Didáctica de ciencias en Córdoba:

un enfoque situado mediado por las tecnologías



Roger Eli Torres Vásquez

Tobías Parodi Camaño

Karen Patricia Agudelo Arteaga

Paula Andrea Estrada Palencia

José Alberto Salgado Vargas

Universidad de Córdoba

DIDÁCTICA DE CIENCIAS EN CÓRDOBA
UN ENFOQUE SITUADO MEDIADO POR LAS TECNOLOGÍAS

Roger Eli Torres Vásquez
Tobías Parodi Camaño
Karen Patricia Agudelo Arteaga
Paula Andrea Estrada Palencia
José Alberto Salgado Vargas

DIDÁCTICA DE CIENCIAS EN CÓRDOBA
UN ENFOQUE SITUADO MEDIADO POR LAS TECNOLOGÍAS

Navegando Publicações
Uberlândia – Brasil
2026



www.editoranavegando.com
editoranavegando@gmail.com
Uberlândia – MG
Brasil

Direção Editorial: Navegando Publicações
Projeto gráfico e diagramação: Lurdes Lucena

Copyright © by autor, 2026. Direitos de Edição Reservados à Editora Navegando Publicações. Nenhuma parte desta obra poderá ser utilizada indevidamente, sem estar de acordo com a Lei nº 9.610/98. Se incorreções forem encontradas, serão de exclusiva responsabilidade de seu autor.

D555 – Roger Eli Torres Vásquez et al. Didáctica de Ciencias en Córdoba un Enfoque Situado Mediado por las Tecnologías. Uberlândia: Navegando Publicações, 2026.

ISBN: 978-65-6070-197-7
DOI - 10.29388/978-65-6070-197-7

1. Mediaciones Tecnológicas 2. Socio cognitivo 3. Design Thinking 4. Gobernanza Tecnológica 5. Didáctica de las Ciencias I. Roger Eli Torres Vásquez - Tobias Parodi Camaño - Karen Patricia Agudelo Arteaga - Paula Andrea Estrada Palencia - José Alberto Salgado Vargas II. Navegando Publicações. Título.

Índice para catálogo sistemático
Educação - 370

NAVEGANDO
Navegando Publicações
www.editoranavegando.com
editoranavegando@gmail.com
Uberlândia - MG
Brasil

EDITORES

Lurdes Lucena - Esamc – Brasil
Carlos Lucena - UFU – Brasil
José Claudinei Lombardi - Unicamp – Brasil
José Carlos de Souza Araújo - Uniube/UFU – Brasil

CONSELHO EDITORIAL MULTIDISCIPLINAR
PESQUISADORES BRASILEIROS

Anderson Brettas - IFTM - Brasil
Anselmo Alencar Colares - UFOPA - Brasil
Carlos Lucena - UFU - Brasil
Carlos Henrique de Carvalho - UFU, Brasil
Cílson César Fagiani - Uniube - Brasil
Dermeval Saviani - Unicamp - Brasil
Elmiro Santos Resende - UFU - Brasil
Fabiane Santana Previtali - UFU, Brasil
Gilberto Luiz Alves - UFMS - Brasil
Inez Stampa - PUCRJ - Brasil
José Carlos de Souza Araújo - Uniube/UFU - Brasil
José Claudinei Lombardi - Unicamp - Brasil
Larissa Dahmer Pereira - UFF - Brasil
Lívia Diana Rocha Magalhães - UESB - Brasil
Marcelo Caetano Parreira da Silva - UFU - Brasil
Mara Regina Martins Jacomeli - Unicamp, Brasil
Maria J. A. Rosário - UFPA - Brasil
Newton Antonio Paciulli Bryan - Unicamp, Brasil
Paulino José Orso - Unioeste - Brasil
Ricardo Antunes - Unicamp, Brasil
Robson Luiz de França - UFU, Brasil
Tatiana Dahmer Pereira - UFF - Brasil
Valeria Lucilia Forti - UERJ - Brasil
Yolanda Guerra - UFRJ – Brasil

PESQUISADORES INTERNACIONAIS

Alberto L. Bialakowsky - Universidad de Buenos Aires - Argentina.
Alcina Maria de Castro Martins - (I.S.M.T.), Coimbra - Portugal
Alexander Steffanell - Lee University - EUA
Ángela A. Fernández - Univ. Aut. de St. Domingo - Rep. Dominicana
Antonino Vidal Ortega - Pont. Un. Cat. M. y Me - Rep. Dominicana
Armando Martinez Rosales - Universidad Popular de Cesar - Colômbia
Artemis Torres Valenzuela - Universidad San Car. de Guat. - Guatemala
Carolina Crisorio - Universidad de Buenos Aires - Argentina
Christian Cwik - Universität Graz - Austria
Christian Hausser - Universidad de Talca - Chile
Daniel Schugurensky - Arizona State University - EUA
Elizet Payne Iglesias - Universidad de Costa Rica - Costa Rica
Elsa Capron - Université de Nimés / Univ. de la Reunión - France
Elvira Aballi Morell - Vanderbilt University - EUA.
Fernando Camacho Padilla - Univ. Autónoma de Madrid - Espanha
José Javier Maza Avila - Universidad de Cartagena - Colômbia
Hernán Venegas Delgado - Univ. Autónoma de Coahuila - México
Iside Gjergji - Universidade de Coimbra - Portugal
Iván Sánchez - Universidad del Magdalena - Colômbia
Johanna von Grafenstein, Instituto Mora - México
Lionel Muñoz Paz - Universidad Central de Venezuela - Venezuela
Jorge Enrique Elías-Caro - Universidad del Magdalena - Colômbia
José Jesus Borjón Nieto - El Colégio de Vera Cruz - México
José Luis de los Reyes - Universidad Autónoma de Madrid - Espanha
Juan Marchena Fernandez - Universidad Pablo de Olavide - Espanha
Juan Paz y Miño Cepeda, Pont. Univ. Católica del Ecuador - Equador
Lerber Dimas Vasquez - Universidad de La Guajira - Colômbia
Marvin Barahona - Universidad Nacional Aut. de Honduras - Honduras
Michael Zeuske - Universität Zu Köln - Alemanha
Miguel Perez - Universidade Nova Lisboa - Portugal
Pilar Cagiao Vila - Universidad de Santiago de Compostela - Espanha
Raul Roman Romero - Univ. Nacional de Colombia - Colômbia
Roberto Gonzáles Aranas -Universidad del Norte - Colômbia
Ronny Viales Hurtado - Universidad de Costa Rica - Costa Rica
Rosana de Matos Silveira Santos - Universidad de Granada - Espanha
Rosario Marquez Macias, Universidad de Huelva - Espanha
Sérgio Guerra Vilaboy - Universidad de la Habana - Cuba
Silvia Mancini - Université de Lausanne - Suíça
Teresa Medina - Universidade do Minho - Portugal
Tristan MacCoaw - Universit of London - Inglaterra
Victor-Jacinto Flecha - Univ. Cat. N. Señora de la Asunción - Paraguai
Yoel Cordoví Núñes - Instituto de História de Cuba v Cuba - Cuba

Contenido

Índice de tablas 10
Índice de figuras 11
Prólogo 12
Introducción 13
Capítulo 1 - Fundamentación Epistemológica y Teórica de las Mediaciones Tecnológicas 14
Resumen 14
La Tecnología como Socio Cognitivo y la "Persona-Más" 14
El Andamiaje Dinámico y la UNESCO 2024 15
Aportes y perspectivas de autores seminales y contemporáneos en la mediación tecnológica del aprendizaje 15
Tendencias investigativas en mediación, IA y aprendizaje científico 17
Apuestas y retos epistemológicos frente al auge de la IA y las tecnologías emergentes 17
Mediación tecnológica, juicio pedagógico y formación del pensamiento científico 18
Modelización, representación y comprensión de fenómenos 18
Justicia epistémica y autonomía intelectual en la era algorítmica 19
Criterios para el diseño de mediaciones con sentido didáctico 20
Implicaciones para la formación del magíster y la investigación-acción 21
Conclusiones y reflexiones 22
Capítulo 2 - Marco Estratégico, Políticas Institucionales y Realidad Territorial 24
Resumen 24
Marco Normativo Nacional y Territorial 24
Retos y tendencias de las mediaciones tecnológicas en ciencias naturales 26
Lineamientos estratégicos para la innovación docente situada 27
Elementos de prospectiva educativa y transformación territorial 28
Justicia digital como principio de política pública y decisión pedagógica 29
Excelencia inclusiva y responsabilidad institucional 29
Formación docente, comunidades de práctica y acompañamiento 30
Gobernanza territorial, prospectiva y sostenibilidad de la innovación 31
Conclusiones y reflexiones 32
Capítulo 3 - Design Thinking para una innovación didáctica situada en ciencias 34
Resumen 34
3.1 Del fundamento del libro a las decisiones de aula 34
3.2 Qué aporta el Design Thinking y cuáles son sus límites 35
3.3 Una ruta de seis movimientos con retornos explícitos 36
3.4 Empatizar mediante observación y escucha disciplinar 37
3.5 De la empatía a una comprensión inclusiva del problema 38
3.6 Definir un reto científicamente abordable 39
3.7 Idear alternativas y decidir con criterios explícitos 40
3.8 Prototipar una experiencia y no solamente un recurso 41
3.9 Modelización y argumentación como núcleo del prototipo 42
3.10 Validar con evaluación formativa y criterios compartidos 43
3.11 Caso recreado de biodiversidad y clasificación argumentada 44
3.12 Caso recreado de etnobotánica y diálogo de saberes 45
3.13 Caso recreado de electricidad y contraste de modelos 46
3.14 Caso recreado de química y agentes híbridos 47

3.15 Caso interdisciplinar de agua y decisiones comunitarias 48
3.16 Sistematizar para producir conocimiento profesional 49
3.17 Gestión de una implementación viable 49
3.18 Conclusiones y puente hacia la aplicación conceptual 50
Capítulo 4 - Ecosistema Pedagógico de Agentes Híbridos para el Desarrollo Profesional de Docentes de Química 52
Resumen 52
Abstract 52
4.1 Introducción 53
4.2 Del Entorno Digital al Ecosistema Pedagógico 54
4.3 Fundamentos Conceptuales 55
4.3.1 Desarrollo Profesional Situado 55
4.3.2 Práctica Reflexiva e Investigación de la Enseñanza 55
4.3.3 Conocimiento Didáctico del Contenido 55
4.3.4 Inclusión y Diseño Universal para el Aprendizaje 55
4.3.5 Aprendizaje Situado y Sistematización 56
4.3.6 Inteligencia Híbrida y Agencia Profesional 56
4.4 Principios del Ecosistema 57
4.5 Arquitectura Conceptual 57
4.6 Los agentes del ecosistema 58
4.7 Ruta de Aprendizaje Profesional 58
Comprender el Caso 59
Profundizar Conceptual y Didácticamente 59
Diseñar una Unidad Flexible 59
Implementar y Observar 59
Sistematizar y Reflexionar 59
Evaluar y Comunicar 59
4.8 El Caso Escolar Como Dispositivo Formativo 60
4.9 Diseño Inclusivo para la Enseñanza de la Química 60
4.10 Sistematización y Evento de divulgación como Dispositivos de Reflexión 60
4.11 Condiciones Éticas, Tecnológicas e Institucionales 61
4.12 Proposiciones Conceptuales para Orientar el Diseño y la Investigación 61
4.13 Discusión 62
4.14 Conclusiones 62
Capítulo 5 - Horizontes de la didáctica de las ciencias y agenda de investigación situada 64
Resumen 64
5.1 Qué significa cerrar una obra orientada a la transformación 64
5.2 Alcance y procedimiento de la revisión documental 65
5.3 Matriz documental sobre tecnologías y aprendizaje 66
5.4 Matriz documental sobre juicio docente e inclusión 67
5.5 Qué muestran las tendencias y qué no permiten afirmar 68
5.6 Geografías de investigación y diferencias entre liderazgos 70
5.7 Clústeres temáticos como organización de la agenda 71
5.8 Reflexión sobre autonomía y autoridad del conocimiento 72
5.9 Reflexión sobre modelización y experimentación 73
5.10 Reflexión sobre formación docente y agentes híbridos 74
5.11 Inclusión y justicia digital como resultados evaluables 75

5.12 Agenda de trabajos futuros y criterios de prioridad 76
5.13 Proyecto propuesto sobre autonomía y apoyos de IA 77
5.14 Proyecto propuesto sobre desarrollo profesional híbrido 78
5.15 Proyecto propuesto sobre equivalencia y baja conectividad 79
5.16 Instrumentos y calidad de la evidencia futura 80
5.17 Gobernanza y actualización responsable de las fuentes 81
5.18 Escenarios y horizonte de planificación 2027–2031 82
5.19 Seguimiento y decisiones de continuidad 84
5.20 Límites del capítulo y nuevas posibilidades de investigación 85
5.21 Síntesis integradora y cierre de la obra 85
Referencias 87

