

FRONTERAS DEL **CONOCIMIENTO** Y TRANSFORMACIÓN DE LOS **PARADIGMAS CIENTÍFICOS**

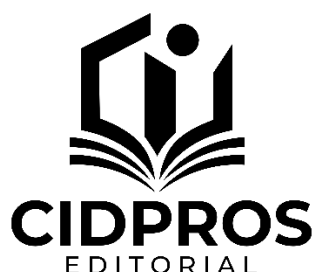


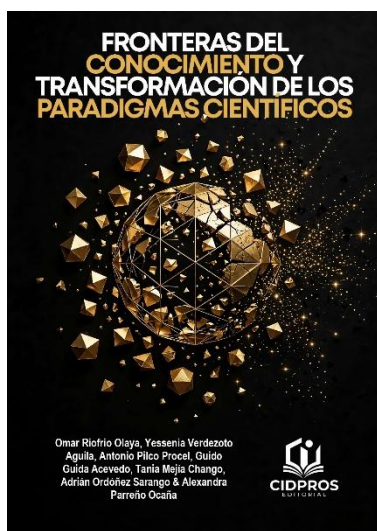
Omar Riofrio Olaya, Yessenia Verdezoto
Aguila, Antonio Pilco Procel, Guido
Guida Acevedo, Tania Mejía Chango,
Adrián Ordóñez Sarango & Alexandra
Parreño Ocaña


CIDPROS
EDITORIAL

Fronteras del conocimiento y transformación de los paradigmas científicos

Omar Anibal Riofrio Olaya, Yessenia Jazmin
Verdezoto Aguila, Antonio Asdrubal Pilco Procel,
Guido Nino Guida Acevedo, Tania Fernanda Mejía
Chango, Adrián Enrique Ordóñez Sarango & Alexandra
Maritza Parreño Ocaña





Datos bibliográficos

ISBN	978-9907-848-04-5
Título del libro	Fronteras del conocimiento y transformación de los paradigmas científicos
Autores	Omar Anibal Riofrio Olaya Yessenia Jazmin Verdezoto Aguila Antonio Asdrubal Pilco Procel Guido Nino Guida Acevedo Tania Fernanda Mejía Chango Adrián Enrique Ordóñez Sarango Alexandra Maritza Parreño Ocaña
Editorial	CIDPROS EDITORIAL
Materia	001.4 - Investigación
Público objetivo	Profesional / académico
Año	2026
Número de edición	1
Tamaño	3,45Mb
Soporte	Libro digital descargable
Formato	PDF (.pdf)
Idioma	Español
DOI	https://doi.org/10.70577/q9m9cn33
	Hecho en Ecuador / Made in Ecuador

AUTORES

Omar Anibal Riofrio Olaya

Investigador Independiente

omarriofoolaya@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-0457-6459>

Milagro, Guayas, Ecuador

Yessenia Jazmin Verdezoto Aguila

Investigador Independiente

vyessenea@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-9147-360X>

Montalvo, Los Ríos, Ecuador

Antonio Asdrubal Pilco Procel

Investigador Independiente

apilcoprocel88@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-9608-2371>

Riobamba, Chimborazo, Ecuador

Guido Nino Guida Acevedo

Investigador Independiente

gnguida@pucesd.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3721-9618>

Santo Domingo de los Colorados, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador

Tania Fernanda Mejía Chango

Investigador Independiente

ainatref@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-7819-5936>

Quito, Pichincha, Ecuador

Adrián Enrique Ordóñez Sarango

Investigador Independiente

adenorsa2488@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-3419-5570>

Machala, El Oro, Ecuador

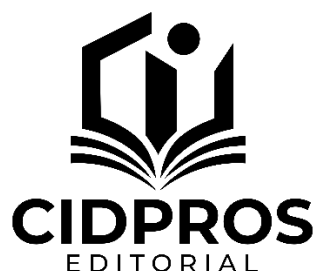
Alexandra Maritza Parreño Ocaña

Investigador Independiente

alexandraparreno@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-1189-6867>

Riobamba, Chimborazo, Ecuador



El contenido y las ideas expuestas en esta obra se encuentran protegidos por la normativa vigente en materia de propiedad intelectual y constituyen derechos exclusivos de su(s) autor(es).

Derechos de Autor © 2026

Este documento se publica bajo los términos y condiciones de la licencia:



Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Usted es libre de compartir y adaptar el material, siempre que otorgue el crédito correspondiente, no lo utilice con fines comerciales y distribuya sus contribuciones bajo la misma licencia.

Para ver una copia de esta licencia, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Sinopsis

Este libro examina las transformaciones que están redefiniendo las fronteras del conocimiento y los paradigmas científicos en el contexto contemporáneo. A lo largo de siete capítulos se analizan la evolución de los límites disciplinares, los procesos de cambio conceptual, la reconfiguración de las disciplinas, la complejidad de los nuevos objetos de estudio y el impacto de las tecnologías digitales en la investigación. También se abordan la interdisciplinariedad, la transdisciplinariedad, la emergencia de campos híbridos, el análisis de sistemas complejos, la simulación computacional, la inteligencia artificial y la automatización del descubrimiento científico. La obra examina además las nuevas dinámicas de producción del conocimiento, caracterizadas por la colaboración, las redes científicas, la ciencia abierta, las infraestructuras compartidas y la producción colectiva. Finalmente, se reflexiona sobre la convergencia entre ciencias naturales, sociales y tecnológicas, la diversidad epistemológica, la revisión de los criterios tradicionales de explicación y la transformación de las agendas científicas. En conjunto, el libro propone una lectura crítica de la ciencia actual como un sistema dinámico, plural y conectado, cuyas fronteras se modifican continuamente ante nuevos problemas, herramientas, formas de organización y criterios de validación del conocimiento. Permite comprender estas transformaciones sin perder de vista las exigencias de rigor científico contemporáneo.

Palabras clave: fronteras del conocimiento; paradigmas científicos; interdisciplinariedad; complejidad; transformación científica.

Synopsis

This book examines the transformations redefining the boundaries of knowledge and scientific paradigms in the contemporary context. Across seven chapters, it analyzes the evolution of disciplinary boundaries, processes of conceptual change, the reconfiguration of scientific disciplines, the complexity of emerging objects of study, and the impact of digital technologies on research. It also addresses interdisciplinarity, transdisciplinarity, the emergence of hybrid fields, complex systems, computational simulation, artificial intelligence, and the automation of scientific discovery. The book further explores new dynamics of knowledge production characterized by collaboration, scientific networks, open science, shared research infrastructures, and collective knowledge creation. Finally, it discusses convergence among natural, social, and technological sciences, epistemological diversity, the revision of traditional criteria of scientific explanation, and the transformation of research agendas. Overall, the book presents a critical interpretation of contemporary science as a dynamic, plural, and interconnected system whose boundaries are continuously reshaped by emerging problems, technologies, organizational structures, and changing criteria for validating knowledge. This perspective makes it possible to understand current scientific transformations without overlooking the requirements of methodological rigor, critical evaluation, and epistemological coherence that continue to sustain reliable knowledge production.

Keywords: knowledge frontiers; scientific paradigms; interdisciplinarity; complexity; scientific transformation.

Índice de Contenido

Sinopsis	7
Synopsis	8
Introducción	11
Capítulo 1. Fundamentos de las fronteras del conocimiento	14
1.1 Concepto y evolución de las fronteras del conocimiento.....	15
1.2 Límites disciplinares en la producción científica.....	18
1.3 Expansión de los campos de investigación contemporáneos	21
1.4 Problemas científicos situados en zonas de frontera.....	25
1.5 Construcción de nuevos objetos de conocimiento	28
Capítulo 2. Paradigmas científicos y cambio conceptual	32
2.1 Naturaleza y función de los paradigmas científicos.....	33
2.2 Crisis de los marcos explicativos tradicionales.....	36
2.3 Rupturas conceptuales en el desarrollo de la ciencia	39
2.4 Transiciones entre modelos de explicación científica.....	43
2.5 Continuidad y discontinuidad en el cambio científico	46
Capítulo 3. Transformación de las disciplinas científicas	50
3.1 Especialización y fragmentación del conocimiento	50
3.2 Reconfiguración de los límites entre disciplinas.....	53
3.3 Interdisciplinariedad como estrategia de investigación	56
3.4 Transdisciplinariedad ante problemas complejos	60
3.5 Emergencia de campos científicos híbridos	63
Capítulo 4. Complejidad y nuevos objetos de conocimiento.....	67
4.1 Complejidad como problema epistemológico.....	68
4.2 Sistemas complejos y relaciones multicausales	70
4.3 Fenómenos emergentes en la investigación científica	73
4.4 Escalas de análisis y niveles de organización	77
4.5 Nuevas formas de representar fenómenos complejos	80

Capítulo 5. Tecnología y ampliación de las fronteras científicas	84
5.1 Tecnologías digitales y transformación de la investigación.....	85
5.2 Grandes volúmenes de datos como fuente de conocimiento.....	88
5.3 Simulación computacional y experimentación científica.....	91
5.4 Inteligencia artificial en la exploración de nuevos problemas	95
5.5 Automatización y transformación del descubrimiento científico	98
Capítulo 6. Nuevas dinámicas de producción del conocimiento	102
6.1 Investigación colaborativa y conocimiento distribuido	103
6.2 Redes científicas y circulación de saberes	106
6.3 Ciencia abierta y acceso al conocimiento	109
6.4 Infraestructuras científicas para la investigación contemporánea.....	112
6.5 Producción colectiva del conocimiento científico	115
Capítulo 7. Capítulo 7. Nuevos horizontes de los paradigmas científicos.....	119
7.1 Convergencia entre ciencias naturales, sociales y tecnológicas.....	120
7.2 Revisión de los criterios tradicionales de explicación científica.....	122
7.3 Diversidad epistemológica en la ciencia contemporánea.....	125
7.4 Problemas emergentes y transformación de agendas científicas	129
7.5 Nuevas configuraciones del conocimiento científico.....	132
Conclusión	136
Bibliografía	139

Introducción

La investigación científica contemporánea se desarrolla en un escenario caracterizado por la ampliación constante de los problemas de estudio, la interacción entre disciplinas y la incorporación de nuevas tecnologías. Las fronteras del conocimiento ya no pueden entenderse únicamente como límites definidos entre campos especializados, porque muchos fenómenos requieren conexiones entre conceptos, métodos y niveles de análisis distintos. Esta transformación obliga a revisar cómo se construyen los objetos científicos, cómo se organizan las comunidades de investigación y qué criterios se utilizan para explicar procesos cuya complejidad excede los marcos disciplinares tradicionales.

Las fronteras del conocimiento tienen un carácter histórico y dinámico. Cambian cuando aparecen nuevos problemas, se desarrollan métodos diferentes o se establecen relaciones entre áreas que antes operaban de manera independiente. La expansión científica no ocurre solamente por acumulación de resultados, sino también por reorganización conceptual, surgimiento de campos híbridos y revisión de categorías que dejan de ser suficientes. Este desplazamiento permite comprender que los límites del conocimiento son provisionales y que su transformación depende de las capacidades de la ciencia para formular nuevas preguntas y construir marcos adecuados para responderlas.

Los paradigmas científicos ocupan un lugar central dentro de esta dinámica porque organizan conceptos, problemas, métodos y criterios compartidos por determinadas comunidades. Su estabilidad permite desarrollar investigaciones acumulativas, pero también puede generar tensiones cuando las explicaciones disponibles dejan de responder adecuadamente a nuevas evidencias o problemas. Las crisis conceptuales, las rupturas y las transiciones entre modelos muestran que el cambio científico combina continuidad y discontinuidad. Algunos elementos se conservan, mientras otros se modifican profundamente, dando lugar a nuevas formas de interpretar fenómenos y reorganizar las prácticas de investigación.

La transformación de las disciplinas constituye otra dimensión relevante del cambio científico. La especialización ha permitido alcanzar niveles elevados de precisión y profundidad, pero también ha favorecido una fragmentación que puede limitar el estudio de problemas multidimensionales. Frente a esta situación, la interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad ofrecen estrategias para articular conocimientos distintos sin eliminar necesariamente la identidad de los campos participantes. Estas formas de integración permiten reconfigurar

fronteras disciplinares, construir objetos compartidos y generar nuevas comunidades alrededor de problemas que no pueden abordarse adecuadamente desde una sola perspectiva.

La complejidad introduce desafíos adicionales para la producción científica. Los sistemas complejos presentan múltiples componentes, relaciones no lineales, retroalimentaciones y propiedades emergentes que dificultan su explicación mediante modelos causales simples. Su estudio requiere considerar distintos niveles de organización y escalas de análisis, así como establecer relaciones entre procesos locales y patrones globales. Esta perspectiva cuestiona explicaciones excesivamente reduccionistas y favorece representaciones capaces de conservar la estructura relacional de los fenómenos sin convertir la complejidad en una categoría imprecisa o carente de contenido analítico.

La representación científica también ha cambiado como consecuencia de estas exigencias. Los modelos idealizados, las redes, las simulaciones y las representaciones multinivel permiten analizar fenómenos que difícilmente pueden estudiarse mediante esquemas lineales. Estas herramientas no reproducen la realidad de manera completa, sino que seleccionan variables, relaciones y niveles considerados relevantes para una pregunta específica. Su valor depende de la claridad de los supuestos utilizados y de la capacidad para justificar qué dimensiones conserva cada modelo. La representación se convierte así en una parte activa de la construcción del conocimiento y no en una simple descripción de resultados.

Las tecnologías digitales han ampliado de manera significativa las capacidades de investigación. El procesamiento de grandes volúmenes de datos, la simulación computacional, la inteligencia artificial y la automatización experimental permiten explorar espacios de posibilidades antes difíciles de abordar. Estas herramientas modifican la forma de recopilar información, identificar patrones, ejecutar experimentos y seleccionar nuevas líneas de análisis. Sin embargo, su incorporación también exige controles metodológicos, verificación de resultados y trazabilidad, porque la velocidad de procesamiento o la automatización no sustituyen los criterios necesarios para determinar la validez científica de una conclusión.

La producción del conocimiento se ha vuelto, además, cada vez más colaborativa y distribuida. Redes internacionales, infraestructuras compartidas, repositorios digitales y prácticas de ciencia abierta permiten conectar investigadores, instituciones y recursos situados en lugares diferentes. Esta organización amplía las posibilidades de cooperación, pero también plantea desafíos relacionados con acceso, coordinación, interoperabilidad y reconocimiento de contribuciones. La ciencia contemporánea depende en gran medida de estructuras capaces de

integrar capacidades dispersas y convertirlas en procesos colectivos de investigación sostenidos en el tiempo.

La apertura del conocimiento introduce otra transformación en la relación entre investigación y comunicación científica. Publicaciones, datos, métodos, protocolos y códigos pueden convertirse en recursos reutilizables por comunidades más amplias cuando existen condiciones adecuadas de acceso y documentación. Esta apertura favorece la verificación, la circulación y la producción acumulativa, aunque no elimina desigualdades institucionales ni garantiza por sí misma una participación equitativa. La consolidación de estas prácticas requiere infraestructuras estables y criterios que permitan preservar contexto, procedencia y calidad en los productos compartidos.

En este marco, los nuevos horizontes de los paradigmas científicos se configuran mediante procesos de convergencia, pluralidad epistemológica y transformación de agendas. Las ciencias naturales, sociales y tecnológicas establecen relaciones cada vez más frecuentes alrededor de problemas emergentes que exigen integrar escalas, métodos y formas de explicación diferentes. Esta reorganización no implica la desaparición de las disciplinas, sino una modificación de sus fronteras y de sus modos de interacción. El estudio de estas transformaciones permite comprender cómo la ciencia contemporánea redefine sus objetos, sus criterios explicativos y sus formas de producir conocimiento ante problemas cada vez más complejos.

Capítulo 1.

Fundamentos de las fronteras del conocimiento

Omar Anibal Riofrio Olaya



1.1 Concepto y evolución de las fronteras del conocimiento

Las fronteras del conocimiento pueden entenderse como zonas en las que los marcos disponibles dejan de explicar de manera suficiente determinados fenómenos y obligan a ampliar preguntas, conceptos y métodos. No constituyen límites fijos ni líneas claramente delimitadas, porque cambian conforme se modifican los problemas de investigación y las relaciones entre campos científicos. Su evolución está vinculada con la necesidad de integrar conocimientos que antes permanecían separados y con la aparición de problemas cuya comprensión exige combinar saberes científicos y no científicos. Desde esta perspectiva, las fronteras expresan espacios dinámicos de producción y reorganización del conocimiento (Lawrence et al., 2022).

La idea de frontera también permite observar que el conocimiento científico se organiza históricamente mediante divisiones disciplinares que facilitan la especialización, pero pueden restringir la comprensión de fenómenos que atraviesan varias áreas. Cuando un problema desborda el alcance de una disciplina, la investigación puede desplazarse hacia espacios de interacción en los que se confrontan conceptos, métodos y criterios explicativos diferentes. En esos espacios, la frontera deja de representar únicamente una separación y adquiere una función productiva, porque favorece nuevas articulaciones entre conocimientos previamente diferenciados y modifica la manera en que se delimitan los objetos de investigación (Castro, 2024).

La evolución de las fronteras científicas puede observarse en la formación de campos interdisciplinarios que aparecen en las intersecciones de disciplinas previamente establecidas. Áreas como la bioinformática, la biología sintética o las ciencias del cerebro muestran que un nuevo campo no surge necesariamente mediante la sustitución de una disciplina anterior. Puede desarrollarse mediante procesos de convergencia en los que conocimientos, métodos y problemas provenientes de distintos ámbitos se recombinan gradualmente. Estas trayectorias indican que las fronteras del conocimiento se transforman cuando las interacciones interdisciplinarias alcanzan suficiente continuidad para generar estructuras científicas diferenciadas y reconocibles (Baaden et al., 2024).

Las fronteras del conocimiento también poseen una dimensión epistemológica, porque determinan qué relaciones se consideran pertinentes para comprender un fenómeno. Los enfoques transdisciplinarios cuestionan investigaciones organizadas exclusivamente mediante relaciones lineales y plantean la necesidad de incorporar interacciones entre distintos actores,

conocimientos y contextos. Este desplazamiento modifica la posición del investigador y amplía las fuentes desde las cuales puede construirse una interpretación científica. La frontera aparece entonces como un espacio en el que se revisan supuestos sobre quién produce conocimiento, qué experiencias pueden participar en su construcción y qué procedimientos permiten relacionar perspectivas diferentes dentro de un proceso investigativo (Marcelín-Alvarado, 2023).

La expansión del conocimiento no depende únicamente de incorporar nuevos datos, sino también de revisar las teorías utilizadas para interpretar objetos y contextos diferentes. Una teoría construida en determinadas condiciones históricas o territoriales puede resultar insuficiente cuando se traslada sin considerar las particularidades del fenómeno estudiado. Por ello, las fronteras científicas también se desplazan mediante decisiones teóricas y metodológicas que permiten reconocer campos emergentes, nuevas unidades de análisis y formas distintas de construir problemas. Esta perspectiva evita considerar el conocimiento como un conjunto universal y homogéneo de explicaciones aplicables de manera idéntica en cualquier contexto (Margueliche, 2023).

El carácter histórico de las fronteras del conocimiento implica reconocer que la producción científica se desarrolla dentro de estructuras institucionales y relaciones de poder. Algunos enfoques adquieren mayor circulación y legitimidad que otros, mientras determinadas formas de conocimiento permanecen en posiciones periféricas. En el contexto latinoamericano, esta situación puede observarse cuando modelos epistemológicos desarrollados en otros espacios se convierten en referencias dominantes para interpretar realidades sociales con características diferentes. Por ello, estudiar la evolución de las fronteras científicas exige considerar no solo los avances conceptuales, sino también las condiciones que favorecen o restringen la incorporación de determinadas perspectivas (Reyes Rodríguez et al., 2024).

Una frontera científica puede modificarse cuando los investigadores reconocen que un problema requiere conocimientos que exceden las capacidades de un solo campo. Esta situación es frecuente en problemas complejos vinculados con las relaciones entre sistemas naturales y sociedades humanas. La investigación transdisciplinaria responde a esta dificultad mediante la articulación de diferentes formas de conocimiento y mediante procesos en los que participan actores académicos y no académicos. La ampliación de las fronteras se produce, por tanto, cuando el problema investigado reorganiza las relaciones entre disciplinas y obliga a reconsiderar qué conocimientos son necesarios para comprenderlo y abordarlo adecuadamente (Lawrence et al., 2022).

La historia de las fronteras disciplinares muestra además que las separaciones entre campos científicos pueden mantenerse por tradiciones institucionales y culturas de investigación específicas. Estas divisiones establecen lenguajes, procedimientos y criterios propios que permiten desarrollar conocimiento especializado, aunque también pueden dificultar la comunicación cuando varias disciplinas estudian dimensiones distintas de un mismo fenómeno. La búsqueda de una transdisciplinariedad más amplia implica reconocer esas diferencias y construir mecanismos de interacción que no reduzcan una perspectiva a los supuestos de otra. En este sentido, transformar una frontera requiere coordinación epistemológica y no únicamente reunir especialistas procedentes de diferentes áreas (Castro, 2024).

Los campos científicos emergentes permiten comprobar que las fronteras pueden modificarse mediante procesos acumulativos y no únicamente mediante rupturas abruptas. Las interacciones iniciales entre disciplinas pueden comenzar con proyectos específicos, métodos compartidos o problemas comunes y, posteriormente, producir nuevas comunidades, categorías científicas y agendas de investigación. La convergencia funciona así como un proceso mediante el cual conocimientos inicialmente separados desarrollan relaciones cada vez más estables. Esta dinámica muestra que la evolución de las fronteras científicas puede incluir etapas diferenciadas y que el grado de integración interdisciplinaria varía durante la formación y consolidación de nuevos campos (Baaden et al., 2024).

La noción de frontera adquiere mayor precisión cuando se reconoce que la producción teórica está situada. Las categorías utilizadas para interpretar un fenómeno no surgen fuera del tiempo y del espacio, sino en comunidades científicas que seleccionan problemas, objetos y procedimientos de acuerdo con determinadas tradiciones intelectuales. Al trasladarse a otros contextos, esas categorías pueden requerir revisión, adaptación o sustitución. De esta manera, la expansión del conocimiento implica explorar teorías producidas en campos menos considerados y contrastar su capacidad explicativa frente a nuevos objetos. Las fronteras evolucionan también cuando cambian los marcos desde los cuales un problema puede ser pensado (Margueliche, 2023).

En su sentido contemporáneo, las fronteras del conocimiento describen un espacio de transformación permanente en el que las disciplinas conservan funciones de especialización, pero interactúan con campos, actores y perspectivas que modifican sus límites. Su ampliación no significa que todas las diferencias entre saberes desaparezcan, sino que ciertas preguntas obligan a establecer nuevas relaciones entre ellos. Esta transformación incluye procesos de

convergencia científica, revisión epistemológica y reconocimiento de condiciones sociales que influyen en la legitimación del conocimiento. Por ello, una frontera científica puede considerarse tanto un límite provisional como una zona desde la cual se configuran nuevas posibilidades de investigación (Reyes Rodríguez et al., 2024).

1.2 Límites disciplinares en la producción científica

Los límites disciplinares se originan en la necesidad de organizar el conocimiento científico mediante campos especializados con objetos, conceptos, métodos y comunidades propias. Esta diferenciación facilita la profundización temática y el desarrollo de procedimientos específicos, pero también establece fronteras que condicionan qué preguntas se consideran legítimas dentro de cada disciplina. Cuando un fenómeno exige integrar dimensiones que pertenecen a varios campos, esas fronteras pueden convertirse en obstáculos para construir explicaciones más amplias. Por ello, los límites disciplinares deben entenderse como construcciones históricas e institucionales que organizan la investigación, pero que pueden modificarse ante nuevas necesidades científicas (Castro, 2024).

La especialización disciplinar ha contribuido a incrementar la precisión de muchos campos científicos, aunque también puede producir fragmentación cuando cada área aborda únicamente una parte de un problema sin establecer vínculos suficientes con otras perspectivas. Esta situación se vuelve especialmente visible frente a fenómenos ambientales, sociales, tecnológicos o sanitarios que presentan interacciones entre diferentes niveles y requieren conocimientos heterogéneos. La investigación transdisciplinaria surge, en parte, como respuesta a esta limitación, al proponer formas de articulación que superen la separación estricta entre disciplinas y permitan construir problemas de investigación desde relaciones más amplias entre conocimientos (Lawrence et al., 2022).

Los límites entre disciplinas también se mantienen mediante sistemas institucionales de clasificación que organizan departamentos universitarios, revistas científicas, programas de financiamiento y comunidades académicas. Estas estructuras influyen en la identificación de los campos de investigación y en la manera en que se reconocen las contribuciones científicas. Sin embargo, la aparición de áreas interdisciplinarias evidencia que esas delimitaciones no permanecen invariables. Nuevas combinaciones de conocimientos pueden desarrollar suficiente continuidad para configurar espacios científicos con problemas, métodos y redes propias, modificando las clasificaciones existentes y generando nuevas relaciones entre campos anteriormente separados (Baaden et al., 2024).

Otra dificultad aparece cuando disciplinas diferentes emplean conceptos semejantes con significados distintos o utilizan criterios metodológicos que no son fácilmente compatibles. La colaboración científica requiere entonces algo más que reunir investigadores provenientes de varias áreas, porque es necesario construir mecanismos de traducción conceptual y establecer acuerdos sobre escalas, evidencias y procedimientos. Las fronteras disciplinares poseen, por tanto, una dimensión epistemológica que afecta la manera en que los problemas son formulados y explicados. Superarlas exige reconocer las diferencias entre tradiciones científicas y desarrollar formas de integración que preserven la especificidad de los aportes sin impedir su articulación (Marcelín-Alvarado, 2023).

Los límites disciplinares también influyen en la selección de teorías y objetos considerados pertinentes dentro de un campo. Una comunidad científica puede privilegiar determinados marcos conceptuales y dejar en segundo plano perspectivas desarrolladas fuera de sus circuitos principales. Esta selección contribuye a estabilizar una disciplina, pero puede restringir la incorporación de conceptos necesarios para estudiar problemas emergentes. La expansión del conocimiento requiere, en algunos casos, revisar esas delimitaciones y explorar teorías procedentes de otros campos. De esta manera, la transformación disciplinar puede comenzar cuando un objeto ya no puede ser explicado adecuadamente desde un único repertorio conceptual (Margueliche, 2023).

Tabla 1

Límites disciplinares y formas de reconfiguración en la producción científica

Dimensión	Expresión del límite disciplinar	Efecto sobre la investigación	Forma de reconfiguración
Conceptual	Uso de categorías propias de cada disciplina	Dificulta interpretar fenómenos desde marcos diferentes	Construcción de conceptos compartidos o complementarios
Metodológica	Predominio de técnicas específicas	Restringe la combinación de evidencias	Integración de métodos procedentes de varios campos
Institucional	Organización por departamentos y áreas	Refuerza separaciones entre comunidades científicas	Redes, centros y programas interdisciplinarios
Comunicativa	Lenguajes especializados	Complica el intercambio entre investigadores	Traducción conceptual y acuerdos terminológicos
Epistemológica	Diferencias sobre qué constituye evidencia válida	Limita la integración de explicaciones	Articulación de criterios y perspectivas

Dimensión	Expresión del límite disciplinar	Efecto sobre la investigación	Forma de reconfiguración
Social	Jerarquías entre disciplinas y formas de conocimiento	Favorece unas perspectivas sobre otras	Reconocimiento de actores y saberes diversos

Nota. La tabla sintetiza distintas formas en que los límites disciplinares condicionan la producción científica y los principales mecanismos mediante los cuales pueden ser revisados o articulados.

La reconfiguración de los límites disciplinares no supone eliminar la especialización, sino modificar la forma en que los conocimientos especializados se relacionan. Las disciplinas continúan ofreciendo lenguajes, técnicas y tradiciones necesarias para investigar con profundidad, pero pueden establecer conexiones más flexibles cuando un problema requiere perspectivas complementarias. La integración resulta más productiva cuando cada campo conserva la claridad de sus aportes y, al mismo tiempo, participa en una construcción compartida del objeto de estudio. Por ello, la interdisciplinariedad puede entenderse como una estrategia de coordinación entre especialización e integración, y no como una sustitución de las disciplinas existentes (Lawrence et al., 2022).

La transformación de las fronteras disciplinares puede observarse también en la aparición de campos híbridos que combinan conocimientos procedentes de áreas distintas. Estas configuraciones suelen surgir cuando una interacción inicialmente puntual se convierte en una relación científica estable, capaz de producir publicaciones, comunidades, métodos y agendas propias. El proceso no ocurre de manera uniforme, porque algunos campos mantienen una fuerte dependencia de las disciplinas originales mientras otros desarrollan mayor autonomía. Esta diversidad indica que la reconfiguración disciplinar puede adoptar diferentes trayectorias y grados de consolidación, dependiendo de la intensidad y continuidad de las conexiones establecidas entre áreas científicas (Baaden et al., 2024).

Los límites disciplinares poseen además una dimensión política e institucional, porque no todas las áreas del conocimiento disponen de la misma capacidad para definir problemas relevantes o legitimar determinadas perspectivas. Las estructuras académicas pueden favorecer marcos producidos en centros científicos dominantes y reducir la visibilidad de conocimientos desarrollados en contextos periféricos. Esta desigualdad afecta la circulación de conceptos, la selección de temas y la valoración de resultados científicos. Por ello, revisar las fronteras disciplinares implica también examinar quién establece los criterios de reconocimiento y qué condiciones determinan que ciertos conocimientos sean incorporados, desplazados o excluidos de las agendas académicas (Reyes Rodríguez et al., 2024).

La producción científica contemporánea muestra que los límites entre disciplinas son más permeables cuando los problemas de investigación exigen conexiones que no pueden resolverse mediante una única tradición académica. Esta permeabilidad permite incorporar teorías, métodos y escalas diferentes, aunque también genera desafíos relacionados con la coherencia conceptual y la evaluación de resultados. El avance interdisciplinario depende, por tanto, de la capacidad para construir relaciones justificadas entre conocimientos y no de una combinación indiscriminada de perspectivas. La transformación de los límites disciplinares adquiere sentido cuando permite formular mejores preguntas, ampliar la explicación y construir objetos científicos que antes permanecían fragmentados entre varios campos (Castro, 2024).

1.3 Expansión de los campos de investigación contemporáneos

La expansión de los campos de investigación contemporáneos está vinculada con la aparición de problemas que no pueden abordarse de manera suficiente desde una sola disciplina. A medida que aumentan las conexiones entre áreas científicas, surgen combinaciones de conceptos, métodos y técnicas que modifican los límites tradicionales del conocimiento. Este proceso puede conducir a la formación de nuevos campos interdisciplinarios, cuya identidad depende de la estabilidad de las relaciones establecidas entre disciplinas previamente separadas. La expansión científica implica así una reorganización progresiva de comunidades, agendas y prácticas de investigación, más que una simple acumulación de nuevas especialidades independientes (Baaden et al., 2024).

Los campos emergentes también se desarrollan cuando las categorías teóricas disponibles resultan insuficientes para describir objetos que adquieren relevancia científica en contextos nuevos. La investigación necesita entonces revisar los marcos existentes, incorporar conceptos procedentes de otras tradiciones y construir herramientas analíticas ajustadas al problema estudiado. Este proceso amplía el repertorio conceptual de las ciencias y puede modificar las formas de delimitar un área de conocimiento. La expansión de un campo no depende únicamente del número de investigaciones producidas, sino de su capacidad para formular problemas diferenciados, establecer relaciones teóricas y generar nuevas líneas de indagación (Margueliche, 2023).

La interacción entre disciplinas constituye uno de los mecanismos principales mediante los cuales se amplían los espacios de investigación. Cuando distintos campos se aproximan a un mismo problema, las relaciones pueden comenzar como colaboraciones ocasionales y avanzar hacia formas más estables de integración. Estas interacciones permiten combinar

conocimientos especializados, aunque también requieren resolver diferencias conceptuales y metodológicas. La transformación de las fronteras científicas depende de que esa integración produzca preguntas o explicaciones que no podrían obtenerse mediante la actividad aislada de cada disciplina. Por ello, la expansión contemporánea del conocimiento está estrechamente vinculada con procesos de convergencia científica (Lawrence et al., 2022).

La ampliación de los campos de investigación también depende de las condiciones institucionales que permiten reconocer nuevos problemas y formas de conocimiento. Las universidades, revistas, agencias de financiamiento y comunidades científicas desempeñan un papel importante al definir categorías, prioridades y criterios de legitimación. Un campo emergente necesita espacios de publicación, redes de investigadores y mecanismos de reconocimiento que favorezcan su consolidación. Sin embargo, estas estructuras pueden reproducir jerarquías que otorgan mayor visibilidad a determinadas perspectivas y dificultan la incorporación de conocimientos producidos fuera de los centros académicos dominantes, condicionando la dirección de la expansión científica (Reyes Rodríguez et al., 2024).

Los nuevos campos también pueden configurarse alrededor de problemas cuya complejidad obliga a incorporar conocimientos procedentes de actores no académicos. Esta transformación amplía la noción tradicional de investigación al reconocer que ciertos fenómenos requieren información, experiencias y capacidades distribuidas entre diferentes sectores sociales. La transdisciplinariedad representa una de las respuestas a esta situación, porque propone formas de producción de conocimiento en las que la definición del problema y la construcción de soluciones pueden involucrar a múltiples participantes. De esta manera, la expansión científica modifica tanto los límites entre disciplinas como las relaciones entre investigación académica y otros espacios de conocimiento (Marcelín-Alvarado, 2023).

Tabla 2
Procesos asociados con la expansión de los campos de investigación contemporáneos

Proceso	Característica principal	Efecto sobre los campos científicos	Resultado posible
Convergencia disciplinar	Integración de conocimientos de varias áreas	Reduce separaciones rígidas entre disciplinas	Formación de campos interdisciplinarios
Innovación conceptual	Desarrollo o adaptación de categorías	Amplía la capacidad para definir nuevos objetos	Nuevos marcos teóricos
Integración metodológica	Combinación de técnicas y procedimientos	Diversifica las formas de producir evidencia	Diseños de investigación híbridos

Proceso	Característica principal	Efecto sobre los campos científicos	Resultado posible
Reorganización institucional	Creación de redes, centros y programas	Favorece comunidades científicas especializadas	Consolidación de áreas emergentes
Incorporación de actores	Participación de sectores no académicos	Amplía las fuentes de conocimiento	Investigación transdisciplinaria
Legitimación científica	Reconocimiento de nuevas agendas y resultados	Estabiliza campos en desarrollo	Mayor autonomía científica

Nota. La tabla organiza los principales procesos mediante los cuales los campos de investigación pueden ampliar sus objetos, métodos, comunidades y formas de producción de conocimiento.

La expansión de un campo científico no ocurre necesariamente mediante una ruptura inmediata con las disciplinas que le dieron origen. Los estudios sobre emergencia interdisciplinaria muestran que pueden existir trayectorias diferentes de formación, dependiendo de la intensidad con la que se combinan los conocimientos y de la continuidad de las relaciones entre comunidades. Algunos campos conservan fuertes vínculos con sus áreas originales, mientras otros desarrollan estructuras más autónomas. Esta diversidad permite comprender que la transformación del mapa científico es gradual y que la identificación de un nuevo campo requiere observar tanto las conexiones disciplinares como la consolidación de problemas y prácticas propias (Baaden et al., 2024).

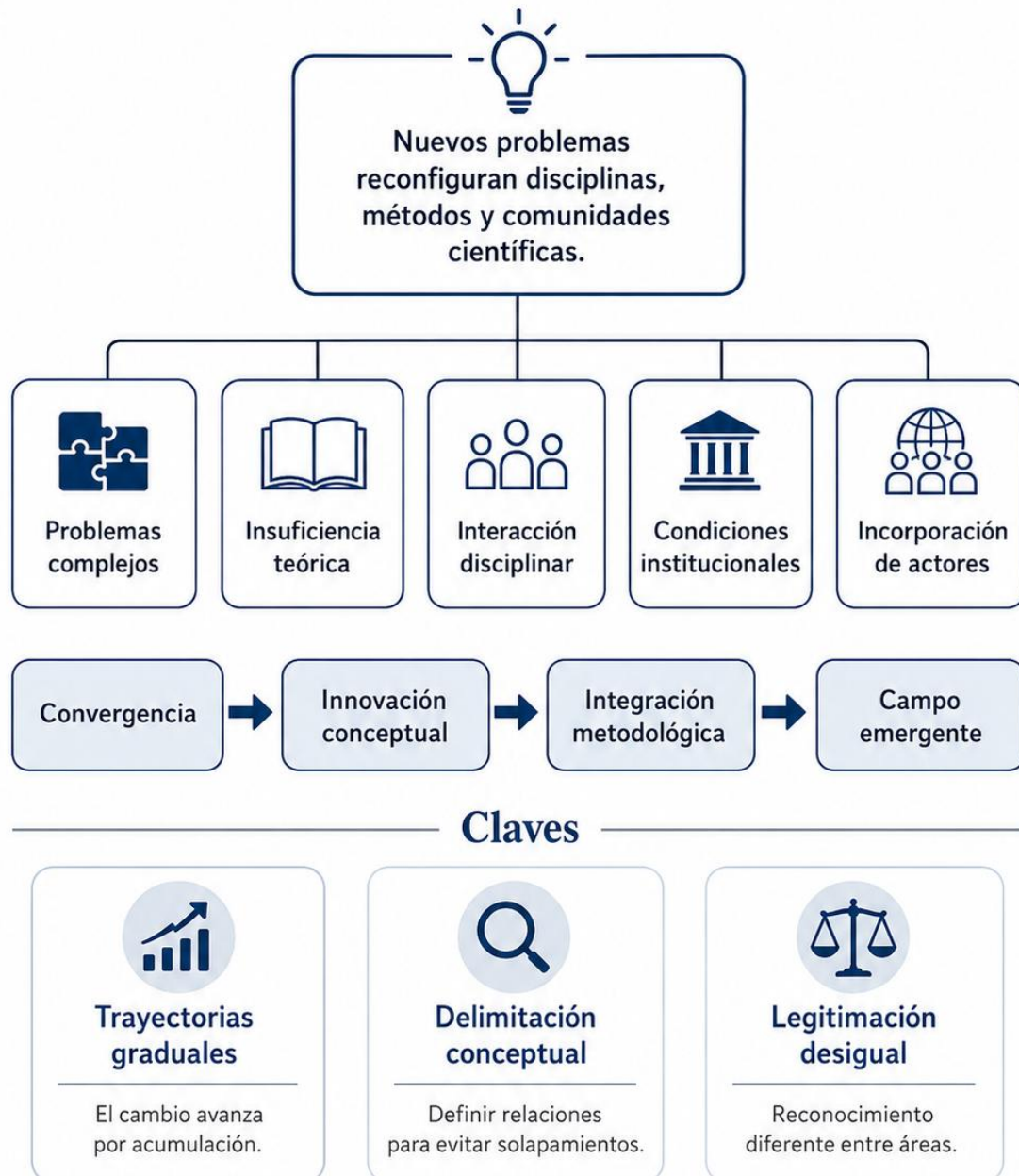
La expansión contemporánea también introduce desafíos para la delimitación conceptual de los campos. Cuando una nueva área incorpora teorías de distintos orígenes, puede producirse una superposición de conceptos o una utilización poco precisa de categorías trasladadas desde otras disciplinas. La construcción de un campo requiere entonces establecer relaciones justificadas entre sus referencias teóricas y determinar cuáles poseen capacidad explicativa para el objeto analizado. Esta tarea resulta especialmente importante en campos emergentes, donde todavía no existe un consenso estable sobre los límites del problema ni sobre las teorías que deben organizar su estudio (Margueliche, 2023).

