continúa necesitando rigor científico, experimentación y conocimiento técnico. Sin embargo, cuando una propuesta pretende ser utilizada por personas o comunidades, también necesita conocer sus recursos, prácticas, conocimientos y limitaciones.

Por esta razón, el núcleo de la propuesta se encuentra en relacionar ambos tipos de conocimiento. El investigador puede demostrar que una solución funciona técnicamente. Las personas y el territorio permiten conocer si esa solución puede utilizarse, mantenerse y tener sentido dentro de un contexto real.

De esta manera, desarrollar una solución sustentable implica responder dos preguntas. La primera es si la propuesta puede funcionar. La segunda es si puede funcionar para las personas que tendrán que utilizarla y bajo las condiciones reales en las que deberá mantenerse.

Referencias

Aboites, H. (1999). *Science and education in Mexico: From the experiment of national capitalism to the crisis of globalization*. *Science as Culture*, 297–327.

Ackermann, R. (2023). *MIT Technology Review*. Retrieved from Design thinking was supposed to fix the world. Where did it go wrong?

Acosta, I. (2021). *Deterioration of scientific work? Literature review with emphasis on Mexican universities*. In L. Ibarra, M. Díaz, P. Roitman, & S. González (Eds.), *Política educativa: Debates, acuerdos y omisiones* (pp. 129–150). Plaza y Valdez.

Aguado, E., & Becerril, A. (2021). Performativity in Mexican science: The SNI evaluation device. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 19–53.

Amaro Rosales, M., & Robles-Belmont, E. (2025). Cambio institucional de la política científica y tecnológica de México (1990–2024). *Revista Mexicana de Sociología, 87*(número especial), 43–68. https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2025.e.63175

Aschner, J., Forero, M., & Sarmiento, A. (2025). Decolonizing creative education in the Global South. *Design Studies*, 1–24.

Auernhammer, J., & Roth, B. (2021). The origin and evolution of Stanford University's design thinking. *Journal of Product Innovation Management*, 623–644.

Auerbach, D., & Clark, B. (2019). Metabolic rift, temporal imperatives and geographical shifts. *International Critical Thought*.

Ávalos, M. L., Alvarado, J. J., Alcaraz, J. V., & Rutiaga, J. G. (2022). The regulatory framework of the hydrogen market in Mexico. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29986–29998.

Backes, J., & Traverso, M. (2022). Life cycle sustainability assessment as a metrics towards SDGs Agenda 2030. *Green and Sustainable Chemistry*, 38.

Bahers, J. B., Barles, S., & Durand, M. (2018). Urban metabolism of intermediate cities. *Journal of Industrial Ecology*, *23*(3), 686–698.

Barati, B., & Karana, E. (2019). Affordances as materials potential. *International Journal of Design*, 105–123.

Barkin, D. (1998). *Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable*. Jus y Centro de Ecología y Desarrollo.

Barkin, D. (2018). *De la protesta a la propuesta*. Siglo XXI Editores.

Bell, F., Chow, D., Vasquez, E., Devendorf, L., & Alistar, M. (2023). Designing interactions with Kombucha SCOBY. *Proceedings of TEI 2023*, 1–5.

Benony, M., & Maudet, N. (2020). From guests and guides to collaborators. *The Design Journal*, 1–18.

Bertalanffy, L. (1968). *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica.

Bogadóttir, R. (2020). Blue Growth and its discontents in the Faroe Islands. *Sustainability Science*, 15, 103–115.

Breinbjerg, A., Rittig, S., & Kamperis, K. (2021). Does the development and use of modern disposable diapers affect bladder control? *Journal of Pediatric Urology*, 17(4), 463–471.

Buira, D., Tovilla, J., Farbes, J., Jones, R., Haley, B., & Gastelum, D. (2021). A whole-economy deep decarbonization pathway for Mexico. *Energy Strategy Reviews*.

Builes, A., Escobar, L., & Rave, L. (2026). Beyond top-down narratives. *Land*, 1–14.

Cabrales, O., & Márquez, F. (2016). El buen vivir y el no consumo como modelos de desarrollo. *Latinoamericana de Bioética*, 17(1), 168–183.

Cabrero, E. (2024). El futuro de la política de ciencia, tecnología e innovación en México. In E. Cabrero & J. Seade (Eds.), *Propuestas y reflexiones sobre el futuro de la política de ciencia, tecnología e innovación en México* (pp. 61–98).