Índice de tablas

Tabla 1. Autores seminales y contemporáneos para la fundamentación epistemológica de las mediaciones tecnológicas....16
Tabla 2. Articulación de la ruta con los fundamentos y su proyección aplicada....35
Tabla 3. Productos y *condiciones* para avanzar 37
Tabla 4. Ejemplo de observación AEIOU en una actividad de ciencias....38
Tabla 5. Del problema amplio al reto evaluable....39
Tabla 6. Matriz ilustrativa para seleccionar una mediación....40
Tabla 7. Guion mínimo de prototipo didáctico....41
Tabla 8. Rúbrica orientadora para una explicación científica....43
Tabla 9. Secuencia de biodiversidad y evidencia asociada....44
Tabla 10. Campos para una ficha etnobotánica escolar....45
Tabla 11. Datos hipotéticos de un circuito ideal para discusión....46
Tabla 12. Distribución de decisiones en el prototipo de química....47
Tabla 13. Contribuciones disciplinares en el caso del agua....48
Tabla 14. Matriz para reconstruir decisiones y aprendizajes....49
Tabla 15. Plan orientador de un ciclo de seis semanas....50
Tabla 16. Dimensiones del ecosistema pedagógico....57
Tabla 17. Funciones y límites de los agentes....58
Tabla 18. Decisiones metodológicas y límites....65
Tabla 19. Matriz de revisión documental del conjunto principal A....66
Tabla 20. Matriz de revisión documental del conjunto principal B....67
Tabla 21. Registro de codificación que sustenta la figura 5.1....69
Tabla 22. Liderazgos informados en distintos recortes documentales....70
Tabla 23. Clústeres cualitativos y preguntas de enlace....72
Tabla 24. Evidencias para examinar autonomía intelectual....73
Tabla 25. Comparación funcional de modalidades de experimentación....74
Tabla 26. Evidencias de aprendizaje profesional....75
Tabla 27. Matriz de equidad para el seguimiento de mediaciones....76
Tabla 28. Agenda de investigación propuesta para Córdoba....77
Tabla 29. Esquema de un estudio de autonomía....78
Tabla 30. Preguntas y registros del acompañamiento híbrido....79
Tabla 31. Componentes a conservar y aspectos adaptables....80
Tabla 32. Matriz de correspondencia entre preguntas e instrumentos....81
Tabla 33. Responsabilidades mínimas de gobernanza....82
Tabla 34. Escenarios de mediación tecnológica para el territorio....83
Tabla 35. Hoja de ruta propuesta para cinco años....83
Tabla 36. Tablero orientador para proyectos de mediación....84
Tabla 37. Síntesis de contribuciones y compromisos del libro....85

Índice de figuras

Figura 1. Ruta de diseño didáctico con retroalimentación. 36
Figura 2. Cadena de trazabilidad entre reto, mediación y aprendizaje. 42
Figura 3. Distribución temática anual del conjunto documental seleccionado 2021–2025. 68
Figura 4. Evolución interpretativa de las preguntas en las fuentes consultadas. 69
Figura 5. Estudios por país en el corpus regional de Salas-Pilco y Yang 2022. 71

Prólogo

La praxis pedagógica en el contexto actual trasciende la simple interacción en el aula para situarse en un escenario de co-creación permanente, donde los recursos digitales y la enseñanza de las ciencias convergen hacia un propósito de transformación social profunda. Este libro se gesta desde la certeza de que el conocimiento científico escolar es un motor de cambio que, potenciado por mediaciones inteligentes, permite a las nuevas generaciones del Caribe colombiano habitar su territorio de forma crítica, ética y creativa. Lejos de ser una respuesta mecánica al cumplimiento de un currículo, esta obra nace del compromiso de rediseñar las fronteras del aprendizaje, entendiendo que la innovación no es un suceso aislado, sino un proceso de reflexión constante sobre los modos en que se construye y se hereda el saber en el departamento de Córdoba.

A medida que las páginas de este reporte se despliegan, se presenta un recorrido por los lineamientos metodológicos que deben regir la construcción de cada propuesta de innovación docente (Universidad de Córdoba, 2022). Se espera que los maestrantes diseñen ambientes de aprendizaje que, basados en el uso de mediadores instrumentales, logren superar la brecha entre la teoría abstracta y la experimentación fenoménica. Cada futura intervención deberá proponer estrategias pertinentes que respondan a los desafíos socioambientales del departamento de Córdoba, integrando la inteligencia artificial como aliada cognitiva que promueva la curiosidad y la autonomía del estudiante. Esta es una llamada a la acción para que el docente se convierta en un arquitecto de experiencias de aprendizaje profundas, humanas y situadas.

Los autores de estos capítulos invitan a los lectores a imaginar la transformación de los desafíos de tecnología e innovación pedagógica en el departamento de Córdoba —donde solo el 47,32 % de la matrícula oficial está conectada— en oportunidades de democratización del saber (Secretaría de Educación de Córdoba, 2025). Este libro constituye, en última instancia, un recordatorio de que la sociedad civil y la academia tienen un papel fundamental en la construcción de un mundo más inclusivo. En este horizonte, la mediación tecnológica debe convertirse en una realidad palpable que potencie la mente de cada niño y joven, permitiendo que la ciencia se consolide como motor de una nueva historia regional.

Introducción

Frente a la necesidad de comprender y abordar los desafíos que enfrentan los diversos grupos de la comunidad escolar, este documento surge en un contexto en el que la diversidad es evidente y la tecnología se inserta en cada fibra de nuestra cotidianidad. El curso de Mediaciones Tecnológicas en las Ciencias Naturales presenta esta estructura de libro con el objetivo de proporcionar un enfoque general sobre las problemáticas del aula y de examinar soluciones innovadoras que contribuyan a la construcción de una comunidad educativa más sostenible (Universidad de Córdoba, 2022).

La obra se organiza en cinco capítulos conectados. El primero desarrolla las bases epistemológicas y cognitivas de la mediación; el segundo examina las políticas y condiciones territoriales de Córdoba. Sobre esos fundamentos, el tercero presenta una ruta de Design Thinking para diseñar innovaciones didácticas en ciencias. El cuarto articula los aportes de los tres anteriores en una propuesta conceptual de ecosistema de agentes híbridos para el desarrollo profesional docente en química. El quinto integra una revisión documental reciente con reflexiones y propuestas de investigación futura. La secuencia avanza así desde la fundamentación y el contexto hacia el diseño, su aplicación conceptual y las preguntas que requieren contrastación empírica.

Se destaca que este reporte constituye un recurso estratégico para los maestrantes de último semestre, permitiéndoles optimizar la sistematización de sus proyectos de investigación mediante el uso reflexivo de la inteligencia artificial y el análisis de datos. Al integrar estas herramientas bajo principios de transparencia y ética algorítmica, se garantiza que el magíster pueda intervenir en su realidad escolar con un perfil competitivo y resiliente, enriqueciendo sus hallazgos empíricos mediante narrativas visuales de alto impacto.

Asimismo, la obra fomenta el desarrollo de competencias transversales esenciales, tales como la investigativa —basada en la investigación-acción— y la de innovación. El docente es invitado a transformar las problemáticas tradicionales de la enseñanza en oportunidades originales de intervención tecnológica. Este esfuerzo colectivo se alinea directamente con las metas del Plan Territorial de Formación Docente de Córdoba 2024-2027, que busca diversificar las prácticas de aula para fortalecer el desempeño de los estudiantes en las pruebas Saber 11 y asegurar una educación de calidad inclusiva (Secretaría de Educación de Córdoba, 2025).

Desde esta perspectiva, el libro asume dos nociones transversales que deben orientar la lectura y la producción de cada propuesta: la justicia digital y la excelencia inclusiva. La primera exige comprender que el acceso significativo a las mediaciones tecnológicas no puede depender exclusivamente de la ubicación geográfica, del nivel socioeconómico o de la infraestructura disponible, sino de decisiones pedagógicas e institucionales capaces de compensar desigualdades históricas. La segunda remite a la obligación de sostener altos estándares formativos sin excluir a quienes aprenden en condiciones diversas, articulando calidad, acompañamiento y pertinencia. En consecuencia, los capítulos que siguen no deben leerse como apartados aislados, sino como un itinerario en el que la fundamentación teórica, el marco estratégico y los protocolos de intervención convergen en una apuesta por democratizar el saber científico en Córdoba desde un horizonte ético, territorial y humanamente exigente (Universidad de Córdoba, 2022; UNESCO, 2024a; Secretaría de Educación de Córdoba, 2025).

Capítulo I

Fundamentación Epistemológica y Teórica de las Mediaciones Tecnológicas

Resumen

Este capítulo constituye la piedra angular teórica de las mediaciones tecnológicas, examinando con rigor las bases conceptuales y metodológicas que sustentan la transición desde una visión de la tecnología como simple herramienta técnica hasta su comprensión como una inteligencia mediadora y socio-cognitiva (Salomon, 1993; Luckin, 2018). Se establece la necesidad de que el docente-investigador posea un marco epistemológico sólido que permita que el recurso digital se integre como catalizador del pensamiento científico complejo y no como un mero accesorio en el aula.
Se profundiza en postulados clave, como la teoría de la cognición distribuida de Salomon (1993), e introduce el concepto de la "Persona-Más" para describir el sistema de asociación intelectual entre el estudiante y el mediador técnico. De manera complementaria, se explora el andamiaje dinámico en diálogo con Luckin (2018) y la tradición del andamiaje, analizando cómo las tecnologías emergentes y la inteligencia artificial operan como soportes adaptativos que permiten al aprendiz transitar por su Zona de Desarrollo Próximo. Esta perspectiva teórica se robustece mediante la integración del marco TPACK en la era de la IA generativa (Mishra, Warr, y Islam, 2023) y del AI Competency Framework de la UNESCO (2024a), lo que proporciona una brújula pedagógica para el diseño de ambientes resilientes y situados.

La Tecnología como Socio Cognitivo y la "Persona-Más"

La integración de mediaciones tecnológicas en la didáctica de las ciencias naturales ha trascendido la mera adopción de herramientas para asumir un paradigma de una asociación intelectual profunda. Bajo el postulado fundacional de Gavriel Salomon (1993), la inteligencia se conceptualiza no como un atributo confinado al cráneo del individuo, sino como un sistema de cognición distribuido en el que los procesos de pensamiento se extienden a través de artefactos y entornos sociales. En el volumen editado por Salomon, Perkins (1993) desarrolla el concepto de la "Persona-Más" (Person-Plus), que describe un ensamblaje cognitivo en el que el estudiante potencia sus facultades al delegar tareas de procesamiento procedimental a un mediador técnico, liberando recursos para el razonamiento de alto nivel.

En este sentido, la emergencia de sistemas de inteligencia artificial en educación puede comprenderse como una extensión contemporánea del principio de la cognición distribuida. Más que sustituir la actividad intelectual del estudiante, estas tecnologías introducen nuevas posibilidades de mediación al incorporar respuestas adaptativas, personalización de trayectorias de aprendizaje y retroalimentación inmediata. De este modo, el concepto de "Persona-Más" encuentra en la inteligencia artificial un escenario ampliado, donde la interacción con artefactos digitales ya no solo descarga tareas procedimentales, sino que también reconfigura las condiciones en que se produce, orienta y profundiza el aprendizaje (Chen et al., 2020).

En la era de la inteligencia artificial generativa, este concepto ha evolucionado hacia lo que Hsu (2025) denomina "cognición enredada" (entangled cognition), una hipótesis donde el procesamiento cognitivo ocurre en una plataforma distribuida que fusiona mente, cuerpo y agentes digitales en una evolución coordinada. Según este enfoque, las herramientas de IA no son solo

auxiliares; actúan como socios que co-constituyen el proceso de indagación científica. Al respecto, Clark (2025) sugiere que la IA opera como un "extensor cognitivo", permitiendo a los estudiantes de ciencias navegar por la incertidumbre y resolver problemas de alta complejidad mediante la manipulación de modelos dinámicos que, de otro modo, serían inalcanzables. Sin embargo, esta asociación exige una vigilancia pedagógica crítica ante el riesgo de la "mente hueca", en la que el desbordamiento de tareas a cargo de la IA podría sacrificar la independencia intelectual (Klein y Klein, 2025).

El Andamiaje Dinámico y la UNESCO 2024

El andamiaje es un apoyo temporal que permite afrontar una tarea y que debe ajustarse conforme el aprendiz gana autonomía (Wood et al., 1976; Vygotsky, 1978). En diálogo con la reflexión de Luckin (2018) sobre inteligencia humana y aprendizaje automático, este libro propone interpretar ciertos apoyos digitales como mediaciones adaptables. Esa posibilidad no supone que un sistema identifique de manera infalible la Zona de Desarrollo Próximo: exige observación docente, revisión de las respuestas y retirada progresiva de ayudas. La adaptación se entiende aquí como una decisión pedagógica que debe contrastarse con evidencias de comprensión.

Este enfoque de andamiaje se vincula estrechamente con el AI Competency Framework for Teachers de la UNESCO, publicado en 2024. Dicho marco establece que el docente del siglo XXI debe trascender el papel de usuario instrumental para consolidarse como un profesional capaz de integrar la IA desde una perspectiva pedagógica, ética y centrada en lo humano. La UNESCO organiza estas competencias en cinco dimensiones: enfoque centrado en el ser humano, ética de la IA, fundamentos y aplicaciones de la IA, pedagogía de la IA y desarrollo profesional con IA. Bajo esta perspectiva, la mediación pedagógica no puede orientarse a reemplazar la agencia humana, sino a fortalecerla, asegurando que el uso de sistemas inteligentes promueva el pensamiento crítico, la responsabilidad y la toma reflexiva de decisiones en el aula.