Otro aspecto relevante es que la expansión científica no ocurre de manera equilibrada entre regiones, instituciones o tradiciones de conocimiento. Las relaciones de poder académico influyen en qué problemas alcanzan visibilidad internacional, qué enfoques se consideran centrales y cuáles permanecen en posiciones periféricas. Esta situación puede limitar la diversidad de objetos y perspectivas incorporados a los nuevos campos. La ampliación efectiva del conocimiento requiere reconocer que la legitimación científica también está condicionada por estructuras de circulación, publicación y valoración académica, y que estas estructuras

pueden favorecer determinadas formas de producir conocimiento sobre otras igualmente pertinentes para contextos específicos (Reyes Rodríguez et al., 2024).

Figura 1

Expansión de los campos de investigación contemporáneos



Nota. El esquema sintetiza los factores y procesos que favorecen la formación de campos emergentes mediante convergencia disciplinar, innovación conceptual, integración metodológica y reorganización de las comunidades científicas.

Los campos de investigación contemporáneos se expanden cuando las fronteras existentes dejan de responder adecuadamente a la complejidad de los problemas estudiados. La ampliación puede producirse mediante convergencia disciplinar, incorporación de nuevos actores, revisión teórica o construcción de objetos que antes permanecían distribuidos entre

diferentes áreas. Sin embargo, esta transformación no elimina la necesidad de criterios científicos para delimitar problemas y evaluar resultados. La expansión resulta consistente cuando las nuevas configuraciones permiten establecer relaciones explicativas más sólidas, desarrollar procedimientos adecuados y organizar comunidades capaces de sostener líneas de investigación diferenciadas en el tiempo (Castro, 2024).

1.4 Problemas científicos situados en zonas de frontera

Los problemas científicos situados en zonas de frontera aparecen cuando los marcos disciplinares disponibles no permiten explicar de manera suficiente un fenómeno o cuando distintas áreas reclaman capacidad para abordarlo. Estas situaciones obligan a revisar categorías, métodos y escalas de análisis, porque el problema no se ajusta por completo a una sola tradición científica. En lugar de considerarse anomalías externas a las disciplinas, pueden entenderse como espacios productivos donde surgen nuevas preguntas y se ensayan formas distintas de articulación. La investigación en frontera amplía así el campo de posibilidades científicas al poner en contacto conocimientos previamente separados (Lawrence et al., 2022).

Una característica de estos problemas es que suelen implicar múltiples dimensiones relacionadas entre sí. Un fenómeno ambiental, sanitario, tecnológico o social puede combinar procesos físicos, biológicos, económicos, culturales e institucionales que no pueden analizarse adecuadamente de manera aislada. Esta complejidad obliga a construir objetos de investigación capaces de integrar relaciones entre niveles distintos y a seleccionar métodos compatibles con esa heterogeneidad. La zona de frontera no se define solo por la novedad temática, sino por la necesidad de conectar perspectivas que tradicionalmente han operado de forma independiente dentro de comunidades científicas diferenciadas (Castro, 2024).

Las zonas de frontera también pueden surgir cuando un campo comienza a incorporar conceptos, técnicas o problemas procedentes de otras disciplinas. En estas etapas iniciales, las relaciones entre áreas aún no están estabilizadas y pueden coexistir lenguajes diferentes, métodos parcialmente incompatibles y formas distintas de valorar la evidencia. Con el tiempo, algunas de estas interacciones pueden consolidarse y dar lugar a nuevos campos interdisciplinarios. Este proceso muestra que los problemas de frontera pueden funcionar como puntos de convergencia desde los cuales se reorganizan las relaciones entre disciplinas y se configuran nuevas estructuras de producción científica (Baaden et al., 2024).

La investigación en zonas de frontera exige además revisar quién participa en la construcción del problema. En ciertos casos, el conocimiento necesario no se encuentra únicamente en

instituciones académicas, sino también en comunidades, organizaciones, profesionales y actores que poseen experiencia directa sobre el fenómeno estudiado. La incorporación de estas perspectivas puede transformar la definición inicial del objeto y modificar las preguntas de investigación. Esta apertura plantea desafíos epistemológicos, porque obliga a establecer criterios para articular saberes con diferentes grados de formalización y legitimidad sin reducirlos a una sola lógica de conocimiento (Marcelín-Alvarado, 2023).

Otro rasgo de los problemas científicos de frontera es la inestabilidad de sus categorías. Cuando un objeto comienza a ser estudiado desde perspectivas nuevas, los conceptos existentes pueden resultar insuficientes o demasiado estrechos para describirlo. En esas condiciones, la investigación debe revisar el vocabulario teórico disponible, adaptar categorías provenientes de otros campos o construir conceptos nuevos. Esta dinámica es frecuente en áreas emergentes, donde todavía no existe un consenso consolidado sobre los términos centrales ni sobre la mejor forma de organizar el conocimiento. La frontera se convierte así en un espacio de innovación conceptual y redefinición teórica (Margueliche, 2023).

Las zonas de frontera también están condicionadas por relaciones de poder dentro del sistema científico. No todos los problemas alcanzan el mismo grado de visibilidad ni todas las perspectivas tienen iguales posibilidades de ser reconocidas. Las agendas de investigación suelen estar influidas por instituciones, revistas, centros académicos y redes internacionales que determinan qué temas reciben atención y qué enfoques adquieren legitimidad. Por ello, un problema puede permanecer en los márgenes no por falta de relevancia científica, sino porque los marcos dominantes no lo incorporan con facilidad. Analizar estas condiciones permite comprender cómo se construyen y desplazan las fronteras del conocimiento (Reyes Rodríguez et al., 2024).

La investigación en frontera requiere una definición especialmente cuidadosa del problema, porque una formulación demasiado amplia puede producir una integración superficial de disciplinas. No basta con reunir enfoques diferentes; es necesario identificar qué dimensiones aporta cada uno y cómo se relacionan dentro de una pregunta común. La construcción del problema debe establecer conexiones conceptuales claras y evitar que las disciplinas trabajen de manera paralela sin verdadera interacción. Cuando esta articulación se logra, la frontera deja de ser una simple zona de contacto y se convierte en un espacio donde pueden desarrollarse explicaciones que ninguna disciplina habría construido por separado (Lawrence et al., 2022).

Los problemas situados en zonas de frontera también pueden generar tensiones metodológicas. Diferentes campos suelen operar con criterios propios para seleccionar datos, validar resultados y establecer relaciones causales o interpretativas. Cuando estas tradiciones convergen, pueden aparecer desacuerdos sobre qué constituye evidencia suficiente o qué tipo de diseño resulta adecuado. Resolver estas diferencias requiere explicitar los supuestos metodológicos y justificar la combinación de procedimientos. La integración científica no consiste en sumar técnicas de forma automática, sino en construir un diseño coherente con la naturaleza del problema y con las preguntas que orientan la investigación (Castro, 2024).

La consolidación de una zona de frontera puede observarse cuando comienza a producir comunidades científicas estables, publicaciones especializadas y agendas propias. En ese momento, el problema deja de ser tratado únicamente desde los campos originales y empieza a generar una identidad investigativa diferenciada. Sin embargo, este proceso no siempre conduce a una nueva disciplina autónoma. Algunas áreas permanecen como espacios híbridos que dependen de la interacción continua entre varios campos. La evolución de estas configuraciones muestra que las fronteras científicas pueden mantenerse abiertas y productivas sin transformarse necesariamente en estructuras disciplinares completamente separadas (Baaden et al., 2024).

Las zonas de frontera también permiten cuestionar la idea de que el conocimiento científico avanza únicamente mediante acumulación dentro de áreas consolidadas. En muchos casos, los avances surgen cuando un problema obliga a revisar los límites de esas áreas y a incorporar conceptos que antes se consideraban externos. Este desplazamiento puede modificar las categorías de análisis, los métodos aceptados y la propia definición del objeto de estudio. La investigación fronteriza introduce así una dinámica de reorganización intelectual en la que los campos científicos se transforman al responder a preguntas que no encajan plenamente en sus marcos establecidos (Margueliche, 2023).

Los problemas científicos situados en zonas de frontera representan, por tanto, espacios donde se hacen visibles las limitaciones de las divisiones disciplinares y las posibilidades de reorganizar el conocimiento. Su estudio exige integrar perspectivas, revisar conceptos, coordinar métodos y considerar las condiciones sociales que influyen en la legitimación científica. Estas zonas no deben entenderse como márgenes secundarios del sistema científico, porque con frecuencia concentran procesos de innovación teórica y metodológica. Su relevancia radica en que permiten formular objetos más complejos y construir explicaciones

capaces de relacionar dimensiones que permanecían separadas dentro de estructuras disciplinares tradicionales (Reyes Rodríguez et al., 2024).

1.5 Construcción de nuevos objetos de conocimiento

La construcción de nuevos objetos de conocimiento comienza cuando las categorías existentes dejan de representar adecuadamente un fenómeno o cuando aparecen relaciones que permanecían fuera de los marcos disciplinares consolidados. Un objeto científico no equivale simplemente a una realidad observable, porque su delimitación depende de preguntas, conceptos y decisiones metodológicas que determinan qué aspectos serán investigados. En los campos emergentes, este proceso exige revisar teorías previas y establecer nuevas conexiones entre problemas, escalas y perspectivas. La formación del objeto constituye así una operación epistemológica mediante la cual determinados fenómenos adquieren coherencia y relevancia dentro de una agenda de investigación (Margueliche, 2023).

Los nuevos objetos también pueden surgir mediante la convergencia de conocimientos procedentes de disciplinas distintas. Cuando diferentes campos comienzan a estudiar relaciones compartidas, pueden aparecer unidades de análisis que no pertenecen por completo a ninguna de las disciplinas originales. Su consolidación depende de que esas interacciones generen preguntas diferenciadas, métodos apropiados y una comunidad capaz de sostenerlas en el tiempo. La emergencia de campos interdisciplinarios muestra que la construcción de objetos puede producirse de manera gradual, mediante procesos de combinación y reorganización del conocimiento que terminan modificando las fronteras existentes entre áreas científicas (Baaden et al., 2024).

La delimitación de un nuevo objeto requiere determinar qué dimensiones forman parte del problema y cuáles quedarán fuera del análisis. Esta decisión resulta especialmente compleja cuando intervienen factores sociales, naturales, tecnológicos o institucionales relacionados entre sí. La investigación transdisciplinaria propone ampliar este proceso mediante la incorporación de conocimientos procedentes de diferentes actores y contextos, lo que puede modificar la definición inicial del objeto. Así, la construcción científica deja de depender exclusivamente de categorías establecidas dentro de una disciplina y puede incorporar perspectivas que permiten identificar relaciones previamente ignoradas o insuficientemente representadas por los marcos convencionales de investigación (Lawrence et al., 2022).

La formación de nuevos objetos también implica negociar significados entre comunidades científicas que utilizan lenguajes y criterios diferentes. Un mismo fenómeno puede ser

conceptualizado de maneras distintas según la tradición disciplinar desde la cual se observe, lo que exige construir correspondencias sin eliminar las diferencias epistemológicas relevantes. Esta negociación permite establecer categorías suficientemente compartidas para desarrollar investigaciones conjuntas y, al mismo tiempo, conservar la especificidad de los aportes de cada campo. La creación de un objeto interdisciplinario depende, por tanto, de una articulación conceptual coherente y no de la simple acumulación de perspectivas sobre un mismo tema (Castro, 2024).

La legitimación constituye otra fase importante en la construcción de nuevos objetos de conocimiento. Un problema puede adquirir interés científico, pero necesita reconocimiento institucional para incorporarse de manera estable a programas, publicaciones y redes de investigación. Este proceso no es neutral, porque las estructuras académicas establecen jerarquías entre temas, enfoques y tradiciones epistemológicas. Algunos objetos alcanzan rápidamente visibilidad mientras otros permanecen en posiciones marginales, aunque respondan a problemas relevantes en determinados contextos. Por ello, la formación de un objeto científico también depende de las condiciones sociales e institucionales que permiten validar su pertinencia y sostener su investigación (Reyes Rodríguez et al., 2024).

Tabla 3
Procesos involucrados en la construcción de nuevos objetos de conocimiento

Proceso	Pregunta central	Operación científica	Resultado
Identificación del problema	¿Qué fenómeno requiere una nueva explicación?	Reconocimiento de vacíos o relaciones insuficientemente estudiadas	Delimitación inicial del problema
Construcción conceptual	¿Con qué categorías puede comprenderse?	Selección, revisión o creación de conceptos	Marco conceptual del objeto
Delimitación	¿Qué dimensiones integran el objeto?	Definición de límites, escalas y relaciones	Unidad de análisis definida
Integración disciplinar	¿Qué conocimientos son necesarios?	Articulación de teorías y métodos	Objeto interdisciplinario o híbrido
Operacionalización	¿Cómo puede investigarse empíricamente?	Definición de variables, dimensiones o procedimientos	Estrategia de investigación
Legitimación	¿Cómo adquiere reconocimiento científico?	Publicación, discusión y consolidación comunitaria	Incorporación a agendas y campos científicos

Nota. La tabla organiza las principales operaciones mediante las cuales un fenómeno puede transformarse en un objeto de investigación delimitado, analizable y reconocido dentro de una comunidad científica.

Un objeto de conocimiento también se transforma conforme cambia el marco teórico desde el cual es interpretado. Las categorías científicas no poseen necesariamente la misma capacidad explicativa en todos los contextos, por lo que su aplicación puede requerir modificaciones conceptuales. Los campos emergentes muestran que las teorías se desplazan, combinan y reformulan a medida que aparecen problemas diferentes de aquellos para los que fueron desarrolladas inicialmente. Esta dinámica permite comprender que la construcción de un objeto no termina con su primera delimitación, sino que permanece abierta a revisiones derivadas de nuevas evidencias, preguntas y perspectivas de investigación (Margueliche, 2023).

La incorporación de actores diversos puede modificar de manera significativa la configuración del objeto. En investigaciones transdisciplinarias, las experiencias y conocimientos de comunidades, organizaciones o profesionales pueden revelar dimensiones que no habían sido consideradas desde una perspectiva exclusivamente académica. Esta participación puede transformar las preguntas, las categorías analíticas e incluso los criterios utilizados para interpretar los resultados. Sin embargo, integrar conocimientos heterogéneos exige establecer procedimientos explícitos que permitan justificar su relación con el problema científico. La ampliación del objeto depende de una articulación metodológica capaz de reconocer diferencias entre saberes sin tratarlos como equivalentes de manera automática (Marcelín-Alvarado, 2023).

La estabilización de un nuevo objeto puede contribuir posteriormente a la formación de comunidades y campos científicos diferenciados. Cuando una problemática genera producción sostenida, métodos especializados y redes de colaboración, comienza a adquirir una identidad reconocible dentro del sistema científico. En ese proceso pueden consolidarse categorías, revistas, congresos y programas de investigación que refuerzan su autonomía relativa. Sin embargo, la formación de un campo no elimina necesariamente sus vínculos con las disciplinas de origen. Algunos objetos mantienen un carácter híbrido y continúan dependiendo de intercambios permanentes entre diferentes áreas para desarrollar nuevas preguntas y explicaciones (Baaden et al., 2024).

La construcción de nuevos objetos de conocimiento muestra que las fronteras científicas son modificables y dependen de decisiones conceptuales, metodológicas e institucionales. Un fenómeno se convierte en objeto científico cuando puede formularse mediante preguntas investigables, relacionarse con marcos explicativos y someterse a procedimientos de producción y evaluación de evidencia. Su reconocimiento posterior depende también de comunidades capaces de discutirlo y legitimar su incorporación a las agendas científicas. Esta

combinación de delimitación e institucionalización explica por qué algunos objetos amplían de manera efectiva el espacio de investigación, mientras otros permanecen como problemas todavía inestables o insuficientemente reconocidos (Reyes Rodríguez et al., 2024).

Capítulo 2.

Paradigmas científicos y cambio conceptual

Yessenia Jazmin Verdezoto Aguila



2.1 Naturaleza y función de los paradigmas científicos

Los paradigmas científicos pueden entenderse como marcos compartidos que orientan la manera en que una comunidad formula problemas, interpreta resultados y decide qué procedimientos considera adecuados. Su función no consiste únicamente en reunir teorías, sino en ofrecer referencias comunes para desarrollar la investigación cotidiana. Dentro de un paradigma, los científicos trabajan sobre problemas cuya solución resulta significativa para una comunidad especializada y utilizan criterios relativamente estables para evaluar respuestas. Esta estructura permite coordinar la actividad científica sin exigir una revisión permanente de sus fundamentos, siempre que el marco continúe ofreciendo recursos suficientes para orientar la investigación (Schindler, 2024).

La noción de paradigma adquirió su forma más conocida a través del desarrollo intelectual de Thomas Kuhn, aunque su formulación no apareció de manera inmediata ni lineal. Antes de consolidar este concepto, Kuhn atravesó distintas etapas en las que intentó explicar cómo se organizan las comunidades científicas y cómo cambian sus compromisos teóricos. Este recorrido muestra que el paradigma fue construido para responder a problemas específicos relacionados con la estabilidad y transformación de la ciencia. Comprender esta evolución permite evitar una interpretación rígida del concepto y reconocer que su significado estuvo vinculado con la elaboración progresiva de un modelo de cambio científico (Mayoral de Lucas, 2024).

La función de un paradigma se hace visible durante los periodos de ciencia normal, cuando una comunidad desarrolla investigaciones dentro de un marco aceptado sin someterlo continuamente a cuestionamiento fundamental. Esta estabilidad no implica necesariamente una actitud dogmática. El compromiso con un paradigma puede estar justificado cuando este ofrece mejores posibilidades de resolución de problemas que las alternativas disponibles. Los investigadores continúan trabajando dentro del marco porque proporciona instrumentos conceptuales y metodológicos capaces de orientar investigaciones productivas. De esta manera, la estabilidad paradigmática puede entenderse como una condición práctica para profundizar problemas antes de considerar una transformación más amplia (Schindler, 2024).

Los paradigmas también cumplen una función formativa, porque permiten que nuevos integrantes de una comunidad científica aprendan qué problemas son relevantes y cómo deben abordarse. La formación especializada introduce al investigador en un conjunto de prácticas, criterios y formas de interpretar la evidencia que facilitan su participación dentro de una

tradición científica. Esta educación no equivale simplemente a transmitir información acumulada, sino que desarrolla la capacidad de reconocer problemas y evaluar soluciones conforme a estándares compartidos. Una vez adquiridas esas competencias, los investigadores pueden utilizar críticamente el paradigma sin que su pertenencia a una tradición implique una aceptación automática de todos sus supuestos (Schindler, 2024).

El paradigma también puede entenderse como una estructura que organiza relaciones entre conceptos, métodos, instrumentos y prácticas. Por ello, el cambio científico no siempre debe analizarse únicamente como sustitución de teorías. Las transformaciones pueden implicar modificaciones en la manera de obtener datos, en los procedimientos utilizados para producir evidencia o en la relación entre diferentes componentes de una práctica investigativa. El estudio del cambio científico requiere atender a cómo esos elementos se transfieren, alinean e influyen entre sí. Esta perspectiva amplía la comprensión del paradigma al mostrar que la organización científica depende de configuraciones materiales y metodológicas además de compromisos conceptuales (Canali, 2022).

Los paradigmas establecen también criterios para determinar qué problemas pueden investigarse de manera significativa dentro de una comunidad. Mientras un marco mantiene capacidad para orientar preguntas y producir soluciones aceptables, los investigadores disponen de razones para continuar utilizándolo. La presencia de dificultades o anomalías no conduce automáticamente a su abandono, porque ningún paradigma resuelve de forma inmediata todos los problemas disponibles. La investigación normal supone trabajar precisamente sobre cuestiones aún abiertas. La función del paradigma consiste entonces en proporcionar un horizonte suficientemente estable desde el cual esas dificultades puedan convertirse en problemas científicos investigables y no simplemente en razones inmediatas para rechazar el marco vigente (Schindler, 2024).

La relación entre paradigma y lenguaje científico introduce otra dimensión importante. Cuando cambian profundamente los marcos conceptuales, algunos términos pueden modificar su significado, su referencia o las relaciones que mantienen con otros conceptos. Esto plantea dificultades para comparar teorías pertenecientes a tradiciones distintas. El concepto de inconmensurabilidad busca describir precisamente situaciones en las que no existe una traducción completa entre determinados marcos científicos. Sin embargo, esta dificultad no implica necesariamente una imposibilidad absoluta de comparación, sino que obliga a examinar con mayor precisión qué componentes pueden mantenerse y cuáles cambian durante una transición científica (Cuéllar Jiménez, 2023).

Los paradigmas tampoco deben concebirse como estructuras completamente aisladas unas de otras. Las controversias contemporáneas muestran que dos marcos pueden diferir en conceptos, métodos y supuestos sin que ello impida toda interacción entre sus comunidades. El debate entre la Síntesis Moderna y la Síntesis Evolutiva Extendida, por ejemplo, permite analizar cómo pueden coexistir diferencias importantes dentro de un mismo campo y cómo la inconmensurabilidad puede adoptar formas parciales. Estas situaciones indican que la función de los paradigmas incluye organizar desacuerdos científicos y establecer los términos desde los cuales una comunidad interpreta las alternativas disponibles (Gefaeil & Saborido, 2022).

La utilidad del concepto de paradigma también depende de evitar que se convierta en una explicación automática de cualquier transformación científica. Algunos episodios históricos pueden requerir análisis más específicos sobre los argumentos, problemas y razonamientos que produjeron un cambio. El desarrollo de la teoría cuántica muestra que las transiciones científicas pueden reconstruirse atendiendo a la lógica interna de las investigaciones y a las dificultades teóricas que condujeron a nuevas formulaciones. Esta perspectiva cuestiona explicaciones que atribuyen demasiado peso a factores sociológicos o psicológicos y recuerda que el concepto de paradigma debe aplicarse con criterios históricos y epistemológicos precisos (Taschetto, 2025).

La estabilidad de los paradigmas cumple una función metodológica porque permite acumular resultados comparables dentro de una misma tradición de investigación. Si los conceptos, técnicas y criterios fundamentales cambiaran constantemente, sería difícil desarrollar programas sostenidos capaces de profundizar problemas específicos. Sin embargo, esa estabilidad no convierte al paradigma en una estructura inmutable. Las prácticas científicas pueden transformarse gradualmente mediante la incorporación de nuevos datos, instrumentos y metodologías que modifican la manera de investigar. El cambio puede producirse mediante procesos de transferencia y alineación antes de que exista una ruptura suficientemente profunda para ser identificada como transformación paradigmática (Canali, 2022).

La naturaleza de los paradigmas científicos combina, por tanto, estabilidad y capacidad de transformación. Su función consiste en organizar comunidades, problemas, conceptos y prácticas, proporcionando condiciones para desarrollar investigaciones coherentes durante periodos determinados. Al mismo tiempo, los paradigmas permanecen expuestos a tensiones derivadas de nuevas evidencias, alternativas teóricas y cambios metodológicos. Su valor analítico reside en permitir estudiar cómo una comunidad sostiene un marco de investigación y bajo qué condiciones puede modificarlo. Esta perspectiva evita presentar la ciencia como una

sucesión simple de teorías y permite analizar con mayor precisión las estructuras que hacen posible tanto la continuidad como el cambio científico (Mayoral de Lucas, 2024).

2.2 Crisis de los marcos explicativos tradicionales

La crisis de un marco explicativo aparece cuando las herramientas conceptuales y metodológicas disponibles comienzan a mostrar dificultades persistentes para resolver problemas relevantes dentro de una comunidad científica. Estas dificultades no implican de inmediato el abandono del paradigma, porque la ciencia normal admite la existencia de anomalías y problemas abiertos. El punto crítico surge cuando las limitaciones dejan de considerarse cuestiones resolubles dentro del marco vigente y empiezan a cuestionar su capacidad para orientar investigaciones futuras. La crisis expresa, por tanto, una tensión entre la estabilidad necesaria para desarrollar conocimiento y la necesidad de revisar los supuestos que organizan una tradición científica (Schindler, 2024).

Las crisis científicas también pueden producirse cuando las transformaciones conceptuales no encuentran correspondencia adecuada con las prácticas, instrumentos o métodos utilizados por una comunidad. El cambio científico involucra componentes diversos que no siempre evolucionan al mismo ritmo, de modo que puede aparecer una desalineación entre teoría, procedimiento experimental y formas de interpretar resultados. Examinar estas relaciones permite entender la crisis como un proceso más amplio que el simple fracaso de una teoría. La modificación de un marco explicativo puede depender de transferencias metodológicas, nuevas prácticas de investigación y cambios en la organización de los elementos que sostienen una determinada explicación científica (Canali, 2022).

La historia de la física cuántica muestra que las crisis pueden desarrollarse a partir de problemas teóricos concretos que desafían los recursos explicativos disponibles. La transición hacia nuevas formulaciones no debe atribuirse únicamente a un colapso general de la tradición anterior, porque los investigadores continúan utilizando conceptos, procedimientos y resultados previos mientras intentan resolver inconsistencias específicas. Este tipo de reconstrucción histórica obliga a examinar cuidadosamente cómo se produjo cada transformación y evita presentar las revoluciones científicas como episodios uniformes. Una crisis puede incluir razonamientos progresivos y revisiones parciales antes de generar cambios conceptuales de mayor alcance (Taschetto, 2025).

Los conflictos entre marcos explicativos pueden intensificarse cuando las comunidades científicas utilizan conceptos o criterios metodológicos que no poseen equivalencias directas.

En estos casos, la controversia no depende solamente de qué teoría acumula mayor evidencia, sino de cómo cada perspectiva define los problemas, selecciona mecanismos relevantes y establece condiciones de explicación. La inconmensurabilidad permite analizar estas diferencias sin asumir que los marcos sean totalmente comunicables. Una crisis puede desarrollarse precisamente cuando aparecen alternativas que reorganizan los conceptos utilizados para describir un fenómeno y obligan a discutir los criterios con los que deben compararse explicaciones rivales (Gefaell & Saborido, 2022).

La crisis de un marco tradicional puede afectar incluso la manera en que una comunidad identifica aquello que sus conceptos pretenden representar. Si una transformación modifica profundamente las categorías utilizadas para describir los objetos científicos, la continuidad entre teorías anteriores y posteriores se vuelve problemática. Las discusiones sobre inconmensurabilidad muestran que el cambio conceptual puede involucrar diferencias semánticas y ontológicas que dificultan una comparación basada exclusivamente en términos compartidos. Por ello, analizar una crisis requiere distinguir entre modificaciones internas de una teoría y transformaciones más profundas en las condiciones desde las cuales una comunidad interpreta la realidad investigada (Cuéllar Jiménez, 2023).

Tabla 4
Manifestaciones de la crisis en los marcos explicativos científicos

Manifestación	Característica principal	Consecuencia para el marco vigente	Respuesta posible
Anomalías persistentes	Problemas que resisten las soluciones habituales	Reduce la capacidad explicativa percibida	Revisión de hipótesis auxiliares
Tensión conceptual	Categorías insuficientes o contradictorias	Dificulta interpretar nuevos fenómenos	Reformulación de conceptos
Desajuste metodológico	Métodos incapaces de responder nuevas preguntas	Limita la producción de evidencia	Incorporación de nuevas técnicas
Alternativas teóricas	Aparición de explicaciones competidoras	Debilita la exclusividad del modelo dominante	Comparación entre marcos
Inconmensurabilidad parcial	Diferencias semánticas o metodológicas	Complica la evaluación directa	Reconstrucción de criterios comparativos
Reorganización científica	Cambios simultáneos en teoría y práctica	Modifica la estructura de investigación	Transición hacia otro marco explicativo

Nota. La tabla distingue diferentes formas en que puede manifestarse una crisis científica y las respuestas mediante las cuales una comunidad puede intentar resolverla o transformar su marco explicativo.

Una crisis no debe identificarse automáticamente con una revolución científica. Las comunidades pueden responder a dificultades importantes mediante ajustes conceptuales, ampliaciones metodológicas o reformulaciones que mantienen elementos centrales del marco anterior. El abandono de una tradición requiere condiciones más exigentes que la presencia de resultados inesperados. Mientras el paradigma conserve capacidad para generar investigaciones productivas, las anomalías pueden tratarse como problemas pendientes. Esta característica explica por qué los marcos explicativos pueden mantenerse durante periodos prolongados incluso frente a dificultades conocidas y por qué la transición hacia una alternativa depende de la disponibilidad de opciones suficientemente desarrolladas (Schindler, 2024).

La reconstrucción histórica del concepto de paradigma permite advertir que la crisis fue concebida como parte de un proceso más amplio de transformación científica y no como un acontecimiento aislado. El desarrollo de las ideas de Kuhn estuvo vinculado con la búsqueda de una explicación capaz de relacionar estabilidad, anomalías y cambio conceptual. Esta trayectoria intelectual muestra que las revoluciones científicas requieren comprender cómo una comunidad pasa de utilizar un conjunto compartido de compromisos a considerar viable una reorganización de sus fundamentos. La crisis adquiere sentido dentro de esa secuencia porque altera la confianza en las formas habituales de resolver problemas (Mayoral de Lucas, 2024).

Las crisis también pueden revelar que diferentes componentes de una práctica científica presentan grados distintos de continuidad. Una teoría puede modificarse mientras permanecen ciertos instrumentos, técnicas o procedimientos, o pueden incorporarse nuevas prácticas sin abandonar inmediatamente los conceptos principales. Esta diversidad obliga a estudiar el cambio científico como una reorganización de relaciones entre componentes y no como una sustitución simultánea de todo el sistema. En consecuencia, una crisis puede generar transformaciones graduales que, acumuladas, alteran profundamente el marco explicativo. Esta perspectiva permite identificar mecanismos de cambio que quedan ocultos cuando se utilizan únicamente categorías de continuidad o ruptura absoluta (Canali, 2022).

La superación de una crisis depende finalmente de la capacidad de una comunidad para construir una alternativa que reorganice los problemas que el marco anterior ya no consigue resolver adecuadamente. Esa alternativa puede modificar conceptos fundamentales, criterios metodológicos y formas de interpretar la evidencia, pero también conservar elementos útiles de la tradición precedente. La crisis funciona entonces como un periodo de evaluación y reconfiguración en el que distintas posibilidades explicativas compiten por establecer nuevas relaciones entre teoría y evidencia. Su análisis permite comprender que el cambio científico no

responde a una secuencia mecánica, sino a procesos históricos en los que interactúan continuidad, conflicto y reconstrucción conceptual (Taschetto, 2025).

2.3 Rupturas conceptuales en el desarrollo de la ciencia

Las rupturas conceptuales aparecen cuando las categorías utilizadas para interpretar un fenómeno dejan de organizar adecuadamente los problemas que una comunidad científica considera relevantes. El cambio no consiste únicamente en sustituir una afirmación por otra, porque puede modificar las relaciones entre conceptos, los criterios utilizados para formular preguntas y las expectativas sobre aquello que una explicación debe resolver. Desde la perspectiva kuhniana, estas transformaciones adquieren importancia cuando afectan los compromisos compartidos que orientaban previamente la investigación. El desarrollo del concepto de paradigma permite comprender que las rupturas forman parte de procesos históricos en los que se reorganizan las condiciones intelectuales de la práctica científica (Mayoral de Lucas, 2024).

Una ruptura conceptual puede producir cambios en el significado de los términos científicos y en la manera en que estos se relacionan con los objetos estudiados. Cuando dos marcos organizan de forma diferente sus categorías fundamentales, la comparación entre ellos puede volverse problemática porque una misma expresión no necesariamente conserva idéntico sentido. Esta situación constituye una de las dimensiones de la inconmensurabilidad y muestra que el cambio científico puede afectar la estructura semántica desde la cual se describe la realidad. La ruptura resulta entonces más profunda que una corrección puntual, pues modifica los recursos conceptuales disponibles para interpretar determinados fenómenos (Cuéllar Jiménez, 2023).

Las transformaciones científicas tampoco implican que todos los componentes de una tradición sean reemplazados simultáneamente. Algunos conceptos pueden abandonarse mientras determinadas prácticas experimentales, instrumentos o procedimientos continúan utilizándose. En otros casos, una innovación metodológica altera progresivamente las preguntas que pueden formularse y termina modificando el marco conceptual. Esta diversidad obliga a analizar las rupturas como procesos en los que distintos elementos de la actividad científica cambian a velocidades diferentes. La reorganización puede surgir mediante transferencias y nuevas alineaciones entre conceptos, métodos y prácticas, hasta producir una configuración suficientemente distinta de la que orientaba previamente la investigación (Canali, 2022).

El estudio histórico de la física cuántica permite examinar con cautela la idea de una ruptura científica repentina. Las transformaciones asociadas con la teoría cuántica involucraron problemas específicos, reformulaciones matemáticas y cambios en la comprensión de fenómenos físicos, pero mantuvieron también conexiones con investigaciones anteriores. Reconstruir estos procesos exige evitar narrativas que presentan una revolución como sustitución instantánea de un marco completo. Una ruptura conceptual puede desarrollarse mediante una secuencia de dificultades, soluciones parciales y nuevas formulaciones que alteran progresivamente los fundamentos explicativos de una disciplina hasta producir una estructura teórica diferente (Taschetto, 2025).

La inconmensurabilidad permite distinguir entre rupturas que afectan dimensiones diferentes de una práctica científica. Dos perspectivas pueden discrepar sobre el significado de conceptos centrales, sobre los procedimientos adecuados para investigarlos o sobre los mecanismos que consideran relevantes para explicar un fenómeno. Estas diferencias no necesariamente impiden toda comunicación, pero pueden dificultar la aplicación de un criterio único para evaluar alternativas. Las controversias en teoría evolutiva muestran que los desacuerdos científicos pueden combinar dimensiones semánticas, metodológicas y ontológicas. Por ello, identificar una ruptura conceptual requiere determinar con precisión qué componentes han cambiado y qué elementos continúan siendo compartidos (Gefaeil & Saborido, 2022).

Las rupturas conceptuales adquieren especial relevancia cuando modifican aquello que una comunidad reconoce como problema científico legítimo. Un paradigma establece expectativas sobre los fenómenos que deben explicarse y sobre las estrategias apropiadas para hacerlo. Cuando esas expectativas cambian, cuestiones anteriormente secundarias pueden convertirse en problemas centrales, mientras otras pierden importancia. Sin embargo, la existencia de anomalías no produce por sí sola una ruptura, ya que la ciencia normal puede convivir con problemas aún no resueltos. El cambio profundo requiere una reorganización capaz de ofrecer nuevas formas de plantear y resolver cuestiones que el marco previo trataba de otra manera (Schindler, 2024).