Camacho, A., Martínez, M., & Marcelino, M. (2024). Análisis de indicadores internacionales de sustentabilidad empresarial. In *Traducción de datos duros científicos a incidencia socioambiental en México* (pp. 55–78).

Canal, M., del Callejo, D., & Hernández, G. (2014). Diálogo sobre desarrollo, sociedad sostenible y educación. In *Re-pensando el concepto de desarrollo* (pp. 129–148).

Center for Baby and Adult Hygiene Products. (2017). *Diaper Answer*.

Chan, C. K., Shin, J., & Kinor, S. (2018). Development of tailor-shaped bacterial cellulose textile cultivation techniques. *Clothing and Textiles Research Journal*, 33–44.

Cohen, N., Sicher, E., Merino, I., & Yavuz, S. (2022). Open-source bioreactor enhancing microbial cellulose production. In *Sustainable Design and Manufacturing* (pp. 77–86).

Comisión Europea. (1995). *Libro verde de la innovación*.

CONAHCYT. (2024). *Problemática Pronace Energía y Cambio Climático*.

Conradson, D. (2003). Geographies of care. *Social & Cultural Geography*.

Crespo, J. M., & Vila, D. (2014). Saberes y conocimientos ancestrales. In *Buen conocer – FLOK Society*.

Danies, G., Forero, A., Peralta, A., Naranjo, J. G., & Barón, M. P. (2021). Biodiseño en colegios. *Encuentros Académicos RAD*, 1–14.

Danies, G., Obregón, C., Ojeda, S., & Burbano, A. (2025). Biodesign and plant sciences. *Quantitative Plant Biology*, 1–8.

De la Cuadra, F. (2015). Buen vivir: ¿Una auténtica alternativa post-capitalista? *Polis*, 14(40), 7–19.

Dermott, A. G., & Mora, A. M. (2022). Una aproximación al metabolismo social agrario. *HALAC*, 12(3), 214–254.

Diezmartínez, C. (2021). Clean energy transition in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Dyck, I., Kontos, P., Angus, J., & McKeever, P. (2005). The home as a site for long-term care. *Health & Place*, 173–185.

Engelen-Eigles, D. A. (1991). *The social construction of diapers as a consumer issue*.

Escobar, A. (2007). *La invención del tercer mundo*.

Escobar, A. (2018). *Designs for the pluriverse*. Duke University Press.

Espinosa Valdemar, R. M. (2015). *Evaluación de la biodegradación de pañales desechables usados* (Tesis doctoral).

Espinosa, R. M. (2002). *Estudio comparativo del desarrollo de Pleurotus ostreatus utilizando pañales desechables*.

Fang, K., Xu, A., Wang, S., Jia, X., Liao, Z., Tan, R., & Su, F. (2023). Progress towards sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*.

Fetzel, T., Petridis, P., Noll, D., Singh, S. J., & Fischer-Kowalski, M. (2018). Reaching a socio-ecological tipping point. *Land Use Policy*.

Fia, M., Ghasemzadeh, K., & Paletta, A. (2023). Higher education institutions and the 2030 Agenda. *Higher Education Policy*, 36, 599–632.

Flores, L. F., & Person, A. (2026). Guayusadas and thick mapping. *CoDesign*, 1–29.

Foladori, G. (2005). Una tipología del pensamiento ambientalista. In G. Foladori & N. Pierri (Eds.), *¿Sustentabilidad?*

Foladori, G., & Pierri, N. (2005). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*.

Formosa, D. (2025). Design education is too important to be left to designers. *Design Studies*.

Fuente, M. E., Barkin, D., & Clark, R. (2019). Governance from below and environmental justice. *Ecological Economics*, 160, 52–61.

Gabriel, A., Madelrieux, S., & Lescoat, P. (2020). A review of socio-economic metabolism representations. *Ecological Economics*, 178.

Gardelle, L. (2025). Sustainability in engineering education in Europe. *European Journal of Engineering Education*, 1–28.

Goidea, A., Floudas, D., & Andréen, D. (2022). Transcalar Design. *Infrastructures*.

González de Molina, M., & Toledo, V. (2014). Environmental history as sustainability science. In *The Social Metabolism* (pp. 9–38).

Gudynas, E. (2010). Imágenes, ideas y conceptos sobre la naturaleza en América Latina.