Aportes y perspectivas de autores seminales y contemporáneos en la mediación tecnológica del aprendizaje

La consolidación de una fundamentación epistemológica para las mediaciones tecnológicas exige reconocer que este campo no surge exclusivamente de la inteligencia artificial, sino que se nutre de una trayectoria teórica más amplia sobre el aprendizaje, la mediación y la cognición distribuida. En este recorrido, es posible distinguir autores seminales que sentaron las bases conceptuales para comprender la relación entre sujeto, herramienta y conocimiento, así como autores contemporáneos que han reinterpretado estas premisas a la luz de la inteligencia artificial, la personalización del aprendizaje y los nuevos debates sobre la autoridad epistémica.

En consecuencia, la evolución del campo puede leerse como un tránsito desde teorías de mediación sociocultural y cognitiva hacia modelos que problematizan la interacción entre la agencia humana, los algoritmos y la producción del conocimiento científico escolar.

Tabla 1. *Autores seminales y contemporáneos para la fundamentación epistemológica de las mediaciones tecnológicas*

Tipo de autor	Autor / referente	Aporte central	Proyección para el capítulo
Seminal	Vygotsky (1978)	Fundamenta la mediación, la interacción social y la Zona de Desarrollo Próximo como base del aprendizaje.	Permite comprender la IA como apoyo potencial al desarrollo, siempre bajo orientación pedagógica.
Seminal	Wood, Bruner y Ross (1976)	Desarrolla la noción de andamiaje como ayuda temporal para favorecer aprendizajes progresivamente autónomos.	Sirve de base para reinterpretar la IA como andamiaje adaptativo.
Seminal	Salomon y Perkins	El volumen de Salomon (1993) reúne aportes sobre cognición distribuida; Perkins (1993) desarrolla la perspectiva Persona-Más.	Sustenta la comprensión de la tecnología como socio cognitivo.
Contemporáneo	Luckin (2018)	Actualiza la relación entre aprendizaje, IA y apoyo adaptativo.	Permite sustentar la idea de andamiaje dinámico en entornos mediados por IA.
Contemporáneo	UNESCO (2024a)	Formula un marco internacional de competencias docentes para integrar IA de manera ética y centrada en lo humano.	Vincula la discusión epistemológica con orientaciones normativas y pedagógicas actuales.
Contemporáneo	Chen, Chen y Lin (2020)	Revisan el impacto de la IA en instrucción, aprendizaje y administración educativa.	Conectan la mediación tecnológica clásica con aplicaciones contemporáneas de IA en educación.
Contemporáneo	Jose et al. (2025)	Analizan la autoridad epistémica y la reconfiguración del conocimiento en espacios de aprendizaje mediados por IA generativa.	Fortalecen la discusión sobre retos epistemológicos en la era algorítmica.

Nota. Elaboración propia

La tabla anterior permite advertir que la discusión epistemológica no debe reducirse a la incorporación técnica de dispositivos o plataformas, sino que debe comprometerse con preguntas más profundas sobre quién media, cómo se construye el conocimiento y bajo qué condiciones la tecnología amplía o debilita la autonomía intelectual del estudiante. En otras palabras, el paso desde la mediación

sociocultural clásica hacia la inteligencia artificial educativa no supone un simple cambio de herramientas, sino una transformación en las formas de distribuir la cognición, de orientar la enseñanza y de validar el saber en el aula.

Tendencias investigativas en mediación, IA y aprendizaje científico

La investigación reciente muestra un desplazamiento progresivo desde perspectivas centradas en la incorporación instrumental de tecnologías hacia enfoques que conciben la inteligencia artificial como agente de mediación pedagógica, cognitiva y epistémica.

Una primera tendencia se orienta al desarrollo de sistemas adaptativos y personalizados capaces de ajustar contenidos, ritmos y retroalimentación según las necesidades del estudiante. Una segunda tendencia se centra en las aplicaciones de la inteligencia artificial generativa para la tutoría, la simulación, el acompañamiento a la escritura y el apoyo a la resolución de problemas. De forma paralela, una tercera línea analiza críticamente el riesgo de sobredependencia cognitiva, especialmente cuando los estudiantes delegan en exceso en procesos de análisis, juicio o argumentación.

Junto a ello, emerge con fuerza una cuarta tendencia relacionada con la autoridad epistémica en contextos educativos mediados por algoritmos. Esta línea de investigación interroga quién produce el conocimiento, cómo se valida y qué sucede con el juicio humano cuando los sistemas generativos comienzan a ocupar un lugar central en la circulación de información y en la resolución de tareas académicas. Desde esta perspectiva, la discusión ya no se limita a si la IA mejora el rendimiento o la eficiencia, sino a cómo redefine las condiciones mismas de construcción, legitimación y apropiación del conocimiento en la educación científica.

Apuestas y retos epistemológicos frente al auge de la IA y las tecnologías emergentes

La inteligencia artificial y las tecnologías emergentes ofrecen posibilidades para reorganizar tareas, representaciones y retroalimentación, pero su valor educativo debe examinarse en cada diseño. Las revisiones sobre aplicaciones y conocimiento docente permiten formular oportunidades, sin garantizar mejoras universales del pensamiento científico (Chen et al., 2020; Mishra et al., 2023). Por ello, este libro plantea explorar mediaciones que permitan al estudiante comparar explicaciones, contrastar información y revisar modelos, conservando la responsabilidad de justificar sus conclusiones. El aprendizaje logrado con apoyo debe distinguirse de la calidad del producto que el sistema ayuda a elaborar.

Sin embargo, junto a estas posibilidades emergen retos epistemológicos de especial complejidad. Entre ellos destacan la tendencia a delegar en exceso procesos de razonamiento, la posible erosión del pensamiento crítico, la reconfiguración de la autoridad del conocimiento y la necesidad de rediseñar las prácticas de evaluación para distinguir entre apoyo legítimo y sustitución cognitiva. En este escenario, el problema ya no consiste únicamente en decidir si la IA debe entrar o no al aula, sino en establecer bajo qué condiciones su uso contribuye efectivamente a la comprensión científica y bajo cuáles termina promoviendo formas de dependencia que empobrecen la autonomía intelectual del estudiante. Por ello, el desafío contemporáneo exige una pedagogía capaz de discernir con mayor finura cuándo la tecnología expande el pensamiento y cuándo, por el contrario, lo descarga de manera prematura, debilitando el esfuerzo interpretativo y la formación del juicio crítico que la enseñanza de las ciencias demanda (Tian y Zhang, 2025).

Mediación tecnológica, juicio pedagógico y formación del pensamiento científico

Uno de los desafíos centrales de la fundamentación epistemológica consiste en evitar que la conversación sobre tecnología educativa se reduzca a un inventario de aplicaciones, plataformas o dispositivos. Desde una perspectiva didáctica rigurosa, la mediación tecnológica solo adquiere valor cuando reorganiza la actividad intelectual del estudiante y amplía sus posibilidades de preguntar, representar, contrastar y argumentar sobre fenómenos del mundo natural. En la enseñanza de las ciencias, esto implica reconocer que el mediador no se añade al proceso como un ornamento externo, sino como una estructura que puede alterar la calidad del razonamiento, el tipo de evidencia que el alumno moviliza y la profundidad con la que construye modelos explicativos. De ahí que el juicio pedagógico del docente continúe siendo irreemplazable: es el profesor quien decide si la herramienta intensifica la comprensión o, por el contrario, solo acelera operaciones superficiales sin producir un aprendizaje científico robusto (Salomon, 1993; Luckin, 2018; UNESCO, 2024a).

Esta precisión resulta especialmente importante en un contexto en el que la inteligencia artificial generativa tiende a ser presentada como una solución universal para casi cualquier problema escolar. Una lectura epistemológica más fina obliga a distinguir entre automatización de tareas y auténtica mediación cognitiva. Automatizar no equivale necesariamente a enseñar mejor. Un sistema puede producir respuestas veloces, resúmenes convincentes o representaciones visualmente atractivas, y aun así fracasar en la promoción de procesos como la inferencia causal, la interpretación de datos, la formulación de hipótesis o la argumentación basada en evidencia. La cuestión decisiva no es, entonces, cuánta tecnología se introduce, sino de qué manera se articula con los objetivos de comprensión disciplinar y con el acompañamiento del docente. En el campo de las ciencias naturales, donde el aprendizaje depende de la capacidad para transitar entre observación, abstracción y modelización, la selección del mediador exige un criterio mucho más exigente que la simple novedad tecnológica (Mishra et al., 2023; Chen et al., 2020; UNESCO, 2024a).

Bajo esta lógica, formar docentes-investigadores en mediaciones tecnológicas supone desarrollar una sensibilidad epistemológica capaz de interrogar la relación entre herramienta, conocimiento y sujeto. No basta con conocer el funcionamiento técnico de un recurso; se requiere comprender qué tipo de operaciones mentales favorece, qué sesgos puede introducir, qué saberes previos presupone y qué margen deja para la deliberación del estudiante. En otras palabras, el maestro necesita aprender a leer la tecnología en clave pedagógica, ética y cognitiva. Esa lectura es la que convierte al educador en diseñador de ambientes de aprendizaje y no en consumidor acrítico de soluciones prefabricadas. Cuando esta competencia se fortalece, la mediación tecnológica deja de ser una promesa abstracta y se transforma en una opción didáctica consciente, situada y justificable desde la teoría del aprendizaje científico (Luckin, 2018; Mishra et al., 2023; Universidad de Córdoba, 2022).

Modelización, representación y comprensión de fenómenos

En didáctica de las ciencias, la modelización ocupa un lugar decisivo porque permite al estudiante construir puentes entre la experiencia sensible y la abstracción conceptual. Aprender ciencias no consiste únicamente en memorizar definiciones o repetir nomenclaturas, sino en elaborar representaciones cada vez más poderosas de sistemas, relaciones y transformaciones. Desde esta perspectiva, las mediaciones tecnológicas cobran relevancia cuando facilitan el tránsito entre distintos niveles de representación: imágenes, simulaciones, tablas, lenguaje matemático, narrativas explicativas, visualizaciones dinámicas o conversaciones guiadas con sistemas inteligentes. El valor del recurso

emerge cuando ayuda a hacer visible lo que, en muchos fenómenos, permanece oculto a la percepción inmediata, como el movimiento molecular, las relaciones ecológicas complejas o los patrones de herencia genética. La tecnología, entonces, no sustituye la actividad intelectual; más bien la organiza, la expande y le ofrece soportes para operar sobre objetos conceptuales difíciles de estabilizar mediante la enseñanza expositiva tradicional (Clark, 2025; Chen et al., 2020; Salomon, 1993).

Sin embargo, la mediación no debe confundirse con una mera traducción visual de contenidos. Un simulador, una animación o un agente conversacional pueden ser muy llamativos y, aun así, promover una comprensión frágil si el estudiante no es invitado a interpretar relaciones, anticipar comportamientos, justificar decisiones y revisar sus errores. La modelización requiere confrontación intelectual. Por ello, el andamiaje dinámico descrito por Luckin (2018) resulta particularmente útil para pensar cómo la IA puede graduar apoyos, proponer preguntas, ofrecer pistas y adaptar niveles de complejidad sin vaciar el problema de su exigencia cognitiva. El reto pedagógico reside en mantener un equilibrio delicado: suficiente acompañamiento para que el alumno avance, pero no tanta asistencia que el proceso termine convertido en una recepción pasiva de respuestas. En la medida en que ese equilibrio se logra, la mediación tecnológica contribuye al desarrollo de una comprensión científica más flexible, transferible y reflexiva (Luckin, 2018; UNESCO, 2024a).

Esta discusión también redefine la manera de entender el error. En ambientes mediados por tecnologías inteligentes, el error puede dejar de ser solo una evidencia de fracaso y convertirse en un dato valioso para diagnosticar modos de pensar, ideas alternativas y puntos de inflexión en la comprensión. La posibilidad de contar con retroalimentaciones más inmediatas, con registros de interacción y con secuencias de apoyo personalizadas permite al docente observar con mayor precisión dónde se quiebra un razonamiento o qué relación conceptual todavía no ha sido estabilizada. Así, la mediación tecnológica en ciencias naturales puede contribuir a que el aula se convierta en un espacio de investigación sobre el aprendizaje mismo, donde cada respuesta, simulación o diálogo con la IA funcione como huella de un proceso de construcción de significado. Esa condición investigativa resulta consistente con una visión del maestro como profesional reflexivo y con una didáctica que valora más el recorrido de pensamiento que la reproducción mecánica de una solución correcta (Chen et al., 2020; UNESCO, 2024a; Universidad de Córdoba, 2022).

Justicia epistémica y autonomía intelectual en la era algorítmica

La incorporación de sistemas inteligentes al aula introduce, además, una cuestión de enorme relevancia para la formación científica: la justicia epistémica. No todos los estudiantes se relacionan con la tecnología desde el mismo punto de partida, ni todas las mediaciones distribuyen de la misma manera las posibilidades de comprender, participar o ser escuchados. Cuando el acceso a recursos potentes depende de condiciones económicas, de conectividad o de capital cultural, la brecha digital se convierte también en brecha epistemológica, pues algunos grupos quedan con menos oportunidades para producir explicaciones, explorar datos o ensayar hipótesis con apoyo de herramientas avanzadas. Desde este ángulo, la epistemología de las mediaciones tecnológicas no puede separarse de la pregunta por quién tiene derecho efectivo a aprender ciencias con apoyos de calidad y bajo qué condiciones puede hacerlo. La justicia digital, entonces, comienza a mostrarse no solo como asunto de infraestructura, sino como problema de distribución del poder para conocer (Jose et al., 2025; UNESCO, 2024a; Universidad de Córdoba, 2022).