Las rupturas pueden afectar también la ontología implícita en una teoría, es decir, las categorías mediante las cuales se determina qué entidades, propiedades o relaciones forman parte del dominio investigado. Cuando un nuevo marco modifica esas categorías, la continuidad entre teorías se vuelve más difícil de establecer porque el objeto científico puede ser reconstruido de manera distinta. El problema no se reduce a elegir entre descripciones alternativas de una misma realidad previamente definida, ya que el propio modo de identificar los componentes

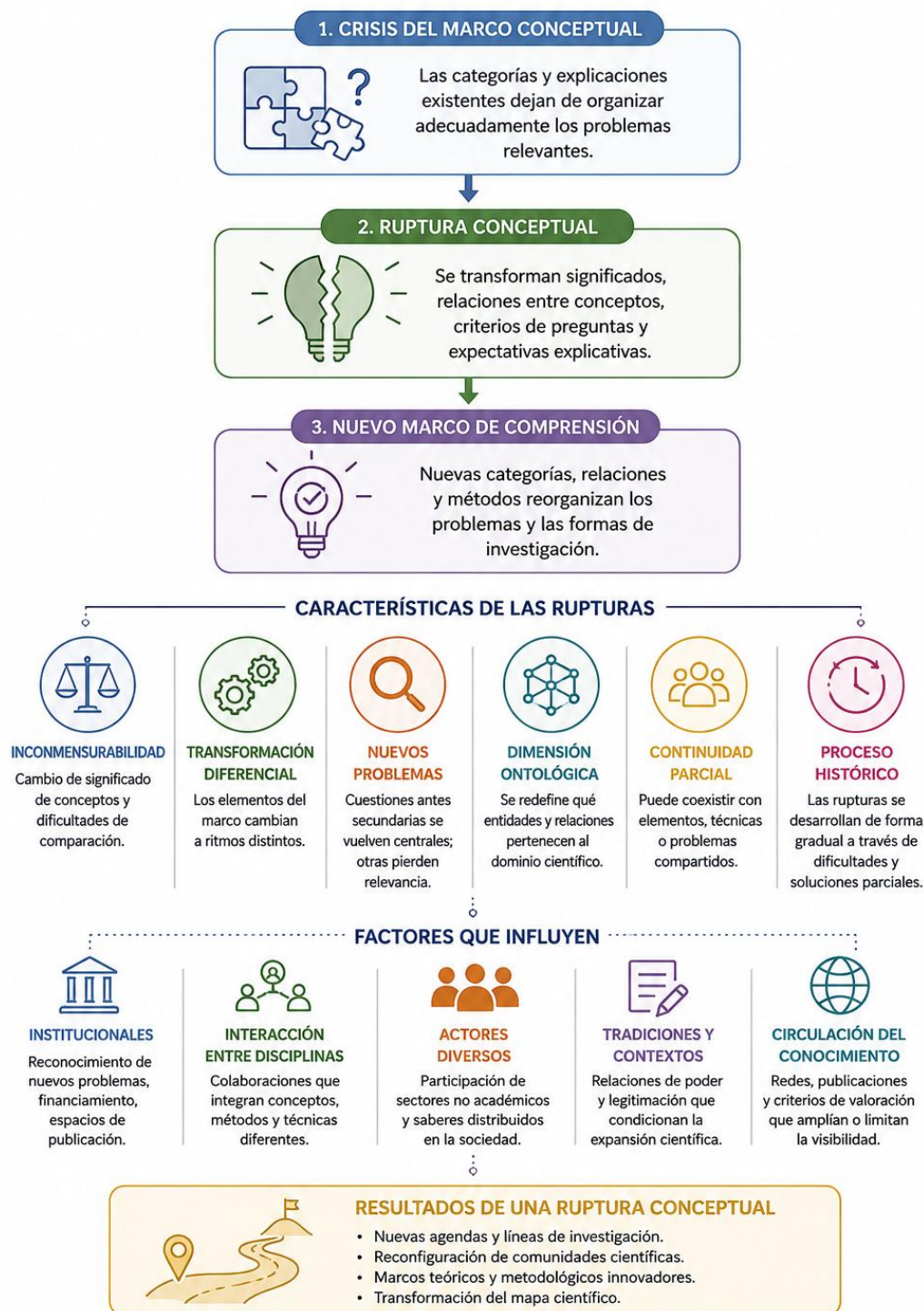
relevantes puede transformarse. Esta dimensión explica por qué algunos cambios conceptuales producen debates profundos sobre la comparabilidad entre teorías sucesivas (Cuéllar Jiménez, 2023).

El reconocimiento de una ruptura depende también del análisis histórico que se realice sobre la formación y transformación de los paradigmas. La reconstrucción del desarrollo intelectual de Kuhn muestra que su explicación del cambio científico surgió gradualmente a partir de problemas relacionados con la estabilidad de las comunidades científicas y la transformación de sus compromisos. Esta trayectoria permite comprender las rupturas como parte de una relación entre periodos de investigación relativamente estable y momentos en los que las categorías disponibles comienzan a reorganizarse. Su significado no reside únicamente en la novedad de una teoría, sino en la transformación de las prácticas conceptuales que estructuran un campo (Mayoral de Lucas, 2024).

En algunas controversias, la ruptura conceptual puede ser parcial y coexistir con importantes elementos de continuidad. Dos programas científicos pueden compartir datos, técnicas o problemas generales mientras difieren en la forma de explicar los mecanismos fundamentales. Esta situación resulta importante porque evita representar el cambio científico mediante una oposición rígida entre conservación absoluta y reemplazo completo. La relación entre la Síntesis Moderna y la Síntesis Evolutiva Extendida muestra que pueden existir desacuerdos suficientemente profundos para generar tensiones paradigmáticas sin que desaparezca todo terreno común entre las perspectivas enfrentadas. El cambio científico admite así distintos grados de discontinuidad (Gefaell & Saborido, 2022).

Las rupturas conceptuales también modifican los criterios desde los cuales se reconstruye posteriormente la historia de una disciplina. Una transformación exitosa puede hacer que conceptos anteriores parezcan insuficientes o que ciertas dificultades sean reinterpretadas desde categorías que no estaban disponibles para los investigadores originales. Este efecto retrospectivo exige distinguir entre la lógica histórica del proceso y la comprensión posterior de sus resultados. En el caso de la teoría cuántica, reconstruir los problemas en sus propios contextos permite apreciar que las transiciones incluyeron decisiones teóricas específicas y no simplemente el abandono generalizado de una física considerada incapaz de responder a nuevas evidencias (Taschetto, 2025).

Figura 2
Rupturas conceptuales en el cambio científico



Nota. El esquema representa el tránsito desde la crisis de un marco conceptual hacia nuevas formas de comprensión, considerando los factores, características y resultados que intervienen en la reorganización del conocimiento científico.

Las rupturas conceptuales muestran, en conjunto, que el desarrollo científico combina transformación y permanencia. Los cambios más profundos pueden alterar categorías, objetos, métodos y criterios explicativos, pero rara vez eliminan todos los recursos construidos por las tradiciones anteriores. Determinados instrumentos, problemas o resultados pueden

incorporarse al nuevo marco y adquirir funciones diferentes dentro de él. Analizar las rupturas exige, por ello, identificar qué se transforma, qué se conserva y cómo se reorganizan las relaciones entre ambos componentes. Esta perspectiva permite comprender el cambio científico como una reconfiguración compleja y evita reducirlo a una secuencia simple de reemplazos teóricos completos (Canali, 2022).

2.4 Transiciones entre modelos de explicación científica

Las transiciones entre modelos de explicación científica se producen cuando una comunidad comienza a reorganizar los conceptos, métodos y criterios que utiliza para interpretar un fenómeno. Este proceso no suele desarrollarse como un reemplazo inmediato de un modelo por otro, porque durante cierto tiempo pueden coexistir enfoques rivales, soluciones parciales y prácticas heredadas. La transición implica evaluar qué componentes del marco anterior continúan siendo útiles y cuáles deben modificarse. Por ello, el cambio científico puede entenderse como una reconfiguración progresiva de relaciones entre teorías, procedimientos y evidencias, más que como una sustitución instantánea de estructuras completamente separadas (Canali, 2022).

Una transición también puede incluir dificultades para comparar modelos cuando estos emplean categorías distintas o atribuyen significados diferentes a conceptos aparentemente semejantes. En estos casos, la evaluación no puede limitarse a confrontar resultados de manera directa, porque los criterios utilizados por cada enfoque pueden no coincidir plenamente. La inconmensurabilidad permite analizar estas situaciones sin asumir que los modelos sean incomparables en todos sus aspectos. Algunas dimensiones pueden mantenerse compartidas, mientras otras cambian de forma considerable. La transición exige entonces identificar con precisión qué elementos poseen continuidad y cuáles introducen diferencias suficientemente profundas para reorganizar la explicación científica (Gefaeil & Saborido, 2022).

Los cambios entre modelos explicativos también pueden observarse a través de episodios históricos en los que una tradición científica modifica gradualmente su manera de formular problemas. La transición hacia la teoría cuántica muestra que nuevos desarrollos pueden surgir a partir de dificultades específicas dentro de un marco previo y avanzar mediante reformulaciones sucesivas. Este proceso cuestiona la idea de que toda revolución científica deba interpretarse como un abandono súbito de conceptos anteriores. En muchos casos, los nuevos modelos se construyen mediante una combinación de crítica, continuidad y

reconstrucción teórica que transforma el significado y la función de elementos previamente existentes (Taschetto, 2025).

La transición entre modelos puede afectar también la relación entre lenguaje y realidad científica. Cuando cambian las categorías utilizadas para identificar entidades, propiedades o relaciones, el nuevo modelo no se limita a ofrecer otra explicación sobre un mismo objeto previamente definido, sino que puede reconstruir la forma en que ese objeto es conceptualizado. Esta transformación dificulta establecer una continuidad simple entre teorías sucesivas. El cambio conceptual puede modificar tanto los términos como los referentes científicos, lo que obliga a examinar las bases semánticas y ontológicas desde las cuales cada modelo organiza su dominio de investigación (Cuéllar Jiménez, 2023).

Las transiciones científicas tampoco dependen exclusivamente de argumentos teóricos. Los modelos se encuentran vinculados con prácticas experimentales, instrumentos, procedimientos de medición y formas de producir evidencia que pueden cambiar a ritmos diferentes. Un nuevo enfoque puede incorporar técnicas desarrolladas bajo el modelo anterior, mientras redefine su interpretación o las preguntas para las que se utilizan. Esta continuidad material y metodológica explica por qué el cambio científico puede ser profundo sin implicar una ruptura total. Analizar la transición requiere, por tanto, considerar cómo los distintos componentes de una práctica se transfieren, reajustan y adquieren nuevas funciones dentro de otra configuración explicativa (Canali, 2022).

Tabla 5
Componentes de las transiciones entre modelos de explicación científica

Componente	Situación durante la transición	Posible transformación	Resultado científico
Conceptos	Coexistencia de categorías antiguas y nuevas	Redefinición o sustitución conceptual	Nuevo marco interpretativo
Teorías	Competencia entre explicaciones	Reorganización de relaciones explicativas	Modelo alternativo
Métodos	Continuidad parcial de procedimientos	Adaptación o incorporación de nuevas técnicas	Cambio en la producción de evidencia
Lenguaje	Diferencias semánticas entre modelos	Reformulación de significados	Nuevos criterios de comparación
Ontología	Distintas formas de identificar entidades	Reconfiguración del objeto científico	Cambio en lo que se considera relevante
Prácticas	Persistencia de instrumentos y rutinas	Transferencia y reajuste	Continuidad dentro de la transformación

Nota. La tabla distingue los principales componentes que pueden mantenerse, modificarse o reorganizarse durante la transición entre modelos científicos.

La transición entre modelos no implica necesariamente que una comunidad abandone de inmediato el marco anterior cuando aparece una alternativa. Los investigadores pueden continuar trabajando con conceptos y procedimientos conocidos mientras evalúan la capacidad del nuevo enfoque para resolver problemas relevantes. Esta coexistencia permite comparar resultados, identificar limitaciones y valorar la productividad de cada modelo. La estabilidad del paradigma previo puede mantenerse durante cierto tiempo porque las anomalías no son suficientes por sí mismas para justificar su abandono. La transición adquiere mayor fuerza cuando la alternativa demuestra capacidad para reorganizar problemas que el marco anterior trataba de manera insuficiente (Schindler, 2024).

Las controversias científicas permiten observar que las transiciones pueden ocurrir mediante grados distintos de separación entre modelos. La relación entre la Síntesis Moderna y la Síntesis Evolutiva Extendida muestra que pueden existir desacuerdos sobre mecanismos, conceptos y criterios metodológicos sin que desaparezcan todos los elementos compartidos. Esta situación obliga a abandonar una visión binaria del cambio científico. Una transición puede combinar continuidad empírica con discontinuidad conceptual, o conservar métodos mientras modifica las explicaciones centrales. El análisis de estos grados permite comprender mejor cómo una comunidad negocia las diferencias entre enfoques rivales y construye nuevas condiciones para evaluar su alcance (Gefaeil & Saborido, 2022).

Las transiciones también pueden transformar la manera en que se reconstruye el desarrollo de una disciplina. Una vez consolidado un nuevo modelo, resulta fácil interpretar los problemas anteriores desde categorías posteriores y presentar el cambio como una secuencia más lineal de lo que realmente fue. Sin embargo, el análisis histórico muestra que las decisiones científicas se producen dentro de contextos donde los resultados futuros todavía no son conocidos. Estudiar la transición exige reconstruir las razones, dificultades y alternativas disponibles en cada momento. Esta perspectiva permite distinguir entre la lógica retrospectiva de una teoría consolidada y el proceso histórico mediante el cual fue configurándose (Taschetto, 2025).

Las transiciones entre modelos de explicación científica muestran que el cambio combina evaluación, reorganización y continuidad selectiva. Un nuevo marco puede modificar conceptos fundamentales, reformular el objeto de estudio y establecer criterios diferentes para interpretar la evidencia, pero al mismo tiempo conservar instrumentos, resultados o procedimientos de la tradición anterior. La transición no debe definirse únicamente por la

magnitud de la ruptura, sino por la forma en que se reorganizan los componentes de la práctica científica. Esta perspectiva permite analizar con mayor precisión por qué algunos cambios producen nuevas configuraciones explicativas mientras otros permanecen como ajustes internos dentro del modelo existente (Canali, 2022).

2.5 Continuidad y discontinuidad en el cambio científico

La continuidad en el cambio científico se manifiesta cuando una transformación conserva conceptos, métodos, instrumentos o resultados procedentes de marcos anteriores. Incluso en procesos considerados revolucionarios, la ciencia no comienza desde cero, porque las nuevas configuraciones suelen apoyarse en conocimientos previamente desarrollados. Esta permanencia permite que determinadas prácticas mantengan su utilidad mientras otras son reinterpretadas. El cambio puede incluir modificaciones profundas sin eliminar todos los componentes existentes. Por ello, analizar la evolución científica requiere identificar qué elementos permanecen operativos y cómo cambian sus funciones dentro de una nueva organización teórica y metodológica (Canali, 2022).

La discontinuidad aparece cuando las diferencias entre dos marcos afectan categorías centrales, criterios explicativos o formas de representar los fenómenos. En estos casos, la transición puede generar dificultades para comparar directamente las teorías porque ciertos conceptos cambian de significado o dejan de ocupar la misma posición dentro de la estructura explicativa. La inconmensurabilidad permite describir este tipo de ruptura sin asumir necesariamente una separación absoluta entre comunidades científicas. El problema consiste en determinar qué dimensiones del conocimiento han cambiado y si todavía existen criterios compartidos suficientes para establecer relaciones entre las perspectivas anteriores y las nuevas (Cuéllar Jiménez, 2023).

La coexistencia de continuidad y discontinuidad puede observarse en controversias donde distintos programas científicos mantienen bases comunes, pero divergen en la interpretación de mecanismos fundamentales. La relación entre la Síntesis Moderna y la Síntesis Evolutiva Extendida muestra que dos marcos pueden compartir problemas generales y parte de la evidencia disponible mientras difieren en prioridades explicativas y supuestos teóricos. Esta situación cuestiona una visión binaria en la que el cambio debe ser completamente acumulativo o totalmente revolucionario. Las transformaciones científicas pueden presentar grados intermedios y combinar permanencias importantes con modificaciones que alteran aspectos centrales de una disciplina (Gefaell & Saborido, 2022).

Los procesos históricos muestran también que una discontinuidad conceptual puede desarrollarse mediante secuencias graduales. En la formación de la teoría cuántica, los investigadores no abandonaron de manera simultánea todo el conocimiento de la física anterior, sino que reformularon problemas concretos y conservaron procedimientos útiles mientras construían nuevas explicaciones. Esta combinación permite distinguir entre ruptura teórica y continuidad práctica. El análisis histórico resulta necesario para evitar reconstrucciones simplificadas en las que las revoluciones aparecen como sustituciones instantáneas. En realidad, los cambios profundos suelen surgir de una acumulación de tensiones, soluciones parciales y reformulaciones progresivas (Taschetto, 2025).

La continuidad también está relacionada con la resistencia razonada de las comunidades a abandonar un paradigma ante las primeras dificultades. La existencia de anomalías no implica que el marco vigente haya perdido inmediatamente su capacidad científica, porque todavía puede seguir generando problemas relevantes y soluciones productivas. Esta estabilidad permite desarrollar investigaciones acumulativas y evaluar con mayor rigor las alternativas disponibles. La discontinuidad se vuelve más probable cuando una nueva configuración ofrece mejores recursos para reorganizar dificultades persistentes. En consecuencia, la permanencia de un paradigma puede constituir una condición metodológica para evaluar cuándo una transformación resulta realmente necesaria (Schindler, 2024).

Tabla 6

Continuidad y discontinuidad en los procesos de cambio científico

Dimensión	Manifestación de continuidad	Manifestación de discontinuidad	Efecto sobre el cambio científico
Conceptual	Permanencia de categorías básicas	Redefinición o sustitución de conceptos	Reorganización del marco teórico
Metodológica	Conservación de procedimientos	Incorporación de métodos diferentes	Cambio en la producción de evidencia
Instrumental	Uso continuado de tecnologías	Nuevos instrumentos y mediciones	Ampliación de capacidades de investigación
Semántica	Estabilidad de significados	Inconmensurabilidad parcial	Dificultad de comparación entre teorías
Ontológica	Mantenimiento de entidades reconocidas	Reconfiguración del objeto científico	Transformación de lo que se considera real
Institucional	Persistencia de comunidades y prácticas	Formación de nuevas redes o programas	Cambio en la organización de la investigación

Nota. La tabla diferencia los componentes que pueden conservarse y aquellos que pueden modificarse durante un proceso de cambio científico, mostrando que continuidad y discontinuidad pueden coexistir dentro de una misma transición.

La historia conceptual de los paradigmas muestra que la relación entre estabilidad y ruptura fue central para explicar el desarrollo científico. El concepto no se construyó únicamente para describir revoluciones, sino también para comprender por qué las comunidades mantienen determinadas prácticas durante periodos prolongados. La continuidad permite consolidar problemas, métodos y criterios comunes, mientras la discontinuidad introduce una reorganización cuando esos recursos dejan de ser suficientes. Esta relación evita presentar la ciencia como un movimiento exclusivamente acumulativo y también impide reducir su evolución a una sucesión permanente de rupturas. Ambas dinámicas forman parte de la organización histórica del conocimiento (Mayoral de Lucas, 2024).

La discontinuidad puede afectar distintos niveles sin producir una transformación uniforme. Un cambio conceptual puede ser profundo mientras los instrumentos y procedimientos experimentales permanecen relativamente estables. También puede ocurrir lo contrario: nuevas técnicas pueden modificar la manera de producir datos antes de que cambie el marco teórico. Esta diversidad muestra que el desarrollo científico está compuesto por procesos parcialmente independientes que pueden alinearse en momentos diferentes. El análisis del cambio requiere, por tanto, observar cómo se transfieren y reorganizan componentes específicos de una práctica científica, en lugar de buscar únicamente reemplazos completos entre sistemas cerrados (Canali, 2022).

La posibilidad de continuidad entre marcos rivales también depende de los elementos que conservan un significado suficientemente compartido. Cuando existen datos, técnicas o problemas comunes, las comunidades pueden establecer comparaciones aun cuando discrepen en conceptos centrales. La inconmensurabilidad no elimina necesariamente toda comunicación, sino que señala límites en la traducción o equivalencia entre perspectivas. Reconocer esta distinción permite comprender por qué algunas controversias se mantienen durante largos periodos sin que una de las posiciones desaparezca de inmediato. La continuidad puede ofrecer un terreno común desde el cual se discuten diferencias conceptuales más profundas (Gefaell & Saborido, 2022).

El cambio científico se comprende mejor cuando continuidad y discontinuidad se analizan como dimensiones complementarias y no como alternativas excluyentes. La continuidad explica la conservación de resultados, prácticas y capacidades acumuladas, mientras la discontinuidad permite identificar transformaciones que modifican conceptos, criterios y objetos de investigación. La importancia de cada dimensión depende del episodio histórico y del nivel analizado. Una transición puede ser continuista en sus técnicas y rupturista en su

ontología, o mantener conceptos generales mientras modifica sus mecanismos explicativos. Esta perspectiva ofrece una descripción más precisa de la evolución científica y evita reducirla a modelos lineales de acumulación o reemplazo total (Cuéllar Jiménez, 2023).

Capítulo 3.

Transformación de las disciplinas científicas

Antonio Asdrubal Pilco Procel

3.1 Especialización y fragmentación del conocimiento

La especialización científica permite concentrar métodos, conceptos y problemas dentro de comunidades con competencias específicas, pero también puede intensificar la separación entre áreas del conocimiento. Cuando las disciplinas desarrollan lenguajes, clasificaciones y metodologías propios, aumentan la profundidad del análisis especializado, aunque se difundan pocas conexiones con investigaciones externas al campo. Esta tendencia explica por qué la creciente variedad de los datos difícil de definir y medir de forma homogénea en las fronteras disciplinarias de las comunidades científicas para representar la actividad científica. La fragmentación creciente es así una consecuencia posible de la especialización especializada (Kim, 2014).

La fragmentación del conocimiento científico que las disciplinas funcionan como estructuras disciplinarias, que los científicos se enfocan en problemas científicos, pueden generar conexiones débiles entre disciplinas. Los científicos pueden tener escasas interacciones y pocas combinaciones de conocimientos científicos. El análisis de la emergencia interdisciplinaria muestra que los científicos de los campos científicos pueden estar trabajando aparte y visualizar las áreas que desarrollan temas de conocimiento particular conocimiento científico y sus conexiones. Como consecuencia, la especialización y la interacción entre disciplinas científicas pueden tener impactos diferentes en la ciencia y en otros objetivos científicos. La especialización puede ser un resultado de la fragmentación del conocimiento (Kim, 2014).

La fragmentación adquiere especial relevancia cuando un problema requiere explicaciones que atraviesan varios niveles o dimensiones. En estas condiciones, mantener los conocimientos completamente separados puede producir interpretaciones parciales, porque cada especialidad selecciona únicamente los componentes compatibles con sus propios marcos. Los enfoques transdisciplinarios intentan responder a esta limitación mediante procesos de integración capaces de relacionar conocimientos que se generan desde perspectivas diferentes. Una revisión aplicada al campo de la mecánica clásica muestra precisamente el interés por identificar patrones de integración disciplinar en la producción de conocimiento, evidenciando que incluso campos consolidados pueden desarrollar configuraciones transdisciplinarias (Peña Cárdenas et al., 2024).

La especialización también afecta la manera en que se evalúa la diversidad interna de la investigación. Determinar si un estudio es interdisciplinario exige identificar qué campos participan, cuánta distancia existe entre ellos y de qué forma se relacionan sus aportes. Estas decisiones dependen del modelo utilizado para representar disciplinas, publicaciones y categorías científicas. Por ello, la fragmentación no puede evaluarse únicamente contando especialidades presentes en un trabajo. Resulta necesario analizar el grado de diversidad, integración y relación existente entre ellas, así como las decisiones teóricas que sustentan la medición de esas dimensiones (Cantone, 2024).

La creciente especialización puede generar dificultades de comunicación cuando investigadores de áreas distintas utilizan conceptos, valores o procedimientos que no resultan inmediatamente comprensibles entre sí. En investigaciones sobre riesgos climáticos urbanos, la colaboración transdisciplinaria requiere capacidades para comprender las perspectivas y motivaciones de participantes diferentes, así como espacios donde puedan explicitarse y discutirse esas diferencias. Aunque este caso incorpora actores no académicos, muestra una dificultad aplicable a la fragmentación científica: la integración del conocimiento requiere mecanismos relacionales que permitan convertir perspectivas especializadas en componentes de una construcción compartida del problema (McClure, 2024).

Tabla 7
Especialización y fragmentación en la organización del conocimiento científico

Dimensión	Aporte de la especialización	Riesgo de fragmentación	Necesidad de articulación
Conceptual	Mayor precisión terminológica	Lenguajes difíciles de compartir	Correspondencias entre conceptos

Dimensión	Aporte de la especialización	Riesgo de fragmentación	Necesidad de articulación
Metodológica	Desarrollo de técnicas especializadas	Separación entre tipos de evidencia	Diseños metodológicos integrados
Temática	Profundización de problemas específicos	Pérdida de relaciones con otras dimensiones	Problemas comunes entre campos
Institucional	Consolidación de comunidades científicas	Aislamiento entre departamentos y áreas	Redes y estructuras interdisciplinarias
Comunicativa	Mayor dominio del lenguaje especializado	Barreras entre comunidades	Traducción y diálogo científico
Analítica	Mayor detalle dentro de un campo	Explicaciones parciales de fenómenos complejos	Integración de escalas y perspectivas

Nota. La tabla distingue los aportes de la especialización y los principales mecanismos mediante los cuales puede producir fragmentación, así como las formas de articulación necesarias para relacionar conocimientos diferenciados.

La fragmentación del conocimiento también plantea un problema de representación científica. Las clasificaciones utilizadas para organizar disciplinas pueden dar una imagen aparentemente estable de campos que, en la práctica, mantienen relaciones variables y superpuestas. Una investigación puede combinar conocimientos de varias áreas sin que las categorías bibliográficas tradicionales reflejen adecuadamente esa integración. Por esta razón, evaluar interdisciplinariedad exige revisar cómo se construyen las taxonomías y qué propiedades se pretende medir. Las fronteras disciplinares que aparecen en mapas y clasificaciones científicas deben interpretarse como instrumentos analíticos, no como divisiones naturales e invariables del conocimiento (Cantone, 2024).

La aparición de conexiones nuevas entre áreas permite contrarrestar parcialmente los efectos de la fragmentación. El análisis de redes y temas científicos puede identificar comunidades que comparten problemas aun cuando pertenezcan inicialmente a categorías diferentes. Estas relaciones ofrecen indicios sobre procesos de emergencia interdisciplinaria y sobre la manera en que los límites de los campos se expanden. La transformación disciplinar no elimina la especialización, sino que genera configuraciones donde conocimientos especializados pueden recombinarse alrededor de preguntas comunes. La estructura científica contemporánea presenta, por ello, procesos simultáneos de diferenciación interna y formación de conexiones entre dominios previamente distantes (Kim et al., 2024).

Superar una fragmentación excesiva requiere crear condiciones que permitan comprender las contribuciones y supuestos de quienes participan en una investigación conjunta. La integración no puede reducirse a reunir especialistas, porque cada participante puede interpretar de manera distinta el problema, sus prioridades y los criterios que considera relevantes. Los estudios sobre

colaboración transdisciplinaria destacan la importancia de comprender perspectivas, valores y motivaciones diferentes y de disponer de espacios adecuados para confrontarlos. Este principio resulta útil para la transformación disciplinar, ya que la comunicación entre especialidades constituye una condición previa para construir conocimiento verdaderamente articulado (McClure, 2024).

La relación entre especialización y fragmentación debe entenderse como una tensión estructural de la producción científica. La especialización proporciona profundidad, precisión y acumulación de experiencia, mientras su aislamiento puede restringir la comprensión de fenómenos que dependen de relaciones entre múltiples dimensiones. El reto consiste en conservar la competencia especializada y establecer, al mismo tiempo, mecanismos de integración suficientemente rigurosos. La interdisciplinariedad adquiere sentido cuando permite conectar aportes diferenciados mediante criterios explícitos, evitando tanto la separación absoluta entre campos como una integración superficial que ignore las diferencias conceptuales y metodológicas existentes entre ellos (Cantone, 2024).

3.2 Reconfiguración de los límites entre disciplinas

La reconfiguración de los límites entre disciplinas ocurre cuando las relaciones entre campos dejan de ajustarse a divisiones estables y comienzan a organizarse alrededor de problemas, métodos o conceptos compartidos. Este proceso puede modificar tanto la identidad de las áreas participantes como la forma en que se clasifican sus aportes. Las fronteras disciplinares no desaparecen, pero se vuelven más permeables cuando investigadores de distintas especialidades establecen vínculos sistemáticos. La transformación puede observarse en la formación de comunidades temáticas que conectan categorías previamente separadas y producen nuevas combinaciones dentro de la estructura científica contemporánea (Kim et al., 2024).

La medición de la interdisciplinariedad muestra que los límites disciplinares dependen, en parte, de los sistemas utilizados para clasificar la ciencia. Una misma investigación puede aparecer como fuertemente interdisciplinaria bajo una taxonomía y presentar menor diversidad bajo otra. Esto ocurre porque las categorías institucionales y bibliométricas representan las disciplinas mediante niveles y agrupaciones que no siempre reflejan todas las relaciones existentes entre campos. La reconfiguración requiere, por tanto, distinguir entre las fronteras administrativas o clasificatorias y las conexiones efectivas que se producen en la investigación,

especialmente cuando se combinan conocimientos provenientes de áreas conceptualmente distantes (Cantone, 2024).

La transformación de las fronteras también puede surgir cuando la interacción entre disciplinas deja de ser ocasional y comienza a generar estructuras de investigación más estables. Las conexiones temáticas identificadas mediante redes científicas muestran que determinados grupos de conocimientos pueden aproximarse progresivamente hasta configurar áreas interdisciplinarias reconocibles. La emergencia no depende solamente de compartir publicaciones o investigadores, sino de la formación de relaciones temáticas capaces de sostener nuevas preguntas y programas de trabajo. De esta manera, el mapa disciplinar puede cambiar a medida que ciertas combinaciones ganan consistencia y modifican la posición relativa de los campos que intervienen en ellas (Kim et al., 2024).

La reconfiguración disciplinar también exige revisar las formas tradicionales de colaboración. Cuando los problemas requieren integrar conocimientos con fundamentos epistemológicos distintos, el intercambio no puede limitarse a dividir tareas entre especialistas. Es necesario construir acuerdos sobre conceptos, propósitos y formas de interpretar los resultados. La transdisciplinariedad introduce una ampliación adicional al incorporar perspectivas que pueden proceder de contextos educativos, sociales o profesionales diferentes. Esta apertura modifica las fronteras de la investigación porque desplaza la atención desde la pertenencia estricta a una disciplina hacia la capacidad de relacionar saberes pertinentes para comprender un problema complejo (Mejía Ríos et al., 2024).

Las fronteras entre disciplinas pueden modificarse también a través de prácticas concretas de investigación que articulan áreas tradicionalmente diferenciadas. La relación entre matemática y física constituye un ejemplo de cómo dos campos conservan objetos y procedimientos específicos, pero pueden compartir procesos de formulación, representación y resolución de problemas. Estas conexiones muestran que la interdisciplinariedad no exige borrar las identidades disciplinares, sino establecer relaciones funcionales entre sus recursos. La reconfiguración ocurre cuando los métodos o conceptos de un campo adquieren una función relevante en otro y permiten abordar preguntas que difícilmente podrían resolverse desde una sola perspectiva (Herrera Castrillo, 2023).

Tabla 8*Formas de reconfiguración de los límites entre disciplinas*

Forma de reconfiguración	Característica	Cambio producido	Resultado posible
Integración conceptual	Relación entre categorías de campos diferentes	Modifica la delimitación del problema	Marcos explicativos compartidos
Transferencia metodológica	Uso de métodos de una disciplina en otra	Amplía las herramientas de investigación	Diseños híbridos
Convergencia temática	Varias disciplinas estudian problemas relacionados	Acerca comunidades científicas	Nuevas áreas interdisciplinarias
Redes de colaboración	Interacción sostenida entre investigadores	Reduce el aislamiento disciplinar	Comunidades científicas conectadas
Reorganización institucional	Creación de programas y centros integrados	Modifica estructuras académicas	Espacios interdisciplinarios estables
Apertura transdisciplinaria	Incorporación de saberes externos a una disciplina	Amplía las fuentes de conocimiento	Nuevas configuraciones investigativas

Nota. La tabla muestra distintos mecanismos mediante los cuales las fronteras disciplinares pueden hacerse más permeables y generar nuevas formas de organización del conocimiento científico.

La reconfiguración de límites puede adoptar intensidades diferentes. Algunas investigaciones mantienen una estructura claramente disciplinar y solo incorporan métodos externos de manera puntual, mientras otras desarrollan combinaciones más profundas entre conceptos, técnicas y preguntas. Esta variabilidad dificulta establecer un único indicador capaz de representar toda forma de interdisciplinariedad. Por ello, su análisis debe considerar simultáneamente diversidad, distancia e integración entre campos. La transformación disciplinar no puede deducirse únicamente de la presencia de varias categorías en una publicación, porque lo relevante es determinar cómo se relacionan realmente los conocimientos incluidos en la investigación (Cantone, 2024).

La colaboración transdisciplinaria muestra que las fronteras también se modifican mediante procesos sociales de interacción. Los participantes necesitan construir confianza, comprender perspectivas diferentes y disponer de espacios donde puedan discutir prioridades y expectativas. Estas condiciones afectan directamente la posibilidad de integrar conocimiento, porque una estructura formalmente interdisciplinaria puede mantener separaciones internas si los participantes no logran construir relaciones significativas. Por ello, la reconfiguración de las disciplinas depende tanto de la organización conceptual de la investigación como de las

condiciones que permiten la cooperación sostenida entre quienes producen y utilizan conocimientos distintos (McClure, 2024).

La formación de configuraciones híbridas puede identificarse mediante cambios en las redes de conocimiento y en los temas que conectan distintas comunidades científicas. Cuando determinadas relaciones adquieren continuidad, pueden aparecer agrupaciones que ya no corresponden plenamente con las clasificaciones disciplinares originales. Estas estructuras emergentes reflejan procesos de recombinación en los que los campos participantes conservan parte de sus características, pero generan también conexiones nuevas. El análisis de estas dinámicas permite observar que la reconfiguración disciplinar no siempre está precedida por decisiones institucionales formales; puede comenzar en las prácticas de investigación y consolidarse posteriormente mediante reconocimiento científico (Kim et al., 2024).

La reconfiguración de los límites entre disciplinas expresa una transformación en la manera de organizar la producción científica. Las disciplinas continúan proporcionando especialización, criterios y comunidades necesarias para desarrollar conocimiento, pero sus fronteras pueden adaptarse cuando los problemas requieren conexiones que exceden sus estructuras convencionales. El resultado no es necesariamente una ciencia sin disciplinas, sino un sistema donde existen diferentes grados de interacción, integración y convergencia. La capacidad para relacionar saberes sin perder precisión conceptual constituye una condición central para que estas nuevas configuraciones produzcan conocimiento coherente y no simples combinaciones superficiales de perspectivas diferentes (Mejía Ríos et al., 2024).

3.3 Interdisciplinariedad como estrategia de investigación

La interdisciplinariedad funciona como estrategia de investigación cuando un problema exige conocimientos que no pueden ser proporcionados de manera suficiente por una sola disciplina. Su propósito no consiste únicamente en reunir especialistas, sino en construir relaciones entre conceptos, métodos y perspectivas que permitan abordar el objeto con mayor amplitud. Esta estrategia requiere identificar qué aporta cada campo, qué diferencias existen entre sus enfoques y cómo pueden integrarse dentro de una misma lógica investigativa. La interdisciplinariedad adquiere valor cuando la combinación de saberes produce una comprensión más articulada del problema y no una simple yuxtaposición de contribuciones independientes (Cantone, 2024).

La elección de una estrategia interdisciplinaria debe responder a la naturaleza del problema y no a una preferencia metodológica general. Algunos objetos pueden estudiarse adecuadamente

desde una disciplina, mientras otros presentan dimensiones que exigen conexiones entre campos distintos. En estos casos, el diseño de investigación debe establecer desde el inicio cómo se relacionarán los conocimientos especializados y qué función cumplirá cada perspectiva. La integración necesita objetivos compartidos, criterios comunes y mecanismos para resolver diferencias conceptuales. De esta manera, la interdisciplinariedad se convierte en una decisión estructural del proceso investigativo y no en una característica añadida al final del estudio (Mejía Ríos et al., 2024).

La interdisciplinariedad también puede expresarse mediante la transferencia de métodos entre disciplinas. Un procedimiento desarrollado en un campo puede adquirir nuevas funciones cuando se adapta a preguntas formuladas desde otro. Esta transferencia requiere comprender los supuestos del método original y evaluar si mantiene validez en el nuevo contexto. La relación entre matemática y física muestra cómo determinadas herramientas pueden vincularse con problemas distintos sin perder su especificidad. La integración metodológica amplía las capacidades de investigación cuando existe una justificación clara de su uso y cuando los procedimientos seleccionados responden de manera coherente a las características del objeto estudiado (Herrera Castrillo, 2023).

La colaboración interdisciplinaria depende también de la capacidad de los participantes para construir un lenguaje suficientemente compartido. Los especialistas pueden utilizar términos semejantes con significados diferentes o asignar distinta importancia a determinados tipos de evidencia. Estas diferencias pueden generar malentendidos si no se hacen explícitas durante el proceso de investigación. La integración requiere espacios de diálogo donde los participantes expliquen sus supuestos, discutan sus prioridades y ajusten las categorías utilizadas. La construcción de confianza y comprensión mutua resulta especialmente importante cuando intervienen perspectivas diversas y cuando el problema exige decisiones conjuntas sobre métodos, interpretación y alcance de los resultados (McClure, 2024).

La interdisciplinariedad puede evaluarse atendiendo a la diversidad de campos involucrados, a la distancia existente entre ellos y al grado de integración alcanzado. La presencia de varias disciplinas en una publicación no garantiza que exista una estrategia interdisciplinaria sólida. Puede ocurrir que cada área contribuya de forma separada sin establecer relaciones sustantivas con las demás. Por ello, la evaluación debe considerar cómo se articulan conceptos, métodos y evidencias dentro del estudio. Esta distinción permite diferenciar una colaboración multidisciplinaria basada en aportes paralelos de una integración interdisciplinaria donde las

perspectivas se relacionan de manera efectiva para construir una explicación común (Cantone, 2024).