Gudynas, E. (2011). Más allá del nuevo extractivismo. In *El desarrollo en cuestión* (pp. 379–410).

Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., & Mayer, A. (2020). Spaceship earth's odyssey to a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 163.

Haberl, H., Wiedenhofer, D., Pauliuk, S., Krausmann, F., Müller, & Fischer, M. (2019). Contributions of sociometabolic research to sustainability science. *Nature Sustainability*, 2, 173–184.

Harding, S. (2018). Latin American decolonial philosophies of science. *Studies in History and Philosophy of Science*.

Held, M. (2023). Decolonizing science. *Journal of MultiDisciplinary Evaluation*, 88–103.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Hidalgo Capitán, A. L., García Álvarez, S., Cubillo Guevara, A. P., & Medina Carranco, N. (2019). Los objetivos del Buen Vivir. *Iberoamerican Journal of Development Studies*, 8(1), 6–57.

Husserl, E. (1982). *La idea de la fenomenología*. Fondo de Cultura Económica.

INEGI. (2025). *México en cifras*.

Infante, J., González de Molina, M., & Toledo, V. M. (2017). El metabolismo social. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 27, 130–152.

Karp, J. M., Friis, E. A., Dee, K. C., & Winet, H. (2004). Opinions and trends in biomaterials education. *Journal of Biomedical Materials Research*.

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*.

Kreimer, P., & Vessuri, H. (2017). Latin American science, technology, and society. *Tapuya*.

Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental: La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI.

Leff, E. (2010). Imaginarios sociales y sustentabilidad. *Cultura y Representaciones Sociales*, 5(9), 42–122.

Leff, E. (2012). Latin American environmental thinking. *Environmental Ethics*, 34(4), 431–450.

Lim, M., Søgaard Jørgensen, P., & Wyborn, C. (2018). Reframing the SDGs in the Anthropocene. *Ecology and Society*, 23(3), 22.

Marnie, J., Ead, A., Rowe, A., Miller, J., & Carey, J. (2022). Design at scale in a first-year engineering course. *International Journal of Engineering Education*, 14–24.

Martín, A., Aguayo, F., & Luque, A. (2019). A holonic framework for managing the sustainable supply chain. *Resources, Conservation & Recycling*, 141, 219–232.

Max-Neef, M. (1998). *Desarrollo a escala humana*. Icaria.

McQuillan, H., & Karana, E. (2025). Multimorphic material thinking for sustainable HCI. *Interactions*, 28–33.

Mignolo, W. (2003a). *Historias locales/diseños globales*. Akal.

Mignolo, W. (2003b). Una mirada otra, un mundo otro. *Convergencia*, 10(33), 299–315.

Mulder, K., Segalàs, J., & Ferrer-Balas, D. (2012). How to educate engineers for sustainable development. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(3), 211–218.

Naz, S., Mustafa, A., Bhat, R., et al. (2022). Toxicity caused by diapers and pads. *BioScientific Review*, 1–17.

Nell, C., Schenck, C., Joubert, J., Chitaka, T., & Wit, M. (2024). Disposable diaper usage in rural areas. *Environmental Challenges*, 16.

ONU. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo*.

Padró, R., La Rota, M. J., Giocoli, A., et al. (2020). Assessing the sustainability of contrasting land-use scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 203.

Pánek, J. (2016). From mental maps to GeoParticipation. *The Cartographic Journal*, 2–9.

Paredes, M. M., Guanga, E. R., Orozco, E. G., & Vargas, V. M. (2023). Sumak Kawsay y sostenibilidad energética. *Polo del Conocimiento*, 896–909.

Parson, D. (1998). Fordism in Mexico. *Science as Culture*, 413–417.

Patočka, J. (2004). *Introducción a la fenomenología* (A. Serrano de Haro, Trad.). Herder.

Pedgley, O., Rognoli, V., & Karana, E. (2021). Expanding territories of materials and design. In *Materials Experience 2* (pp. 1–12). Elsevier.

Perez, A., Hill, D., & Parker, R. (2024). Latin America at the margins? *Global Public Health*.

Plotka, J., Makoś, P., Kurowska, A., et al. (2022). End-of-life management of single-use baby diapers. *Science of the Total Environment*, 836.

Pollini, B. (2024). From biodesigners to designers in lab. *Research Directions: Biotechnology Design*, 1–12.