A la vez, el auge de la IA obliga a proteger la autonomía intelectual del estudiante. Clark (2025) advierte que las tecnologías generativas pueden actuar como extensores cognitivos de gran potencia, pero su valor educativo depende de que fortalezcan la capacidad humana de análisis y no la desplacen

por completo. En un sentido convergente, Klein y Klein (2025) alertan sobre el riesgo de la "mente vaciada" o "hollowed mind", es decir, una forma de dependencia en la que el sujeto confunde acceso inmediato a una respuesta con dominio real del conocimiento. Para la didáctica de las ciencias, este riesgo es especialmente sensible porque la comprensión disciplinar se construye en la fricción con la duda, el contraste de explicaciones, la revisión de evidencias y el esfuerzo por relacionar variables. Una mediación que anula esas operaciones puede ofrecer eficiencia aparente, pero debilitar a largo plazo la formación del juicio científico. Por ello, la integración de IA debe diseñarse de modo que preserve la pregunta, la incertidumbre productiva y la responsabilidad argumentativa del aprendiz (Clark, 2025; Klein y Klein, 2025).

En este punto, el papel del docente vuelve a ser decisivo. La justicia epistémica no se produce automáticamente por la presencia de tecnología, ni la autonomía intelectual se conserva por simple voluntad del estudiante. Ambas requieren una mediación pedagógica consciente que determine cuándo permitir apoyo intensivo, cuándo retirar andamios, cómo exigir justificaciones, de qué forma valorar el proceso y qué usos de la IA resultan pedagógicamente legítimos. La escuela necesita construir criterios para distinguir entre asistencia cognitiva formativa y sustitución improductiva del pensamiento. Esto implica conversaciones explícitas sobre la autoría, la verificación, la trazabilidad de la información y la ética del uso de sistemas generativos. En una formación científica comprometida con la excelencia inclusiva, enseñar a pensar con tecnología debe ir acompañado de enseñar a no abdicar del propio juicio frente a la autoridad aparente de las respuestas algorítmicas (Jose et al., 2025; UNESCO, 2024a; Mishra et al., 2023).

Criterios para el diseño de mediaciones con sentido didáctico

A partir de lo anterior, es posible proponer algunos criterios para evaluar si una mediación tecnológica posee una densidad didáctica suficiente en la enseñanza de las ciencias naturales. El primero es la pertinencia epistemológica: el recurso debe guardar relación con la naturaleza del fenómeno que se desea comprender y con el tipo de operaciones cognitivas que ese aprendizaje demanda. No todas las herramientas sirven para todo contenido, ni toda interfaz conversacional es adecuada para cualquier reto de modelización. El segundo criterio es la legibilidad pedagógica: el docente debe poder anticipar cómo usar el recurso, qué ayudas ofrece, qué decisiones exige al alumno y qué evidencias genera para valorar el aprendizaje. El tercero es la capacidad de promover transferencia, es decir, que lo aprendido con apoyo del mediador no quede encerrado en la herramienta misma, sino que pueda movilizarse en nuevas situaciones, explicaciones y problemas (Salomon, 1993; Luckin, 2018; Mishra et al., 2023).

Un cuarto criterio es la adaptabilidad contextual. En territorios marcados por desigualdades de conectividad, por diversidad de trayectorias escolares y por limitaciones materiales, el mejor recurso no siempre es el más sofisticado, sino el que puede ser apropiado de manera estable y significativa por la comunidad educativa. La mediación con valor didáctico debe dialogar con el contexto y no imponerse sobre él. Esto obliga a considerar variables como disponibilidad de dispositivos, conectividad intermitente, tiempo real de aula, formación previa del profesorado y expectativas de los estudiantes. Lejos de debilitar la ambición innovadora, este criterio la vuelve más rigurosa, porque desplaza el énfasis desde el fetichismo tecnológico hacia la sostenibilidad pedagógica. Una innovación solo resulta verdaderamente transformadora cuando puede ser sostenida, comprendida y reelaborada por quienes la habitan cotidianamente (Universidad de Córdoba, 2022; Secretaría de Educación de Córdoba, 2025; UNESCO, 2024a).

Un quinto criterio se relaciona con la ética de la mediación. Los sistemas inteligentes no son neutrales: operan con datos, con arquitecturas de respuesta, con formas de priorizar la información y con sesgos potenciales que pueden afectar la experiencia de aprendizaje. Por ello, la formación del magíster debe incluir una lectura crítica sobre privacidad, transparencia, autoría, trazabilidad y verificación de contenidos. En el aula de ciencias, donde la validez de una explicación importa tanto como la elegancia de su formulación, resulta indispensable enseñar a contrastar lo que produce la IA con referentes científicos y con criterios de consistencia disciplinar. De este modo, la ética no aparece como apéndice normativo, sino como parte constitutiva del razonamiento pedagógico y epistemológico que orienta el diseño de la mediación (UNESCO, 2024a; Jose et al., 2025; Chen et al., 2020).

Finalmente, un sexto criterio apunta a la reflexividad docente. Diseñar una mediación tecnológica no equivale a llenar un formato de planeación, sino a formular una hipótesis pedagógica sobre cómo y por qué un recurso determinado puede transformar la comprensión de un fenómeno científico en un grupo concreto de estudiantes. Esa hipótesis debe poder ser observada, documentada y revisada a partir de evidencias. En consecuencia, la mediación se vincula estrechamente con la investigación-acción: el docente planifica, implementa, analiza rastros de aprendizaje, identifica tensiones y ajusta su propuesta. Esta lógica de revisión permanente es coherente con la idea de excelencia inclusiva, porque evita soluciones homogéneas y reconoce la necesidad de afinar la enseñanza a partir de las diferencias reales del aula. La tecnología, en este marco, se integra a un proceso más amplio de toma de decisiones informadas y mejora continua de la práctica (Universidad de Córdoba, 2022; Luckin, 2018; UNESCO, 2024a).

Implicaciones para la formación del magíster y la investigación-acción

Las consideraciones epistemológicas expuestas hasta aquí tienen consecuencias directas para la formación del magíster en didáctica de las ciencias. Si la mediación tecnológica implica decisiones sobre cognición, representación, ética, autonomía y justicia epistémica, entonces la preparación del docente no puede limitarse a aprender a usar recursos digitales. Debe incluir la capacidad de formular preguntas de investigación sobre la propia práctica, diseñar intervenciones con fundamento teórico, recoger evidencias y analizar críticamente los resultados para realimentar el proceso. Esta exigencia conecta de manera natural con la investigación-acción, entendida no solo como metodología de mejora, sino como forma de profesionalidad reflexiva. El maestrante, en esta perspectiva, aprende a pensar el aula como laboratorio pedagógico donde las tecnologías se ponen a prueba en relación con problemas concretos de comprensión, participación e inclusión (Universidad de Córdoba, 2022; Luckin, 2018; UNESCO, 2024a).

Esta articulación entre mediación tecnológica e investigación-acción es particularmente pertinente en ciencias naturales porque el aprendizaje disciplinar deja huellas observables en múltiples formatos: explicaciones orales, modelos gráficos, registros experimentales, decisiones tomadas en simulaciones, bitácoras de indagación o conversaciones con agentes inteligentes. Tales huellas permiten construir una lectura más fina de cómo piensa el estudiante y de qué modo intervenciones específicas favorecen o bloquean avances conceptuales. De allí que la tecnología no solo sirva para enseñar ciencias, sino también para investigar cómo se aprenden. El magíster que desarrolla esta competencia gana capacidad para justificar sus decisiones, revisar sus propias hipótesis pedagógicas y producir conocimiento transferible a otros contextos escolares. En lugar de depender de recetas externas, puede construir criterio profesional a partir de evidencia situada y reflexión sistemática (Chen et al., 2020; Salomon, 1993; Universidad de Córdoba, 2022).

A su vez, la formación avanzada del docente requiere una alfabetización crítica frente a los límites de la mediación tecnológica. En escenarios de entusiasmo generalizado por la IA, existe el riesgo de que el profesorado adopte soluciones que aparentan sofisticación, pero que, en realidad, oscurecen los objetivos conceptuales, simplifican excesivamente el trabajo intelectual del alumno o desplazan la centralidad de la interacción pedagógica. Por eso, una formación rigurosa debe incluir también la competencia de desescalar, desechar o rediseñar mediadores cuando estos no aportan a la comprensión científica ni a la inclusión. Saber innovar implica igualmente saber renunciar a tecnologías inadecuadas o mal ajustadas al contexto. Ese discernimiento constituye una forma madura de experticia pedagógica y evita que la agenda digital se convierta en un imperativo acrítico, desvinculado de las necesidades reales del territorio y de los estudiantes (Mishra et al., 2023; Klein y Klein, 2025; UNESCO, 2024a).

En consecuencia, la identidad profesional que este capítulo promueve no es la del docente fascinado por la herramienta, sino la de un mediador intelectual capaz de orquestar recursos, preguntas, tiempos y apoyos para producir aprendizaje científicamente valioso. Ese perfil profesional se vuelve clave para el resto del libro, porque permite entender los protocolos posteriores no como plantillas cerradas, sino como expresiones concretas de una racionalidad pedagógica más amplia: aquella que vincula la teoría del aprendizaje, la justicia digital, la excelencia inclusiva y el compromiso territorial. La innovación, leída desde aquí, se convierte en práctica reflexiva orientada a transformar la experiencia escolar y a fortalecer la apropiación social del conocimiento científico en Córdoba (Universidad de Córdoba, 2022; Secretaría de Educación de Córdoba, 2025; UNESCO, 2024a).

Conclusiones y reflexiones

La fundamentación epistemológica y teórica desarrollada en este capítulo permite afirmar que las mediaciones tecnológicas solo adquieren legitimidad educativa cuando se sitúan al servicio de la construcción de un pensamiento científico complejo. Su valor no reside en la fascinación técnica que puedan producir, sino en la capacidad de ampliar la actividad intelectual del estudiante, de hacer visibles fenómenos difíciles de aprehender y de sostener procesos de modelización, argumentación y reflexión crítica. Desde este horizonte, la tecnología emerge como socio cognitivo, pero también como objeto de vigilancia pedagógica, pues su potencia depende de la manera en que el docente regula los apoyos, conserva la exigencia conceptual y protege la autonomía intelectual del aprendiz frente a la inmediatez de las respuestas algorítmicas (Salomon, 1993; Clark, 2025; Klein y Klein, 2025).

En suma, la epistemología de las mediaciones tecnológicas en las ciencias naturales exige articular la cognición distribuida, el andamiaje dinámico, la justicia epistémica y la ética del diseño pedagógico. Esa articulación desplaza la conversación desde la pregunta por la herramienta más novedosa hacia la pregunta por el tipo de comprensión que se desea promover y por las condiciones concretas que hacen posible una formación científica rigurosa, situada e inclusiva. De este modo, el capítulo deja establecida una premisa clave para el resto del libro: toda innovación tecno-pedagógica que aspire a la excelencia inclusiva debe ser, al mismo tiempo, intelectualmente exigente, territorialmente pertinente y éticamente responsable con la distribución de oportunidades de aprendizaje (Luckin, 2018; UNESCO, 2024a; Universidad de Córdoba, 2022).

Ahora bien, más allá de los desarrollos conceptuales aquí presentados, este capítulo deja abierta una invitación ineludible para quien enseña ciencias en el presente: volver la mirada sobre el sentido mismo de las mediaciones que incorpora en su práctica. No se trata solamente de decidir qué herramienta usar, sino de preguntarse qué formas de pensamiento se fortalecen con ella, qué comprensiones se amplían, qué autonomías se protegen y qué riesgos emergen cuando la velocidad de

la respuesta comienza a sustituir la paciencia de la indagación. En este punto, la reflexión pedagógica se vuelve decisiva, porque enseñar con tecnología no equivale a ceder el pensamiento a los dispositivos, sino a construir condiciones para que los estudiantes puedan comprender mejor, preguntar con mayor profundidad y relacionarse de manera más crítica con el conocimiento.

En esa perspectiva, las mediaciones tecnológicas deben comprenderse desde una postura esperanzadora, aunque rigurosamente crítica. Si bien pueden enriquecer la experiencia escolar, hacer visibles determinados fenómenos y ampliar las posibilidades de aprendizaje, también pueden vaciar de sentido los procesos formativos cuando operan como respuestas automáticas, desvinculadas del contexto, de la exigencia cognitiva y de las condiciones de desigualdad que atraviesan numerosos estudiantes. Por ello, la función docente conserva un carácter insustituible: orientar, delimitar, ofrecer juicio pedagógico y resguardar la dimensión humana del aprendizaje allí donde la innovación puede reducirse a simple novedad instrumental. En última instancia, esta constituye una reflexión nodal para el conjunto del libro: toda mediación tecnológica auténticamente educativa debe contribuir no solo a enseñar mejor, sino también a formar sujetos conscientes, autónomos y críticos del presente.

Capítulo II

Marco Estratégico, Políticas Institucionales y Realidad Territorial

Resumen

Este capítulo ofrece un análisis exhaustivo del entramado normativo y estratégico que sustenta la innovación educativa mediada por tecnologías en el contexto colombiano, con un énfasis particular en el departamento de Córdoba. Se examinan los pilares legales establecidos en la Ley 115 de 1994 (Ley General de Educación), específicamente en sus artículos 5 y 23, que posicionan a las ciencias naturales y la tecnología como ejes fundamentales del desarrollo nacional. Asimismo, se discute el impacto de las políticas de transformación digital de última generación, representadas por los documentos CONPES 3975 y 3988, que trazan la hoja de ruta para la adopción de la inteligencia artificial y el fortalecimiento de la infraestructura tecnológica (Congreso de la República de Colombia, 1994; Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2019, 2020).