La interdisciplinariedad también puede impulsar la aparición de nuevas combinaciones temáticas dentro del sistema científico. Cuando investigadores de áreas distintas mantienen vínculos sostenidos alrededor de problemas compartidos, las conexiones pueden generar comunidades y líneas de investigación que no encajan plenamente en las categorías tradicionales. Estas configuraciones reflejan una transformación progresiva de las fronteras disciplinares. El análisis de redes y temas científicos permite identificar cómo determinados vínculos adquieren continuidad y cómo ciertas áreas comienzan a conectarse con mayor intensidad. La estrategia interdisciplinaria puede convertirse así en un mecanismo mediante el cual surgen nuevas estructuras de conocimiento dentro de la ciencia contemporánea (Kim et al., 2024).

La integración interdisciplinaria exige también decisiones sobre el nivel en que se realizará la articulación. Algunas investigaciones conectan principalmente conceptos, otras combinan métodos y otras reorganizan conjuntamente preguntas, evidencias e interpretaciones. Cuanto más profunda sea la integración, mayor será la necesidad de justificar cómo se relacionan los componentes provenientes de cada disciplina. Esta exigencia evita que la interdisciplinariedad se convierta en una etiqueta aplicada a investigaciones que mantienen estructuras esencialmente separadas. Una estrategia sólida debe mostrar con claridad qué aspectos del problema requieren la contribución de varios campos y cómo esa combinación modifica la comprensión que podría alcanzarse desde una perspectiva aislada (Peña Cárdenas et al., 2024).

La interdisciplinariedad puede ser especialmente útil cuando el objeto presenta relaciones entre dimensiones cuantitativas y cualitativas, procesos naturales y sociales o escalas diferentes de análisis. En estos casos, un diseño único puede resultar insuficiente para representar la complejidad del fenómeno. La articulación de disciplinas permite construir una arquitectura metodológica más flexible, siempre que exista coherencia entre preguntas, técnicas y criterios de interpretación. El valor de la estrategia depende de que cada método contribuya a responder una dimensión relevante del problema y de que los resultados puedan integrarse dentro de una explicación conjunta que conserve la consistencia analítica del estudio (Herrera Castrillo, 2023).

La colaboración interdisciplinaria requiere condiciones organizativas que favorezcan el intercambio sostenido. El tiempo disponible, la distribución de responsabilidades, los espacios

de discusión y la posibilidad de revisar decisiones iniciales influyen en la calidad de la integración. Cuando los participantes trabajan de manera aislada y solo reúnen sus resultados al final, es más difícil construir una interpretación verdaderamente compartida. La interdisciplinariedad demanda procesos iterativos en los que las decisiones puedan modificarse a medida que surgen nuevas evidencias o discrepancias. Estas condiciones permiten que la colaboración se convierta en un proceso de construcción conjunta y no en una suma administrativa de aportes especializados (McClure, 2024).

La interdisciplinariedad también plantea desafíos para la evaluación científica, porque los criterios establecidos dentro de una disciplina pueden no ser suficientes para valorar trabajos que combinan enfoques distintos. La diversidad de métodos y marcos conceptuales exige identificar indicadores que reconozcan la calidad de la integración y no únicamente la pertenencia a varias áreas. Los sistemas de clasificación pueden simplificar en exceso estas relaciones si representan la ciencia mediante categorías rígidas. Por ello, evaluar investigaciones interdisciplinarias requiere considerar la coherencia del problema, la complementariedad de los métodos y la forma en que los conocimientos se articulan dentro del resultado final (Cantone, 2024).

Figura 3
Interdisciplinariedad como estrategia de investigación



Nota. El esquema sintetiza los elementos necesarios para articular conocimientos, métodos y perspectivas dentro de una investigación interdisciplinaria.

Como estrategia de investigación, la interdisciplinariedad permite responder a problemas que atraviesan fronteras conceptuales y metodológicas, pero su eficacia depende de la calidad de la integración lograda. La colaboración entre disciplinas debe estar guiada por preguntas que realmente requieran perspectivas distintas y por procedimientos capaces de relacionarlas de manera coherente. Cuando esta articulación se sostiene en el tiempo, puede modificar prácticas, crear nuevas conexiones y ampliar los límites de los campos participantes. Su aporte principal reside en construir explicaciones que conserven la precisión de los conocimientos especializados y, al mismo tiempo, permitan comprender relaciones que permanecerían fragmentadas bajo enfoques estrictamente disciplinares (Mejía Ríos et al., 2024).

3.4 Transdisciplinariedad ante problemas complejos

La transdisciplinariedad adquiere relevancia cuando los problemas de investigación presentan relaciones que desbordan los límites de una sola disciplina y requieren integrar conocimientos procedentes de diferentes campos y actores. Su aplicación resulta especialmente pertinente frente a fenómenos complejos, donde las dimensiones sociales, ambientales, tecnológicas o institucionales se encuentran interconectadas. En estos casos, la investigación necesita construir un problema común que permita articular perspectivas diversas sin reducirlas a una sola lógica disciplinar. La transdisciplinariedad amplía así el marco de producción científica al favorecer procesos de integración orientados por la naturaleza del problema y no únicamente por la estructura académica existente (Mejía Ríos et al., 2024).

Los problemas complejos suelen presentar incertidumbre, múltiples escalas y relaciones que cambian según el contexto. Estas características dificultan que una disciplina pueda establecer por sí sola todas las variables relevantes o anticipar las consecuencias de determinadas decisiones. La transdisciplinariedad responde a esta limitación mediante procesos colaborativos en los que se combinan conocimientos especializados y experiencias vinculadas directamente con el problema. En investigaciones sobre riesgos climáticos urbanos, esta forma de trabajo permite integrar perspectivas científicas y prácticas para comprender condiciones locales, prioridades y capacidades de respuesta que difícilmente podrían identificarse desde una aproximación exclusivamente académica (McClure, 2024).

La integración transdisciplinaria exige más que la suma de conocimientos procedentes de diferentes áreas. Es necesario establecer relaciones entre conceptos, métodos y formas de evidencia que pueden tener fundamentos distintos. Cuando estas conexiones no se justifican,

la investigación corre el riesgo de reunir aportes heterogéneos sin construir una explicación común. Por ello, el diseño debe definir cómo participará cada perspectiva y qué función tendrá dentro de la comprensión del problema. Los enfoques transdisciplinarios buscan precisamente organizar esta integración mediante procesos que permitan producir conocimiento articulado, capaz de representar fenómenos complejos desde dimensiones que permanecen separadas en investigaciones estrictamente disciplinares (Peña Cárdenas et al., 2024).

La participación de actores externos a las disciplinas académicas constituye otra característica importante de la transdisciplinariedad. Profesionales, comunidades, organizaciones y responsables de decisiones pueden aportar información contextual, experiencias y conocimientos que influyen en la definición del problema. Esta participación puede modificar preguntas iniciales y revelar aspectos que los investigadores no habían considerado. Sin embargo, incorporar actores diversos requiere establecer procedimientos para discutir expectativas, responsabilidades y criterios de validez. La calidad de la colaboración depende de la posibilidad de construir confianza y mantener espacios de intercambio donde las diferencias puedan ser reconocidas y utilizadas en la producción conjunta de conocimiento (McClure, 2024).

La transdisciplinariedad también plantea una revisión de las fronteras entre producción científica y aplicación práctica. Frente a problemas complejos, la generación de conocimiento puede desarrollarse de manera vinculada con los contextos donde ese conocimiento será interpretado o utilizado. Esto no significa abandonar los criterios científicos, sino ampliar el proceso mediante el cual se seleccionan preguntas y se evalúa la pertinencia de los resultados. La construcción conjunta puede favorecer una comprensión más contextualizada del fenómeno cuando las distintas perspectivas participan desde etapas tempranas de la investigación y mantienen una interacción sostenida durante el desarrollo del estudio (Mejía Ríos et al., 2024).

Tabla 9
Componentes de la transdisciplinariedad ante problemas complejos

Componente	Característica	Función en la investigación	Resultado esperado
Problema compartido	Integra dimensiones de distintos campos	Orienta la colaboración hacia una cuestión común	Delimitación más amplia del objeto
Diversidad de conocimientos	Incorpora saberes científicos y contextuales	Amplía las perspectivas disponibles	Comprensión multidimensional

Componente	Característica	Función en la investigación	Resultado esperado
Integración conceptual	Relaciona categorías provenientes de varios ámbitos	Evita explicaciones fragmentadas	Marco interpretativo articulado
Colaboración entre actores	Vincula investigadores y participantes externos	Incorpora experiencias y necesidades específicas	Producción conjunta de conocimiento
Flexibilidad metodológica	Combina procedimientos según el problema	Permite trabajar con evidencias heterogéneas	Diseño adecuado a la complejidad
Reflexividad	Revisa supuestos y decisiones durante el proceso	Ajusta la investigación ante nuevas condiciones	Mayor coherencia entre problema y método

Nota. La tabla organiza los componentes que permiten desarrollar una investigación transdisciplinaria orientada a problemas complejos y muestra la función que cada uno cumple dentro del proceso de integración del conocimiento.

La transdisciplinariedad requiere capacidades específicas para gestionar diferencias entre los participantes. Las perspectivas involucradas pueden establecer prioridades distintas, utilizar lenguajes especializados o valorar de forma diferente determinadas evidencias. Estas divergencias no deben eliminarse automáticamente, porque pueden revelar dimensiones relevantes del problema. El reto consiste en construir mecanismos que permitan discutirlos y convertirlas en insumos para la investigación. La experiencia de proyectos transdisciplinarios muestra que la comprensión mutua, el reconocimiento de motivaciones diversas y la creación de espacios de interacción favorecen una colaboración más consistente y una integración más efectiva de los conocimientos disponibles (McClure, 2024).

Los métodos empleados en investigaciones transdisciplinarias deben responder a la heterogeneidad del objeto y a las relaciones que se busca comprender. Un mismo estudio puede requerir procedimientos cuantitativos, cualitativos, modelización o análisis contextual, siempre que su combinación esté justificada por las preguntas planteadas. La integración metodológica no consiste en acumular técnicas, sino en establecer cómo cada procedimiento contribuye a una explicación común. Cuando esta relación se construye de manera coherente, los enfoques transdisciplinares pueden ampliar la capacidad para analizar fenómenos cuyas propiedades dependen de la interacción entre componentes científicos, sociales y prácticos (Peña Cárdenas et al., 2024).

La transdisciplinariedad también enfrenta dificultades institucionales. Las universidades y sistemas de evaluación suelen organizarse mediante disciplinas, departamentos y criterios

especializados que no siempre reconocen con facilidad trabajos contruidos entre varios campos y actores. Esta estructura puede dificultar la asignación de responsabilidades, la evaluación de resultados o la continuidad de equipos transdisciplinarios. A pesar de ello, la creciente presencia de problemas que requieren integración impulsa nuevas formas de colaboración y obliga a revisar los mecanismos tradicionales de organización académica. La transformación depende de construir espacios donde la cooperación pueda sostenerse más allá de proyectos aislados (Mejía Ríos et al., 2024).

Ante problemas complejos, la transdisciplinariedad ofrece una forma de organizar la investigación cuando las fronteras disciplinares limitan la comprensión del fenómeno. Su aporte depende de la capacidad para definir problemas compartidos, integrar conocimientos diferentes y mantener procesos colaborativos suficientemente estructurados. La amplitud de perspectivas no garantiza por sí misma mejores resultados; es necesario justificar las relaciones entre conceptos, métodos y actores. Cuando esta articulación se logra, la transdisciplinariedad puede producir explicaciones más sensibles a la complejidad del contexto y construir conocimientos que integren dimensiones que permanecerían separadas bajo esquemas exclusivamente disciplinares (Peña Cárdenas et al., 2024).

3.5 Emergencia de campos científicos híbridos

La emergencia de campos científicos híbridos ocurre cuando conocimientos, métodos y problemas provenientes de disciplinas diferentes comienzan a combinarse de manera suficientemente estable como para formar nuevas áreas de investigación. Estas configuraciones no surgen únicamente por proximidad temática, sino por la creación de relaciones sostenidas entre comunidades científicas que comparten preguntas, técnicas o marcos analíticos. Con el tiempo, esas conexiones pueden generar vocabularios propios, líneas de investigación diferenciadas y nuevas formas de organizar la evidencia. El carácter híbrido refleja una estructura en la que permanecen componentes de las disciplinas originales, pero reorganizados alrededor de problemas y relaciones científicas nuevas (Kim et al., 2024).

La identificación de un campo híbrido requiere distinguir entre una colaboración puntual y una transformación más profunda de las relaciones disciplinares. Una investigación puede utilizar herramientas de varias áreas sin producir necesariamente una nueva configuración científica. La emergencia se vuelve más evidente cuando las conexiones entre campos adquieren continuidad, aumentan su densidad y generan comunidades reconocibles. Los análisis de redes y temas científicos permiten observar estos procesos al identificar agrupaciones que combinan

categorías previamente separadas. De esta manera, la aparición de un campo híbrido puede estudiarse como una dinámica progresiva de integración y no como un acontecimiento repentino (Kim et al., 2024).

Los campos híbridos también plantean dificultades para los sistemas tradicionales de clasificación científica. Las taxonomías disciplinares suelen organizar publicaciones, revistas y áreas mediante categorías relativamente estables, pero estas estructuras pueden representar de forma incompleta investigaciones que se desarrollan en intersecciones. Un mismo trabajo puede combinar conocimientos de campos muy distantes y, aun así, quedar registrado dentro de una categoría dominante. Por ello, la medición de la interdisciplinariedad debe considerar no solo la cantidad de disciplinas presentes, sino también la distancia entre ellas y el grado real de integración alcanzado en el proceso científico (Cantone, 2024).

La formación de campos híbridos puede comenzar mediante transferencias metodológicas. Un procedimiento desarrollado en una disciplina puede ser utilizado para responder preguntas de otra y, posteriormente, convertirse en parte habitual de una nueva práctica investigativa. Cuando estas transferencias se combinan con conceptos y problemas compartidos, la interacción deja de ser instrumental y adquiere un carácter más estructural. La relación entre matemática y física muestra cómo los métodos pueden circular entre áreas conservando funciones específicas y generando, al mismo tiempo, espacios de investigación interdependientes. Estas conexiones contribuyen a modificar las fronteras desde las cuales se organiza el conocimiento (Herrera Castrillo, 2023).

Los campos híbridos también pueden surgir cuando un problema complejo exige integrar dimensiones que no coinciden con las divisiones disciplinares existentes. En estas situaciones, el objeto de investigación funciona como punto de convergencia y obliga a construir relaciones entre perspectivas diferentes. La transdisciplinariedad ofrece un marco útil para comprender este proceso, porque desplaza la atención desde la pertenencia institucional de los participantes hacia la capacidad de articular conocimientos pertinentes. Cuando esa articulación se mantiene y produce prácticas propias, puede consolidarse una configuración científica que ya no se identifica completamente con ninguno de los campos originales (Mejía Ríos et al., 2024).

La consolidación de un campo híbrido depende también de su capacidad para producir conocimiento con cierta autonomía. Para ello, necesita desarrollar problemas reconocibles, métodos adecuados y mecanismos de comunicación que permitan a una comunidad sostener investigaciones relacionadas. La integración transdisciplinar puede favorecer esta

consolidación cuando logra articular perspectivas diversas dentro de una estructura coherente. Sin embargo, la combinación de enfoques no garantiza por sí misma la formación de un campo nuevo. Es necesario que las relaciones entre conocimientos se establezcan y generen productos científicos capaces de sostener una agenda investigativa diferenciada a lo largo del tiempo (Peña Cárdenas et al., 2024).

La emergencia de campos híbridos también transforma la identidad profesional de los investigadores. Quienes trabajan en estas áreas pueden formarse inicialmente dentro de una disciplina, pero desarrollar posteriormente competencias que atraviesan varias tradiciones científicas. Esto puede modificar las formas de colaboración, publicación y evaluación académica, porque los perfiles híbridos no siempre coinciden con las categorías institucionales existentes. La integración exige aprender lenguajes y procedimientos de otros campos sin abandonar necesariamente la especialización original. De esta manera, la formación científica puede adquirir una estructura más flexible, orientada por problemas y capacidades de conexión entre áreas (Cantone, 2024).

Las redes de colaboración desempeñan un papel central en la formación de campos híbridos porque permiten sostener intercambios que superan proyectos aislados. Cuando investigadores de distintas áreas mantienen relaciones continuas, pueden desarrollar agendas compartidas, transferir métodos y construir categorías comunes. Estas redes favorecen la circulación de conocimiento y permiten que ciertas combinaciones temáticas adquieran mayor visibilidad. El análisis de la emergencia interdisciplinaria muestra que las conexiones entre comunidades pueden identificar áreas en formación antes de que estas sean reconocidas formalmente por clasificaciones institucionales. La estructura relacional de la ciencia participa así directamente en la aparición de nuevas configuraciones (Kim et al., 2024).

La formación de un campo híbrido enfrenta además desafíos de comunicación. Las disciplinas involucradas pueden utilizar términos similares con significados diferentes o establecer criterios distintos para valorar evidencia y resultados. Superar estas diferencias requiere espacios de interacción donde los participantes expliciten sus supuestos y negocien formas de trabajo compartidas. La colaboración en problemas complejos muestra que la confianza, la comprensión mutua y el reconocimiento de perspectivas distintas son condiciones importantes para integrar conocimientos. Sin estos mecanismos, la investigación puede mantener una apariencia interdisciplinaria mientras cada área continúa trabajando de manera separada, limitando la posibilidad de consolidar una configuración verdaderamente híbrida (McClure, 2024).

Los campos híbridos también pueden modificar las agendas científicas al introducir problemas que antes permanecían distribuidos entre varias disciplinas. Cuando una nueva configuración logra establecer preguntas propias, los temas adquieren mayor coherencia y pueden generar líneas de investigación especializadas. Esta transformación puede conducir a la creación de programas académicos, revistas, redes y categorías específicas. Sin embargo, la emergencia no implica necesariamente independencia completa respecto de las disciplinas de origen. Muchos campos mantienen conexiones constantes con ellas y funcionan mediante intercambios permanentes de métodos, conceptos y datos, lo que confirma su carácter relacional y dinámico dentro del sistema científico (Peña Cárdenas et al., 2024).

La emergencia de campos científicos híbridos muestra que las disciplinas no constituyen estructuras inmutables. Sus fronteras pueden reorganizarse cuando nuevas combinaciones de conocimientos adquieren estabilidad suficiente para producir objetos, métodos y comunidades diferenciadas. Esta transformación no elimina la especialización, sino que la redistribuye dentro de configuraciones más conectadas. Los campos híbridos pueden conservar elementos de varias tradiciones y, al mismo tiempo, desarrollar identidades científicas propias. Su consolidación depende de la continuidad de las redes, la coherencia de sus problemas y la capacidad de integrar conocimientos sin perder precisión metodológica ni claridad conceptual (Kim et al., 2024).

Capítulo 4.

Complejidad y nuevos objetos de conocimiento

Guido Nino Guida Acevedo



4.1 Complejidad como problema epistemológico

La complejidad constituye un problema epistemológico cuando los fenómenos estudiados no pueden comprenderse adecuadamente mediante explicaciones basadas en elementos aislados o relaciones lineales. Un sistema complejo se caracteriza por la interacción entre múltiples componentes cuyas relaciones generan comportamientos que no siempre pueden deducirse a partir del análisis individual de cada parte. Esta condición obliga a revisar las formas tradicionales de explicación científica y a considerar estructuras relacionales, dinámicas y contextuales. La complejidad modifica así la pregunta por aquello que puede conocerse, porque exige estudiar simultáneamente componentes, interacciones, organización y propiedades del sistema considerado como totalidad (Estrada, 2024).

Desde una perspectiva epistemológica, abordar la complejidad implica reconocer que diferentes dimensiones de un fenómeno pueden requerir formas distintas de observación y explicación. Los sistemas complejos no responden necesariamente a relaciones proporcionales entre causas y efectos, debido a que sus componentes interactúan y cambian a través del tiempo. Esto dificulta construir explicaciones basadas exclusivamente en variables independientes y obliga a considerar procesos dinámicos, retroalimentaciones y dependencias contextuales. La complejidad cuestiona, por tanto, la suficiencia de esquemas reduccionistas cuando estos eliminan relaciones necesarias para comprender el comportamiento general del fenómeno investigado (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021).

La complejidad también plantea preguntas sobre la relación entre epistemología y ontología. Reconocer un fenómeno como complejo supone adoptar determinados supuestos acerca de cómo está constituido y de qué manera puede conocerse. En algunos campos, los enfoques de sistemas dinámicos complejos cuestionan explicaciones que separan rígidamente los componentes y proponen estudiar procesos interdependientes, variables en el tiempo y sensibles a condiciones iniciales. Estas decisiones no son únicamente metodológicas, porque influyen en la delimitación del objeto científico y en los tipos de relaciones que se consideran relevantes para explicar su transformación (Han et al., 2023).

Uno de los problemas centrales consiste en determinar hasta qué punto un fenómeno puede explicarse mediante niveles inferiores de organización. Las explicaciones reduccionistas pueden ser útiles para identificar mecanismos específicos, pero no necesariamente agotan las propiedades observadas en niveles superiores. La distinción entre reducción ontológica y reducción epistemológica permite reconocer que un fenómeno puede depender materialmente

de componentes más básicos sin que su explicación completa pueda formularse exclusivamente en términos de esos componentes. Esta diferencia resulta importante para estudiar sistemas donde las propiedades relevantes aparecen mediante relaciones organizadas entre múltiples elementos y niveles de análisis (Filomeno, 2024).

La complejidad exige también revisar la idea de que conocer un sistema equivale a descomponerlo completamente en partes independientes. La descomposición continúa siendo una estrategia científica útil, pero puede perder información cuando elimina interacciones responsables del comportamiento global. Un sistema complejo debe analizarse considerando tanto las características de sus componentes como la estructura de relaciones que los conecta. Esta perspectiva obliga a combinar análisis locales y globales, porque determinadas propiedades solo adquieren significado dentro de la organización conjunta. El problema epistemológico consiste entonces en identificar qué nivel y qué forma de representación permiten explicar adecuadamente el fenómeno estudiado (Estrada, 2024).

Tabla 10
Dimensiones epistemológicas para el estudio de fenómenos complejos

Dimensión	Problema epistemológico	Limitación de un enfoque simplificador	Criterio de análisis
Relacional	Comprender interacciones entre componentes	Analiza elementos de forma aislada	Examinar patrones de conexión
Causal	Explicar múltiples influencias simultáneas	Reduce el fenómeno a causas lineales	Considerar relaciones causales distribuidas
Temporal	Interpretar cambios y trayectorias	Supone condiciones estables	Analizar evolución y dinámica
Multinivel	Relacionar diferentes niveles de organización	Explica todo desde un solo nivel	Integrar niveles micro y macro
Emergente	Explicar propiedades colectivas	Deduce el todo directamente de las partes	Analizar organización e interacción
Representacional	Construir modelos adecuados	Simplifica relaciones relevantes	Seleccionar modelos según el problema

Nota. La tabla organiza las principales dificultades epistemológicas que aparecen al estudiar fenómenos complejos y los criterios necesarios para evitar explicaciones excesivamente simplificadas.

La complejidad epistemológica también se relaciona con la selección del nivel desde el cual se produce una explicación. Un mismo fenómeno puede describirse mediante componentes microscópicos, relaciones intermedias o propiedades macroscópicas, y cada nivel puede aportar información diferente. La elección no debe asumirse como una cuestión meramente técnica, porque determina qué mecanismos y regularidades se vuelven visibles. Las discusiones sobre reducción muestran que una explicación situada en un nivel inferior puede ser

insuficiente cuando las propiedades relevantes dependen de formas de organización que solo aparecen en escalas superiores (Filomeno, 2024).

Otro problema epistemológico surge de la causalidad en sistemas donde múltiples componentes interactúan simultáneamente. En estas condiciones, la relación entre causa y efecto puede depender del nivel de análisis seleccionado. Algunas propiedades causales pueden hacerse más claras cuando el sistema se representa en una escala agregada, lo que plantea la posibilidad de una emergencia causal. Esta perspectiva cuestiona la idea de que toda capacidad explicativa debe localizarse exclusivamente en los elementos microscópicos. El análisis de sistemas complejos requiere, por ello, comparar diferentes escalas y determinar cuál ofrece una representación causal más informativa del comportamiento observado (Yuan et al., 2024).

Los enfoques de complejidad también obligan a reconocer los límites de los modelos utilizados para representar un objeto. Toda representación científica selecciona determinadas variables y relaciones mientras deja otras fuera, por lo que la simplificación es inevitable. El problema no consiste en eliminarla, sino en establecer si conserva las características relevantes para la pregunta investigada. En contextos complejos, un modelo excesivamente reducido puede producir explicaciones incompletas si excluye interacciones esenciales. La epistemología de la complejidad exige, en consecuencia, justificar las decisiones mediante las cuales se delimitan componentes, niveles y relaciones dentro de una representación científica (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021).

La complejidad como problema epistemológico modifica la manera de formular objetos científicos porque desplaza la atención desde entidades aisladas hacia relaciones, organizaciones y procesos. Esto no implica abandonar las explicaciones analíticas, sino determinar hasta dónde resultan suficientes y cuándo deben complementarse con aproximaciones sistémicas. La investigación requiere distinguir entre propiedades observables en componentes individuales y propiedades que dependen de configuraciones colectivas. Esta distinción permite construir explicaciones más precisas sobre fenómenos cuyo comportamiento surge de múltiples interacciones y niveles. El reto central consiste en seleccionar marcos capaces de representar esa organización sin reducirla indebidamente ni convertir la complejidad en una categoría imprecisa (Estrada, 2024).

4.2 Sistemas complejos y relaciones multicausales

Los sistemas complejos se caracterizan por la interacción simultánea de múltiples componentes cuyas relaciones pueden generar comportamientos difíciles de explicar mediante cadenas

causales simples. En estos sistemas, una misma consecuencia puede depender de varios factores que actúan de forma conjunta, mientras una causa puede producir efectos distintos según el contexto. Esta estructura obliga a superar interpretaciones lineales y a considerar configuraciones de interdependencia, retroalimentación y variación temporal. La multicausalidad no implica una ausencia de explicación, sino la necesidad de identificar cómo diferentes elementos se combinan y adquieren relevancia dentro de una organización determinada (Estrada, 2024).

La explicación multicausal exige reconocer que los componentes de un sistema no actúan de manera independiente. Sus efectos dependen de las relaciones que mantienen con otros elementos y de la posición que ocupan dentro de una estructura. Por ello, aislar una variable puede ser útil para estudiar un mecanismo específico, pero insuficiente para explicar el comportamiento global. En sistemas complejos, las relaciones entre causas pueden ser complementarias, competitivas o recursivas. Esta condición convierte el análisis causal en una tarea relacional, donde importa tanto identificar los factores implicados como comprender la forma en que se articulan dentro del sistema (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021).

Las relaciones multicausales también pueden variar según la escala de análisis. Un patrón que parece surgir de múltiples factores en un nivel microscópico puede presentar una estructura causal más clara cuando se observa en un nivel agregado. Esta posibilidad ha dado lugar al concepto de emergencia causal, según el cual ciertas relaciones causales pueden resultar más informativas en niveles superiores de organización. En lugar de asumir que la explicación más fundamental siempre se encuentra en los componentes mínimos, el estudio de sistemas complejos exige comparar escalas y determinar en cuál de ellas se representa mejor la estructura causal del fenómeno (Yuan et al., 2024).

La multicausalidad se vuelve especialmente relevante cuando existen procesos de retroalimentación. En estos casos, una consecuencia puede convertirse posteriormente en condición de nuevas transformaciones, produciendo ciclos que dificultan distinguir entre causas iniciales y efectos finales. Los sistemas complejos suelen incluir relaciones de este tipo, donde el estado presente influye sobre las condiciones futuras y modifica las trayectorias posibles. Por ello, las explicaciones estáticas resultan limitadas para comprender fenómenos cuya evolución depende de interacciones continuas. El análisis debe incorporar temporalidad, secuencias y mecanismos de retroalimentación para representar adecuadamente la dinámica causal del sistema (Estrada, 2024).

Otro rasgo importante es la sensibilidad al contexto. Una misma combinación de factores puede producir resultados diferentes cuando cambian las condiciones iniciales o las relaciones entre componentes. Esto significa que la multicausalidad no puede reducirse a una lista estable de variables explicativas. Es necesario analizar cómo el entorno modifica el peso relativo de cada factor y cómo determinadas condiciones activan o restringen ciertos mecanismos. En sistemas complejos, la causalidad se distribuye dentro de una red de dependencias donde el comportamiento final depende tanto de los elementos presentes como de la configuración específica que adoptan en cada situación (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021).

La emergencia constituye una consecuencia directa de estas interacciones multicausales. Cuando múltiples componentes actúan de forma coordinada, pueden aparecer propiedades que no se observan en ninguno de ellos de manera aislada. Estas propiedades colectivas plantean un desafío para las explicaciones reduccionistas, porque no siempre pueden deducirse directamente a partir del comportamiento individual de cada elemento. El análisis de emergencia causal busca precisamente determinar si ciertas configuraciones macroscópicas poseen relaciones causales más informativas que las descritas en niveles inferiores. Esta perspectiva amplía la comprensión de la causalidad al incorporar propiedades que dependen de la organización global del sistema (Yuan et al., 2024).

Los modelos utilizados para estudiar relaciones multicausales deben representar tanto los factores relevantes como las interacciones existentes entre ellos. Un modelo que solo acumule variables sin especificar sus conexiones puede perder la estructura que genera el comportamiento complejo. Por esta razón, la representación científica necesita incorporar redes, dependencias, retroalimentaciones y cambios temporales cuando estos forman parte del fenómeno. La dificultad metodológica consiste en simplificar lo suficiente para hacer el sistema analizable sin eliminar relaciones esenciales. El valor del modelo depende, por tanto, de su capacidad para preservar la organización causal relevante para la pregunta de investigación (Estrada, 2024).

Las relaciones multicausales también obligan a revisar la idea de jerarquía causal. En algunos sistemas, ciertos factores parecen dominar el comportamiento global, mientras otros solo adquieren importancia bajo condiciones específicas. Esta variabilidad impide asumir que existe una única causa principal aplicable a todas las situaciones. El análisis debe identificar configuraciones causales y no solo variables individuales. En contextos socioambientales, por ejemplo, factores físicos, institucionales y sociales pueden interactuar de formas diferentes según la escala y el momento considerado. La explicación adecuada requiere entonces integrar

dimensiones heterogéneas dentro de un marco sistémico coherente (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021).

La causalidad en sistemas complejos puede presentar además efectos no proporcionales. Pequeñas variaciones en determinados componentes pueden generar cambios amplios, mientras modificaciones mayores en otros elementos producen efectos limitados. Esta no linealidad dificulta anticipar resultados mediante extrapolaciones simples y obliga a considerar umbrales, puntos críticos y cambios de régimen. La investigación debe analizar cómo la estructura de interacciones amplifica o amortigua determinadas perturbaciones. Comprender estas propiedades resulta esencial para explicar por qué sistemas aparentemente similares pueden evolucionar de manera diferente frente a estímulos comparables (Estrada, 2024).

La comparación entre niveles de organización permite identificar si determinadas relaciones causales se vuelven más visibles al representar el sistema de otra manera. Los estudios sobre emergencia causal muestran que una descripción macroscópica puede, en algunos casos, concentrar información causal dispersa en múltiples interacciones microscópicas. Esto no elimina la relevancia de los componentes básicos, pero indica que la capacidad explicativa depende también del nivel elegido. La selección de escala se convierte así en una decisión epistemológica central, porque condiciona qué relaciones se consideran causales y qué patrones pueden reconocerse dentro del comportamiento del sistema (Yuan et al., 2024).

Los sistemas complejos y las relaciones multicausales exigen, en conjunto, una explicación científica capaz de integrar componentes, interacciones, escalas y temporalidades. La multicausalidad no debe entenderse como una suma indiscriminada de factores, sino como una estructura organizada de dependencias que produce efectos variables según el contexto. Analizar estos sistemas requiere identificar mecanismos, comparar niveles y representar adecuadamente las conexiones que sostienen el comportamiento global. Esta perspectiva permite explicar fenómenos que no responden a relaciones lineales simples y ofrece una base más adecuada para estudiar procesos donde la causalidad se distribuye entre múltiples elementos y configuraciones (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021).

4.3 Fenómenos emergentes en la investigación científica

Los fenómenos emergentes aparecen cuando las interacciones entre múltiples componentes producen propiedades que no pueden identificarse observando cada elemento de forma aislada. Esta condición resulta central en el estudio de sistemas complejos, porque desplaza la atención desde las unidades individuales hacia la organización que surge de sus relaciones. La

emergencia implica que determinadas regularidades, patrones o capacidades aparecen en niveles superiores sin estar contenidas de manera evidente en cada componente. Para la investigación científica, este fenómeno obliga a revisar explicaciones estrictamente reduccionistas y a considerar cómo la estructura del sistema contribuye a generar propiedades colectivas (Yuan et al., 2024).

La emergencia no significa que los fenómenos carezcan de relación con sus componentes básicos. Las propiedades colectivas dependen de las partes que integran el sistema, pero su explicación puede requerir analizar también la organización y las interacciones que las conectan. Esta distinción permite comprender por qué un sistema puede presentar comportamientos que no se anticipan fácilmente a partir del conocimiento aislado de sus elementos. El problema científico consiste en determinar qué aspectos pueden explicarse mediante mecanismos locales y cuáles requieren introducir niveles superiores de descripción capaces de representar configuraciones, dependencias y patrones globales (Estrada, 2024).

Una cuestión central en la investigación sobre emergencia es la relación entre niveles micro y macro. En el nivel microscópico pueden observarse numerosas interacciones individuales, mientras que en el nivel macroscópico aparecen regularidades que sintetizan el comportamiento colectivo. Algunos estudios sostienen que las representaciones macroscópicas pueden ofrecer ventajas causales cuando concentran información dispersa en configuraciones más informativas. Esta posibilidad introduce el concepto de emergencia causal y plantea que el nivel explicativo más útil no tiene que coincidir necesariamente con el nivel más elemental del sistema (Yuan et al., 2024).

Los fenómenos emergentes también desafían la idea de que toda explicación científica debe reducirse a mecanismos situados en niveles inferiores. Una propiedad puede depender ontológicamente de componentes básicos y, al mismo tiempo, requerir un vocabulario explicativo diferente para ser comprendida adecuadamente. Esta distinción entre dependencia y explicación resulta importante cuando el comportamiento relevante solo puede identificarse en una escala superior. La investigación debe entonces evaluar si una reducción preserva la información necesaria o si elimina relaciones organizativas esenciales para comprender el fenómeno que se intenta explicar (Filomeno, 2024).

La emergencia puede observarse en sistemas donde múltiples variables interactúan de forma no lineal. Cuando los efectos de esas interacciones se acumulan, retroalimentan o modifican entre sí, el comportamiento global puede alejarse de lo que cabría esperar a partir de relaciones

proporcionales simples. Esta dinámica dificulta realizar predicciones basadas únicamente en extrapolaciones lineales. La investigación debe examinar cómo las condiciones iniciales, la estructura de conexiones y la intensidad de las interacciones contribuyen a la aparición de patrones colectivos. Así, la emergencia se convierte en una propiedad vinculada con la organización dinámica del sistema (Estrada, 2024).

Los enfoques de complejidad han incorporado la emergencia como una categoría relevante para estudiar fenómenos que evolucionan mediante múltiples interacciones. En estos marcos, el comportamiento global no se interpreta únicamente como resultado de una causa central, sino como producto de relaciones distribuidas que cambian a lo largo del tiempo. Esta perspectiva resulta especialmente útil cuando existen procesos de adaptación, retroalimentación o sensibilidad a condiciones contextuales. El análisis de fenómenos emergentes exige, por ello, atender a trayectorias, patrones de interacción y cambios de estado, evitando explicaciones que congelen el sistema en una estructura estática (Han et al., 2023).

La identificación de una propiedad emergente depende también de la escala seleccionada por el investigador. Un patrón puede ser invisible cuando se examinan unidades individuales y hacerse evidente al observar grupos, redes o configuraciones agregadas. Esta situación convierte la elección de escala en una decisión epistemológica y metodológica relevante. Cambiar el nivel de representación puede revelar relaciones que no aparecían en descripciones más detalladas, aunque también puede ocultar mecanismos locales. Por ello, estudiar emergencia requiere comparar representaciones y justificar por qué una determinada escala permite explicar mejor el fenómeno analizado (Yuan et al., 2024).

Los fenómenos emergentes también plantean desafíos para la modelización científica. Un modelo debe simplificar el sistema real, pero necesita conservar las interacciones responsables del comportamiento colectivo que se pretende estudiar. Si elimina demasiadas conexiones, puede perder precisamente las condiciones que generan la propiedad emergente. Por el contrario, una representación excesivamente detallada puede dificultar la identificación de patrones generales. El reto consiste en seleccionar variables, niveles y relaciones que permitan observar cómo surge el comportamiento global sin confundir simplificación con eliminación de la estructura relevante del sistema (Estrada, 2024).

Figura 4

Fenómenos emergentes y niveles de organización en sistemas complejos



Nota. El esquema muestra cómo las interacciones, la escala de análisis y la organización del sistema intervienen en la aparición y explicación de propiedades emergentes.

La emergencia introduce además preguntas sobre causalidad. Si una propiedad aparece en un nivel superior, es necesario establecer si cumple únicamente una función descriptiva o si puede participar en explicaciones causales del comportamiento del sistema. Los estudios sobre emergencia causal examinan precisamente cuándo una representación macroscópica contiene relaciones causales más informativas que una descripción microscópica. Este debate no elimina la importancia de los componentes básicos, sino que cuestiona la idea de que una explicación

más detallada sea siempre epistemológicamente superior. La utilidad causal puede depender de cómo se organiza la información en cada nivel (Yuan et al., 2024).