Pollini, B., & Jiménez, J. (2022). Teaching sustainability through materials. In *Education for Sustainability* (pp. 125–151).

Presner, T., Shepard, D., & Kawano, Y. (2014). The humanities in the digital humanities. In *Hypercities Thick Mapping in the Digital Humanities* (pp. 22–66).

Puente, C., Fabra, M., Manson, C., et al. (2021). Role of universities as drivers of social innovation. *Sustainability*, 13(13727).

Ribul, M., Goldsworthy, K., & Collet, C. (2021). Material-Driven Textile Design. *Sustainability*.

Roussel, V., Haute, L., Dhulster, P., & Teyssier, M. (2023). Process, fabrication and design with kombucha bacteria cellulose. *ISEA 2023*, 623–631.

Rowe, A. (2025). A necessary shift in design education. *International Journal of Art & Design Education*.

Savini, F. (2023). Futures of the social metabolism. *Futures*, 150.

Schaathun, H. G. (2025). On the common core of science and design. *Design Studies*, 1–23.

Schenck, C., Chitaka, T., Tyrell, H., & Couvert, A. (2023). Disposable diaper usage and disposal practices. *Sustainability*, 1–19.

Serrano, A., Utrilla, B., Gutiérrez, C., & Papadaki, P. (2026). Engineering projects addressed from the social metabolism perspective. *Sustainable Development*, 1–13.

Shiva, V., & Mies, M. (1997). *Ecofeminismo*. Icaria.

Sosa, E. (2009). La otredad. *Letras*, 51(80).

Sotelo Navarro, P. X. (2017). *Producción de bio H2 por fermentación oscura a partir de pañales desechables usados*.

Sotelo Navarro, P. X., & Poggi Varaldo, H. M. (2021). Hydrogen from dark fermentation of waste diapers. *Frontiers in Energy Research*, 9.

Stake, R. E. (1999). *Investigación con estudio de casos*. Morata.

Svampa, M., Acosta, A., Viale, E., et al. (2022). Transiciones justas para América Latina. *Ecología Política*, 61–70.

Teixeira, C. (2010). The entrepreneurial design curriculum. *Design Studies*, 411–418.

Tetreault, D. (2022). Two sides of the same coin. *Environment, Development and Sustainability, 24*, 14163–14183.

Toledo, V. (2008). Metabolismos rurales. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7, 1–26.

Toledo, V. (2013). El metabolismo social. *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad*, 34(136), 41–71.

Tornel, C. A. (2023). *Decolonizing energy transitions*. Durham University.

Velasco, P., Bauwens, T., & Calisto, M. (2022). Challenging dominant sustainability worldviews. *World Development*.

Villamor, G., Kliskey, A., Griffith, D., et al. (2019). Landscape social-metabolism in food-energy-water systems. *Science of the Total Environment*.

Villanueva, G., Juarez, C., Cuya, C., Mamani, E., & Esquicha, J. (2024). Enhancing social innovation through design thinking. *Sustainability*, 16(10471).

Vuylsteke, B., Detand, J., & Ostuzzi, F. (2025). The utopian biodesigner. *SDM2025 Conference Proceedings*.

Walker, J., Barrera, A., Perez, M., et al. (2024). Biodesign: A frame for biomaking to learn. *FabLearn Proceedings*.

Walsh, C. (2005). Interculturalidad, conocimientos y decolonialidad. *Signo y Pensamiento*, 24(46), 39–50.

Wei, S., Chou, W., & Chen, L. (2025). SnakeyNetwork. *MethodsX*.

Whiting, K., Carmona, L. G., & Carrasco, A. (2022). The resource service cascade. *Environmental Development*, 41.

Williams, N., & Collet, C. (2021). Biodesign and the allure of grow-made textiles. *Geographies of Fashion and Style Forum*, 345–357.

Wionczeck, M., & Leal, L. (2011). Hacia la racionalización de la transferencia de tecnología en México. In *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia* (pp. 289–308).

Yen Lee, A., & Chee Tan, S. (2017). Understanding idea flow. *Research and Practice*, 12–29.

Yousefi, M., Darvishi, A., Tello, E., et al. (2021). Comparison of two biophysical indicators. *Ecological Indicators*, 124.

Zhang, Y., Sun, D.-W., & Xu, L. (2025). Bacterial cellulose-driven sustainable food packaging innovations. *Trends in Food Science & Technology*.