En el nivel territorial, se aborda la realidad del departamento de Córdoba, caracterizada por una brecha de conectividad significativa donde solo el 47,32 % de la matrícula oficial cuenta con acceso a internet (Secretaría de Educación de Córdoba, 2025). Ante este desafío, se analiza el papel crítico del Plan Territorial de Formación Docente (PTFD) 2024-2027, cuyo objetivo es cualificar a los educadores en competencias digitales para mejorar el desempeño estudiantil en las pruebas externas Saber 11. Este marco estratégico exige el diseño de intervenciones pedagógicas resilientes que garanticen la justicia digital tanto en entornos rurales como urbanos.

Finalmente, el capítulo vincula la práctica docente con el compromiso institucional de la Universidad de Córdoba, expresado en su Proyecto Educativo Institucional (PEI 2022) (Universidad de Córdoba, 2022). Bajo la premisa de la "Excelencia Inclusiva", se justifica la necesidad de formar magísteres capaces de liderar procesos de investigación-acción que transformen el aula. Al alinear los proyectos de innovación con estos marcos nacionales y locales, se asegura no solo la validez pedagógica de las mediaciones, sino también su sostenibilidad y pertinencia frente a las tensiones socioambientales de la región.

Marco Normativo Nacional y Territorial

La arquitectura normativa se sustenta en la Constitución Política de 1991, que, en su artículo 67, define la educación como un derecho orientado al acceso al conocimiento, a la ciencia y a la técnica (Asamblea Nacional Constituyente, 1991). Este mandato se operacionaliza mediante la Ley 115 de 1994, cuyo artículo 5 destaca la promoción de la capacidad para crear e investigar la tecnología requerida (numeral 13) (Congreso de la República de Colombia, 1994). Asimismo, el artículo 23 establece las Ciencias Naturales y la Tecnología como áreas obligatorias del currículo nacional (Congreso de la República de Colombia, 1994).

En la última década, este marco legal se ha robustecido con la Ley 1978 de 2019, que moderniza el sector TIC y prioriza el acceso para poblaciones vulnerables en zonas rurales (Congreso de Colombia, 2019). El horizonte estratégico es reforzado por el Documento CONPES 3975 de 2019, que formula la Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial, y el CONPES 3988 de 2020, "Tecnologías para Aprender", orientado a diversificar la dotación tecnológica (DNP, 2019, 2020).

A nivel territorial, el Plan Territorial de Formación Docente de Córdoba (PTFD) 2024-2027 actúa como el instrumento rector para la cualificación docente. Entre sus metas para 2027, el plan busca formar a 550 docentes de educación media para mejorar el desempeño en las pruebas Saber 11 y capacitar a 100 docentes en competencias digitales (Secretaría de Educación de Córdoba, 2025). Estas políticas se articulan con el PEI 2022 de la Universidad de Córdoba, que consagra la "Excelencia Inclusiva" como eje de gestión (Universidad de Córdoba, 2022).

Más allá del plano estrictamente normativo, la experiencia colombiana e internacional demuestra que estos marcos adquieren sentido cuando se traducen en dispositivos concretos de formación, acompañamiento y apropiación pedagógica de la tecnología. En Colombia, la política de Competencias TIC para el Desarrollo Profesional Docente del Ministerio de Educación Nacional se ha articulado con iniciativas de innovación y seguimiento como el Observatorio Colombiano de Innovación Educativa con uso de TIC, que actualmente reporta 900 establecimientos educativos con grupos de trabajo en 281 municipios, 1.840 docentes certificados en el Diplomado en Ciencia, Tecnología e Innovación con enfoque STEM+ y 727 tutores PTAFI 3.0 formados en pensamiento computacional. A ello se suman las acciones de Computadores para Educar, que en su balance de 2024 informó la adquisición de cerca de 80.000 computadores y la capacitación de 1.600 docentes y estudiantes, así como escenarios como Educa Digital y MakerLab, orientados al intercambio de experiencias, a talleres prácticos y al fortalecimiento de redes de innovación pedagógica con tecnologías.

En el ámbito internacional, también se observan ejercicios consolidados de aplicación de marcos para fortalecer la mediación tecnológica y el andamiaje docente. La Comisión Europea desarrolló DigCompEdu como marco de competencia digital del profesorado y SELFIE como herramienta de autorreflexión institucional para integrar tecnologías en enseñanza, aprendizaje y evaluación; esta última fue diseñada con participación de miles de actores educativos y se pilotó con 67.000 personas de 650 escuelas en Europa. Por su parte, UNESCO ha promovido la implementación de su ICT Competency Framework for Teachers mediante procesos de contextualización con recursos educativos abiertos, incluyendo ejercicios de trabajo con el Ministerio de Educación de Indonesia para apoyar la formación docente en integración pedagógica de TIC. En paralelo, los ISTE Standards se han consolidado como un referente de alcance global, adoptado en todos los estados de Estados Unidos y en numerosos países para orientar experiencias de aprendizaje tecnológicamente ricas, sostenibles y escalables.

Estas experiencias permiten afirmar que el fortalecimiento de las mediaciones tecnológicas no depende únicamente de la dotación o de la existencia de lineamientos curriculares, sino de la capacidad institucional para sostener procesos de desarrollo profesional docente, acompañamiento entre pares y reflexión sistemática sobre la práctica. En esa misma dirección, una revisión sistemática sobre desarrollo profesional docente mediado por tecnología en países de ingresos bajos y medios encontró que las formas más prometedoras incluyen coaching virtual, mensajería social, aprendizaje combinado, reflexión pedagógica apoyada en video y uso de software disciplinar, subrayando además que el papel de facilitadores o pares expertos sigue siendo decisivo para que la tecnología produzca transformaciones reales en el aula.

Comprender la integración de mediaciones tecnológicas en la enseñanza de las ciencias naturales en Córdoba exige partir de una lectura situada del territorio. No se trata únicamente de incorporar dispositivos, plataformas o recursos digitales a la práctica escolar, sino de reconocer que toda innovación educativa se inscribe en condiciones concretas de infraestructura, conectividad, formación docente y desigualdad social. En este sentido, la realidad territorial cordobesa revela un escenario tensionado por brechas persistentes entre zonas urbanas y rurales, así como entre

instituciones con mayores posibilidades de acceso y otras cuya cotidianidad pedagógica sigue marcada por limitaciones estructurales que restringen el uso sostenido de tecnologías para el aprendizaje.

Sin embargo, la noción de realidad territorial no debe reducirse a un inventario de carencias. Córdoba también constituye un espacio de oportunidades pedagógicas en el que la escuela, el docente y la comunidad pueden resignificar la tecnología como mediación para democratizar el saber científico. La brecha digital, en este contexto, no solo expresa un problema técnico, sino también una tensión profundamente educativa: la dificultad para garantizar que todos los estudiantes accedan a experiencias de modelización, indagación y representación del conocimiento acordes con las exigencias contemporáneas de la enseñanza de las ciencias. Desde esta perspectiva, el territorio deja de ser un simple telón de fondo y se convierte en una categoría central para pensar propuestas didácticas pertinentes, contextualizadas y socialmente comprometidas.

Esta lectura cobra especial relevancia cuando se considera que la formación docente y la innovación escolar en Córdoba no pueden construirse a partir de modelos homogéneos o descontextualizados. La heterogeneidad institucional del departamento, la diversidad de sus comunidades educativas y las diferencias de acceso obligan a pensar en mediaciones flexibles, adaptables y pedagógicamente sostenibles. Por ello, toda intervención tecnológica con pretensión transformadora debe reconocer las tensiones del territorio, dialogar con ellas y convertirlas en punto de partida para el diseño de respuestas educativas más justas. Solo así la mediación tecnológica puede trascender el plano instrumental y afirmarse como una estrategia de equidad, inclusión y fortalecimiento de la educación científica regional.

Retos y tendencias de las mediaciones tecnológicas en ciencias naturales

El escenario contemporáneo de la enseñanza de las ciencias naturales se encuentra atravesado por transformaciones aceleradas en las formas de producir, circular y legitimar el conocimiento. En ese marco, uno de los retos más importantes consiste en superar la visión limitada de la tecnología como un apoyo accesorio al aula. La mediación tecnológica no puede seguir siendo entendida exclusivamente como un recurso para hacer más atractiva la clase o para agilizar tareas operativas; su valor pedagógico radica, ante todo, en la posibilidad de ampliar la comprensión de fenómenos complejos, diversificar los lenguajes de representación, favorecer la exploración conceptual y fortalecer los procesos de razonamiento científico. El desafío, entonces, no es solo incorporar tecnología, sino dotarla de sentido didáctico.

A este reto se suma la necesidad de consolidar un profesorado capaz de leer críticamente el momento actual. La expansión de la inteligencia artificial, de las plataformas adaptativas y de las analíticas de aprendizaje introduce nuevas posibilidades para la retroalimentación, la personalización y la toma de decisiones pedagógicas; pero también plantea interrogantes sobre dependencia cognitiva, superficialidad en el aprendizaje, sesgos algorítmicos y debilitamiento del juicio crítico. Por ello, el docente no puede situarse como un usuario pasivo de herramientas emergentes, sino como un profesional que interpreta sus alcances, evalúa sus implicaciones y decide, con criterio pedagógico y ético, cuándo y cómo integrarlas en función de los propósitos formativos. Esta exigencia dialoga de manera directa con la apuesta del libro por formar magísteres con un perfil competitivo, reflexivo y resiliente.

En cuanto a las tendencias, se observa un desplazamiento progresivo hacia modelos más flexibles, personalizados y centrados en el estudiante. Las mediaciones apoyadas en inteligencia artificial, simulación, tutoría inteligente, procesamiento de lenguaje natural y análisis de datos educativos están abriendo caminos inéditos para enriquecer la enseñanza de las ciencias, especialmente

en lo relacionado con la comprensión de fenómenos abstractos y con el seguimiento de trayectorias de aprendizaje. A la par, gana fuerza una perspectiva que vincula tecnología, inclusión y justicia digital, subrayando que la innovación no puede desligarse de las condiciones reales de acceso ni de la responsabilidad ética de garantizar oportunidades de aprendizaje significativas para todos. Más que una moda, estas tendencias anuncian un cambio de época que obliga a repensar la mediación pedagógica desde horizontes más complejos, críticos y contextualizados.

Lineamientos estratégicos para la innovación docente situada

La lectura articulada entre la política pública, la realidad territorial y las tendencias contemporáneas permite proponer una orientación estratégica para la innovación docente en el campo de las ciencias naturales. En primer lugar, resulta indispensable asumir que la innovación pedagógica no puede concebirse como un acto aislado ni como una respuesta coyuntural al avance tecnológico. Por el contrario, debe ser comprendida como un proceso sistemático de transformación de la práctica, vinculado con los propósitos institucionales de formación, con las metas territoriales de mejoramiento educativo y con las necesidades concretas de las comunidades escolares. En esta clave, las mediaciones tecnológicas adquieren sentido cuando se insertan en proyectos pedagógicos coherentes, sostenibles y anclados en el contexto.

En segundo lugar, es necesario fortalecer la articulación entre la innovación, la investigación-acción y la formación docente. La presentación del libro subraya que esta obra constituye un recurso estratégico para maestrantes que buscan sistematizar sus proyectos mediante el uso reflexivo de la inteligencia artificial y del análisis de datos. Esa afirmación exige que el capítulo 2 no se limite a describir marcos regulatorios, sino que proyecte una concepción del docente como investigador de su propia práctica, capaz de diagnosticar problemáticas, formular alternativas contextualizadas, implementar mediaciones pertinentes y analizar críticamente sus resultados. En este sentido, la innovación situada solo es posible cuando el magíster asume una postura reflexiva frente al aula y comprende que transformar la enseñanza también implica producir conocimiento pedagógico desde el territorio.

Un tercer lineamiento estratégico se relaciona con la resiliencia pedagógica. En contextos como el cordobés, donde persisten limitaciones materiales y desigualdades de acceso, innovar no significa necesariamente disponer de los recursos más sofisticados, sino ser capaz de diseñar experiencias de aprendizaje valiosas aun en condiciones adversas.

La resiliencia, por tanto, debe entenderse como una competencia profesional que integra la creatividad didáctica, el criterio ético, la comprensión del contexto y la capacidad de adaptación. Desde esta mirada, el docente deja de ser consumidor de herramientas para convertirse en diseñador de soluciones pedagógicas capaces de dialogar con las tensiones del entorno y convertirlas en oportunidades de transformación educativa.

Finalmente, toda estrategia de innovación debe contemplar su sostenibilidad. La tecnología, por sí sola, no garantiza permanencia ni impacto duradero. Para que una propuesta educativa trascienda la experiencia puntual, debe articularse con procesos de apropiación institucional, de acompañamiento pedagógico, de evaluación formativa y de circulación de aprendizajes entre docentes. La sostenibilidad anunciada en la presentación del libro encuentra aquí su traducción concreta: se trata de promover prácticas que no se agoten en la novedad, sino que puedan consolidarse, enriquecerse y proyectarse como aportes reales al fortalecimiento de la educación científica en Córdoba.