En ciencias humanas y sociales, la noción de emergencia también resulta útil para estudiar fenómenos que dependen de múltiples interacciones históricas, contextuales y relacionales. Sin embargo, su uso requiere precisión para evitar que el concepto se convierta en una explicación vaga de cualquier resultado inesperado. Identificar emergencia exige mostrar qué componentes intervienen, qué relaciones generan el patrón y en qué nivel aparece la propiedad relevante. Los enfoques de sistemas dinámicos complejos insisten en que la explicación debe reconstruir procesos de cambio e interacción, no limitarse a señalar que el resultado posee una naturaleza compleja (Han et al., 2023).

El estudio de los fenómenos emergentes amplía las formas de construir objetos científicos porque obliga a analizar simultáneamente componentes y propiedades colectivas. Esta perspectiva permite reconocer que algunos comportamientos solo adquieren sentido cuando se examina la organización global del sistema y las relaciones entre niveles. La investigación debe distinguir entre aquello que puede explicarse mediante mecanismos locales y aquello que requiere categorías macroscópicas, sin asumir que una escala sustituye automáticamente a otra. La emergencia se convierte así en un problema de representación, causalidad y explicación que conecta directamente el análisis de sistemas complejos con nuevas formas de producir conocimiento científico (Estrada, 2024).

4.4 Escalas de análisis y niveles de organización

Las escalas de análisis permiten observar un mismo fenómeno desde diferentes niveles de organización, cada uno con propiedades, relaciones y patrones propios. En sistemas complejos, una explicación construida en un nivel microscópico puede no ser suficiente para comprender regularidades que solo aparecen cuando se examina el comportamiento agregado. Por ello, la selección de escala no es una decisión neutral, ya que determina qué variables se consideran relevantes y qué relaciones pueden identificarse. Analizar niveles de organización implica reconocer que los procesos locales y globales pueden estar conectados sin ser equivalentes desde el punto de vista explicativo (Yuan et al., 2024).

La relación entre niveles también plantea el problema de la reducción. Un fenómeno situado en una escala superior puede depender materialmente de componentes ubicados en niveles inferiores, pero esa dependencia no garantiza que pueda explicarse completamente mediante ellos. La distinción entre reducción ontológica y epistemológica permite comprender esta

diferencia. Un proceso puede estar constituido por unidades más básicas y, sin embargo, requerir conceptos propios del nivel superior para ser explicado adecuadamente. Esta situación muestra que las escalas de análisis no son simples grados de detalle, sino marcos desde los cuales se organizan objetos, mecanismos y relaciones científicas distintas (Filomeno, 2024).

En los sistemas complejos, las interacciones entre niveles pueden modificar el comportamiento general del sistema. Procesos locales pueden acumularse y generar patrones macroscópicos, mientras configuraciones globales pueden condicionar las posibilidades de acción de los componentes. Esta relación bidireccional dificulta explicar el sistema desde una única escala. La investigación necesita entonces identificar qué conexiones existen entre niveles y cómo cambian las propiedades cuando se pasa de una representación detallada a otra más agregada. El análisis multinivel resulta especialmente relevante cuando las propiedades globales dependen de estructuras de interacción que no aparecen al estudiar los elementos de forma aislada (Estrada, 2024).

Los problemas socioambientales muestran con claridad la necesidad de trabajar con diferentes niveles de organización. Un fenómeno puede involucrar procesos físicos, biológicos, económicos, institucionales y culturales que operan en escalas temporales y espaciales distintas. Si cada dimensión se analiza de manera independiente, se corre el riesgo de perder relaciones relevantes entre subsistemas. Los enfoques de sistemas complejos proponen integrar estos niveles mediante marcos capaces de representar interdependencias y retroalimentaciones. Esta perspectiva permite comprender que la escala adecuada depende de la pregunta investigada y de las relaciones que deben mantenerse visibles dentro de la explicación científica (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021).

La elección de escala también afecta la interpretación de las relaciones causales. En algunos casos, una descripción microscópica contiene gran cantidad de información, pero distribuye las relaciones causales entre numerosos componentes. Una representación macroscópica puede sintetizar esas interacciones y revelar patrones más claros. La emergencia causal analiza precisamente la posibilidad de que determinados niveles superiores posean mayor capacidad explicativa que descripciones más detalladas. Esto no significa que el nivel inferior carezca de importancia, sino que la utilidad de una representación causal depende de la forma en que organiza la información y del propósito concreto de la investigación (Yuan et al., 2024).

Nivel de análisis	Unidad principal	Tipo de información	Riesgo de análisis aislado	Función dentro de la explicación
Microscópico	Componentes individuales	Mecanismos locales e interacciones básicas	Perder patrones colectivos	Explicar procesos elementales
Intermedio	Grupos, redes o subsistemas	Relaciones entre conjuntos de componentes	Fragmentar conexiones entre escalas	Identificar estructuras organizativas
Macroscópico	Sistema global	Patrones agregados y propiedades colectivas	Ocultar mecanismos locales	Explicar regularidades emergentes
Temporal breve	Cambios inmediatos	Respuestas y variaciones rápidas	Ignorar trayectorias acumulativas	Analizar dinámica de corto plazo
Temporal amplia	Evolución del sistema	Tendencias, transiciones y estabilidad	Perder eventos locales significativos	Explicar transformación histórica
Multinivel	Relaciones entre escalas	Interacciones verticales y horizontales	Exceso de simplificación	Integrar mecanismos y propiedades emergentes

Nota. La tabla organiza diferentes escalas desde las cuales puede analizarse un sistema complejo y muestra cómo cada nivel aporta información específica que debe relacionarse con los demás para construir explicaciones más completas.

El análisis multinivel exige evitar dos errores opuestos. El primero consiste en asumir que toda propiedad superior puede reducirse sin pérdida a mecanismos inferiores. El segundo aparece cuando se considera que los niveles superiores son completamente independientes de los componentes que los sostienen. Una explicación adecuada debe reconocer dependencia y autonomía explicativa relativa. Las propiedades macroscópicas pueden requerir conceptos propios, pero siguen vinculadas con procesos subyacentes. Esta relación permite estudiar cómo distintos niveles contribuyen a una misma explicación sin establecer una jerarquía automática en la que el nivel más elemental sea siempre el más informativo (Filomeno, 2024).

Las escalas espaciales y temporales también pueden interactuar. Un proceso local de corta duración puede producir efectos que solo se vuelven visibles en periodos amplios, mientras cambios globales pueden modificar progresivamente las condiciones de los componentes individuales. Estas relaciones hacen necesario diseñar investigaciones capaces de conectar observaciones realizadas en momentos y espacios distintos. Los sistemas complejos requieren especial atención a estas interdependencias, porque sus trayectorias dependen de procesos

acumulativos y retroalimentaciones. La selección de escala debe ajustarse, por tanto, a la dinámica del fenómeno y no únicamente a la disponibilidad inmediata de datos (Estrada, 2024).

La comparación entre niveles permite además evaluar qué representación conserva mejor la información causal relevante. Un modelo más detallado no siempre produce una explicación más útil si incluye numerosas interacciones que dificultan identificar patrones. Del mismo modo, una representación demasiado agregada puede ocultar mecanismos necesarios para comprender el comportamiento observado. La investigación debe encontrar un equilibrio entre detalle y capacidad explicativa. Los estudios sobre emergencia causal muestran que distintas escalas pueden ofrecer grados diferentes de información sobre el sistema, lo que convierte la elección del nivel de análisis en una parte central del proceso de modelización científica (Yuan et al., 2024).

Las escalas de análisis y los niveles de organización permiten comprender que los fenómenos complejos no poseen una única descripción privilegiada para todas las preguntas científicas. Cada nivel puede revelar mecanismos, regularidades o propiedades diferentes, y la explicación más adecuada depende del problema que se intenta resolver. La investigación debe justificar qué escala utiliza, qué información conserva y cómo relaciona sus resultados con otros niveles. Esta perspectiva evita tanto el reduccionismo automático como la fragmentación excesiva y permite construir objetos científicos capaces de representar procesos que se desarrollan simultáneamente en distintas dimensiones y niveles de organización (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021).

4.5 Nuevas formas de representar fenómenos complejos

Las nuevas formas de representar fenómenos complejos buscan conservar relaciones, interacciones y niveles que suelen perderse cuando un sistema se reduce a variables aisladas. La representación científica no consiste en reproducir íntegramente la realidad, sino en construir modelos que seleccionen propiedades relevantes para una determinada pregunta. En sistemas complejos, esta selección debe atender a patrones de conexión, organización y cambio, porque una representación excesivamente simplificada puede eliminar precisamente los mecanismos que explican el comportamiento global. La calidad del modelo depende, por tanto, de su capacidad para simplificar sin destruir las relaciones fundamentales del fenómeno (Estrada, 2024).

Los modelos idealizados cumplen una función importante en esta tarea porque permiten representar ciertos aspectos de un fenómeno mediante simplificaciones deliberadas. Estas

idealizaciones no deben interpretarse como errores necesariamente negativos, ya que pueden facilitar la comprensión cuando conservan las relaciones que resultan relevantes para la explicación. El problema epistemológico aparece cuando la simplificación modifica de manera sustantiva aquello que se pretende representar. Por ello, los modelos científicos deben evaluarse según su propósito, su alcance y la correspondencia que mantienen con las propiedades del objeto estudiado, especialmente cuando se trabaja con sistemas de alta complejidad (Lorca Améstica, 2024).

La representación de fenómenos complejos también puede requerir modelos multinivel. Estos modelos permiten conectar procesos microscópicos con patrones macroscópicos y observar cómo determinadas propiedades emergen de la interacción entre componentes. La selección de escala influye directamente en la información que el modelo hace visible, porque una representación detallada puede mostrar mecanismos locales mientras otra más agregada revela regularidades globales. En consecuencia, representar un sistema complejo exige decidir qué nivel resulta más adecuado para la pregunta investigada y cómo se relacionará con otros niveles que también aportan información causal relevante (Yuan et al., 2024).

Las representaciones contemporáneas incorporan además redes, diagramas relacionales, modelos dinámicos y simulaciones capaces de mostrar vínculos que no aparecen en esquemas lineales. Estas herramientas permiten representar sistemas donde múltiples componentes interactúan de forma simultánea y donde los efectos dependen de la estructura de conexiones. Su utilidad radica en que facilitan el análisis de configuraciones, retroalimentaciones y cambios temporales. Sin embargo, la adopción de una representación más sofisticada no garantiza automáticamente una explicación mejor. El modelo debe conservar una relación clara con el problema científico y con las evidencias utilizadas para construirlo (Estrada, 2024).

La representación de la complejidad también plantea una tensión entre precisión y manejabilidad. Un modelo que intente incorporar todas las variables y relaciones puede volverse difícil de interpretar, mientras uno demasiado simple puede ocultar propiedades decisivas. La solución no consiste en maximizar el detalle, sino en seleccionar aquello que resulta epistemológicamente relevante para el objetivo del estudio. Las idealizaciones científicas muestran que una representación puede ser útil incluso cuando modifica o elimina ciertas características del fenómeno, siempre que esas decisiones estén justificadas y permitan comprender mejor las relaciones que interesan a la investigación (Lorca Améstica, 2024).

Tabla 12. Formas contemporáneas de representar fenómenos complejos

Forma de representación	Característica principal	Aporte al análisis	Limitación principal
Modelos idealizados	Simplifican propiedades seleccionadas	Facilitan la comprensión de mecanismos	Pueden excluir relaciones relevantes
Redes	Representan nodos y conexiones	Muestran estructura e interdependencia	Dependen de la definición de vínculos
Modelos multinivel	Relacionan escalas micro y macro	Permiten analizar propiedades emergentes	Requieren integrar niveles distintos
Modelos dinámicos	Incorporan cambio temporal	Representan trayectorias y retroalimentaciones	Exigen supuestos sobre evolución
Simulaciones	Reproducen comportamientos bajo condiciones definidas	Exploran escenarios posibles	Sus resultados dependen del modelo inicial
Representaciones causales	Organizan relaciones entre variables y niveles	Facilitan comparación de mecanismos	Pueden simplificar causalidad distribuida

Nota. La tabla sintetiza distintas formas de representación utilizadas para estudiar fenómenos complejos y muestra tanto su capacidad explicativa como las limitaciones que deben considerarse durante su aplicación.

Las representaciones científicas deben entenderse como herramientas construidas para responder preguntas específicas y no como copias neutrales de la realidad. Esta distinción resulta especialmente importante en fenómenos complejos, donde cada modelo selecciona una parte de las relaciones existentes y deja otras fuera. La validez de una representación depende de si esa selección permite conservar los mecanismos relevantes para la explicación. Por ello, comparar modelos requiere analizar qué dimensiones incluyen, qué supuestos utilizan y qué tipo de inferencias permiten realizar sobre el comportamiento del sistema (Lorca Améstica, 2024).

Las representaciones causales ofrecen otra vía para estudiar sistemas complejos porque permiten organizar relaciones entre componentes y niveles. En algunos casos, una representación macroscópica puede mostrar patrones causales más claros que una descripción detallada de interacciones microscópicas. Esto sugiere que el nivel de representación modifica la capacidad explicativa del modelo. La emergencia causal resulta relevante precisamente porque permite evaluar si ciertas configuraciones agregadas concentran información causal de manera más eficiente. La representación científica debe entonces compararse no solo por su detalle, sino también por la calidad de la información que ofrece para explicar el fenómeno (Yuan et al., 2024).

La incorporación de simulaciones y modelos dinámicos amplía las posibilidades de representar procesos que cambian a lo largo del tiempo. Estas herramientas permiten explorar trayectorias, respuestas frente a perturbaciones y efectos de retroalimentación bajo condiciones determinadas. Sin embargo, sus resultados dependen de los supuestos, parámetros y relaciones incorporados inicialmente. Por ello, una simulación no debe interpretarse como una reproducción exacta del sistema, sino como una representación condicionada por decisiones teóricas y metodológicas. Su utilidad depende de que esas decisiones sean transparentes y coherentes con el fenómeno que se pretende analizar (Estrada, 2024).

Las nuevas formas de representar fenómenos complejos amplían la capacidad científica para estudiar relaciones que permanecen ocultas en esquemas lineales o reduccionistas. Redes, modelos idealizados, representaciones multinivel y simulaciones permiten observar estructuras, emergencias y dinámicas desde perspectivas complementarias. Ninguna forma de representación es suficiente para todos los problemas, por lo que la selección debe responder a la naturaleza del objeto y a la pregunta de investigación. El reto consiste en construir modelos que simplifiquen de manera justificable, conserven las relaciones relevantes y permitan interpretar la complejidad sin convertirla en una acumulación desordenada de variables (Lorca Améstica, 2024).

Capítulo 5.

Tecnología y ampliación de las fronteras científicas

Tania Fernanda Mejía Chango



5.1 Tecnologías digitales y transformación de la investigación

Las tecnologías digitales han modificado la investigación científica al ampliar las capacidades para recopilar, procesar, almacenar y analizar información. Su incorporación ha transformado actividades que antes dependían de procedimientos manuales y ha permitido trabajar con volúmenes de datos, algoritmos y herramientas computacionales difíciles de gestionar mediante métodos tradicionales. Este cambio no se limita a sustituir instrumentos, porque también afecta la formulación de preguntas, la organización de los procesos y la velocidad con que pueden explorarse determinadas hipótesis. La investigación contemporánea incorpora así recursos digitales como componentes estructurales de múltiples prácticas de producción de conocimiento (Ruiz Muñoz, 2024).

La digitalización ha contribuido a modificar la disponibilidad y diversidad de las fuentes utilizadas por los investigadores. En campos como la biomedicina, los datos pueden proceder de registros clínicos, secuenciación genética, imágenes, dispositivos y otras fuentes capaces de generar grandes cantidades de información. Esta disponibilidad amplía las posibilidades de análisis, pero también exige infraestructuras y métodos adecuados para organizar, depurar e interpretar los datos. El valor científico no deriva únicamente de disponer de información abundante, sino de establecer procedimientos que permitan convertirla en evidencia pertinente para preguntas específicas y controlar sus limitaciones metodológicas (Cremin et al., 2022).

La inteligencia artificial representa una de las transformaciones digitales con mayor capacidad para modificar las prácticas científicas. Sus aplicaciones permiten identificar patrones, clasificar información, generar predicciones y apoyar tareas que requieren procesar conjuntos de datos difíciles de examinar manualmente. En diversas áreas, estos sistemas comienzan a integrarse en procesos de descubrimiento y desarrollo de conocimiento, ampliando las posibilidades de explorar relaciones que anteriormente resultaban costosas o inaccesibles. Su incorporación modifica la distribución del trabajo científico, porque algunas operaciones analíticas pueden delegarse parcialmente en modelos computacionales que complementan las capacidades del investigador (Bianchini et al., 2022).

La automatización digital también está transformando el trabajo experimental. En laboratorios científicos, robots, software y sistemas de control pueden ejecutar procedimientos repetitivos, registrar condiciones experimentales y modificar parámetros de manera sistemática. Estas capacidades permiten aumentar la reproducibilidad y explorar un número mayor de combinaciones, aunque la automatización requiere diseños rigurosos y supervisión

especializada. El funcionamiento de un sistema automatizado depende de decisiones humanas sobre protocolos, objetivos y criterios de evaluación. Por ello, automatizar una tarea científica no significa eliminar la intervención del investigador, sino reorganizarla hacia funciones de diseño, programación, interpretación y control (Granda et al., 2021).

Las tecnologías digitales también modifican las etapas relacionadas con la búsqueda y organización de literatura científica. Herramientas basadas en inteligencia artificial pueden apoyar la localización de información, la clasificación de documentos, la síntesis preliminar de contenidos y determinadas tareas editoriales. Sin embargo, su uso requiere verificar las fuentes originales y distinguir entre apoyo técnico y producción autónoma de conocimiento. Las respuestas generadas por sistemas automatizados pueden contener errores, omisiones o referencias incorrectas. La transformación digital de la investigación exige, por tanto, combinar eficiencia tecnológica con procedimientos explícitos de revisión y validación científica (Tinoco-Mesquita et al., 2025).

La expansión de herramientas de inteligencia artificial también influye en la metodología de investigación. Estas tecnologías pueden intervenir desde la formulación inicial de problemas hasta la organización de datos, el análisis y la comunicación de resultados. Su incorporación modifica los recursos disponibles para explorar información y puede reducir el tiempo dedicado a determinadas tareas operativas. No obstante, las decisiones sobre diseño, pertinencia metodológica e interpretación de resultados siguen requiriendo criterios científicos que no pueden delegarse de manera automática. La utilidad de la inteligencia artificial depende de su integración dentro de procedimientos coherentes con las preguntas y objetivos de cada investigación (Ruiz Muñoz, 2024).

El procesamiento de grandes volúmenes de datos constituye otra expresión de la transformación digital de la ciencia. La disponibilidad de información masiva permite examinar relaciones que serían difíciles de identificar mediante conjuntos reducidos y favorece análisis sobre patrones, variaciones y asociaciones a gran escala. Esta posibilidad ha ampliado especialmente la investigación biomédica, donde múltiples fuentes de información pueden integrarse para estudiar fenómenos complejos. Sin embargo, el volumen no garantiza calidad científica. Los datos necesitan criterios de selección, limpieza, compatibilidad y contextualización que permitan evitar resultados derivados de errores, sesgos o combinaciones metodológicamente inadecuadas (Cremin et al., 2022).

La digitalización también transforma la forma en que se desarrolla el descubrimiento científico al facilitar procesos iterativos entre generación de hipótesis, análisis de datos y evaluación de resultados. Los sistemas de inteligencia artificial pueden explorar grandes espacios de posibilidades y detectar regularidades que posteriormente deben ser examinadas mediante criterios científicos. Esta capacidad ha llevado a considerar la inteligencia artificial como un método emergente con aplicaciones transversales en diferentes disciplinas. Su influencia puede extenderse más allá de una herramienta específica, porque modifica la manera en que los investigadores buscan relaciones, seleccionan alternativas y orientan nuevas líneas de trabajo (Bianchini et al., 2022).

La automatización experimental muestra que la transformación digital también introduce nuevas dependencias técnicas. Los sistemas automatizados necesitan hardware, software, protocolos estandarizados y mecanismos de integración que permitan coordinar diferentes etapas del experimento. Cuando alguno de estos componentes presenta limitaciones, la automatización puede generar nuevas dificultades en lugar de resolver las existentes. Por ello, el diseño de laboratorios automatizados exige considerar compatibilidad, flexibilidad y capacidad de adaptación ante procedimientos distintos. La tecnología modifica la práctica experimental, pero su eficacia depende de que los investigadores comprendan tanto las posibilidades como las restricciones de los sistemas que utilizan (Granda et al., 2021).

La incorporación de inteligencia artificial en la investigación científica también ha incrementado la necesidad de desarrollar criterios para supervisar el contenido generado o procesado mediante estas herramientas. Las aplicaciones pueden apoyar la redacción, búsqueda de información, visualización y análisis, pero requieren mecanismos que permitan comprobar precisión, trazabilidad y correspondencia con las fuentes utilizadas. La facilidad para producir resultados mediante sistemas generativos no elimina la obligación de verificar su contenido. La transformación digital introduce así una nueva dimensión de responsabilidad científica, relacionada con la capacidad del investigador para documentar el uso tecnológico y controlar los posibles errores derivados de su aplicación (Tinoco-Mesquita et al., 2025).

Las tecnologías digitales están reconfigurando la investigación porque intervienen simultáneamente en la obtención de información, el análisis, la experimentación y la comunicación científica. La inteligencia artificial representa una parte relevante de este proceso al ampliar las capacidades para automatizar tareas, reconocer patrones y gestionar información compleja. Sin embargo, la transformación no puede evaluarse únicamente por la cantidad de herramientas disponibles, sino por la forma en que estas se integran en procedimientos

metodológicamente sólidos. La evidencia reciente muestra que su aplicación atraviesa diferentes etapas del proceso investigativo y exige nuevas competencias para verificar, interpretar y utilizar responsablemente sus resultados (Heredia Pérez et al., 2026).

5.2 Grandes volúmenes de datos como fuente de conocimiento

Los grandes volúmenes de datos han ampliado las posibilidades de investigación al permitir analizar conjuntos de información cuya escala, diversidad y velocidad de generación superan las capacidades de los procedimientos tradicionales. Su valor científico no reside únicamente en la cantidad de registros disponibles, sino en la posibilidad de identificar asociaciones, patrones y variaciones difíciles de detectar en muestras reducidas. En investigación biomédica, por ejemplo, la integración de datos clínicos, genómicos, moleculares y digitales ha creado nuevas oportunidades para estudiar fenómenos mediante análisis de mayor amplitud y profundidad, siempre que existan procedimientos adecuados para gestionar su heterogeneidad (Cremin et al., 2022).

La consideración de los datos masivos como fuente de conocimiento modifica la relación entre observación, análisis e interpretación científica. Las investigaciones pueden partir de conjuntos extensos para detectar regularidades que posteriormente requieren explicación teórica, en lugar de limitarse a recopilar información únicamente después de formular hipótesis muy específicas. Esta posibilidad amplía las estrategias exploratorias, pero no elimina la necesidad de marcos conceptuales que permitan distinguir asociaciones relevantes de coincidencias estadísticas. La abundancia de información puede generar resultados numerosos sin que todos posean significado científico, por lo que los patrones identificados deben interpretarse considerando el contexto y la pregunta investigada (Cremin et al., 2022).

La inteligencia artificial ha adquirido importancia en este escenario porque permite procesar conjuntos de datos demasiado extensos o complejos para una revisión manual. Los algoritmos pueden clasificar registros, reconocer patrones y establecer relaciones entre variables a escalas difíciles de manejar mediante procedimientos convencionales. Esta capacidad está modificando distintos campos científicos al ampliar el espacio de búsqueda disponible para los investigadores. Sin embargo, la generación de conocimiento depende de que los resultados computacionales puedan relacionarse con problemas científicamente pertinentes y someterse a evaluación, ya que la detección automatizada de una regularidad no constituye por sí misma una explicación (Bianchini et al., 2022).

La calidad de los grandes volúmenes de datos constituye una condición decisiva para su aprovechamiento científico. Conjuntos extensos pueden contener registros incompletos, duplicados, incompatibles o producidos bajo condiciones distintas, lo que afecta las inferencias posteriores. Los procesos de limpieza, integración y estandarización adquieren, por ello, un papel metodológico central. Cuando varias fuentes se combinan sin atender a sus diferencias, el tamaño del conjunto puede ocultar problemas en lugar de resolverlos. El análisis científico necesita documentar el origen, las características y las transformaciones aplicadas a los datos para determinar qué conclusiones pueden sostenerse razonablemente a partir de ellos (Cremin et al., 2022).

El uso de datos masivos también transforma algunas etapas del diseño investigativo. Las herramientas digitales pueden apoyar la organización de bases, exploración preliminar, reconocimiento de tendencias y selección de relaciones que requieren análisis posterior. Esta capacidad favorece procesos iterativos en los que los resultados iniciales orientan nuevas preguntas o decisiones metodológicas. No obstante, delegar operaciones analíticas en sistemas automatizados exige conservar criterios claros sobre objetivos, variables y procedimientos de validación. La disponibilidad de herramientas capaces de procesar grandes cantidades de información no sustituye el razonamiento metodológico necesario para interpretar correctamente aquello que los datos muestran y aquello que no permiten afirmar (Ruiz Muñoz, 2024).

Tabla 11
Condiciones para utilizar grandes volúmenes de datos como fuente de conocimiento científico

Dimensión	Característica	Potencial para la investigación	Riesgo metodológico
Volumen	Gran cantidad de registros	Identificación de patrones amplios	Confundir cantidad con calidad
Variedad	Fuentes y formatos heterogéneos	Integración de múltiples dimensiones	Incompatibilidad entre datos
Velocidad	Generación continua de información	Análisis de procesos dinámicos	Dificultad de actualización y control
Calidad	Precisión y consistencia de los registros	Inferencias más confiables	Errores, duplicados y datos incompletos
Procesamiento	Uso de algoritmos y recursos computacionales	Análisis de relaciones complejas	Dependencia de modelos y parámetros
Interpretación	Vinculación entre resultados y teoría	Producción de conocimiento explicativo	Asociaciones sin significado científico

Nota. La tabla organiza las principales dimensiones que condicionan el aprovechamiento científico de grandes volúmenes de datos y distingue entre sus posibilidades analíticas y los riesgos que requieren control metodológico.

Los grandes conjuntos de datos permiten ampliar la capacidad de comparación entre poblaciones, periodos y variables, especialmente cuando se integran fuentes generadas mediante tecnologías diferentes. Esta posibilidad puede revelar regularidades que permanecían ocultas en estudios de menor escala y facilitar el desarrollo de nuevas preguntas. Sin embargo, el aumento del volumen también incrementa la complejidad de la gestión y exige infraestructuras capaces de almacenar, procesar y vincular información diversa. El conocimiento derivado de estos conjuntos depende, por tanto, de una cadena técnica y metodológica que comienza antes del análisis estadístico y condiciona la fiabilidad de los resultados obtenidos (Cremin et al., 2022).

La inteligencia artificial puede potenciar el análisis de datos masivos al explorar espacios de información donde las relaciones relevantes no son evidentes para el investigador. Esta capacidad favorece aplicaciones en múltiples disciplinas y contribuye a que ciertos procedimientos computacionales funcionen como herramientas generales para identificar candidatos, patrones o combinaciones que posteriormente requieren comprobación. El proceso modifica la lógica de descubrimiento al permitir examinar alternativas a una escala antes impracticable. No obstante, los resultados algorítmicos deben integrarse con conocimientos del dominio y procedimientos de validación, pues la capacidad predictiva de un sistema no equivale automáticamente a comprensión del mecanismo estudiado (Bianchini et al., 2022).

El uso creciente de datos y sistemas de inteligencia artificial también exige fortalecer la verificación de la información empleada durante la investigación. Los sistemas automatizados pueden acelerar operaciones de clasificación, búsqueda y análisis, pero los resultados obtenidos deben comprobarse frente a las fuentes originales y a los criterios metodológicos del estudio. La posibilidad de procesar grandes cantidades de información en poco tiempo puede amplificar errores cuando los datos de entrada presentan problemas o cuando el investigador acepta resultados sin suficiente revisión. Por ello, la transformación tecnológica aumenta simultáneamente la capacidad analítica y la responsabilidad de documentar, revisar e interpretar críticamente cada etapa del proceso (Heredia Pérez et al., 2026).

Los grandes volúmenes de datos constituyen una fuente de conocimiento cuando su escala se acompaña de calidad, contextualización y procedimientos de análisis coherentes con el problema científico. Su principal aporte radica en ampliar las posibilidades de detectar

relaciones y estudiar fenómenos mediante información diversa, pero la abundancia de registros no convierte automáticamente los resultados en evidencia sólida. La producción de conocimiento requiere seleccionar datos pertinentes, controlar su procedencia, justificar los métodos computacionales y vincular los patrones observados con explicaciones científicas. En consecuencia, el valor epistemológico de los datos masivos depende tanto de su disponibilidad como del tratamiento metodológico que reciben (Cremin et al., 2022).

5.3 Simulación computacional y experimentación científica

La simulación computacional amplía la experimentación científica al permitir representar procesos, variables y condiciones que pueden resultar costosos, lentos o difíciles de reproducir directamente en un laboratorio. Mediante modelos formales, el investigador puede explorar escenarios, modificar parámetros y observar cómo responde un sistema bajo condiciones controladas. Esta capacidad no sustituye necesariamente a la experimentación empírica, sino que introduce una vía complementaria para formular hipótesis y orientar pruebas posteriores. Su utilidad depende de la correspondencia entre el modelo construido, los supuestos incorporados y el fenómeno que se intenta estudiar mediante procedimientos computacionales (Ruiz Muñoz, 2024).

La automatización experimental fortalece esta relación entre simulación y experimentación al conectar programas informáticos con instrumentos capaces de ejecutar procedimientos de manera sistemática. En laboratorios automatizados, el software puede controlar secuencias experimentales, modificar condiciones y registrar resultados con una precisión difícil de mantener mediante operaciones manuales repetitivas. Sin embargo, estos sistemas necesitan protocolos correctamente definidos y una integración técnica entre hardware, software e instrumentos. Automatizar un experimento no elimina la necesidad de diseño científico, pues las decisiones sobre variables, condiciones, criterios de éxito y posibles modificaciones continúan dependiendo de una planificación metodológica explícita (Granda et al., 2021).

La simulación permite además explorar espacios de posibilidades demasiado amplios para ser examinados completamente mediante experimentos físicos. Cuando existen numerosas combinaciones de parámetros, los métodos computacionales pueden identificar configuraciones que merecen una evaluación experimental posterior. Esta capacidad adquiere especial relevancia con la incorporación de inteligencia artificial, cuyos modelos pueden reconocer patrones y priorizar alternativas dentro de grandes conjuntos de posibilidades. El proceso puede reducir el número de ensayos necesarios y orientar de manera más eficiente

determinadas fases de investigación, siempre que las predicciones generadas sean posteriormente contrastadas con evidencia adecuada (Bianchini et al., 2022).

Los datos desempeñan un papel central en la construcción y evaluación de simulaciones. Un modelo computacional necesita información que permita definir parámetros, estimar relaciones y comprobar si los resultados reproducen adecuadamente aspectos del fenómeno real. La disponibilidad de grandes conjuntos de datos ha incrementado las posibilidades de desarrollar modelos con mayor cobertura, especialmente en campos donde convergen registros procedentes de diversas fuentes. No obstante, un volumen elevado de información no garantiza una simulación válida. La calidad, compatibilidad y representatividad de los datos condicionan directamente la capacidad del modelo para producir resultados científicamente interpretables (Cremin et al., 2022).

La experimentación apoyada por simulaciones también introduce una relación iterativa entre representación computacional y observación empírica. Los resultados de una simulación pueden sugerir nuevas pruebas, mientras los experimentos pueden proporcionar información para ajustar parámetros y corregir el modelo. Esta interacción permite que las hipótesis se revisen progresivamente a medida que se comparan resultados virtuales y físicos. La inteligencia artificial puede intervenir en algunas de estas etapas mediante análisis automatizados y reconocimiento de regularidades, pero el proceso requiere criterios de validación que permitan distinguir entre una predicción computacional útil y una conclusión suficientemente respaldada por evidencia científica (Heredia Pérez et al., 2026).

Tabla 12
Relación entre simulación computacional y experimentación científica

Componente	Función principal	Aporte a la investigación	Limitación que debe controlarse
Modelo computacional	Representar procesos o relaciones	Permite explorar escenarios	Depende de supuestos y simplificaciones
Parametrización	Definir condiciones del modelo	Ajusta la representación al fenómeno	Valores inadecuados alteran resultados
Simulación	Ejecutar escenarios virtuales	Amplía el espacio de exploración	No equivale a evidencia experimental
Automatización	Ejecutar procedimientos mediante software e instrumentos	Mejora repetibilidad y escala	Requiere integración técnica
Validación experimental	Contrastar predicciones	Evalúa la correspondencia del modelo	Puede estar limitada por disponibilidad de datos

Componente	Función principal	Aporte a la investigación	Limitación que debe controlarse
Iteración	Ajustar modelo y experimento	Favorece refinamiento progresivo	Puede acumular errores si no existen controles

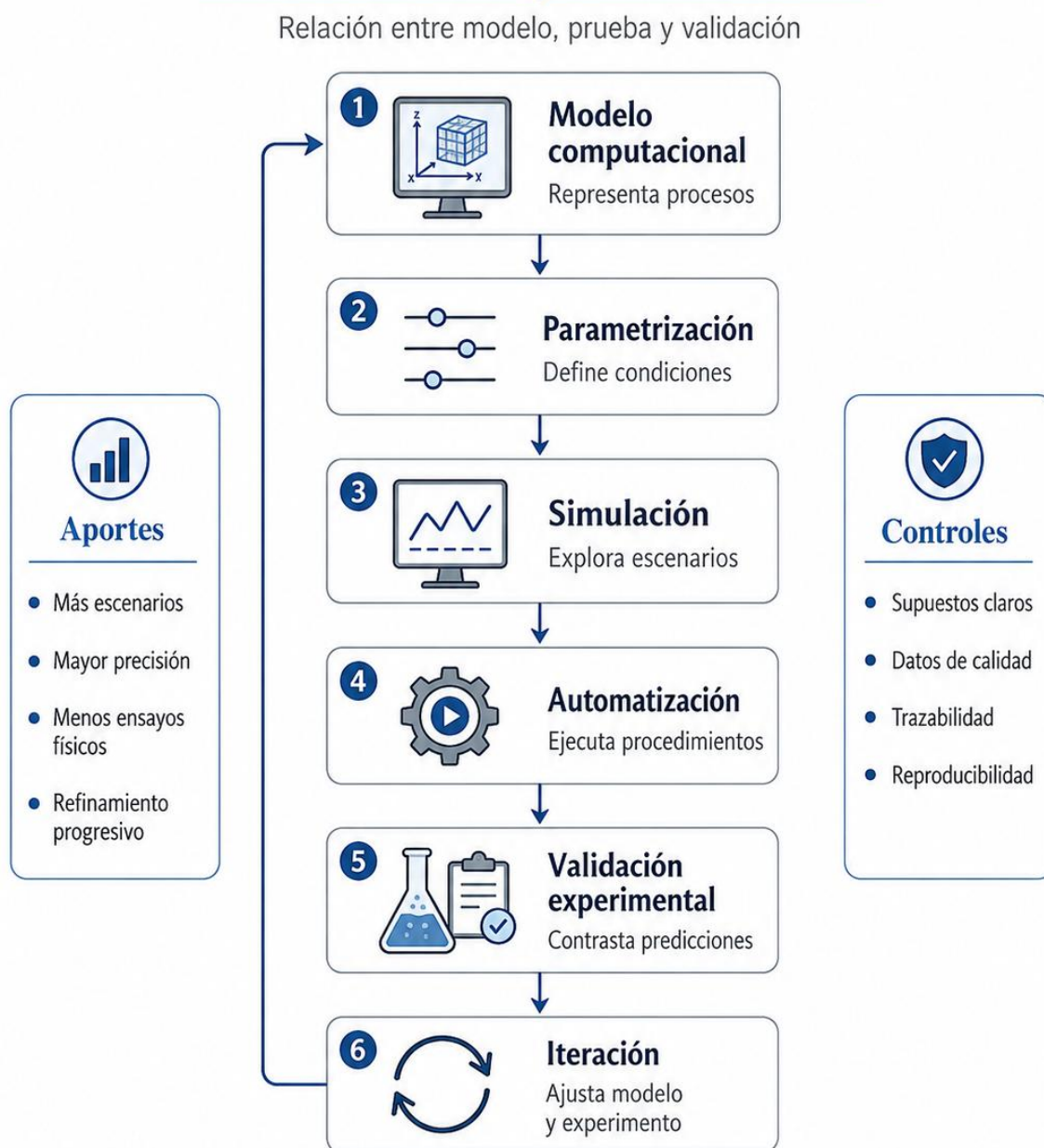
Nota. La tabla distingue las principales funciones que intervienen cuando simulación y experimentación se integran dentro de un mismo proceso científico, así como las limitaciones metodológicas que requieren supervisión.

La simulación computacional no debe interpretarse como una copia exacta del fenómeno investigado. Todo modelo selecciona variables, establece relaciones y excluye elementos considerados secundarios para el objetivo del estudio. Estas decisiones permiten hacer manejable el problema, pero también delimitan el alcance de los resultados. La investigación debe documentar los supuestos utilizados y evaluar hasta qué punto una modificación en ellos altera las conclusiones obtenidas. El valor científico de una simulación depende menos de su complejidad técnica que de la transparencia con que se justifica su construcción y de la posibilidad de contrastar sus resultados mediante procedimientos independientes (Ruiz Muñoz, 2024).