Elementos de prospectiva educativa y transformación territorial

Incorporar una mirada prospectiva en este capítulo implica desplazar la reflexión del diagnóstico del presente hacia la construcción de horizontes posibles para la educación científica en el departamento. La prospectiva, en este caso, no debe asumirse como un ejercicio predictivo rígido, sino como una herramienta de anticipación crítica que permite reconocer escenarios, capacidades y decisiones necesarias para orientar la transformación pedagógica. Desde esta perspectiva, el capítulo 2 amplía su alcance: ya no solo interpreta un entramado normativo y territorial, sino que también propone claves para pensar el futuro de las mediaciones tecnológicas en Córdoba desde criterios de pertinencia, inclusión y sostenibilidad.

Uno de los escenarios más deseables apunta al fortalecimiento progresivo de las competencias docentes para diseñar y sostener experiencias de aprendizaje mediadas por tecnologías con mayor nivel de complejidad pedagógica. Esto implicaría avanzar desde usos básicos e instrumentales hacia prácticas apoyadas en simulación, inteligencia artificial, analítica de aprendizaje, recursos multimodales y estrategias diferenciadas de acompañamiento. Un escenario de esta naturaleza no solo enriquecería la enseñanza de las ciencias naturales, sino que permitiría diversificar formas de evaluación, fortalecer la retroalimentación y responder de manera más precisa a la diversidad de ritmos y trayectorias de los estudiantes. En esa dirección, la tecnología podría consolidarse como un medio para ampliar la comprensión científica y no simplemente como un apoyo funcional del aula.

Otro escenario prospectivo exige pensar la transformación territorial desde la diferenciación y no desde la uniformidad. Las respuestas educativas para Córdoba no pueden ser idénticas en todos los contextos, porque las condiciones de acceso, infraestructura, acompañamiento y cultura institucional son profundamente diversas. Por ello, una prospectiva sensata debe contemplar rutas múltiples: propuestas híbridas en contextos con conectividad parcial, soluciones offline en territorios rurales, redes de colaboración docente para compartir experiencias y mecanismos de sistematización que permitan transferir aprendizajes entre instituciones. La transformación territorial, en consecuencia, no dependerá únicamente del aumento de la infraestructura, sino también de la capacidad de construir ecologías pedagógicas flexibles y situadas.

En un horizonte más amplio, la prospectiva educativa también proyecta al docente como actor clave en el desarrollo regional. Cuando las mediaciones tecnológicas se orientan por criterios de justicia digital, ética pedagógica y pertinencia territorial, el maestro puede convertirse en un verdadero líder de la transformación social. En este sentido, enseñar ciencias naturales deja de ser solo una tarea curricular y se afirma como una práctica estratégica para formar ciudadanía crítica, fortalecer la apropiación social del conocimiento y democratizar el acceso a experiencias de aprendizaje de calidad. Así, el futuro de la educación científica en Córdoba no dependerá exclusivamente de la tecnología disponible, sino del modo en que el profesorado, las instituciones y las políticas públicas sean capaces de articular visión, contexto y acción pedagógica transformadora.

En suma, el análisis del marco estratégico, de las políticas institucionales y de la realidad territorial permite afirmar que la innovación educativa mediada por tecnologías, en el caso de Córdoba, requiere una comprensión simultánea, normativa, contextual, estratégica y prospectiva. No basta con reconocer los lineamientos nacionales ni con identificar las brechas de conectividad del territorio; resulta indispensable traducir esos marcos en decisiones pedagógicas situadas, capaces de responder a los desafíos de inclusión, sostenibilidad, resiliencia y calidad educativa que atraviesan la enseñanza de las ciencias naturales. De esta manera, el capítulo 2 no solo continúa la fundamentación teórica del capítulo anterior, sino que prepara el terreno para los desarrollos posteriores del libro, asegurando que la promesa formulada en la presentación se despliegue efectivamente en los apartados que siguen.

Justicia digital como principio de política pública y decisión pedagógica

La noción de justicia digital aporta una clave interpretativa decisiva para comprender el marco estratégico abordado en este capítulo. No se trata únicamente de ampliar la cobertura de conectividad o de distribuir dispositivos en términos cuantitativos, sino de garantizar que todos los estudiantes puedan acceder a experiencias de aprendizaje científicamente valiosas, con apoyos pertinentes y oportunidades reales para desarrollar competencias de indagación, representación y argumentación. En otras palabras, la justicia digital desborda la infraestructura para instalarse en el corazón de la decisión pedagógica: importan tanto el acceso al recurso como la calidad del uso que se hace de él y la posibilidad de que ese uso contribuya a reducir desigualdades, y no a profundizarlas. Leída así, la política pública educativa adquiere un sentido más robusto, pues deja de medir únicamente la dotación y empieza a interrogar la distribución efectiva de oportunidades para aprender con dignidad, rigor y pertinencia territorial (Asamblea Nacional Constituyente, 1991; Congreso de Colombia, 2019; UNESCO, 2024a).

Esta lectura resulta consistente con los desarrollos recientes de la política educativa colombiana. La Ley 115 de 1994 ya había situado la ciencia y la tecnología como dimensiones constitutivas de la formación escolar, mientras que la Ley 1978 de 2019 y los documentos CONPES 3975 y 3988 ampliaron la mirada hacia la transformación digital, la inteligencia artificial y la necesidad de fortalecer los ecosistemas de apropiación tecnológica en el sistema educativo. No obstante, el paso de la norma a la experiencia concreta de aula no es lineal. Las regiones muestran capacidades desiguales para materializar esos lineamientos, y precisamente allí la justicia digital se convierte en criterio orientador: obliga a traducir los marcos nacionales en estrategias diferenciadas, sensibles a las condiciones de ruralidad, a la heterogeneidad institucional y a la persistencia de brechas territoriales.

La política, por tanto, solo alcanza su sentido pleno cuando puede ser reinterpretada desde su contexto y reconfigurada como acción educativa situada (Congreso de la República de Colombia, 1994; Departamento Nacional de Planeación, 2019, 2020; Secretaría de Educación de Córdoba, 2025).

En Córdoba, esta discusión adquiere un carácter particularmente urgente. Si la conectividad oficial aún no cubre de manera homogénea a la matrícula, entonces el riesgo no es únicamente técnico, sino pedagógico y ciudadano: una parte de los estudiantes puede quedar excluida de formas contemporáneas de aprender ciencias, de explorar simulaciones, de acceder a tutorías inteligentes o de producir evidencias digitales de su comprensión. La justicia digital demanda, por ello, un doble movimiento. Por un lado, exige inversión y acción interinstitucional para mejorar la infraestructura y el acompañamiento. Por otro, reclama una pedagogía capaz de diseñar alternativas resilientes, híbridas u offline cuando las condiciones no permiten dependencias absolutas de la conectividad. En esta clave, la innovación deja de ser una práctica asociada al privilegio tecnológico y se redefine como la capacidad para garantizar experiencias formativas de calidad aun en entornos adversos (Secretaría de Educación de Córdoba, 2025; Gobernación de Córdoba, 2024; Universidad de Córdoba, 2022).

Excelencia inclusiva y responsabilidad institucional

La categoría de excelencia inclusiva, presente en el Proyecto Educativo Institucional de la Universidad de Córdoba, constituye mucho más que una declaración valorativa. Funciona como principio de organización académica que rechaza la falsa oposición entre calidad e inclusión. Desde esta perspectiva, una educación de excelencia no es aquella que eleva las exigencias para unos pocos mientras deja rezagados a quienes enfrentan mayores barreras, sino la que sostiene altas expectativas de aprendizaje, construyendo al mismo tiempo apoyos diferenciados, rutas flexibles y ambientes

culturalmente pertinentes. Aplicada al campo de las mediaciones tecnológicas, esta noción exige revisar si la innovación fortalece realmente la participación, la comprensión y el acompañamiento de la diversidad estudiantil, o si se limita a reproducir soluciones diseñadas para contextos más favorecidos y homogéneos. La excelencia inclusiva, en consecuencia, reordena las prioridades de la planeación pedagógica y obliga a pensar la tecnología desde la equidad, la accesibilidad y la permanencia (Universidad de Córdoba, 2022; UNESCO, 2024a).

En el plano institucional, esta perspectiva implica una responsabilidad compartida entre universidad, secretarías de educación, establecimientos escolares y comunidades docentes. La calidad de las mediaciones no depende exclusivamente de la iniciativa individual del maestro, aunque esta sea crucial. Requiere también políticas de formación continua, criterios claros de acompañamiento, espacios para sistematizar experiencias, disponibilidad de repositorios y circuitos de colaboración capaces de hacer circular aprendizajes entre instituciones. Una política orientada por excelencia inclusiva reconoce que la innovación educativa necesita tiempo profesional, apoyo directivo, evaluación formativa y legitimidad organizacional. De lo contrario, los esfuerzos terminan fragmentados, sujetos al entusiasmo circunstancial de algunos docentes y con poca capacidad de sostenerse en el mediano plazo. En este sentido, el marco estratégico del capítulo adquiere una dimensión de gobernanza: no basta con prescribir cambios, es necesario crear condiciones para que puedan consolidarse y producir transformación real en el territorio (Secretaría de Educación de Córdoba, 2025; Universidad de Córdoba, 2022; Departamento Nacional de Planeación, 2020).

La excelencia inclusiva también redefine la forma de valorar el éxito de una intervención tecnológica. Los indicadores no deberían restringirse a número de dispositivos, cantidad de capacitaciones o frecuencia de uso de una plataforma. Si se asume una perspectiva más robusta, importan igualmente la mejora en la comprensión de fenómenos científicos, la capacidad de los estudiantes para argumentar con evidencia, la ampliación de su participación, la reducción de brechas entre grupos y la apropiación pedagógica sostenida por parte de los docentes. Esto supone desplazar la evaluación del uso instrumental al valor formativo de la mediación. Para un territorio como Córdoba, dicha reorientación resulta estratégica porque permite juzgar las iniciativas no por su apariencia innovadora, sino por su contribución efectiva a una educación científica más justa, exigente y contextualizada (UNESCO, 2024a; Universidad de Córdoba, 2022; Secretaría de Educación de Córdoba, 2025).

Formación docente, comunidades de práctica y acompañamiento

El fortalecimiento de las mediaciones tecnológicas no puede comprenderse al margen del desarrollo profesional docente. La evidencia comparada y las experiencias institucionales muestran que la incorporación significativa de tecnología depende menos de la mera disponibilidad de recursos y más de la posibilidad de que el profesorado participe en procesos continuos de formación, reflexión sobre la práctica y acompañamiento entre pares. En Colombia, el Observatorio Colombiano de Innovación Educativa con uso de TIC registra 900 establecimientos educativos con grupos de trabajo conformados en 281 municipios, así como miles de estudiantes y centenares de docentes y tutores vinculados a iniciativas de innovación y formación; estas cifras sugieren que la transformación pedagógica gana potencia cuando se construye mediante redes, diplomados y comunidades de aprendizaje, y no solo a través de entregas aisladas de equipos o lineamientos curriculares (Ministerio de Educación Nacional, 2025).

De forma complementaria, programas como Computadores para Educar evidencian que la política tecnológica en educación debe integrar la dotación, la gestión y la cualificación. Los reportes

institucionales de 2024 dan cuenta de adquisición de cerca de 80.000 computadores y de acciones formativas con docentes y estudiantes, lo cual muestra que la infraestructura produce mayor valor cuando se articula con procesos de apropiación pedagógica. El punto crucial, sin embargo, es que la formación no debe concebirse como instrucción técnica sobre el uso de un dispositivo, sino como una oportunidad para reconsiderar los propósitos didácticos, las secuencias de enseñanza, las estrategias de evaluación y las formas de acompañar la diversidad. En la medida en que la capacitación se vuelve reflexión pedagógica sobre el sentido de la mediación, aumenta la probabilidad de que las innovaciones se traduzcan en cambios reales dentro del aula de ciencias naturales (Computadores para Educar, 2024; UNESCO, 2024a; Universidad de Córdoba, 2022).

Las referencias internacionales refuerzan esta conclusión. El marco DigCompEdu, por ejemplo, propone una comprensión de la competencia digital docente que integra el compromiso profesional, los recursos digitales, la enseñanza, la evaluación, el empoderamiento del alumnado y la facilitación de su competencia digital. A su vez, la herramienta SELFIE de la Comisión Europea muestra que la autoevaluación institucional puede contribuir a que las escuelas identifiquen fortalezas y debilidades en la integración de tecnologías, involucrando a directivos, profesores y estudiantes en una lectura compartida de su capacidad digital. Lo más relevante de estos referentes no es su posible trasplante literal al contexto colombiano, sino la lección estratégica que ofrecen: la transformación tecnológica en educación requiere marcos, instrumentos y conversaciones que permitan a las instituciones mirarse críticamente y planear mejoras viables desde su propia realidad (Redecker, 2017; European Commission, 2026).

En esa misma línea, los estándares ISTE insisten en que el uso pedagógico de la tecnología debe orientarse a experiencias de aprendizaje de alto impacto, sostenibles, escalables y equitativas. Este énfasis dialoga directamente con la apuesta del presente libro, pues recuerda que la innovación no puede medirse solo por el brillo de la novedad, sino por la consistencia con la que logra enriquecer la enseñanza y ampliar las oportunidades para todos los estudiantes.

Para Córdoba, esta lectura implica reconocer que la formación docente no es un componente accesorio del cambio, sino su principal condición de posibilidad. Sin maestros capaces de interpretar críticamente herramientas, datos y contextos, ningún plan tecnológico consigue desplegar de manera duradera la justicia digital y la excelencia inclusiva que proclama (ISTE, s. f.; UNESCO, 2024a; Secretaría de Educación de Córdoba, 2025).