La integración de inteligencia artificial puede modificar la experimentación al permitir que algunos sistemas seleccionen de forma automatizada nuevas condiciones de prueba a partir de resultados anteriores. Este enfoque transforma el experimento en un proceso parcialmente adaptativo, donde el análisis computacional orienta sucesivas decisiones dentro del espacio de búsqueda. Tales capacidades pueden acelerar determinadas fases del descubrimiento, pero requieren mecanismos para controlar los criterios mediante los cuales el sistema prioriza alternativas. La automatización resulta científicamente útil cuando mantiene trazabilidad sobre las decisiones realizadas y cuando los resultados pueden ser evaluados mediante criterios independientes del algoritmo que los produjo (Bianchini et al., 2022).

Los laboratorios automatizados muestran que la integración entre simulación, software e instrumentación introduce nuevas exigencias de reproducibilidad. Un procedimiento puede repetirse con precisión si sus instrucciones digitales, parámetros y secuencias se encuentran correctamente especificados. Sin embargo, diferencias entre equipos, interfaces o condiciones experimentales pueden afectar la transferencia de un protocolo. Por ello, la automatización necesita estándares suficientemente claros para que otros investigadores comprendan cómo se ejecutaron las operaciones. La reproducibilidad no depende solo de repetir automáticamente una secuencia, sino de disponer de información que permita reconstruir las decisiones técnicas y metodológicas que configuraron el experimento (Granda et al., 2021).

Figura 5
Simulación computacional y experimentación científica



Nota. El esquema representa la integración progresiva entre modelización, simulación, automatización y validación experimental, destacando la iteración como mecanismo para ajustar modelos y orientar nuevas pruebas científicas.

La simulación computacional y la experimentación científica forman una relación complementaria cuando cada una cumple una función claramente delimitada. La simulación permite explorar, comparar y anticipar comportamientos, mientras la experimentación ofrece evidencia para evaluar si las representaciones construidas mantienen correspondencia suficiente con el fenómeno estudiado. Las tecnologías digitales amplían la velocidad y escala de esta interacción, pero no eliminan la necesidad de validación científica. El desarrollo de investigaciones apoyadas por inteligencia artificial y automatización exige conservar criterios

explícitos sobre procedencia de datos, diseño del modelo, interpretación de resultados y comprobación de las conclusiones obtenidas (Heredia Pérez et al., 2026).

5.4 Inteligencia artificial en la exploración de nuevos problemas

La inteligencia artificial amplía la exploración de nuevos problemas científicos al permitir analizar espacios de búsqueda demasiado extensos para ser examinados de manera manual. Los algoritmos pueden identificar patrones, relaciones y combinaciones que orientan la formulación de preguntas antes difíciles de plantear con métodos convencionales. Esta capacidad resulta especialmente útil cuando la investigación trabaja con grandes volúmenes de información o con problemas que presentan numerosas variables interdependientes. La inteligencia artificial puede intervenir así en fases exploratorias del proceso científico, ayudando a reconocer regularidades que posteriormente deben interpretarse mediante conocimientos disciplinares y procedimientos de validación (Bianchini et al., 2022).

La exploración apoyada por inteligencia artificial modifica la relación entre hipótesis y datos. En lugar de trabajar únicamente con hipótesis definidas previamente, determinados sistemas pueden examinar conjuntos extensos de información y señalar relaciones potencialmente relevantes para una investigación posterior. Esta lógica favorece estrategias exploratorias en las que los resultados computacionales sirven para delimitar nuevas preguntas y seleccionar aspectos que requieren análisis más profundo. Sin embargo, la detección automatizada de una asociación no constituye por sí misma una explicación científica, porque todavía es necesario evaluar su consistencia, pertinencia teórica y relación con el contexto donde fue identificada (Ruiz Muñoz, 2024).

La capacidad de la inteligencia artificial para reconocer patrones también puede contribuir a conectar información que se encuentra distribuida entre fuentes heterogéneas. Bases bibliográficas, conjuntos de datos experimentales, registros clínicos o repositorios digitales contienen relaciones que pueden permanecer ocultas debido a su volumen y complejidad. Los sistemas computacionales permiten clasificar, agrupar y comparar esta información para identificar tendencias o combinaciones que merecen atención científica. Estas operaciones pueden ampliar el horizonte de investigación, pero requieren criterios claros sobre calidad, procedencia y compatibilidad de los datos utilizados para evitar que los resultados reflejen sesgos o inconsistencias de las fuentes originales (Cremin et al., 2022).

La inteligencia artificial también puede modificar la selección de problemas al facilitar búsquedas automatizadas dentro de grandes espacios de posibilidades. En determinadas

disciplinas, los modelos pueden priorizar candidatos, configuraciones o relaciones que posteriormente son evaluados mediante procedimientos experimentales. Esta función reduce el tiempo necesario para examinar alternativas y permite orientar recursos hacia opciones con mayor interés según los criterios definidos en el sistema. El aporte no consiste en reemplazar la decisión científica, sino en reorganizar el proceso mediante el cual se identifican posibilidades relevantes y se descartan combinaciones menos prometedoras dentro de una investigación (Bianchini et al., 2022).

La exploración de nuevos problemas mediante inteligencia artificial también alcanza la revisión y organización de literatura científica. Algunas herramientas pueden clasificar documentos, sintetizar contenidos, localizar relaciones temáticas y apoyar la identificación de vacíos aparentes en un campo. Estas funciones pueden ayudar al investigador a reconocer tendencias y delimitar preguntas, pero sus resultados requieren verificación directa en las fuentes originales. Los sistemas generativos pueden producir información inexacta o referencias inexistentes, por lo que la exploración automatizada debe utilizarse como apoyo inicial y no como sustitución de una revisión crítica y documentada de la evidencia disponible (Tinoco-Mesquita et al., 2025).

Otra posibilidad consiste en utilizar inteligencia artificial para analizar resultados preliminares y detectar comportamientos que sugieran nuevas líneas de investigación. Un patrón inesperado puede señalar relaciones que no formaban parte de la pregunta inicial y abrir la necesidad de formular hipótesis adicionales. Esta capacidad convierte al análisis computacional en una herramienta potencial para ampliar las agendas de un proyecto mientras se desarrolla. Sin embargo, la decisión de transformar una regularidad en un nuevo problema científico exige evaluar si existe suficiente coherencia teórica, calidad de datos y posibilidad de someter la propuesta a contrastación mediante procedimientos independientes (Heredia Pérez et al., 2026).

La inteligencia artificial puede favorecer además la exploración interdisciplinaria porque permite aplicar técnicas similares a conjuntos de datos procedentes de campos distintos. Los métodos de aprendizaje automático pueden adaptarse a problemas científicos diversos siempre que existan representaciones adecuadas de los datos y objetivos claramente definidos. Esta transversalidad contribuye a que determinados procedimientos computacionales circulen entre disciplinas y apoyen preguntas que combinan conocimientos previamente separados. La capacidad de transferir métodos no significa que el mismo modelo funcione de manera

equivalente en todos los campos, pues cada aplicación requiere comprender las características, restricciones y criterios de validación propios del dominio estudiado (Bianchini et al., 2022).

La exploración automatizada también plantea el problema de los sesgos incorporados en los datos y modelos. Un sistema puede identificar patrones consistentes desde el punto de vista estadístico y, aun así, reproducir distorsiones presentes en la información utilizada para entrenarlo o alimentarlo. Cuando estas limitaciones no se detectan, pueden orientar la investigación hacia problemas artificialmente contruidos o reforzar interpretaciones equivocadas. Por ello, el uso de inteligencia artificial exige revisar la procedencia de los datos, la forma en que fueron seleccionados y los criterios utilizados por el modelo para generar resultados. La exploración científica debe conservar mecanismos explícitos de evaluación crítica (Ruiz Muñoz, 2024).

La inteligencia artificial puede acelerar la exploración, pero también aumentar la cantidad de resultados que deben ser examinados. Un algoritmo capaz de producir numerosas hipótesis, clasificaciones o predicciones genera una nueva necesidad de priorización científica. Los investigadores deben decidir qué resultados poseen relevancia suficiente para justificar recursos adicionales y qué señales corresponden a asociaciones débiles o poco interpretables. Esta selección requiere conocimiento del campo, criterios metodológicos y capacidad para distinguir entre novedad computacional y pertinencia científica. La automatización amplía el espacio de posibilidades, pero no elimina la necesidad de establecer prioridades razonadas dentro del proceso investigativo (Heredia Pérez et al., 2026).

La incorporación de sistemas generativos añade otra dimensión a la exploración de problemas. Estas herramientas pueden proponer preguntas, reorganizar información y producir borradores de posibles líneas de investigación, aunque sus respuestas dependen de patrones aprendidos y no garantizan originalidad ni validez científica. Una propuesta formulada por inteligencia artificial necesita ser evaluada mediante revisión bibliográfica, conocimiento disciplinar y análisis de factibilidad. Su función puede ser útil como estímulo exploratorio, siempre que el investigador mantenga control sobre la selección del problema y verifique que la pregunta no esté basada en información incorrecta o en relaciones inexistentes (Tinoco-Mesquita et al., 2025).

La inteligencia artificial transforma la exploración científica al ampliar la capacidad para identificar patrones, comparar alternativas y generar nuevas preguntas dentro de espacios de información cada vez más complejos. Su aporte resulta especialmente significativo cuando

permite descubrir relaciones que no eran evidentes mediante procedimientos convencionales. Sin embargo, el descubrimiento computacional necesita integrarse con teoría, evidencia y validación para convertirse en conocimiento científicamente defendible. La capacidad de producir numerosas posibilidades no reemplaza el juicio metodológico, sino que desplaza parte del trabajo hacia la evaluación crítica de resultados, la selección de problemas relevantes y la comprobación de las hipótesis generadas (Bianchini et al., 2022).

5.5 Automatización y transformación del descubrimiento científico

La automatización está transformando el descubrimiento científico al transferir determinadas tareas repetitivas y operativas hacia sistemas capaces de ejecutar procedimientos con mayor velocidad y regularidad. En los laboratorios, esta transformación puede incluir control de instrumentos, preparación de experimentos, registro de resultados y ajuste sistemático de parámetros. Sin embargo, la automatización no equivale a eliminar la intervención humana, porque requiere definir protocolos, condiciones experimentales y criterios para interpretar los resultados obtenidos. Su aporte principal consiste en reorganizar el trabajo científico y ampliar la cantidad de operaciones que pueden realizarse dentro de un proceso experimental controlado (Granda et al., 2021).

La incorporación de inteligencia artificial extiende la automatización desde la ejecución de tareas hacia algunas etapas de exploración y selección científica. Los algoritmos pueden analizar grandes espacios de posibilidades, identificar patrones y priorizar alternativas que posteriormente requieren evaluación experimental. Esta capacidad permite reducir el número de opciones que deben examinarse manualmente y orientar recursos hacia candidatos considerados más prometedores según los criterios utilizados por el modelo. La inteligencia artificial comienza así a desempeñar una función transversal en distintas áreas científicas, modificando la manera en que se buscan relaciones y se organizan procesos orientados al descubrimiento (Bianchini et al., 2022).

Los sistemas automatizados también permiten establecer ciclos más rápidos entre experimentación, análisis y reformulación de condiciones. Los resultados obtenidos en una etapa pueden utilizarse para ajustar parámetros y ejecutar nuevas pruebas sin reproducir manualmente todo el procedimiento. Este funcionamiento iterativo resulta especialmente relevante cuando existen numerosas combinaciones posibles y cada experimento aporta información para orientar el siguiente. No obstante, la eficacia del ciclo depende de la precisión con que se definan las reglas de operación y de la capacidad para detectar errores técnicos o

metodológicos que podrían propagarse automáticamente a través de sucesivas etapas experimentales (Granda et al., 2021).

La automatización del descubrimiento científico está estrechamente relacionada con la disponibilidad de datos digitales. Los sistemas de inteligencia artificial necesitan conjuntos de información suficientemente estructurados para reconocer regularidades, construir predicciones o establecer prioridades. Cuando los datos presentan errores, incompatibilidades o sesgos, la automatización puede reproducir esas limitaciones a gran escala. Por ello, las tareas de recopilación, limpieza y validación siguen siendo esenciales dentro de procesos automatizados. La velocidad de procesamiento no corrige por sí misma problemas de calidad y puede incluso amplificar sus consecuencias si los resultados se aceptan sin controles metodológicos adecuados (Cremin et al., 2022).

La automatización también alcanza actividades relacionadas con la búsqueda, organización y comunicación del conocimiento científico. Herramientas de inteligencia artificial pueden apoyar la localización de literatura, clasificación de documentos, generación de resúmenes y preparación preliminar de materiales científicos. Estas aplicaciones reducen tiempo operativo, pero requieren supervisión porque los sistemas pueden producir contenidos incorrectos o referencias inexistentes. La transformación del descubrimiento incluye, por tanto, nuevas formas de gestionar información durante las etapas previas y posteriores al experimento. El investigador conserva la responsabilidad de verificar fuentes, interpretar resultados y decidir qué productos automatizados poseen suficiente validez para incorporarse al trabajo científico (Tinoco-Mesquita et al., 2025).

Tabla 13
Automatización en las etapas del descubrimiento científico

Etapas	Aplicación automatizada	Transformación producida	Control necesario
Exploración	Análisis de grandes espacios de posibilidades	Amplía la búsqueda de alternativas	Definición de criterios de selección
Diseño experimental	Ajuste programado de parámetros	Aumenta la sistematicidad	Validación del protocolo
Ejecución	Robótica y control digital de instrumentos	Reduce tareas manuales repetitivas	Supervisión técnica
Análisis	Algoritmos de clasificación y predicción	Acelera el procesamiento de resultados	Evaluación metodológica
Iteración	Selección automática de nuevas condiciones	Facilita ciclos experimentales sucesivos	Control de errores acumulativos

Etapas	Aplicación automatizada	Transformación producida	Control necesario
Comunicación	Organización y generación asistida de contenidos	Reduce tareas documentales	Verificación de precisión y fuentes

Nota. La tabla organiza las principales etapas en las que la automatización puede intervenir durante el descubrimiento científico y señala los controles necesarios para mantener la validez del proceso.

La automatización puede ampliar la reproducibilidad cuando los procedimientos experimentales quedan especificados mediante instrucciones digitales que controlan secuencias, cantidades y condiciones. Esta estandarización facilita repetir operaciones con menor variabilidad derivada de la ejecución manual. Sin embargo, la reproducibilidad depende también de documentar equipos, programas, configuraciones y parámetros utilizados. Un protocolo automatizado puede producir resultados difíciles de replicar si otros investigadores no disponen de información suficiente para reconstruir su funcionamiento. La transformación tecnológica exige, por ello, nuevas formas de documentación capaces de describir tanto las decisiones científicas como la infraestructura computacional que interviene en el experimento (Granda et al., 2021).

La inteligencia artificial introduce además la posibilidad de automatizar parcialmente la identificación de relaciones que podrían conducir a nuevos descubrimientos. Los modelos pueden examinar información procedente de numerosas fuentes y sugerir candidatos, asociaciones o configuraciones que merecen investigación adicional. Esto modifica el papel del investigador, que dedica una proporción mayor de su trabajo a evaluar las posibilidades generadas y determinar cuáles poseen fundamento suficiente. La automatización transforma así la distribución de las actividades científicas, pero no elimina la necesidad de teoría, conocimiento disciplinar y validación empírica para convertir una señal computacional en una conclusión científicamente aceptable (Bianchini et al., 2022).

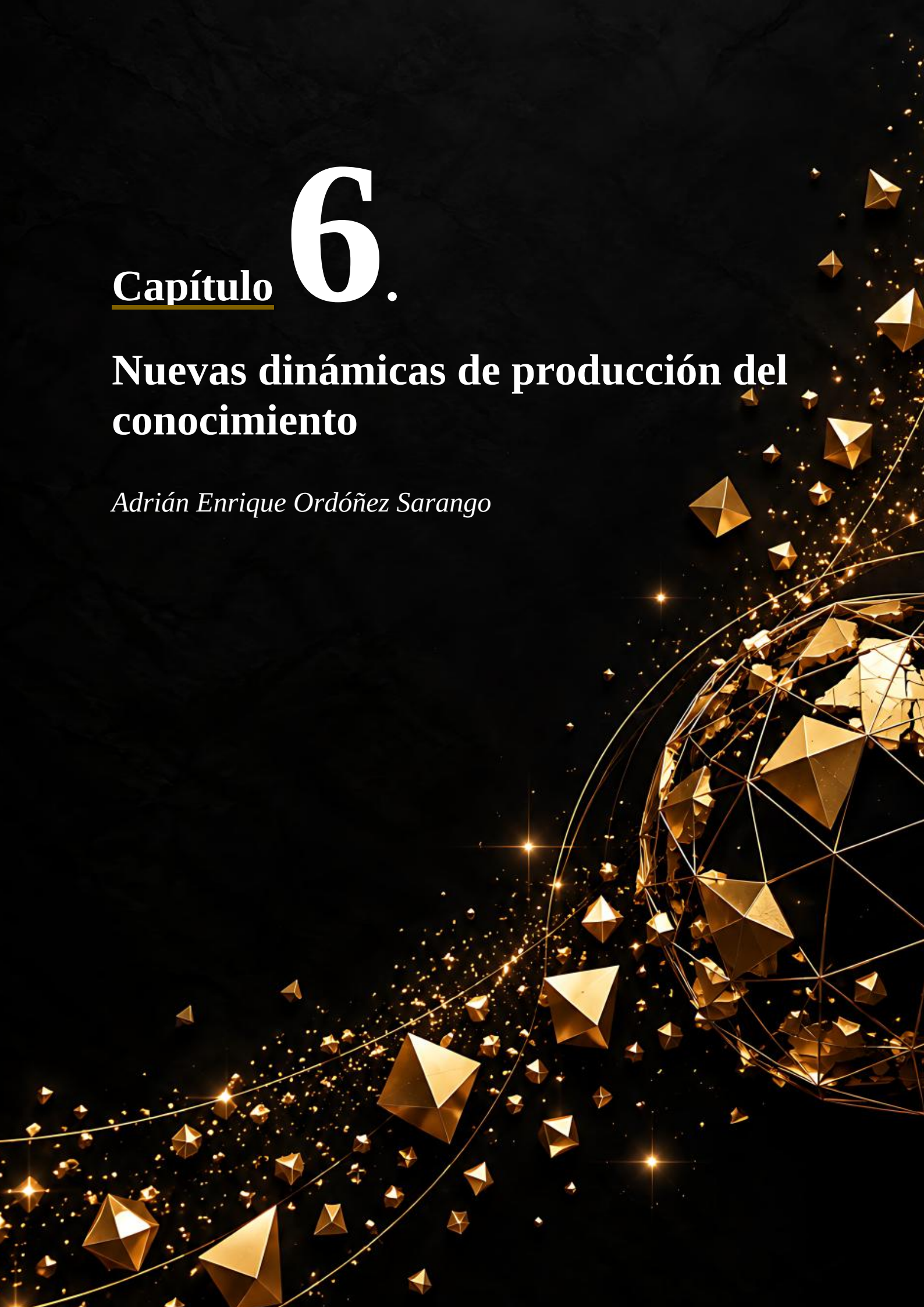
La expansión de sistemas automatizados también incrementa la importancia de mantener trazabilidad sobre los procedimientos utilizados. Cuando una herramienta interviene en la selección de información, el análisis de datos o la generación de resultados, debe ser posible reconstruir qué insumos recibió y qué función cumplió dentro del proceso. Esta exigencia resulta relevante para identificar errores y evaluar la confiabilidad de las conclusiones. El uso creciente de inteligencia artificial en investigación requiere que la rapidez obtenida mediante automatización se acompañe de mecanismos de revisión capaces de preservar transparencia, verificación y responsabilidad sobre las decisiones científicas realizadas (Heredia Pérez et al., 2026).

La automatización transforma el descubrimiento científico cuando permite integrar procesamiento de datos, inteligencia artificial, instrumentación y experimentación dentro de flujos de trabajo cada vez más conectados. Su capacidad para ampliar la escala y velocidad de búsqueda puede favorecer investigaciones que antes requerían una inversión considerable de tiempo y recursos. Sin embargo, el descubrimiento continúa dependiendo de decisiones sobre pertinencia, evidencia y explicación que no se resuelven únicamente mediante ejecución automática. La transformación resulta científicamente sólida cuando la automatización se utiliza como componente de un proceso supervisado, documentado y sujeto a validación independiente de los resultados producidos (Ruiz Muñoz, 2024).

Capítulo 6.

Nuevas dinámicas de producción del conocimiento

Adrián Enrique Ordóñez Sarango



6.1 Investigación colaborativa y conocimiento distribuido

La investigación colaborativa permite abordar problemas científicos que requieren competencias, datos y recursos distribuidos entre distintos investigadores e instituciones. En este tipo de trabajo, el conocimiento no se concentra en una sola persona, sino que se construye mediante contribuciones especializadas que deben integrarse dentro de objetivos comunes. La colaboración amplía la capacidad de análisis y facilita el acceso a experiencias, métodos e infraestructuras complementarias. Sin embargo, su eficacia depende de mecanismos claros de coordinación, comunicación y distribución de responsabilidades, porque la simple participación de varios actores no garantiza una producción científica articulada ni resultados coherentes (Whetsell, 2023).

El conocimiento distribuido se produce cuando distintos participantes aportan capacidades que adquieren sentido al combinarse dentro de una investigación. Un equipo puede integrar especialistas en diseño metodológico, análisis de datos, instrumentación, teoría o gestión de información, sin que ninguno domine por completo todas las fases del proceso. Esta distribución exige reconocer la interdependencia entre tareas y evitar que las contribuciones funcionen como componentes aislados. La producción colectiva requiere que los resultados parciales sean comprensibles, transferibles y utilizables por otros integrantes, de modo que el conocimiento avance mediante relaciones coordinadas entre competencias diferentes (Söderström, 2023).

Las redes internacionales de colaboración científica amplían las posibilidades de producir conocimiento distribuido porque conectan investigadores de distintos países, instituciones y sistemas académicos. Estas relaciones permiten compartir recursos, acceder a conocimientos especializados y desarrollar proyectos que superan las capacidades locales. Al mismo tiempo, la estructura de las redes influye en quién participa, qué instituciones ocupan posiciones centrales y cómo circulan las capacidades científicas. La colaboración internacional no depende únicamente de afinidades temáticas, sino también de condiciones institucionales y políticas que facilitan o restringen la construcción de vínculos estables entre comunidades de investigación (Whetsell, 2023).

Las infraestructuras científicas compartidas constituyen otro soporte importante para la investigación colaborativa. Instalaciones e instrumentos altamente especializados pueden ser utilizados por comunidades amplias y generar relaciones entre grupos que no pertenecen a una misma institución. El acceso compartido crea oportunidades para intercambiar procedimientos,

desarrollar competencias y establecer nuevas conexiones científicas. En este contexto, la infraestructura no funciona solo como soporte técnico, sino como un espacio alrededor del cual se forman redes de colaboración. La producción de conocimiento depende así de recursos materiales y organizativos que permiten conectar investigadores con capacidades distribuidas en distintos lugares (Söderström, 2023).

La ciencia abierta también amplía las posibilidades de colaboración al facilitar el acceso a publicaciones, datos, protocolos, código y otros productos científicos. Cuando estos recursos pueden consultarse y reutilizarse, investigadores externos al proyecto original tienen la posibilidad de desarrollar análisis complementarios o formular nuevas preguntas. Esta apertura transforma la colaboración porque permite que el conocimiento continúe circulando después de concluida una investigación específica. Sin embargo, para que esta dinámica funcione es necesario que los materiales sean accesibles, comprensibles e interoperables, de manera que puedan incorporarse efectivamente a nuevos procesos de producción científica (Thibault et al., 2023).

La investigación colaborativa requiere también mecanismos de comunicación capaces de sostener el intercambio entre participantes con experiencias y responsabilidades distintas. La coordinación no consiste únicamente en distribuir tareas, sino en mantener una comprensión compartida sobre objetivos, procedimientos y criterios de interpretación. Cuando los equipos no disponen de canales claros para comunicar avances, decisiones y dificultades, aumenta el riesgo de fragmentación interna. Por ello, la calidad de la colaboración depende de prácticas que permitan integrar contribuciones especializadas y revisar colectivamente los resultados. El conocimiento distribuido se vuelve operativo cuando puede circular de manera comprensible entre quienes participan en su construcción (Whetsell, 2023).

La colaboración científica se fortalece cuando las responsabilidades se organizan alrededor de capacidades complementarias y no únicamente de jerarquías formales. Diferentes participantes pueden aportar datos, métodos, análisis, mantenimiento de infraestructura o interpretación teórica, y cada contribución influye en el resultado final. Esta distribución modifica la idea tradicional de autoría centrada exclusivamente en la redacción del producto final. Los ecosistemas colaborativos reconocen que la ciencia depende de múltiples aportes interdependientes y que la reutilización de productos científicos puede generar nuevas contribuciones después de concluido el proyecto inicial (Thibault et al., 2023).

Las redes formadas alrededor de instrumentos científicos muestran cómo el conocimiento puede distribuirse entre usuarios internos y externos de una misma infraestructura. Los investigadores no solo acceden a equipos especializados, sino que también intercambian conocimientos sobre procedimientos, interpretación de resultados y posibilidades experimentales. Estas interacciones pueden extenderse en el tiempo y generar nuevas colaboraciones entre grupos que inicialmente compartían únicamente un recurso técnico. La infraestructura contribuye así a crear comunidades científicas conectadas y a distribuir capacidades que serían difíciles de reproducir de manera independiente en cada institución (Söderström, 2023).

La investigación colaborativa también puede aumentar la circulación de conocimiento cuando los resultados se publican de forma que otros investigadores puedan examinarlos y reutilizarlos. La apertura favorece una producción más acumulativa al permitir que datos, métodos y resultados sean incorporados a nuevas investigaciones. Sin embargo, esta posibilidad depende de prácticas de documentación que conserven información sobre procedencia, condiciones de generación y transformaciones aplicadas a los materiales. Sin ese contexto, un recurso abierto puede resultar difícil de interpretar o reutilizar correctamente. La colaboración distribuida requiere, por tanto, apertura acompañada de suficiente trazabilidad científica (Thibault et al., 2023).

El carácter distribuido de la ciencia contemporánea también implica desigualdades en el acceso a redes, infraestructuras y oportunidades de colaboración. Algunas instituciones disponen de mayores capacidades para participar en proyectos internacionales, utilizar instalaciones avanzadas o mantener vínculos científicos estables. Estas diferencias pueden influir en la posición que ocupan dentro de las redes y en su capacidad para intervenir en determinadas agendas. Analizar la colaboración científica requiere considerar no solo la cantidad de conexiones existentes, sino también la estructura de esas relaciones y las condiciones que permiten a determinados actores participar de manera más intensa en la producción global de conocimiento (Whetsell, 2023).

La investigación colaborativa y el conocimiento distribuido representan una transformación en la forma de organizar la producción científica. Los problemas complejos, las infraestructuras especializadas y la expansión de redes internacionales favorecen estructuras donde el conocimiento se construye mediante aportes dispersos que deben coordinarse de manera efectiva. La colaboración adquiere valor cuando permite combinar capacidades sin perder coherencia metodológica y cuando facilita que los recursos producidos puedan circular entre

distintas comunidades. En este modelo, la ciencia depende cada vez más de relaciones capaces de conectar personas, instituciones, instrumentos y productos dentro de procesos colectivos de investigación (Söderström, 2023).

6.2 Redes científicas y circulación de saberes

Las redes científicas constituyen estructuras de relación mediante las cuales investigadores, instituciones y grupos especializados intercambian información, recursos y capacidades. Su importancia radica en que permiten que el conocimiento circule más allá de los límites de una organización concreta y se integre en proyectos desarrollados entre actores geográficamente dispersos. Estas conexiones pueden facilitar la transferencia de métodos, el acceso a datos y la formación de nuevas colaboraciones. Sin embargo, la estructura de una red también condiciona qué actores ocupan posiciones centrales, qué vínculos son más estables y cómo se distribuyen las oportunidades de participar en la producción científica (Whetsell, 2023).

La circulación de saberes no depende únicamente de la existencia de publicaciones o repositorios, sino también de las relaciones que permiten interpretar, adaptar y reutilizar el conocimiento. En redes científicas consolidadas, la interacción entre investigadores favorece el intercambio de procedimientos, criterios y experiencias que no siempre pueden transmitirse completamente mediante documentos formales. Esto resulta especialmente visible alrededor de infraestructuras compartidas, donde el uso de instrumentos especializados genera contactos entre comunidades con capacidades distintas. Las redes funcionan así como canales por los que circulan tanto productos científicos como conocimientos prácticos vinculados con su producción y aplicación (Söderström, 2023).

Las redes internacionales amplían la escala de circulación del conocimiento al conectar sistemas científicos que operan bajo condiciones institucionales diferentes. Esta estructura permite que resultados, métodos y capacidades desarrollados en un contexto sean conocidos y utilizados en otros, aunque la circulación no sea necesariamente uniforme. Algunas instituciones poseen mayor capacidad para establecer vínculos internacionales y ocupar posiciones centrales dentro de las redes. Estas asimetrías influyen en la visibilidad y alcance de determinados conocimientos. Por ello, analizar la circulación científica requiere observar tanto el número de conexiones como la posición relativa de los actores que participan en ellas (Whetsell, 2023).

La ciencia abierta puede fortalecer estas redes al reducir barreras de acceso a publicaciones, datos y otros productos científicos. Cuando los resultados se encuentran disponibles para

comunidades más amplias, aumenta la posibilidad de que sean examinados, reutilizados o integrados en nuevas investigaciones. Sin embargo, la apertura no garantiza por sí misma una circulación efectiva. Los materiales deben contar con condiciones de acceso, documentación y organización que permitan comprenderlos y utilizarlos adecuadamente. La circulación del conocimiento depende, por tanto, de una combinación entre disponibilidad técnica y prácticas científicas que favorezcan el intercambio y la reutilización de los recursos producidos (De Filippo & Lascurain-Sánchez, 2023).

Las redes científicas también pueden modificar la configuración de las agendas de investigación. Cuando investigadores e instituciones mantienen relaciones sostenidas, comparten problemas, recursos y prioridades que pueden dar lugar a nuevas líneas de trabajo. Esta interacción facilita la formación de comunidades temáticas y puede aumentar la visibilidad de determinadas áreas. Al mismo tiempo, la circulación de saberes permite que conceptos y métodos desarrollados en un contexto sean incorporados en otros proyectos. Las redes se convierten así en estructuras que no solo transmiten conocimiento ya producido, sino que también participan en la definición de nuevos problemas y en la orientación de futuras investigaciones (Söderström, 2023).

Tabla 14
Funciones de las redes científicas en la circulación de saberes

Función	Mecanismo principal	Aporte a la producción científica	Riesgo o limitación
Intercambio de información	Publicaciones, reuniones y plataformas	Difunde resultados y métodos	Sobrecarga o fragmentación informativa
Transferencia de capacidades	Colaboración entre grupos	Comparte competencias y procedimientos	Dependencia de actores centrales
Acceso a infraestructura	Uso compartido de instalaciones	Amplía capacidades experimentales	Desigualdad en disponibilidad
Formación de comunidades	Redes temáticas y proyectos conjuntos	Consolida agendas comunes	Cierre de circuitos especializados
Circulación internacional	Cooperación entre países e instituciones	Amplía alcance y visibilidad	Asimetrías entre sistemas científicos
Ciencia abierta	Repositorios y acceso a productos	Favorece reutilización del conocimiento	Falta de documentación o interoperabilidad

Nota. La tabla sintetiza las principales funciones que cumplen las redes científicas en la circulación del conocimiento y señala condiciones que pueden ampliar o limitar su alcance.

La circulación de saberes depende también de la continuidad de los vínculos. Una colaboración aislada puede generar un intercambio puntual, mientras una red sostenida permite construir

confianza, compartir procedimientos y desarrollar proyectos sucesivos. La estabilidad de las relaciones facilita que el conocimiento circule con mayor profundidad, porque los participantes conocen mejor las capacidades y formas de trabajo de sus colaboradores. Las redes alrededor de instalaciones científicas muestran que la interacción repetida puede generar comunidades duraderas y nuevas oportunidades de investigación. La circulación adquiere así una dimensión temporal vinculada con la permanencia y densidad de las conexiones (Söderström, 2023).

Las redes científicas pueden ampliar la visibilidad de determinados conocimientos, pero también reproducir desigualdades existentes. Los actores con mayor capacidad institucional suelen acceder con más facilidad a colaboraciones internacionales, infraestructura avanzada y espacios de publicación. Esto puede concentrar recursos y aumentar la centralidad de determinadas instituciones. Por ello, la circulación no debe analizarse como un proceso neutral. La estructura de la red influye en quién produce, quién difunde y quién recibe conocimiento. Comprender estas relaciones permite identificar que la distribución científica depende tanto de la calidad de los resultados como de las posiciones ocupadas dentro de los circuitos de colaboración (Whetsell, 2023).

La ciencia abierta puede contribuir a ampliar la circulación cuando los proyectos y publicaciones se integran en políticas que favorecen acceso y reutilización. El análisis de iniciativas vinculadas con ciencia abierta muestra que la producción científica puede articularse mediante proyectos, instituciones y publicaciones que forman redes específicas. Estas conexiones permiten identificar cómo determinadas prácticas de apertura se expanden dentro de una comunidad científica. Sin embargo, su consolidación requiere continuidad institucional y recursos que permitan mantener repositorios, estándares y mecanismos de acceso. La apertura funciona mejor cuando forma parte de una estructura estable de producción y comunicación científica (De Filippo & Lascurain-Sánchez, 2023).

Las redes científicas y la circulación de saberes forman parte de una misma dinámica de producción distribuida del conocimiento. Las redes conectan actores, mientras la circulación permite que conceptos, datos, métodos y experiencias se desplacen entre ellos. Esta relación puede ampliar la capacidad colectiva de investigación y favorecer nuevas configuraciones científicas, pero también está condicionada por desigualdades de acceso, infraestructura y posición institucional. Su análisis requiere considerar tanto la estructura de los vínculos como la calidad de los intercambios. El conocimiento circula de manera más efectiva cuando existen relaciones estables, recursos compartidos y mecanismos que facilitan su comprensión y reutilización (Whetsell, 2023).

6.3 Ciencia abierta y acceso al conocimiento

La ciencia abierta busca ampliar el acceso a los productos de investigación y hacer más transparentes las prácticas mediante las cuales se genera conocimiento. Su alcance incluye publicaciones, datos, métodos, protocolos y otros recursos que pueden ser consultados y reutilizados por comunidades más amplias. Esta apertura modifica el modelo tradicional de comunicación científica, centrado en productos finales y circuitos restringidos, y favorece una mayor circulación de resultados. Sin embargo, la ciencia abierta no constituye una práctica única, sino un conjunto de componentes que deben articularse para que el acceso se traduzca realmente en posibilidades de uso y participación científica (Abadal, 2021).

El acceso al conocimiento científico depende no solo de que los materiales estén disponibles, sino también de que puedan ser comprendidos, localizados y reutilizados. Un repositorio abierto pierde parte de su utilidad si los datos carecen de documentación suficiente o si los formatos dificultan su interoperabilidad. Por ello, la apertura requiere estándares, metadatos y procedimientos que permitan mantener la trazabilidad de los productos. Esta dimensión técnica es inseparable de la dimensión epistemológica, porque la posibilidad de verificar o reutilizar un resultado depende de conocer cómo fue producido y bajo qué condiciones puede ser interpretado adecuadamente (Thibault et al., 2023).

Las prácticas de ciencia abierta también están condicionadas por los contextos institucionales en los que trabajan los investigadores. La adopción de repositorios, intercambio de datos y acceso abierto puede variar según las capacidades tecnológicas, las políticas de cada institución y las tradiciones de los campos científicos. El análisis de comunidades de investigadores en ciencias básicas muestra que las prácticas abiertas no se implementan de manera uniforme y que su desarrollo depende de recursos, hábitos y percepciones concretas. Esto indica que la apertura del conocimiento requiere condiciones materiales y culturales que permitan sostenerla más allá de declaraciones generales (Manco, 2023).

Las políticas y proyectos relacionados con ciencia abierta contribuyen a crear redes donde instituciones, publicaciones y grupos de investigación comparten objetivos vinculados con acceso y difusión. Estas iniciativas pueden fortalecer la visibilidad de los resultados y facilitar la circulación de conocimiento entre comunidades. Sin embargo, su impacto depende de la continuidad de los programas y de la capacidad para integrar prácticas de apertura en procesos científicos habituales. Cuando la ciencia abierta se limita a acciones aisladas, su efecto puede ser reducido. La consolidación requiere estructuras que conecten producción, publicación,

almacenamiento y reutilización dentro de una misma lógica institucional (De Filippo & Lascurain-Sánchez, 2023).

La apertura también modifica la relación entre producción y evaluación científica. Cuando datos, métodos y materiales se encuentran disponibles, otros investigadores pueden revisar con mayor detalle los procedimientos utilizados y desarrollar análisis secundarios. Esta posibilidad amplía la transparencia y favorece nuevas formas de colaboración, pero también incrementa la necesidad de documentar cada etapa de manera rigurosa. La apertura no garantiza por sí misma calidad o reproducibilidad; estas dependen de que los productos compartidos sean completos, comprensibles y coherentes con los resultados publicados. La ciencia abierta requiere, por tanto, prácticas de documentación que permitan examinar y reutilizar el conocimiento de forma responsable (Abadal, 2021).