Gobernanza territorial, prospectiva y sostenibilidad de la innovación

La innovación educativa mediada por tecnologías también exige una mirada de gobernanza. Los lineamientos nacionales, los planes departamentales, los proyectos institucionales y las iniciativas de aula necesitan dialogar entre sí para evitar duplicidades, vacíos y acciones dispersas. Cuando ese diálogo no existe, la política se fragmenta y las experiencias innovadoras quedan aisladas, sin capacidad para escalar, transferirse o sostenerse. Por el contrario, una gobernanza orientada por justicia digital articula metas de infraestructura, formación, acompañamiento, evaluación y circulación de experiencias, reconociendo que la equidad no se logra con una sola medida. Córdoba requiere precisamente este tipo de coordinación multinivel, en la que las decisiones sobre conectividad, recursos, desarrollo profesional y currículo converjan en una estrategia coherente para fortalecer la enseñanza de las ciencias naturales desde el territorio (Departamento Nacional de Planeación, 2019, 2020; Gobernación de Córdoba, 2024; Universidad de Córdoba, 2022).

La prospectiva educativa, en este escenario, no consiste en adivinar el futuro, sino en construir capacidad institucional para anticipar necesidades, imaginar escenarios y preparar respuestas

pedagógicas plausibles. Un horizonte deseable para el departamento implicaría no solo mejores condiciones de acceso, sino también una cultura docente que utilice la tecnología para personalizar apoyos, enriquecer la modelización científica, analizar trayectorias de aprendizaje y conectar el aula con problemas socioambientales del contexto. Tal horizonte demandará probablemente mayores niveles de alfabetización en inteligencia artificial, competencias para trabajar con datos educativos y una ética más refinada sobre privacidad, transparencia y sesgos. Por ello, la prospectiva no puede desvincularse del desarrollo profesional ni del fortalecimiento institucional; ambos son los medios a través de los cuales el territorio puede convertir tendencias globales en respuestas localmente pertinentes (UNESCO, 2024a; Luckin, 2018; Secretaría de Educación de Córdoba, 2025).

Otro componente clave de la sostenibilidad es la capacidad para documentar, evaluar y compartir aprendizajes. Una mediación situada alcanza mayor valor estratégico cuando deja huellas transferibles: protocolos, criterios de decisión, evidencias, instrumentos de caracterización, rutas de ajuste y lecciones derivadas de la implementación. Esta lógica de sistematización no solo beneficia a quienes participaron directamente en la experiencia, sino que enriquece el ecosistema regional de innovación al ofrecer referentes concretos para otras instituciones. En este punto, el papel de la maestría y de la universidad adquiere especial relevancia, pues pueden actuar como nodos de producción, validación y circulación de conocimiento pedagógico aplicado. Así, la sostenibilidad deja de depender exclusivamente de la continuidad presupuestal y se apoya también en la construcción de memoria institucional y en la consolidación de comunidades académicas comprometidas con la mejora continua (Universidad de Córdoba, 2022; Ministerio de Educación Nacional, 2025).

Finalmente, la gobernanza y la prospectiva solo serán coherentes con el enfoque del libro si mantienen en el centro la pregunta por quiénes se benefician efectivamente de la innovación. No toda digitalización es inclusiva, ni toda modernización produce equidad. Una política territorial verdaderamente transformadora deberá priorizar los contextos con mayores barreras, reconocer la diversidad de trayectorias escolares y valorar propuestas pedagógicas capaces de operar tanto en entornos conectados como en entornos de intermitencia o escasez. En otras palabras, la sostenibilidad de la innovación en Córdoba dependerá de que el futuro digital de la educación científica se plante en términos de responsabilidad pública, sensibilidad territorial y la convicción de que la excelencia solo es legítima cuando amplía las oportunidades reales de aprendizaje para todos (Congreso de Colombia, 2019; Universidad de Córdoba, 2022; UNESCO, 2024a).

Conclusiones y reflexiones

El recorrido desarrollado en este capítulo muestra que el marco estratégico de las mediaciones tecnológicas en Córdoba no puede leerse como un simple inventario de normas o programas. Se trata, más bien, de una arquitectura de sentido en la que convergen mandatos constitucionales, políticas nacionales, planes territoriales, horizontes institucionales y decisiones pedagógicas concretas. La justicia digital emerge allí como criterio para interpretar esa arquitectura desde la equidad, mientras que la excelencia inclusiva la orienta hacia una calidad formativa que no excluye, sino que acompaña y exige con pertinencia. Bajo esta doble clave, la política educativa se convierte en una invitación a rediseñar la enseñanza de las ciencias naturales como una práctica rigurosa, contextualizada y socialmente comprometida (Asamblea Nacional Constituyente, 1991; Universidad de Córdoba, 2022; Secretaría de Educación de Córdoba, 2025).

En consecuencia, el capítulo deja planteada una tesis decisiva para el resto del libro: innovar con tecnologías en el territorio cordobés implica traducir marcos macroeconómicos en respuestas micropedagógicas sostenibles, diferenciales y éticamente fundadas. La pertinencia de las futuras

propuestas no dependerá solo de su sofisticación técnica, sino también de su capacidad para cerrar brechas reales, fortalecer la formación docente, activar comunidades de práctica y ofrecer experiencias de aprendizaje científico que amplíen las oportunidades de quienes históricamente han contado con menos condiciones para acceder a ellas. De este modo, justicia digital y excelencia inclusiva dejan de ser consignas iniciales y pasan a constituirse en el hilo rector que debe atravesar, desde aquí en adelante, toda intervención tecnopedagógica propuesta por los maestrantes (Departamento Nacional de Planeación, 2020; UNESCO, 2024a; Universidad de Córdoba, 2022).

Capítulo III

Design Thinking para una innovación didáctica situada en ciencias

Resumen

El Design Thinking ofrece una forma de organizar decisiones pedagógicas ante problemas que admiten distintas soluciones y que requieren comprender a quienes aprenden. Este capítulo lo adapta a la enseñanza de las ciencias mediante seis movimientos: empatizar, definir, idear, prototipar, validar y sistematizar. La ruta traduce la mediación cognitiva del primer capítulo y las condiciones territoriales del segundo en decisiones de diseño, y prepara la aplicación conceptual mediante agentes híbridos que se desarrolla en el cuarto. Se desarrollan instrumentos, criterios de selección y casos de diseño que abarcan biología, química, física, matemáticas y ciencias sociales. El resultado es una propuesta metodológica para convertir una necesidad del aula en una intervención documentable, accesible y susceptible de mejora. Los casos son recreaciones didácticas; sus instrumentos y escenarios requieren adaptación y validación antes de emplearse en investigación. No se presentan como experiencias implementadas ni como resultados empíricos de la Universidad de Córdoba.

Palabras clave: Design Thinking; innovación didáctica; enseñanza de las ciencias; modelización; mediación tecnológica; evaluación formativa.

3.1 Del fundamento del libro a las decisiones de aula

Una mediación adquiere sentido cuando modifica las oportunidades de comprender un fenómeno, construir una explicación o someter una afirmación a contraste. Los dos capítulos anteriores permiten reconocer por qué esa transformación exige algo más que escoger una aplicación. Se necesita una concepción del aprendizaje, una lectura del territorio y criterios para organizar el acompañamiento docente. El Design Thinking se incorpora en este punto como una ruta de trabajo que vuelve explícitas esas decisiones y facilita revisarlas con otros. Su aporte consiste en conectar la comprensión del problema con la construcción de alternativas y la observación de sus consecuencias.

Para el docente de ciencias, la dificultad inicial suele estar formulada de manera demasiado amplia: los estudiantes no participan, no comprenden las fórmulas o no relacionan la clase con la vida cotidiana. Tales expresiones orientan una preocupación, pero todavía no delimitan un problema abordable. Un proceso de diseño pregunta qué hacen los estudiantes ante una tarea específica, qué representaciones utilizan, dónde encuentran barreras y qué apoyos alteran su razonamiento. La observación del aprendizaje se convierte así en una fuente para decidir, en lugar de quedar relegada al momento de la calificación.

La propuesta de modelización e innovación situada de Parodi Camaño et al. (2026) constituye un antecedente cercano: organiza el trabajo alrededor de fenómenos próximos, mediaciones pertinentes, accesibilidad epistémica y evidencias de aprendizaje. Aquí se desarrolla una traducción operativa de ese planteamiento mediante ciclos de diseño. La modelización ayuda a determinar qué comprensión científica interesa; el Design Thinking ayuda a examinar para quién, bajo qué condiciones y mediante qué experiencia puede favorecerse. Son funciones complementarias, cuya articulación debe justificarse en cada proyecto.

El término ciencias se emplea en un sentido amplio que incluye ciencias naturales, ciencias formales y ciencias sociales, sin borrar sus diferencias. Una explicación de la corriente eléctrica exige

relacionar magnitudes físicas; una demostración matemática exige validez lógica; una interpretación social requiere examinar fuentes, posiciones e incertidumbres. La metodología de diseño puede compartirse, pero los criterios de evidencia no son intercambiables. Esta distinción impide convertir la interdisciplinariedad en una mezcla de actividades sin un aprendizaje disciplinar reconocible.

Tabla *2.* Articulación de la ruta con los fundamentos y su proyección aplicada

Eje de la obra	Decisión en el diseño	Evidencia esperada
Cognición distribuida	Definir qué operación apoya el recurso y qué juicio conserva el estudiante	Explicación elaborada y revisada por el aprendiz
Justicia digital territorial	Diseñar acceso equivalente con conectividad variable	Participación y producciones por modalidad de acceso
Ecosistema de agentes híbridos	Distribuir revisión entre docente, mentor, pares e IA	Historial de decisiones con responsable humano
Innovación situada	Seleccionar un fenómeno próximo y un propósito conceptual	Relación explícita entre contexto y contenido
Excelencia inclusiva	Diversificar apoyos conservando criterios comunes	Desempeños comparables en formatos diversos

Nota. Elaboración propia

3.2 Qué aporta el Design Thinking y cuáles son sus límites

El Design Thinking reúne prácticas de indagación, representación, generación de alternativas y experimentación propias del diseño. Brown (2009) contribuyó a su difusión en innovación organizacional, mientras Razzouk y Shute (2012) examinaron sus características y su relación con la resolución de problemas. Para trasladarlo a la educación conviene evitar una equivalencia apresurada entre innovación empresarial y aprendizaje. En el aula, una solución atractiva o aceptada por sus usuarios puede seguir siendo conceptualmente débil. La deseabilidad necesita dialogar con la precisión científica, la inclusión y la posibilidad de evaluar comprensión.

Panke (2019) muestra la diversidad de usos educativos de este enfoque. Esa diversidad invita a declarar qué se está diseñando: una experiencia de aprendizaje, un recurso, un servicio de acompañamiento o una actividad en la cual los propios estudiantes aprenden a diseñar. En este capítulo el objeto principal es la mediación didáctica, aunque los alumnos pueden participar como colaboradores. El docente conserva la responsabilidad curricular y la revisión disciplinar, pero incorpora la experiencia estudiantil en la identificación de barreras y en la valoración del prototipo.

La ruta no debe convertirse en una secuencia ritual de carteleras. Un mapa de empatía carece de valor si solo reúne suposiciones; una lluvia de ideas puede reproducir la primera solución imaginada; un prototipo puede impresionar sin mostrar razonamiento. Por ello, cada fase necesita un producto y una pregunta de salida. Se avanza cuando existe información suficiente para una decisión provisional, y se regresa cuando aparecen contradicciones relevantes. La iteración no justifica improvisar indefinidamente: debe registrar qué cambió, por qué y con qué consecuencia esperada.

La revisión de Li y Zhan (2022), centrada en experiencias escolares, identificó una presencia importante de áreas STEM y limitaciones asociadas a intervenciones breves y grupos pequeños. No

cabe concluir que aplicar las fases garantice mejoras duraderas. El marco se utiliza aquí como una hipótesis de organización de la innovación, cuya utilidad depende del contexto. La comparación entre versiones de una experiencia y la calidad de las evidencias recogidas permiten valorar su contribución sin atribuirle propiedades universales.

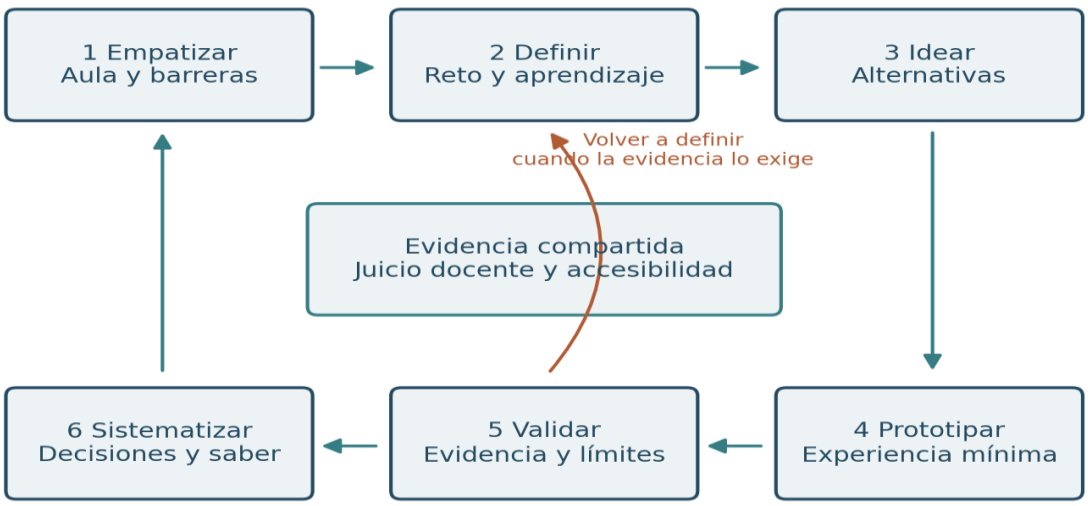
Conviene distinguir, además, el proceso de diseño y el diseño de investigación. El primero produce y mejora una intervención; el segundo establece cómo responder una pregunta con evidencia suficiente. Un docente puede desarrollar Design Thinking dentro de una investigación-acción, un estudio de caso o una investigación basada en diseño, pero debe justificar esa elección. Brown (1992) es un referente para pensar la complejidad de intervenir en ambientes reales y aprender del proceso, no una autorización para llamar experimento a cualquier actividad novedosa.