Tabla 15

Componentes de la ciencia abierta y su relación con el acceso al conocimiento

Componente	Función principal	Aporte al acceso	Condición necesaria
Acceso abierto	Permitir consulta de publicaciones	Amplía la disponibilidad de resultados	Plataformas y políticas de acceso
Datos abiertos	Compartir conjuntos de información	Facilita verificación y reutilización	Documentación y metadatos
Métodos abiertos	Hacer visibles procedimientos	Favorece reproducibilidad	Descripción suficiente del proceso
Código abierto	Compartir herramientas computacionales	Permite replicar análisis	Versionado y documentación
Repositorios	Conservar y organizar productos	Facilita localización y preservación	Infraestructura interoperable
Colaboración abierta	Permitir participación y reutilización	Amplía redes de producción	Normas claras de contribución y reconocimiento

Nota. La tabla resume los principales componentes de la ciencia abierta y muestra que el acceso efectivo depende tanto de la disponibilidad de los productos como de condiciones técnicas y organizativas que permitan comprenderlos y reutilizarlos.

El acceso abierto a publicaciones representa una de las dimensiones más visibles de la ciencia abierta, pero no agota su alcance. Un sistema verdaderamente abierto debe considerar también datos, protocolos, código y otros recursos necesarios para comprender cómo se obtuvo un resultado. Esta ampliación permite que la comunidad científica examine no solo las conclusiones, sino también los procesos que las sustentan. Cuando estos componentes se articulan, la apertura puede favorecer una investigación más verificable y reutilizable. La transición hacia este modelo exige modificar prácticas editoriales y técnicas que

tradicionalmente han tratado los productos intermedios como materiales secundarios (Thibault et al., 2023).

Figura 6
Ciencia abierta y acceso al conocimiento científico



Nota. El esquema sintetiza los componentes, condiciones y efectos que permiten transformar la disponibilidad de productos científicos en posibilidades efectivas de acceso, verificación, reutilización y colaboración.

La ciencia abierta también puede contribuir a reducir barreras de acceso entre instituciones con capacidades diferentes, aunque no elimina automáticamente las desigualdades existentes. Disponer de contenidos abiertos puede facilitar la consulta, pero la reutilización depende de infraestructura tecnológica, formación y recursos para procesar la información. En comunidades científicas con capacidades limitadas, estas condiciones pueden restringir el aprovechamiento de materiales abiertos. Por ello, la apertura debe analizarse junto con las condiciones que permiten participar de manera efectiva en la producción y circulación del conocimiento, evitando asumir que disponibilidad equivale siempre a acceso sustantivo (Manco, 2023).

Las iniciativas de ciencia abierta adquieren mayor estabilidad cuando se integran en políticas y proyectos que articulan distintos actores institucionales. El análisis de actividades científicas vinculadas con apertura muestra que publicaciones y proyectos pueden actuar como nodos desde los cuales se expanden prácticas y relaciones. Esta estructura permite que la ciencia abierta pase de ser una decisión individual a convertirse en una dinámica colectiva sostenida por organizaciones. Sin embargo, su consolidación requiere continuidad, evaluación y mecanismos que aseguren que los recursos compartidos permanezcan accesibles y utilizables a lo largo del tiempo (De Filippo & Lascurain-Sánchez, 2023).

La ciencia abierta y el acceso al conocimiento representan una transformación en la forma de producir, comunicar y reutilizar resultados científicos. Su alcance supera la disponibilidad de artículos e incluye datos, métodos, código y otros productos necesarios para comprender y extender una investigación. La apertura amplía las posibilidades de colaboración y verificación, pero depende de infraestructura, documentación y prácticas institucionales que garanticen acceso efectivo. Por ello, su desarrollo requiere integrar dimensiones técnicas, organizativas y culturales dentro de un mismo sistema, de manera que los productos científicos puedan circular y ser reutilizados sin perder trazabilidad ni contexto (Abadal, 2021).

6.4 Infraestructuras científicas para la investigación contemporánea

Las infraestructuras científicas constituyen una base material y organizativa para la investigación contemporánea, especialmente en campos que dependen de instrumentos costosos, plataformas digitales o instalaciones altamente especializadas. Su función no se limita a proporcionar equipamiento, porque también concentran capacidades técnicas, personal experto y procedimientos que facilitan investigaciones de gran complejidad. Cuando estas infraestructuras son compartidas por múltiples grupos, permiten ampliar el acceso a recursos

que difícilmente podrían reproducirse en cada institución. De este modo, contribuyen a distribuir capacidades científicas y a conectar comunidades que trabajan alrededor de problemas, instrumentos o metodologías comunes (Söderström, 2023).

Las infraestructuras compartidas también favorecen la formación de redes de colaboración. El acceso a un mismo instrumento o instalación puede reunir investigadores procedentes de instituciones diferentes y generar intercambios sobre procedimientos, resultados y posibilidades experimentales. Estas relaciones pueden extenderse más allá del uso puntual de un recurso y transformarse en colaboraciones duraderas. La infraestructura funciona entonces como punto de encuentro entre capacidades distribuidas, facilitando circulación de conocimiento y formación de comunidades especializadas. Su importancia radica tanto en el recurso físico como en las interacciones científicas que se desarrollan alrededor de él (Söderström, 2023).

Las infraestructuras digitales amplían esta lógica al permitir que datos, protocolos, código y otros productos científicos puedan almacenarse, compartirse y reutilizarse entre investigadores geográficamente dispersos. Repositorios, plataformas interoperables y servicios de acceso remoto forman parte de un ecosistema que facilita la continuidad del trabajo científico más allá de una sola institución. Estas herramientas permiten conectar distintas etapas del ciclo de investigación y favorecen una producción más colaborativa. Sin embargo, su funcionamiento requiere estándares que permitan localizar, interpretar y reutilizar los recursos, evitando que la apertura técnica se convierta en una acumulación de materiales difíciles de comprender (Thibault et al., 2023).

La ciencia abierta ha incrementado la importancia de contar con infraestructuras capaces de sostener el acceso, conservación y circulación del conocimiento. La apertura de publicaciones, datos y métodos depende de sistemas que garanticen almacenamiento, preservación y disponibilidad a lo largo del tiempo. Sin estas condiciones, el acceso puede ser temporal o fragmentado. La infraestructura científica incluye, por tanto, componentes materiales y digitales que permiten que los resultados permanezcan disponibles para futuras investigaciones. Esta dimensión convierte a los repositorios y servicios de información en elementos centrales de un modelo científico que busca ampliar la transparencia y reutilización de productos (Abadal, 2021).

Las infraestructuras científicas también influyen en la organización institucional de la investigación. Determinados proyectos dependen de consorcios, acuerdos de uso compartido y

mecanismos de coordinación entre universidades, centros y organismos financiadores. Estas relaciones permiten sostener recursos cuya escala supera las posibilidades de una sola organización. Sin embargo, el acceso puede estar condicionado por criterios de selección, disponibilidad técnica y prioridades institucionales. Por ello, analizar una infraestructura requiere considerar tanto su capacidad tecnológica como las reglas que determinan quién puede utilizarla, en qué condiciones y para qué tipos de investigación (Söderström, 2023).

Tabla 16

Tipos de infraestructuras científicas y funciones en la investigación contemporánea

Tipo de infraestructura	Función principal	Aporte a la investigación	Condición para su uso efectivo
Instalaciones experimentales	Proporcionar equipos especializados	Amplían capacidades de observación y medición	Acceso coordinado y soporte técnico
Repositorios digitales	Almacenar y preservar productos científicos	Facilitan consulta y reutilización	Metadatos y mantenimiento
Plataformas de datos	Integrar y procesar información	Permiten análisis de gran escala	Interoperabilidad y calidad de datos
Infraestructuras computacionales	Ejecutar análisis y simulaciones	Amplían capacidad de procesamiento	Recursos técnicos y software adecuado
Redes de instrumentación	Conectar equipos y usuarios	Favorecen colaboración distribuida	Protocolos y estándares comunes
Ecosistemas abiertos	Integrar publicaciones, datos y código	Facilitan transparencia y reutilización	Políticas de acceso y documentación

Nota. La tabla organiza las principales infraestructuras que sostienen la investigación contemporánea y muestra las condiciones necesarias para que sus capacidades técnicas se traduzcan en producción científica efectiva.

El acceso a infraestructuras especializadas puede modificar la distribución de capacidades dentro de una comunidad científica. Los grupos que disponen de instrumentos avanzados o acceso preferente a grandes instalaciones pueden desarrollar preguntas y experimentos que resultan difíciles para instituciones con recursos más limitados. Esta desigualdad hace necesario establecer mecanismos de acceso compartido que permitan ampliar la participación. Las redes creadas alrededor de instrumentos científicos muestran que la infraestructura puede reducir algunas barreras cuando existe una organización capaz de conectar usuarios externos con recursos especializados (Söderström, 2023).

Las infraestructuras digitales también requieren criterios de interoperabilidad. Un conjunto de datos puede estar disponible públicamente y, aun así, ser difícil de reutilizar si utiliza formatos incompatibles, carece de metadatos o no incluye suficiente información sobre su origen. La

ciencia abierta depende de sistemas que permitan conectar productos generados en diferentes etapas y por distintos grupos. Esta capacidad facilita que otros investigadores puedan reproducir análisis, integrar recursos o construir nuevas investigaciones. Por ello, la infraestructura no debe evaluarse únicamente por su capacidad de almacenamiento, sino también por la facilidad con que los materiales pueden ser localizados, comprendidos y reutilizados (Thibault et al., 2023).

La sostenibilidad constituye otro desafío para las infraestructuras científicas. Equipos, repositorios y plataformas requieren mantenimiento, actualización y recursos humanos especializados para conservar su funcionalidad. Una infraestructura puede perder utilidad si no existe continuidad financiera o si los sistemas tecnológicos quedan obsoletos. Esta condición resulta especialmente relevante para la ciencia abierta, porque la preservación de datos y publicaciones exige garantizar acceso más allá de la duración de un proyecto concreto. La consolidación de estos recursos depende de políticas institucionales que los integren como componentes permanentes del sistema de investigación (Abadal, 2021).

Las infraestructuras científicas contemporáneas cumplen una función estratégica porque conectan instrumentos, datos, personas y organizaciones dentro de procesos cada vez más distribuidos. Su importancia no reside solo en ampliar la capacidad técnica, sino en facilitar condiciones para la colaboración, la circulación del conocimiento y la reutilización de resultados. Una infraestructura efectiva debe combinar acceso, interoperabilidad, soporte técnico y sostenibilidad. Cuando estos elementos se articulan, los recursos científicos dejan de ser instalaciones aisladas y se convierten en plataformas que organizan comunidades, amplían posibilidades de investigación y sostienen nuevas formas colectivas de producción de conocimiento (Söderström, 2023).

6.5 Producción colectiva del conocimiento científico

La producción colectiva del conocimiento científico se desarrolla cuando diferentes investigadores, equipos e instituciones participan de manera interdependiente en la construcción de resultados. Este proceso supera la idea del conocimiento como producto individual y reconoce que muchas investigaciones dependen de contribuciones distribuidas entre quienes diseñan métodos, generan datos, operan infraestructuras, analizan resultados o elaboran interpretaciones. La colaboración adquiere valor cuando esas contribuciones se integran dentro de objetivos compartidos y pueden reconocerse como partes de un mismo

proceso científico. La producción colectiva depende, por tanto, de estructuras capaces de coordinar responsabilidades, recursos y capacidades especializadas (Whetsell, 2023).

La colectivización del conocimiento también se fortalece cuando los productos intermedios de la investigación pueden ser utilizados por otros participantes. Datos, protocolos, códigos y documentos dejan de funcionar únicamente como materiales internos y pueden convertirse en recursos para nuevas investigaciones. Esta apertura favorece una producción acumulativa en la que los resultados de un grupo sirven como punto de partida para otros equipos. La ciencia abierta amplía así la noción de colaboración, porque permite que la contribución científica continúe después de finalizado un proyecto específico y que distintos productos adquieran nuevas funciones dentro de procesos posteriores de investigación (Thibault et al., 2023).

La producción colectiva exige reconocer que las contribuciones científicas no siempre poseen la misma forma ni visibilidad. Algunos participantes intervienen directamente en la redacción, mientras otros aportan recursos, datos, análisis o soporte técnico indispensable para producir los resultados. Esta diversidad obliga a comprender la investigación como una cadena de tareas interdependientes y no exclusivamente como actividad autoral. Cuando los procesos se vuelven más complejos, identificar responsabilidades y documentar contribuciones resulta fundamental para mantener claridad sobre el origen del conocimiento. La colaboración científica necesita, por ello, mecanismos que permitan reconocer de manera transparente los distintos tipos de aportes realizados (Thibault et al., 2023).

Las redes de colaboración internacional muestran que la producción colectiva depende de relaciones que conectan capacidades distribuidas entre países e instituciones. Estas redes permiten que grupos con recursos y especialidades diferentes participen en proyectos comunes y compartan resultados dentro de estructuras científicas amplias. Sin embargo, la posición de cada actor dentro de la red puede influir en su capacidad para establecer nuevas conexiones y participar en determinadas agendas. La producción colectiva no ocurre en condiciones completamente equilibradas, pues existen diferencias institucionales y nacionales que afectan la intensidad y dirección de las colaboraciones científicas (Whetsell, 2023).

Las prácticas de ciencia abierta pueden ampliar la participación colectiva cuando reducen barreras para acceder a productos científicos. En comunidades de investigación donde se comparten datos, publicaciones y otros materiales, aumenta la posibilidad de que nuevos actores incorporen esos recursos en trabajos posteriores. Sin embargo, la apertura depende de condiciones concretas de adopción y no se desarrolla de manera uniforme entre instituciones o

campos. La experiencia de comunidades de ciencias básicas muestra que las prácticas abiertas están condicionadas por recursos, hábitos y percepciones de los investigadores, lo que influye en la intensidad con que el conocimiento puede circular y ser reutilizado colectivamente (Manco, 2023).

La producción colectiva también requiere infraestructuras capaces de sostener la interacción entre participantes. Las plataformas digitales, repositorios y sistemas de gestión de datos permiten coordinar materiales generados en distintos momentos y lugares. Estas herramientas facilitan que los integrantes de un proyecto compartan avances, revisen resultados y mantengan versiones accesibles de los productos científicos. Su función no es meramente técnica, porque influyen en la manera en que se distribuye y organiza el trabajo. Cuando la infraestructura favorece interoperabilidad y acceso, puede ampliar la capacidad de los equipos para construir conocimiento de forma coordinada y reutilizable (Thibault et al., 2023).

La dimensión institucional resulta igualmente importante. Los proyectos colectivos suelen depender de universidades, centros de investigación, organismos financiadores y revistas que establecen condiciones para colaborar, publicar y compartir resultados. Estas organizaciones pueden facilitar redes estables o, por el contrario, mantener estructuras que dificulten la cooperación entre grupos. El análisis de proyectos vinculados con ciencia abierta muestra que las relaciones entre instituciones contribuyen a formar circuitos específicos de producción y difusión del conocimiento. La colectivización científica se sostiene cuando existen políticas y mecanismos organizativos que permiten dar continuidad a estas relaciones más allá de iniciativas aisladas (De Filippo & Lascurain-Sánchez, 2023).

La producción colectiva transforma también la circulación de responsabilidades dentro de la investigación. Cuando un proyecto involucra numerosos participantes, las decisiones sobre datos, métodos, análisis y comunicación pueden distribuirse entre distintos grupos. Esta estructura requiere mecanismos de coordinación capaces de evitar duplicaciones, vacíos de responsabilidad o interpretaciones incompatibles. La colaboración efectiva implica acordar objetivos, registrar decisiones y mantener suficiente comunicación para que las contribuciones puedan integrarse. La producción científica colectiva no consiste simplemente en multiplicar participantes, sino en organizar una interdependencia funcional donde cada aporte pueda relacionarse de manera clara con el resultado general (Whetsell, 2023).

La apertura de productos científicos amplía además las posibilidades de construcción colectiva después de la publicación. Un conjunto de datos o un código accesible puede ser reutilizado,

corregido o adaptado por investigadores externos al equipo original. Esto convierte ciertos resultados en recursos abiertos a nuevas contribuciones y extiende temporalmente el proceso de producción del conocimiento. Sin embargo, la reutilización requiere documentación suficiente para comprender las condiciones de creación del material. La colectivización se fortalece cuando los productos mantienen trazabilidad, permiten identificar responsabilidades y ofrecen información clara sobre cómo pueden emplearse en nuevas investigaciones (Thibault et al., 2023).

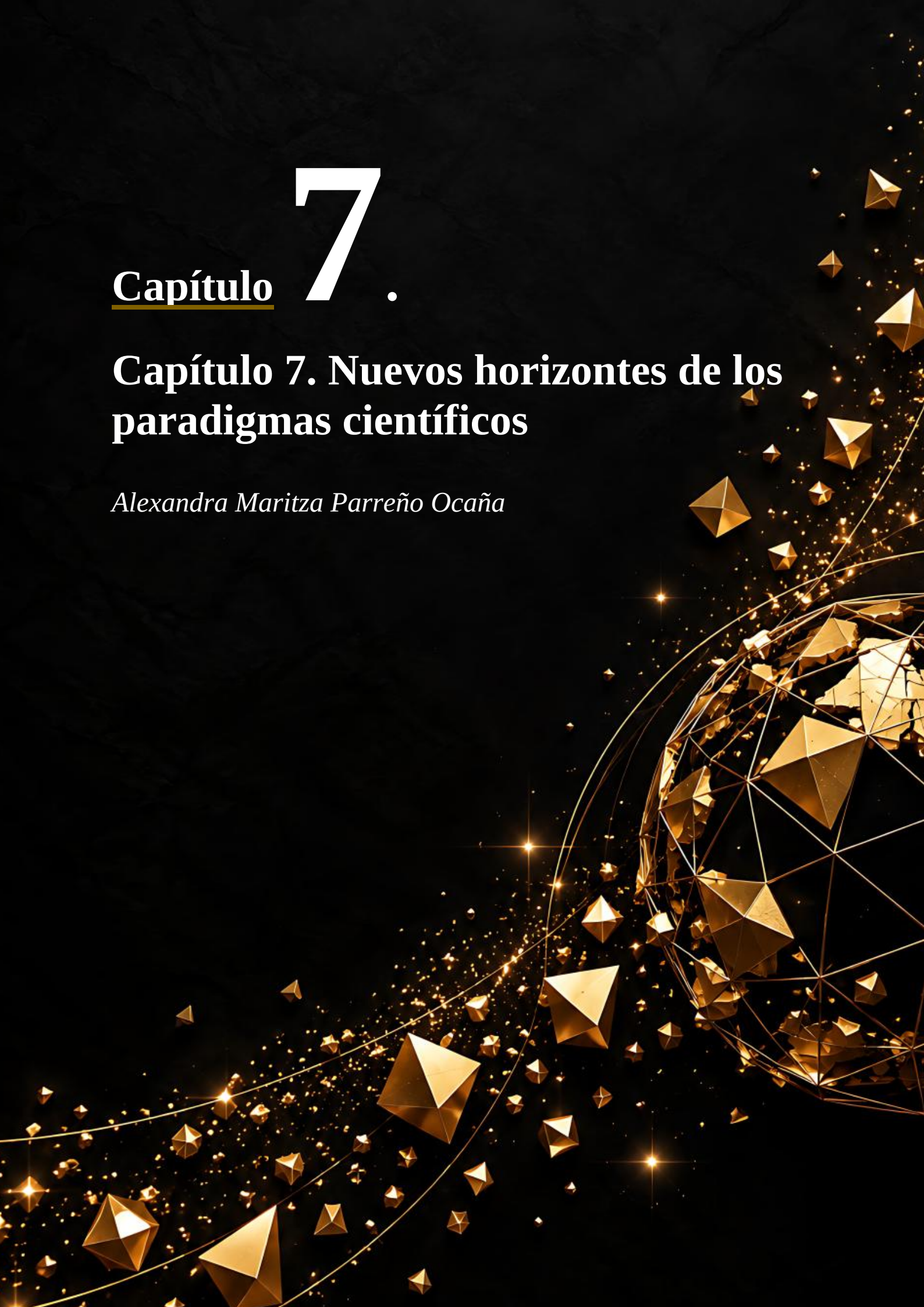
Las comunidades científicas que adoptan prácticas abiertas muestran que la producción colectiva también depende de disposiciones culturales hacia el intercambio. Compartir materiales implica modificar hábitos relacionados con control, prioridad y reconocimiento de los resultados. Estas decisiones están influidas por normas institucionales, expectativas profesionales y experiencias previas de colaboración. Por ello, la expansión de modelos colectivos no depende únicamente de nuevas tecnologías. Requiere también formas de trabajo que valoren la circulación, la cooperación y la reutilización de recursos como componentes legítimos de la actividad científica, siempre dentro de criterios claros de responsabilidad y atribución (Manco, 2023).

La producción colectiva del conocimiento científico expresa una transformación en la organización de la investigación contemporánea. Las redes, infraestructuras compartidas y prácticas abiertas permiten que los resultados surjan de contribuciones distribuidas entre personas e instituciones con capacidades diferentes. Este modelo amplía las posibilidades de investigación, pero también exige coordinación, trazabilidad y criterios claros para reconocer aportes y responsabilidades. Su consolidación depende de que la colaboración se convierta en una estructura estable y no en una suma ocasional de participantes. La ciencia colectiva funciona cuando las contribuciones pueden integrarse, circular y generar nuevas investigaciones dentro de comunidades conectadas (De Filippo & Lascurain-Sánchez, 2023).

Capítulo 7.

Capítulo 7. Nuevos horizontes de los paradigmas científicos

Alexandra Maritza Parreño Ocaña



7.1 Convergencia entre ciencias naturales, sociales y tecnológicas

La convergencia entre ciencias naturales, sociales y tecnológicas responde a problemas cuya comprensión exige integrar dimensiones que tradicionalmente han sido estudiadas por separado. Esta convergencia no implica borrar las diferencias entre disciplinas, sino establecer relaciones capaces de combinar teorías, métodos y capacidades complementarias. En campos como las ciencias del cerebro, la interacción entre conocimientos biológicos, computacionales y sociales ha generado formas de investigación que superan la cooperación ocasional y avanzan hacia estructuras más integradas. Este proceso muestra que la convergencia científica puede reorganizar tanto los problemas como las comunidades que participan en su estudio (Petersen et al., 2021).

La relación entre ciencias naturales y sociales permite ampliar el análisis de fenómenos que poseen simultáneamente componentes biológicos, ambientales, culturales e institucionales. Cuando estas dimensiones se estudian de forma aislada, la explicación puede quedar limitada a una parte del problema. La convergencia busca construir marcos capaces de reconocer las contribuciones específicas de cada campo y establecer relaciones entre ellas. El estudio de la familia, por ejemplo, puede incorporar perspectivas sociológicas junto con conocimientos procedentes de las ciencias naturales, siempre que la integración conserve claridad respecto de los niveles y objetos abordados por cada disciplina (González, 2023).

Las tecnologías digitales añaden una dimensión adicional a los procesos de convergencia científica. Herramientas computacionales, modelos de análisis y sistemas de procesamiento de información pueden utilizarse en diferentes áreas y facilitar conexiones entre comunidades que anteriormente desarrollaban métodos independientes. La tecnología funciona así como un espacio de articulación que permite compartir procedimientos y representar fenómenos desde perspectivas complementarias. Sin embargo, la convergencia no depende exclusivamente de utilizar tecnologías similares, porque requiere que los conocimientos producidos mediante ellas se relacionen dentro de preguntas científicas comunes y generen formas efectivas de integración entre campos (Petersen et al., 2021).

La convergencia también puede modificar los límites de las agendas científicas. Cuando un problema se redefine mediante aportes procedentes de diferentes campos, pueden aparecer preguntas que no tenían una ubicación clara dentro de las disciplinas originales. Este proceso favorece la formación de líneas de investigación orientadas por problemas y no exclusivamente por categorías académicas tradicionales. La interacción sostenida entre áreas puede generar

nuevas combinaciones de conocimientos y promover estructuras de investigación que conecten especialidades previamente separadas. En este sentido, la convergencia constituye una vía para ampliar el espacio de problemas que pueden ser investigados colectivamente (Petersen et al., 2021).

La integración entre ciencias naturales y sociales requiere especial cuidado para evitar reducciones que conviertan una dimensión del fenómeno en explicación suficiente de todas las demás. Incorporar conocimientos biológicos a un problema social, por ejemplo, no implica sustituir categorías sociológicas por mecanismos naturales. La convergencia resulta más sólida cuando reconoce la autonomía relativa de los niveles de análisis y establece conexiones justificadas entre ellos. Esto permite construir explicaciones que relacionen procesos diferentes sin confundir sus escalas ni atribuir a una disciplina una capacidad explicativa que exceda el alcance de sus conceptos y métodos (González, 2023).

Tabla 17

Dimensiones de la convergencia entre ciencias naturales, sociales y tecnológicas

Dimensión de convergencia	Aporte principal	Forma de integración	Riesgo que debe controlarse
Conceptual	Relaciona categorías de diferentes campos	Construcción de marcos comunes	Pérdida de precisión disciplinar
Metodológica	Combina procedimientos diversos	Diseños integrados	Uso de métodos fuera de contexto
Tecnológica	Comparte herramientas computacionales	Plataformas y técnicas transversales	Dependencia excesiva de la tecnología
Empírica	Integra distintos tipos de evidencia	Comparación y articulación de datos	Incompatibilidad entre fuentes
Organizativa	Conecta equipos e instituciones	Redes y programas convergentes	Fragmentación interna
Problemática	Reorganiza preguntas científicas	Agendas centradas en problemas complejos	Delimitación excesivamente amplia

Nota. La tabla organiza las principales dimensiones mediante las cuales puede producirse convergencia científica y señala las condiciones que deben controlarse para evitar una integración superficial entre campos.

La convergencia científica puede adoptar grados distintos. Algunas investigaciones comparten únicamente herramientas o datos, mientras otras integran de manera más profunda conceptos, preguntas y procedimientos. Esta diferencia resulta importante porque la utilización de una tecnología común no convierte automáticamente una investigación en convergente. La integración adquiere mayor profundidad cuando modifica la forma de definir el problema y produce relaciones estables entre las áreas participantes. En estos casos, las fronteras disciplinares comienzan a reorganizarse y pueden surgir comunidades científicas que

mantienen vínculos constantes entre conocimientos naturales, sociales y tecnológicos (Petersen et al., 2021).

La cooperación entre ciencias naturales y sociales también obliga a revisar las escalas en las que se construyen las explicaciones. Un fenómeno puede incluir procesos individuales, familiares, institucionales y biológicos que operan de manera simultánea, pero no necesariamente bajo las mismas reglas. La integración requiere identificar qué aporta cada nivel y cómo se relaciona con los demás. Esta perspectiva permite evitar tanto explicaciones exclusivamente sociales como interpretaciones que reduzcan fenómenos complejos a componentes naturales. La convergencia resulta útil cuando las conexiones entre niveles se fundamentan en relaciones específicas y no en asociaciones generales entre disciplinas (González, 2023).

Las tecnologías pueden favorecer esta integración al facilitar análisis de grandes conjuntos de información, visualización de relaciones y construcción de modelos compartidos. Sin embargo, su papel debe entenderse como mediador y no como sustituto de las decisiones epistemológicas. Una misma herramienta puede utilizarse en disciplinas distintas sin producir necesariamente una comprensión común del fenómeno. La convergencia requiere que los resultados tecnológicos sean interpretados mediante marcos que permitan relacionar evidencias y preguntas procedentes de diferentes campos. El valor de la tecnología depende entonces de su capacidad para apoyar una integración científicamente justificada (Petersen et al., 2021).

La convergencia entre ciencias naturales, sociales y tecnológicas configura un horizonte de investigación en el que los problemas pueden organizarse mediante relaciones más flexibles entre campos. Su desarrollo conserva la utilidad de la especialización, pero modifica la forma en que los conocimientos especializados se conectan para construir explicaciones más amplias. La integración debe mantener claridad sobre los límites conceptuales y metodológicos de cada área, porque una convergencia sin criterios puede producir simplificaciones o combinaciones poco coherentes. Cuando las relaciones se justifican adecuadamente, la convergencia permite construir objetos y agendas capaces de atravesar divisiones disciplinares tradicionales (Petersen et al., 2021).

7.2 Revisión de los criterios tradicionales de explicación científica

Los criterios tradicionales de explicación científica han privilegiado con frecuencia la búsqueda de regularidades generales, relaciones causales y estructuras teóricas capaces de unificar fenómenos diversos. Sin embargo, la capacidad explicativa no depende únicamente de reducir

diferentes casos a un mismo principio. Una explicación puede reunir varios fenómenos bajo un marco común y, aun así, dejar sin resolver preguntas importantes sobre mecanismos, diferencias contextuales o condiciones específicas. Por ello, revisar los criterios tradicionales implica distinguir entre unificación, comprensión y suficiencia explicativa, evitando asumir que una mayor reducción formal produce necesariamente una explicación científicamente superior (Knowles, 2021).

La unificación ha sido considerada uno de los criterios más influyentes para valorar explicaciones científicas, porque permite conectar fenómenos aparentemente distintos mediante principios comunes. No obstante, esta estrategia presenta límites cuando la explicación sacrifica detalles relevantes para mantener una estructura general. La discusión contemporánea sobre explicación matemática muestra que un modelo puede resultar informativo por razones distintas de su capacidad de unificar. En algunos casos, la comprensión depende de identificar relaciones específicas y no de integrar todos los fenómenos dentro de una única estructura. La revisión epistemológica exige, por tanto, evaluar qué tipo de información aporta realmente una explicación (Knowles, 2021).

La explicación científica también debe examinarse desde la relación entre razón y experiencia. Los modelos tradicionales han tendido a privilegiar determinadas formas de racionalidad, pero la producción de conocimiento puede requerir una consideración más amplia de los modos mediante los cuales se organiza la experiencia. Esta ampliación no supone abandonar la exigencia de justificación, sino reconocer que los procesos cognitivos y epistemológicos pueden involucrar diferentes formas de acceso a los fenómenos. Revisar los criterios explicativos implica entonces analizar qué tipos de experiencia son considerados relevantes y cómo se articulan con los procedimientos racionales utilizados para construir conocimiento (Ramírez, 2021).

La diversidad de saberes también cuestiona la idea de que exista un único criterio epistemológico aplicable de manera idéntica a todos los campos. Las formas de conocimiento pueden diferir en sus objetos, procedimientos y condiciones de validación, por lo que la explicación científica debe reconocer esas diferencias sin renunciar a criterios de rigor. El problema consiste en determinar cómo comparar perspectivas heterogéneas sin reducirlas a una sola matriz explicativa. Esta revisión exige distinguir entre pluralidad epistemológica y relativismo, porque aceptar la existencia de diferentes formas de conocimiento no significa considerar que todas poseen el mismo alcance o capacidad explicativa (García Duque, 2022).

La revisión de los criterios tradicionales también afecta la relación entre explicación y reducción. Un modelo explicativo puede intentar derivar fenómenos complejos a partir de principios más generales, pero esta estrategia puede perder información cuando las propiedades relevantes dependen del contexto o del nivel de organización. La explicación científica necesita evaluar qué aspectos pueden integrarse dentro de marcos generales y cuáles requieren categorías específicas. En este sentido, la búsqueda de simplicidad continúa siendo útil, pero debe equilibrarse con la necesidad de conservar las relaciones que hacen inteligible el fenómeno estudiado (Knowles, 2021).

Los criterios explicativos también están vinculados con las preguntas que una comunidad científica considera legítimas. Una explicación puede ser adecuada para responder cómo ocurre un proceso y resultar insuficiente para responder por qué determinadas condiciones producen un efecto concreto. Esta diferencia obliga a reconocer que la suficiencia explicativa depende del tipo de pregunta formulada. La revisión contemporánea de la explicación científica requiere, por tanto, abandonar la idea de un criterio universal y considerar que diferentes problemas pueden exigir distintos recursos conceptuales, causales, matemáticos o interpretativos para alcanzar una comprensión adecuada (Knowles, 2021).

La diversidad epistemológica introduce además la necesidad de examinar la posición que ocupa el conocimiento científico frente a otros saberes. Reconocer esta diversidad no implica negar las características específicas de la ciencia, sino analizar con mayor precisión sus criterios de validación y los límites de su alcance. Algunas formas de conocimiento pueden responder a preguntas que no se organizan mediante los mismos procedimientos utilizados en investigación científica. La revisión de los criterios explicativos exige distinguir estas diferencias y evitar tanto la jerarquización automática como la equivalencia indiscriminada entre saberes con fundamentos y propósitos distintos (García Duque, 2022).

La experiencia puede cumplir una función epistemológica más amplia que la simple provisión de datos para teorías previamente formuladas. En determinados enfoques, la relación entre sujeto, experiencia y conocimiento obliga a revisar cómo se construyen los criterios de comprensión. Esta perspectiva cuestiona modelos excesivamente racionalistas que separan de manera rígida la elaboración conceptual de las condiciones mediante las cuales los fenómenos son experimentados. Una explicación científica más amplia puede requerir reconocer que la experiencia orienta preguntas, selección de evidencias y formas de interpretación, aunque sus aportes deban someterse igualmente a procesos de análisis y justificación (Ramírez, 2021).

Los criterios tradicionales de explicación también deben reconsiderarse frente a la creciente especialización de las ciencias. Una explicación considerada suficiente dentro de un campo puede resultar parcial cuando el fenómeno incorpora dimensiones estudiadas por otras disciplinas. Esta situación exige evaluar si los criterios utilizados conservan su capacidad cuando el objeto atraviesa diferentes niveles y perspectivas. La unificación puede ser útil para establecer conexiones, pero no debe utilizarse para borrar diferencias metodológicas o conceptuales relevantes. Una explicación más sólida puede requerir combinar niveles sin reducirlos a una sola estructura teórica (Knowles, 2021).

La revisión epistemológica de la explicación científica también implica reconocer que los criterios de validez pueden estar vinculados con tradiciones intelectuales específicas. La ciencia contemporánea opera en contextos donde coexisten distintas formas de producir y justificar conocimiento. Esta diversidad obliga a examinar qué supuestos se consideran universales y cuáles dependen de marcos particulares. El desafío consiste en mantener criterios de racionalidad y evidencia sin convertir una tradición específica en medida exclusiva de todas las demás. Una epistemología plural requiere comparar formas de conocimiento atendiendo a sus fundamentos, objetivos y condiciones de aplicación (García Duque, 2022).

La revisión de los criterios tradicionales de explicación científica conduce a una concepción más flexible y exigente de lo que significa explicar. La capacidad para unificar fenómenos, establecer relaciones causales o construir modelos generales continúa siendo relevante, pero debe evaluarse junto con el contexto, el tipo de pregunta y la diversidad de niveles involucrados. Una explicación adecuada no se define por un único criterio, sino por su capacidad para justificar por qué determinados mecanismos, relaciones o estructuras resultan pertinentes para comprender el fenómeno. Esta perspectiva permite ampliar la epistemología científica sin renunciar a precisión conceptual ni a evaluación crítica (Ramírez, 2021).

7.3 Diversidad epistemológica en la ciencia contemporánea

La diversidad epistemológica en la ciencia contemporánea parte del reconocimiento de que no todos los campos construyen conocimiento mediante los mismos objetos, métodos o criterios de validación. Las ciencias naturales, sociales y humanas desarrollan formas distintas de explicación porque trabajan con fenómenos que exigen niveles de análisis y procedimientos diferentes. Esta pluralidad no implica que todas las perspectivas sean equivalentes, sino que deben evaluarse de acuerdo con sus fundamentos, objetivos y capacidad para producir conocimiento justificable. La diversidad epistemológica amplía así la comprensión de la

ciencia al cuestionar la existencia de un único modelo válido para todas las disciplinas (García Duque, 2022).

La ampliación de la diversidad epistemológica también exige revisar la relación entre razón y experiencia. Los procesos de conocimiento no dependen únicamente de estructuras conceptuales abstractas, porque la experiencia interviene en la forma en que se reconocen problemas, se seleccionan evidencias y se construyen interpretaciones. Incorporar esta dimensión permite reconocer que la racionalidad científica puede adoptar distintas formas según el fenómeno estudiado y el contexto en que se desarrolla la investigación. La diversidad epistemológica se fortalece cuando estos modos de acceso al conocimiento se analizan críticamente y se articulan con criterios explícitos de justificación (Ramírez, 2021).

La coexistencia de diferentes saberes plantea también el problema de su estatus dentro de la producción científica. Algunos conocimientos proceden de tradiciones académicas consolidadas, mientras otros se construyen en contextos culturales, profesionales o comunitarios distintos. Reconocer esta pluralidad requiere evitar dos extremos: considerar que solo una forma de conocimiento posee legitimidad o asumir que todas tienen idéntico alcance. La evaluación epistemológica debe atender a los procedimientos mediante los cuales cada saber establece sus afirmaciones, los problemas que busca resolver y las condiciones bajo las cuales puede considerarse válido (García Duque, 2022).

La diversidad epistemológica puede modificar la forma en que se construyen objetos científicos. Cuando un fenómeno se analiza desde perspectivas diferentes, pueden aparecer dimensiones que permanecían ocultas bajo un único marco conceptual. Esta situación permite ampliar preguntas y revisar categorías, pero también exige establecer criterios para relacionar interpretaciones distintas. La pluralidad adquiere valor cuando las perspectivas se confrontan y complementan de manera argumentada, no cuando se acumulan sin conexión. La ciencia contemporánea necesita, por tanto, mecanismos que permitan integrar diversidad sin perder claridad sobre las diferencias metodológicas y conceptuales existentes entre los enfoques utilizados (Ramírez, 2021).

La diversidad epistemológica también obliga a reconsiderar la jerarquía entre formas de conocimiento. Algunas tradiciones científicas han ocupado posiciones dominantes y han funcionado como referencia para evaluar otras perspectivas. Sin embargo, la coexistencia de múltiples saberes plantea la necesidad de examinar críticamente esos criterios de legitimación. Esto no supone renunciar a estándares de evidencia o racionalidad, sino reconocer que dichos

estándares pueden adoptar expresiones diferentes según el objeto y el campo. La cuestión central consiste en determinar cómo comparar conocimientos heterogéneos sin reducirlos a un único patrón ni abandonar la exigencia de justificación (García Duque, 2022).

Tabla 18

Dimensiones de la diversidad epistemológica en la ciencia contemporánea

Dimensión	Característica principal	Aporte al conocimiento	Riesgo que debe evitarse
Ontológica	Diferentes concepciones sobre los objetos estudiados	Amplía formas de delimitar fenómenos	Confundir niveles de realidad
Metodológica	Diversidad de procedimientos de investigación	Permite abordar distintos tipos de problemas	Combinar métodos sin justificación
Experiencial	Consideración de formas diversas de experiencia	Amplía fuentes de comprensión	Sustituir evidencia por apreciaciones no verificadas
Disciplinar	Criterios propios según cada campo	Conserva especificidad científica	Aislamiento entre perspectivas
Cultural	Reconocimiento de saberes situados	Incorpora contextos y conocimientos diversos	Equivalencia automática entre saberes
Evaluativa	Diferentes criterios de validación	Favorece análisis más contextualizado	Relativismo epistemológico

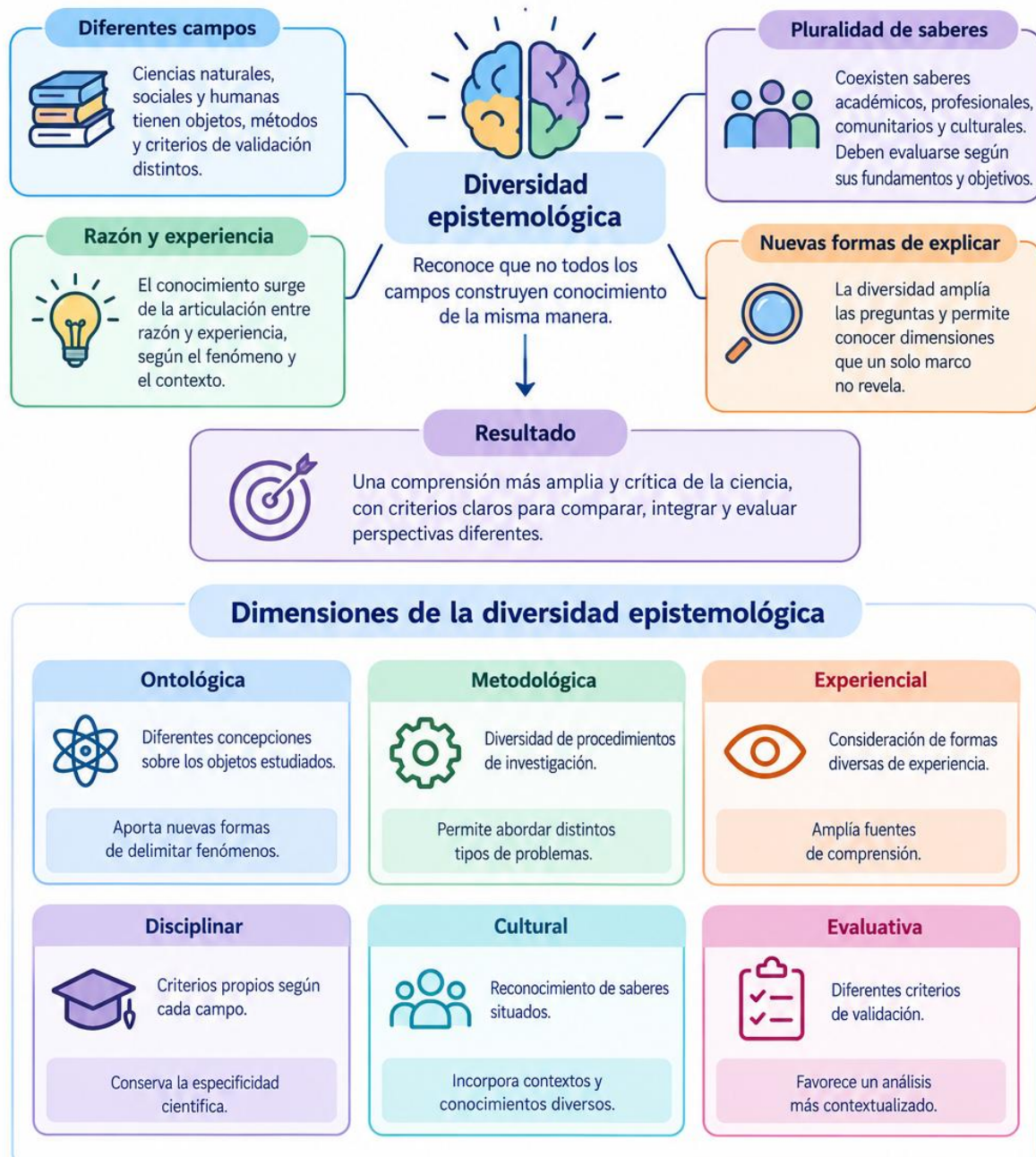
Nota. La tabla organiza las principales dimensiones de la diversidad epistemológica y muestra que la pluralidad de conocimientos requiere criterios explícitos para comparar, integrar y evaluar perspectivas diferentes.

La diversidad epistemológica también influye en los criterios utilizados para explicar un fenómeno. Una explicación matemática, causal, histórica o interpretativa puede responder a preguntas diferentes y ofrecer tipos de comprensión que no siempre son reducibles entre sí. Esta diversidad obliga a evaluar las explicaciones según el problema que intentan resolver y no únicamente por su capacidad para ajustarse a un modelo general. La coexistencia de distintos modos explicativos permite ampliar el repertorio científico, siempre que cada uno mantenga criterios claros de coherencia, evidencia y alcance dentro del dominio donde pretende ser aplicado (García Duque, 2022).

La experiencia ocupa un lugar importante dentro de esta pluralidad porque condiciona la manera en que los fenómenos se reconocen y adquieren significado para la investigación. Una epistemología demasiado restringida puede excluir dimensiones relevantes al privilegiar únicamente determinadas formas de racionalidad. Ampliar el horizonte epistemológico permite considerar cómo diferentes formas de experiencia participan en la construcción de conocimiento sin convertirlas automáticamente en evidencia suficiente. Su incorporación

requiere mediaciones conceptuales y metodológicas que permitan analizar críticamente aquello que aportan y establecer en qué condiciones pueden contribuir a una explicación científica (Ramírez, 2021).

Figura 7
Diversidad epistemológica en la ciencia contemporánea



Nota. El esquema sintetiza las principales dimensiones de la diversidad epistemológica y muestra cómo la pluralidad de saberes, métodos y criterios de validación puede ampliar la comprensión científica cuando se integra con rigor y justificación explícita.

La diversidad epistemológica adquiere mayor relevancia cuando las investigaciones atraviesan fronteras disciplinares y deben articular formas distintas de producir evidencia. En estos contextos, la integración exige reconocer que los participantes pueden partir de supuestos

diferentes sobre qué constituye un problema, qué datos son relevantes y cómo deben interpretarse los resultados. La pluralidad puede enriquecer el análisis si estas diferencias se hacen explícitas y se someten a discusión. De lo contrario, la combinación de perspectivas puede generar incoherencias. La diversidad funciona como recurso científico cuando existe capacidad para relacionar críticamente los fundamentos de cada enfoque (García Duque, 2022).

La ciencia contemporánea se desarrolla en un escenario donde la pluralidad epistemológica forma parte de la expansión de problemas, disciplinas y formas de investigación. Esta diversidad no elimina la necesidad de criterios comunes de rigor, pero obliga a reconocer que esos criterios pueden aplicarse de manera distinta según el objeto y la tradición científica. El desafío consiste en construir espacios de diálogo donde diferentes formas de conocimiento puedan ser comparadas, discutidas e integradas sin perder sus particularidades. La diversidad epistemológica resulta científicamente productiva cuando amplía la capacidad de comprensión y mantiene exigencias claras de argumentación y justificación (Ramírez, 2021).

7.4 Problemas emergentes y transformación de agendas científicas

Los problemas emergentes transforman las agendas científicas cuando introducen preguntas que no estaban contempladas dentro de las prioridades establecidas por una comunidad de investigación. Estas cuestiones pueden surgir por cambios tecnológicos, sociales, ambientales o conceptuales que modifican la relevancia de determinados objetos de estudio. La agenda científica no permanece fija, porque los equipos ajustan sus líneas de trabajo conforme aparecen nuevos desafíos y oportunidades de investigación. En este proceso, la identificación de problemas emergentes puede alterar la distribución de recursos, redefinir objetivos y promover colaboraciones orientadas hacia preguntas que adquieren importancia dentro de contextos cambiantes (O'Kane et al., 2024).

La transformación de las agendas también puede producirse cuando los problemas requieren conocimientos provenientes de campos distintos. Los grandes desafíos científicos suelen favorecer modalidades de convergencia en las que varias disciplinas reorganizan sus prioridades alrededor de objetivos comunes. Este proceso modifica la estructura tradicional de las agendas porque las preguntas dejan de pertenecer exclusivamente a un campo y comienzan a construirse mediante relaciones entre áreas diferentes. La convergencia puede generar nuevas combinaciones temáticas, metodológicas y organizativas, ampliando las posibilidades de investigación y favoreciendo la aparición de líneas que no encajan plenamente en clasificaciones disciplinares convencionales (Petersen et al., 2021).

Las agendas científicas se configuran también mediante decisiones internas de los equipos de investigación. La selección de problemas depende de procesos de liderazgo, aprendizaje y distribución de responsabilidades que pueden adoptar formas más centralizadas o descentralizadas. Estas diferencias influyen en la manera en que se proponen nuevas preguntas y en la capacidad del equipo para modificar su orientación ante resultados inesperados. Una agenda no consiste únicamente en una lista de temas, sino en una estructura de prioridades que organiza actividades, recursos y expectativas. Su transformación requiere, por tanto, mecanismos que permitan incorporar nuevas posibilidades sin perder continuidad investigativa (O'Kane et al., 2024).

Los problemas emergentes pueden adquirir relevancia cuando conectan diferentes dominios científicos alrededor de desafíos cuya escala supera las capacidades de una disciplina. En estos casos, la convergencia no se limita a reunir especialistas, sino que puede modificar la forma en que se construyen preguntas y se organizan proyectos. La interacción entre campos favorece modos de investigación que combinan conocimientos y prácticas antes separados. Esta dinámica permite que ciertos problemas funcionen como núcleos de reorganización científica y generen agendas construidas desde la intersección de distintas comunidades, en lugar de depender exclusivamente de estructuras disciplinares previamente consolidadas (Petersen et al., 2021).

La transformación de una agenda puede producir efectos más amplios que el cambio de un tema específico. Cuando un equipo incorpora nuevas preguntas, también puede modificar sus redes de colaboración, métodos, competencias y relaciones con otros grupos. Estas decisiones generan procesos de aprendizaje que influyen posteriormente en la formulación de investigaciones futuras. Algunas líneas pueden extenderse hacia proyectos relacionados, mientras otras pierden centralidad conforme cambian las prioridades. Por ello, las agendas deben entenderse como configuraciones dinámicas en las que decisiones presentes producen efectos acumulativos sobre la trayectoria científica y sobre las posibilidades de desarrollar nuevos problemas (O'Kane et al., 2024).

Tabla 19
Procesos de transformación de las agendas científicas ante problemas emergentes

Proceso	Manifestación	Efecto sobre la agenda	Resultado posible
Identificación de nuevos problemas	Aparición de preguntas no previstas	Modifica prioridades de investigación	Nuevas líneas de trabajo

Proceso	Manifestación	Efecto sobre la agenda	Resultado posible
Convergencia disciplinar	Integración de campos diferentes	Amplía los marcos disponibles	Agendas interdisciplinarias
Reorganización de equipos	Cambio en roles y capacidades	Redistribuye responsabilidades	Nuevas formas de colaboración
Aprendizaje científico	Incorporación de resultados y experiencias	Ajusta objetivos y métodos	Redefinición progresiva de proyectos
Expansión temática	Conexión con problemas relacionados	Extiende el alcance de la investigación	Diversificación de líneas
Reorientación estratégica	Priorización de problemas emergentes	Redistribuye recursos y esfuerzos	Cambio de trayectoria científica

Nota. La tabla sintetiza los principales procesos mediante los cuales los problemas emergentes pueden modificar prioridades, estructuras de colaboración y trayectorias dentro de las agendas científicas.

La definición de nuevas agendas depende de cómo los equipos interpretan las oportunidades que surgen durante la investigación. Un resultado inesperado puede abrir una línea adicional, mientras una colaboración puede introducir problemas que inicialmente no formaban parte del proyecto. Estas transformaciones muestran que la agenda científica puede construirse de manera progresiva y no únicamente mediante planificación previa. Los procesos de aprendizaje permiten incorporar nuevas posibilidades y ajustar la dirección del trabajo. La capacidad para hacerlo depende de estructuras organizativas que permitan evaluar cambios sin abandonar necesariamente las competencias y conocimientos acumulados por el equipo (O'Kane et al., 2024).

Los grandes desafíos también pueden impulsar agendas convergentes al generar problemas que requieren relacionar conocimientos científicos y tecnológicos procedentes de campos distintos. Esta reorganización puede producir nuevas comunidades, métodos compartidos y objetivos que atraviesan fronteras disciplinares. La convergencia adquiere especial importancia cuando el problema actúa como principio organizador y obliga a construir relaciones estables entre especialidades. En estas condiciones, la transformación de la agenda no consiste únicamente en añadir un nuevo tema, sino en modificar las conexiones mediante las cuales los investigadores definen prioridades y articulan sus capacidades dentro de un programa común (Petersen et al., 2021).

Las agendas emergentes también pueden generar tensiones entre continuidad y cambio. Los equipos necesitan mantener capacidades desarrolladas en líneas anteriores mientras incorporan problemas que exigen nuevos conocimientos o relaciones institucionales. Una transformación

demasiado rápida puede dispersar recursos, mientras una agenda excesivamente rígida puede dificultar la respuesta ante cuestiones relevantes. La gestión científica requiere entonces equilibrar acumulación y adaptación. Las decisiones sobre qué problemas incorporar dependen de su relación con las capacidades existentes, de las oportunidades de aprendizaje y de la posibilidad de generar trayectorias que mantengan coherencia dentro del trabajo colectivo (O'Kane et al., 2024).

Los problemas emergentes transforman las agendas científicas cuando alteran la relación entre preguntas, comunidades y recursos disponibles. Su incorporación puede generar convergencias entre campos, nuevas estructuras colaborativas y modificaciones en los criterios utilizados para definir prioridades. Sin embargo, no toda novedad temática produce una agenda nueva; es necesario que el problema genere continuidad suficiente para reorganizar prácticas y orientar investigaciones posteriores. La transformación adquiere mayor profundidad cuando modifica las conexiones entre disciplinas y crea formas estables de trabajo capaces de sostener preguntas que antes permanecían dispersas dentro de diferentes áreas del conocimiento (Petersen et al., 2021).

7.5 Nuevas configuraciones del conocimiento científico

Las nuevas configuraciones del conocimiento científico surgen cuando las estructuras disciplinares tradicionales comienzan a reorganizarse alrededor de problemas, métodos y redes que conectan campos antes separados. Estas configuraciones pueden incorporar elementos de convergencia, interdisciplinariedad y colaboración distribuida, generando formas de producción que ya no dependen exclusivamente de una disciplina estable. El conocimiento se organiza entonces mediante relaciones más flexibles entre comunidades científicas, tecnologías y objetos emergentes. Este proceso no elimina las disciplinas, pero modifica su función al situarlas dentro de estructuras donde la integración y la recombinación adquieren mayor importancia para orientar nuevas agendas de investigación (Petersen et al., 2021).

La transformación de las configuraciones científicas también depende de la manera en que los equipos construyen y reformulan sus agendas. Las prioridades de investigación pueden cambiar a partir de nuevas preguntas, resultados inesperados o interacciones con otros grupos. Estas modificaciones afectan la distribución de tareas, recursos y capacidades, y pueden generar trayectorias que conectan áreas inicialmente separadas. Una configuración nueva no aparece únicamente porque se incorpora un tema diferente, sino cuando las relaciones entre problemas,

participantes y métodos se reorganizan de forma suficientemente estable como para producir una orientación científica reconocible (O'Kane et al., 2024).

La diversidad epistemológica contribuye a estas nuevas configuraciones al introducir formas distintas de comprender, justificar y organizar el conocimiento. Cuando una investigación incorpora perspectivas que parten de supuestos diferentes, puede ampliar la delimitación del objeto y generar preguntas que no surgirían desde un único marco. Sin embargo, esta pluralidad exige criterios para comparar y relacionar enfoques sin convertir sus diferencias en equivalencias automáticas. La configuración del conocimiento se vuelve más compleja cuando integra múltiples formas de explicación, pero conserva la necesidad de argumentar por qué determinadas perspectivas resultan pertinentes para el problema estudiado (García Duque, 2022).

Las nuevas configuraciones también pueden construirse mediante convergencias entre ciencias naturales y sociales. Determinados fenómenos requieren conexiones entre procesos biológicos, sociales, culturales o institucionales, lo que obliga a articular niveles que tradicionalmente han sido investigados por separado. Esta integración puede generar objetos de estudio más amplios y modificar los límites entre campos. Sin embargo, la convergencia necesita evitar reducciones que atribuyan a una sola disciplina la capacidad de explicar todas las dimensiones del fenómeno. La configuración resultante debe conservar la especificidad de cada nivel y establecer relaciones justificadas entre ellos (González, 2023).

La tecnología también participa en la reorganización del conocimiento al facilitar intercambios entre disciplinas y permitir el uso de herramientas comunes para analizar problemas diferentes. Los métodos computacionales pueden actuar como puentes entre áreas y favorecer la construcción de lenguajes compartidos. Sin embargo, la presencia de una tecnología transversal no garantiza por sí misma una integración epistemológica. Para que exista una configuración científica nueva, es necesario que las herramientas modifiquen la forma de construir preguntas, interpretar resultados y establecer conexiones entre campos. La tecnología adquiere relevancia cuando contribuye a reorganizar prácticas científicas y no solo cuando acelera procedimientos existentes (Petersen et al., 2021).

Las nuevas configuraciones del conocimiento también implican cambios en la forma de valorar las explicaciones. La coexistencia de perspectivas distintas exige reconocer que no todos los problemas pueden resolverse mediante un único criterio de explicación o validación. Algunas investigaciones requieren modelos causales, otras interpretaciones históricas o relaciones

matemáticas, y otras combinaciones entre varios enfoques. Esta diversidad obliga a abandonar estructuras excesivamente homogéneas y a construir marcos que permitan justificar la pertinencia de diferentes recursos explicativos. La pluralidad epistemológica se convierte así en una condición para organizar conocimientos sin reducirlos a una sola forma de racionalidad (García Duque, 2022).

La reorganización de las agendas científicas también influye en la formación de nuevas configuraciones porque determina qué problemas reciben continuidad y qué capacidades se desarrollan alrededor de ellos. Los equipos pueden aprender de proyectos anteriores, incorporar nuevos participantes y modificar progresivamente sus prioridades. Estas decisiones producen efectos acumulativos que alteran la trayectoria del grupo y pueden generar nuevas especializaciones o conexiones con otros campos. Una configuración científica se consolida cuando estas relaciones adquieren estabilidad y permiten sostener una agenda que ya no depende exclusivamente de las estructuras disciplinares iniciales (O'Kane et al., 2024).

La convergencia entre campos puede generar también identidades científicas más flexibles. Los investigadores que participan en problemas híbridos pueden desarrollar competencias que atraviesan distintas tradiciones y utilizar métodos provenientes de áreas diversas. Esta situación transforma la forma en que se define la pertenencia a una comunidad científica. En lugar de organizarse únicamente por disciplina, algunos grupos comienzan a reconocerse por los problemas que estudian o por las metodologías que comparten. Estas configuraciones amplían las posibilidades de colaboración y permiten que los límites entre campos sean más permeables sin desaparecer por completo (Petersen et al., 2021).

Las nuevas configuraciones del conocimiento también deben considerar la coexistencia de saberes con distinto origen y estatus. La ciencia contemporánea se desarrolla en contextos donde circulan conocimientos académicos, profesionales, técnicos y sociales que pueden aportar perspectivas diferentes sobre un mismo problema. Integrarlos requiere reconocer sus particularidades y establecer criterios para determinar qué función cumple cada uno dentro de la investigación. La diversidad no debe convertirse en una acumulación indiferenciada de saberes, sino en una estructura capaz de relacionar aportes según su pertinencia, fundamento y alcance explicativo (García Duque, 2022).

La transformación del conocimiento científico también puede observarse en la manera en que los problemas organizan nuevas relaciones entre disciplinas y equipos. Una agenda centrada en desafíos complejos puede modificar las conexiones existentes, generar nuevas

colaboraciones y promover formas de liderazgo y aprendizaje distintas. Estas configuraciones emergen cuando la estructura de investigación se adapta a preguntas que requieren capacidades múltiples y cuando los participantes encuentran mecanismos para integrar sus aportes. El resultado es una organización más dinámica, donde el conocimiento se produce mediante trayectorias que combinan continuidad, aprendizaje y reorientación progresiva (O'Kane et al., 2024).

Las nuevas configuraciones del conocimiento científico muestran que la ciencia contemporánea se organiza cada vez más mediante relaciones entre disciplinas, tecnologías, problemas y formas diversas de producir evidencia. Estas configuraciones no sustituyen automáticamente los marcos existentes, pero amplían las posibilidades de interacción y generan estructuras más flexibles para abordar preguntas complejas. Su consolidación depende de la capacidad para integrar diferencias sin perder precisión conceptual y de construir agendas suficientemente estables para sostener nuevas líneas de investigación. La transformación del conocimiento se produce, así, mediante procesos de convergencia, reorganización y pluralidad epistemológica que redefinen las fronteras científicas (Petersen et al., 2021).

Conclusión

La transformación de las fronteras del conocimiento muestra que la ciencia contemporánea no puede comprenderse como un sistema compuesto por disciplinas completamente aisladas. Los problemas científicos actuales atraviesan límites conceptuales, metodológicos e institucionales y obligan a establecer relaciones entre campos que antes funcionaban con mayor autonomía. Esta situación no elimina la especialización, pero modifica su papel dentro de estructuras de investigación más flexibles. Las fronteras científicas adquieren así un carácter dinámico, porque pueden desplazarse cuando aparecen nuevos objetos, se incorporan perspectivas diferentes o se desarrollan métodos capaces de conectar fenómenos previamente estudiados de manera fragmentada.

Los paradigmas continúan desempeñando una función fundamental al proporcionar marcos desde los cuales las comunidades científicas organizan problemas, métodos y criterios de evaluación. Sin embargo, su estabilidad no implica permanencia absoluta. Las dificultades persistentes, las nuevas evidencias y las transformaciones metodológicas pueden generar tensiones que conduzcan a revisar los modelos explicativos existentes. El cambio científico combina, por tanto, continuidad y ruptura. Algunos conceptos y procedimientos sobreviven a las transiciones, mientras otros son reformulados o sustituidos. Esta dinámica permite comprender que las transformaciones paradigmáticas no constituyen acontecimientos completamente independientes del conocimiento previo, sino procesos vinculados con trayectorias históricas específicas.

La reorganización de las disciplinas constituye una consecuencia directa de estas transformaciones. La especialización ha permitido desarrollar conocimientos altamente precisos, pero también ha producido divisiones que pueden dificultar la comprensión de fenómenos complejos. La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad ofrecen respuestas diferentes a esta limitación al establecer mecanismos de articulación entre campos, métodos y participantes. Su importancia no reside en mezclar perspectivas indiscriminadamente, sino en construir relaciones justificadas entre conocimientos especializados. Los campos híbridos que surgen de estas interacciones evidencian que la estructura disciplinar puede modificarse progresivamente cuando nuevas comunidades consolidan problemas, lenguajes y prácticas compartidas.

La complejidad obliga asimismo a revisar las formas tradicionales de construir explicaciones científicas. Los fenómenos caracterizados por múltiples relaciones, niveles de organización y

propiedades emergentes difícilmente pueden ser comprendidos mediante esquemas exclusivamente lineales. Su estudio exige seleccionar escalas apropiadas, identificar interacciones significativas y reconocer que determinados patrones aparecen únicamente cuando se consideran las relaciones entre componentes. Esta perspectiva no invalida los análisis especializados, pero advierte sobre sus límites cuando se intenta explicar un sistema completo. La investigación contemporánea necesita combinar profundidad analítica con capacidad para representar conexiones que permitan comprender la organización y transformación de fenómenos complejos.

Las tecnologías digitales han ampliado considerablemente estas posibilidades. El análisis de grandes volúmenes de datos, la simulación computacional, la inteligencia artificial y la automatización permiten explorar problemas que anteriormente estaban restringidos por limitaciones de procesamiento, observación o experimentación. Sin embargo, estas herramientas no producen conocimiento de manera autónoma. Sus resultados dependen de decisiones relacionadas con selección de datos, diseño de modelos, interpretación de patrones y validación de resultados. La ampliación tecnológica de las fronteras científicas requiere, por ello, mantener controles metodológicos que permitan distinguir entre capacidad de procesamiento y capacidad efectiva para construir explicaciones científicamente justificadas.

La producción contemporánea del conocimiento también evidencia un desplazamiento desde modelos predominantemente individuales hacia estructuras cada vez más colaborativas. Redes científicas, infraestructuras compartidas y equipos distribuidos permiten reunir conocimientos y recursos que difícilmente podrían concentrarse en una sola institución. Esta forma de organización amplía las capacidades disponibles, pero exige mecanismos sólidos de coordinación, reconocimiento y comunicación. La investigación colectiva adquiere sentido cuando las contribuciones pueden integrarse dentro de objetivos compartidos y cuando existe claridad sobre las responsabilidades asumidas por cada participante. La colaboración se convierte así en una dimensión estructural de numerosos procesos científicos actuales.

La ciencia abierta profundiza esta transformación al ampliar las posibilidades de acceso, reutilización y circulación del conocimiento. Publicaciones, datos, métodos y códigos pueden incorporarse a nuevas investigaciones cuando se encuentran adecuadamente documentados y disponibles. Esta apertura favorece procesos acumulativos y permite que los resultados trasciendan los límites del proyecto que los originó. No obstante, el acceso abierto requiere infraestructuras sostenibles, criterios de interoperabilidad y políticas institucionales capaces de garantizar preservación y trazabilidad. La apertura científica resulta más efectiva cuando se

integra a prácticas de investigación responsables y no cuando se limita únicamente a la disponibilidad formal de determinados productos.

Los nuevos horizontes de la ciencia también están asociados con la convergencia entre campos y con el reconocimiento de una mayor diversidad epistemológica. Las ciencias naturales, sociales y tecnológicas pueden construir relaciones productivas cuando enfrentan problemas cuyas dimensiones exceden las competencias de una sola tradición. Al mismo tiempo, la coexistencia de diferentes formas de conocimiento obliga a revisar criterios demasiado homogéneos sobre explicación, evidencia y validación. Esta pluralidad no elimina la necesidad de rigor, sino que exige justificar con mayor precisión qué perspectiva resulta pertinente para cada problema y cómo puede relacionarse con otros enfoques sin perder coherencia conceptual.

Las fronteras del conocimiento y los paradigmas científicos se encuentran, en consecuencia, en un proceso permanente de reconfiguración. Nuevos problemas, tecnologías, formas de colaboración y perspectivas epistemológicas modifican las condiciones bajo las cuales se produce y valida el conocimiento. La ciencia contemporánea mantiene estructuras heredadas, pero las reorganiza mediante procesos de convergencia, apertura y transformación disciplinar. Su desarrollo futuro dependerá de la capacidad para integrar diversidad sin perder rigor, utilizar tecnologías sin sustituir la evaluación crítica y construir agendas capaces de responder a problemas emergentes mediante explicaciones suficientemente amplias, justificadas y abiertas a revisión.

Bibliografía

- Abadal, E. (2021). Ciencia abierta: Un modelo con piezas por encajar. *Arbor*, 197(799), a588. <https://doi.org/10.3989/arbor.2021.799003>
- Baaden, P., Rennings, M., John, M., & Bröring, S. (2024). On the emergence of interdisciplinary scientific fields: (How) does it relate to science convergence? *Research Policy*, 53(6), 105026. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2024.105026>
- Bianchini, S., Müller, M., & Pelletier, P. (2022). Artificial intelligence in science: An emerging general method of invention. *Research Policy*, 51(10), 104604. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104604>
- Canali, S. (2022). A pragmatic approach to scientific change: Transfer, alignment, influence. *European Journal for Philosophy of Science*, 12, 48. <https://doi.org/10.1007/s13194-022-00477-7>
- Cantone, G. (2024). How to measure interdisciplinary research? A systemic design for the model of measurement. *Scientometrics*, 129(8), 4937-4982. <https://doi.org/10.1007/s11192-024-05085-1>
- Castro, J. (2024). Of lakes and knowledges: Between disciplinary enclosures and the pursuit of “full transdisciplinarity”. *Journal of Paleolimnology*, 72(2), 79-91. <https://doi.org/10.1007/s10933-023-00309-5>
- Cremin, C., Dash, S., & Huang, X. (2022). Big data: Historic advances and emerging trends in biomedical research. *Current Research in Biotechnology*, 4, 138-151. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2022.02.004>
- Cuéllar Jiménez, R. (2023). Kuhn, inconmensurabilidad y a priori kantiano, un reto para el enfoque referencial del realismo científico. *Discusiones Filosóficas*, 24(42), 97-120. <https://doi.org/10.17151/difil.2023.24.42.6>
- De Filippo, D., & Lascurain-Sánchez, M. (2023). La implicación de España en actividades científicas sobre ciencia abierta. Análisis de proyectos y publicaciones científicas. *Revista Española de Documentación Científica*, 46(2), e358. <https://doi.org/10.3989/redc.2023.2.1970>
- Estrada, E. (2024). What is a complex system, after all? *Foundations of Science*, 29(4), 1143-1170. <https://doi.org/10.1007/s10699-023-09917-w>

- Filomeno, A. (2024). La distinción entre epistemología y ontología en explicaciones reduccionistas. El caso del aprendizaje en un caracol de mar. *Revista de Humanidades de Valparaíso*(25), 113-128. <https://doi.org/10.22370/rhv2024iss25pp113-128>
- García Duque, C. (2022). La noción de “diversidad” y el estatus epistemológico de los saberes múltiples. *Discusiones Filosóficas*, 23(41), 81-99. <https://doi.org/10.17151/difil.2022.23.41.5>
- Gefaell, J., & Saborido, C. (2022). Incommensurability and the Extended Evolutionary Synthesis: Taking Kuhn seriously. *European Journal for Philosophy of Science*, 12, 24. <https://doi.org/10.1007/s13194-022-00456-y>
- González, L. (2023). La convergencia entre sociología y las ciencias naturales en el estudio de la familia. *Teoría y Praxis*(42), 45-73. <https://doi.org/10.5377/typ.v1i42.15923>
- Granda, N., Donina, L., Dragone, V., Long, D., & Cronin, L. (2021). Automation isn't automatic. *Chemical Science*, 12(47), 15473-15490. <https://doi.org/10.1039/D1SC04588A>
- Han, Z., Kang, E., & Sok, S. (2023). The complexity epistemology and ontology in second language acquisition: A critical review. *Studies in Second Language Acquisition*, 45(5), 1388-1412. <https://doi.org/10.1017/S0272263122000420>
- Heredia Pérez, G., Chávez Aguilar, V., Torres Mendoza, L., & Díaz Calderón, R. (2026). La inteligencia artificial en la investigación científica: Una revisión sistemática trienal. *Revista InveCom*, 6(3), 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17238020>
- Herrera Castrillo, C. (2023). Interdisciplinariedad a través de la investigación en matemática y física. *Revista Chilena de Educación Matemática*, 15(1), 31-45. <https://doi.org/10.46219/rechiem.v15i1.126>
- Kim, K., Kogler, D., & Maliphol, S. (2024). Identifying interdisciplinary emergence in the science of science: Combination of network analysis and BERTopic. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 603. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03044-y>
- Knowles, R. (2021). Unification and mathematical explanation. *Philosophical Studies*, 178, 3923-3943. <https://doi.org/10.1007/s11098-021-01631-2>

- Lawrence, M., Williams, S., Nanz, P., & Renn, O. (2022). Characteristics, potentials, and challenges of transdisciplinary research. *One Earth*, 5(1), 44-61. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.12.010>
- Lorca Améstica, N. (2024). Modelos idealizados y representación Z: El caso del liquid drop model en física nuclear. *Límite*, 19, 5. <https://doi.org/10.4067/S0718-50652024000100205>
- Manco, A. (2023). Prácticas de ciencia abierta vistas desde la perspectiva de las comunidades de investigadores de las ciencias básicas de Perú. *Revista Científica*, 48(3), 40-55. <https://doi.org/10.14483/23448350.20905>
- Marcelín-Alvarado, M. (2023). Reflexiones epistemológicas derivadas de la praxis investigativa transdisciplinar. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*(34), 265-289. <https://doi.org/10.17163/soph.n34.2023.09>
- Margueliche, J. (2023). El corpus teórico en campos emergentes. Apuntes para una geografía de las teorías. *Geograficando*, 19(2), e135. <https://doi.org/10.24215/2346898Xe135>
- Martínez Romero, E., & Esparza Olguín, L. (2021). Teorías de sistemas complejos: Marco epistémico para abordar la complejidad socioambiental. *Intersticios Sociales*(21), 373-398. <https://doi.org/10.55555/IS.21.316>
- Mayoral de Lucas, J. (2024). Pasos hacia la revolución: El surgimiento de los paradigmas y la evolución intelectual de Kuhn (1949-1961). *Anales del Seminario de Historia de la Filosofía*, 41(3), 589-603. <https://doi.org/10.5209/ashf.89123>
- McClure, A. (2024). Enablers of transdisciplinary collaboration for researchers working on climate risks in African cities. *Sustainability Science*, 19(1), 259-273. <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01426-w>
- Mejía Ríos, J., Sepúlveda Casadiesgo, Y., & Díaz Téllez, Á. (2024). Trascendiendo fronteras disciplinarias: Reflexiones sobre la transdisciplinariedad en la investigación y educación. *Sophia*, 20(1). <https://doi.org/10.18634/sophiaj.20v.1i.1351>
- O'Kane, C., Mangematin, V., Zhang, J., & Haar, J. (2024). How research agendas are framed: Insights for leadership, learning and spillover in science teams. *Research Policy*, 53(7), 105029. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2024.105029>
- Peña Cárdenas, M., Céspedes Guevara, N., & Tuay Sigua, R. (2024). Producción de conocimiento con enfoque transdisciplinar en el escenario de la mecánica clásica: Una

- revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 5143-5168. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9072
- Petersen, A., Ahmed, M., & Pavlidis, I. (2021). Grand challenges and emergent modes of convergence science. *Humanities and Social Sciences Communications*, 8, 194. <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00869-9>
- Ramírez, F. (2021). Razón y experiencia: Contribuciones para una ampliación de la diversidad epistemológica. *Revista de Humanidades de Valparaíso*(17), 231-250. <https://doi.org/10.22370/rhv2021iss17pp231-250>
- Reyes Rodríguez, A., Roa Sellado, M., Valenzuela Baeza, C., & Crespo González, M. (2024). Producción de conocimiento, zonas epistémicas y colonialismo académico. *Revista Andina de Educación*, 7(2), 000724. <https://doi.org/10.32719/26312816.2024.7.2.4>
- Ruiz Muñoz, G. (2024). Implicaciones de la inteligencia artificial en la metodología de investigación. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 12(26), 28-38. <https://doi.org/10.36825/RITI.12.26.003>
- Schindler, S. (2024). Normal science: Not uncritical or dogmatic. *Synthese*, 203(4), 108. <https://doi.org/10.1007/s11229-024-04527-w>
- Söderström, K. (2023). The structure and dynamics of instrument collaboration networks. *Scientometrics*, 128, 3581-3600. <https://doi.org/10.1007/s11192-023-04658-w>
- Taschetto, D. (2025). Rewriting the quantum “revolution”. *Studies in History and Philosophy of Science*, 109, 72-88. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2024.12.006>
- Thibault, R., Amaral, O., Argolo, F., Bandrowski, A., Davidson, A., & Drude, N. (2023). Open Science 2.0: Towards a truly collaborative research ecosystem. *PLOS Biology*, 21(10), e3002362. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002362>
- Tinoco-Mesquita, C., Lopes-da Silva, M., Yahiro, D., Ribeiro-Coelho, B., & Azevedo-Silva, F. (2025). Aplicaciones de la inteligencia artificial en la ciencia: Una guía práctica para editores y autores. *Archivos de Cardiología de México*, 95(2), 135-137. <https://doi.org/10.24875/ACM.24000240>
- Whetsell, T. (2023). Democratic governance and global science: A longitudinal analysis of the international research collaboration network. *PLOS ONE*, 18(6), e0287058. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287058>

Yuan, B., Zhang, J., Lyu, A., Wu, J., Wang, Z., Yang, M., . . . Cui, P. (2024). Emergence and causality in complex systems: A survey of causal emergence and related quantitative studies. *Entropy*, 26(2), 108. <https://doi.org/10.3390/e26020108>