3.3 Una ruta de seis movimientos con retornos explícitos

La presentación que sirve de insumo a este capítulo propone empatizar, definir, idear, prototipar, validar y sistematizar. Se conserva esta adaptación porque hace visible una necesidad central del libro: transformar experiencia en conocimiento docente comunicable. Sistematizar no se atribuye como fase universal a todos los modelos de Design Thinking. Es una incorporación pedagógica deliberada para articular la innovación con el desarrollo profesional y con la memoria del ecosistema que se propondrá en el capítulo 4.

La ruta comienza con una lectura situada, pero no concluye definitivamente en el informe. Una validación puede mostrar que el problema fue mal definido; una prueba de accesibilidad puede exigir volver a la empatía; una sistematización puede revelar que una decisión eficaz dependía de una condición no registrada. En esos casos, regresar constituye una respuesta rigurosa a nueva información. La figura 3.1 muestra los retornos como parte del proceso y sitúa la evidencia en el centro de las decisiones.

Figura 1. *Ruta de diseño didáctico con retroalimentación. Elaboración propia a partir del material de clase y de Brown (2009), Panke (2019) y Jara (2018).*



Nota. Elaboración propia

Tabla 3. *Productos y condiciones para avanzar*

Movimiento	Producto mínimo	Condición de salida
Empatizar	Registro del contexto, barreras y fortalezas	Separar observaciones de suposiciones
Definir	Reto y aprendizaje delimitados	Identificar una evidencia inicial del problema
Idear	Alternativas comparables	Justificar selección y descarte
Prototipar	Secuencia y recursos utilizables	Hacer observable una operación científica
Validar	Contraste con criterios previos	Documentar hallazgos y límites
Sistematizar	Relato analítico y versión revisada	Formular un aprendizaje profesional transferible

Nota. Elaboración propia

Un expediente de diseño puede reunir todos estos productos sin multiplicar formularios. Basta una carpeta organizada por versiones, un registro de decisiones y una matriz que vincule objetivos con evidencias. La documentación debe ser proporcional al alcance de la intervención. Una experiencia breve necesita pocos instrumentos bien elegidos; una investigación de maestría requiere mayor trazabilidad. En ambos casos importa que otra persona pueda reconstruir la relación entre lo observado, lo decidido y lo concluido.

3.4 Empatizar mediante observación y escucha disciplinar

Empatizar significa comprender cómo se vive una experiencia de aprendizaje desde posiciones diferentes. La voz del estudiante es necesaria, pero no suficiente para diagnosticar una dificultad conceptual. Se combina con observación de tareas, revisión de producciones y conversación con otros actores. El enfoque de diseño centrado en las personas de IDEO.org (2015) aporta herramientas de escucha; su adaptación escolar requiere atender relaciones de poder, diversidad lingüística y el riesgo de interpretar el silencio como desinterés.

Una entrevista breve puede solicitar al estudiante que explique cómo resolvió una situación, qué parte no entendió y qué recurso le permitió avanzar. Preguntar únicamente si le gusta la tecnología produce información poco útil para rediseñar la enseñanza. En un ejercicio de clasificación biológica, por ejemplo, interesa saber qué rasgos considera pertinentes y cómo resuelve un desacuerdo. En matemáticas, se puede observar si distingue una regularidad de una demostración. La empatía incluye comprender las exigencias cognitivas de la tarea, no solo las preferencias de formato.

El mapa AEIOU permite registrar actividades, entornos, interacciones, objetos y usuarios. En este libro se usa como organizador de observaciones y se añade una columna de implicación didáctica. No se convierte automáticamente en instrumento de investigación validado. Antes de aplicarlo formalmente conviene revisar la claridad de sus categorías y realizar una prueba de uso. Los registros deben describir acciones concretas y evitar etiquetas personales como incapaz, apático o poco científico.

Tabla 4. *Ejemplo de observación AEIOU en una actividad de ciencias*

Dimensión	Registro posible	Implicación de diseño
Actividades	Copian el nombre de una especie sin justificarlo	Solicitar rasgos y comparación entre opciones
Entornos	La señal falla fuera del salón	Preparar fichas locales y sincronización posterior
Interacciones	Una persona controla el único dispositivo	Rotar observación, registro y argumentación
Objetos	La imagen carece de escala	Incorporar referencia de tamaño y contexto
Usuarios	Algunos explican mejor oralmente que por escrito	Permitir audio con los mismos criterios conceptuales

Nota. Elaboración propia.

Estos registros son ejemplos ilustrativos, no observaciones realizadas. Su función es mostrar cómo una descripción puede convertirse en una decisión. El equipo debería añadir evidencia contraria: estudiantes que sí justifican, recursos que funcionan sin conexión o tareas en las que la escritura favorece la precisión. Buscar excepciones evita construir una imagen homogénea del grupo. También ayuda a reconocer fortalezas aprovechables, como conocimiento territorial, destreza de observación o capacidad para mediar entre compañeros.

3.5 De la empatía a una comprensión inclusiva del problema

En coherencia con la justicia digital y la excelencia inclusiva desarrolladas en los capítulos 1 y 2, los casos escolares se leen desde fortalezas y barreras contextuales; el capítulo 4 retomará este criterio en el ecosistema de agentes híbridos. Esta premisa modifica la forma de elaborar un mapa de empatía. En lugar de inferir lo que un estudiante siente por su diagnóstico o condición social, el equipo documenta qué ha expresado y qué se observa en una situación concreta. Cuando una interpretación es incierta, se conserva como pregunta. La diferencia entre hecho, voz del participante e inferencia del diseñador debe permanecer visible en el expediente.

Las pautas de CAST (2024) aportan criterios para diversificar compromiso, representación y expresión. Su uso en el diseño implica preguntar quién puede acceder a la información relevante, quién puede intervenir y quién tiene oportunidad de demostrar comprensión. Un material con letra grande puede seguir siendo inaccesible si exige interpretar colores sin etiquetas; una actividad oral puede excluir si no ofrece otra forma de respuesta. La accesibilidad debe comprobarse en relación con la tarea científica completa y no con una característica aislada del recurso.

En una institución con pocos equipos, la colaboración puede ampliar oportunidades o reproducir desigualdades. Si siempre manipula el dispositivo quien tiene mayor experiencia, los demás reciben una participación periférica. El prototipo debe prever turnos intelectualmente significativos: formular una predicción, decidir una medición, cuestionar un resultado o explicar una discrepancia. Rotar únicamente el acto de pulsar una pantalla no garantiza una distribución justa del aprendizaje. La observación debe atender quién toma las decisiones y quién queda limitado a transcribirlas.

La conversación con familias y actores comunitarios resulta pertinente cuando el fenómeno involucra prácticas del territorio. Un catálogo de plantas puede beneficiarse de nombres y usos locales, siempre que exista acuerdo sobre qué información se comparte y cómo se reconoce su procedencia. La participación no debe utilizarse para extraer conocimientos sensibles ni para presentar una tradición como demostración científica de eficacia. El diseño puede reconocer distintos registros de conocimiento y enseñar a distinguir sus alcances sin descalificar a quienes los sostienen.

Al cerrar la fase, el equipo redacta una síntesis verificable: qué dificultad aparece, en qué tarea, para quiénes, bajo qué condiciones y con qué fortalezas disponibles. Si no hay evidencia suficiente, se planifica una observación adicional antes de escoger una tecnología. Este pequeño aplazamiento puede ahorrar la construcción de un recurso que resuelva un problema diferente del que realmente enfrenta el grupo.

3.6 Definir un reto científicamente abordable

La definición convierte una preocupación general en una pregunta de diseño. Su formulación debe incluir el grupo, la operación científica que se busca fortalecer y las condiciones de realización. La pregunta «¿cómo podríamos mejorar ciencias con IA?» es demasiado amplia para orientar una intervención. Una versión más útil sería «¿cómo podríamos ayudar a estudiantes de secundaria a justificar la conservación de la materia mediante representaciones accesibles y contraste de predicciones?». La herramienta se decide después de identificar la demanda de comprensión.

Wiggins y McTighe (2005) proponen comenzar por los resultados de aprendizaje y la evidencia aceptable. Esta lógica permite evitar que la ideación se desvíe hacia productos vistosos sin correspondencia curricular. Para cada reto se escribe un objetivo de aprendizaje, una tarea que lo haga observable y una condición de calidad. El objetivo no debe confundirse con construir el recurso. Elaborar una simulación describe una acción del diseñador; explicar una relación causal mediante datos describe un aprendizaje esperado.

Tabla 5. *Del problema amplio al reto evaluable*

Formulación inicial	Reto delimitado	Evidencia de comprensión
No entienden electricidad	Explicar qué ocurre al variar resistencia con voltaje constante	Predicción, tabla y argumento causal
No saben clasificar	Justificar agrupaciones mediante caracteres observables	Clave de clasificación comentada
Confunden correlación y causalidad	Contrastar explicaciones sobre dos variables sociales	Argumento con alternativa y límite
No entienden proporcionalidad	Reconocer condiciones de una relación proporcional	Comparación de tablas y contraejemplo
No participan en química	Coordinar representaciones con apoyos diversos	Modelo explicado en formato accesible

Nota. Elaboración propia.

Definir exige también precisar aquello que la intervención no resolverá. Una secuencia de cuatro clases puede aportar a un concepto, pero difícilmente transformará por sí sola toda la cultura científica escolar. Delimitar el alcance protege la interpretación de los resultados y permite seleccionar instrumentos proporcionados. Si se pretende estudiar autonomía, hace falta una tarea sin la ayuda utilizada durante la práctica; si se pretende estudiar transferencia, debe incluirse una situación diferente de la ensayada.

La hipótesis de diseño puede formularse así: al ofrecer determinado apoyo, se espera que el estudiante realice una operación intelectual específica, porque el apoyo facilita una relación que antes resultaba difícil. No es una hipótesis causal confirmada, sino una explicación anticipada que orienta observación. Debe poder revisarse. Si los estudiantes completan el producto sin ejecutar la operación prevista, el problema no se resuelve calificando mejor la presentación: se modifica la tarea.

3.7 Idear alternativas y decidir con criterios explícitos

La ideación abre posibilidades antes de comprometer recursos. El equipo puede generar alternativas impresas, experimentales, digitales o híbridas y describir para cada una su mecanismo pedagógico. Una simulación permite variar condiciones; una ficha comparativa orienta observación; una discusión estructurada hace visibles desacuerdos; un agente conversacional puede devolver preguntas. La elección depende de qué operación requiere apoyo. El marco TPACK de Mishra y Koehler (2006) recuerda la necesidad de articular conocimiento disciplinar, pedagógico y tecnológico.

Una dinámica útil consiste en idear individualmente, contrastar en parejas y luego discutir las opciones con criterios comunes. Esta organización reduce la influencia de la primera voz dominante. Antes de puntuar, cada propuesta debe tener una descripción equivalente: objetivo, estudiantes, recursos, duración, evidencia y principal riesgo. Comparar una idea muy detallada con otra apenas nombrada introduce una ventaja artificial. La revisión entre pares debe ayudar a completar ambas antes de emitir un juicio.

Tabla 6. *Matriz ilustrativa para seleccionar una mediación*

Criterio	Peso propuesto	Fichas y campo	Simulación guiada	Chatbot abierto
Pertinencia conceptual	30 %	4	5	3
Accesibilidad y equidad	25 %	5	3	2
Evidencia de aprendizaje	20 %	4	5	2
Viabilidad operativa	15 %	5	3	3
Sostenibilidad	10 %	5	4	2
Resultado ponderado sobre 5	100 %	4,50	4,05	2,45

Nota. Puntuaciones hipotéticas para mostrar el procedimiento, no resultados de una evaluación de tecnologías. Escala de 1 a 5. El puntaje se obtiene sumando el producto de cada peso por la valoración correspondiente. Los pesos deben acordarse antes de comparar opciones.

La tabla ilustra que una opción sencilla puede resultar preferible bajo ciertas condiciones. No establece que las fichas sean siempre mejores que una simulación o un chatbot. Si el fenómeno exige manipular variables invisibles y existe acceso estable, las puntuaciones cambiarían. El acta de decisión debe conservar esa dependencia contextual. También conviene establecer condiciones no compensables: una vulneración grave de privacidad o un error científico no se neutralizan con una buena valoración estética.

Cuando dos alternativas quedan próximas, una prueba breve suele ser más útil que prolongar la discusión. El equipo puede observar a dos o tres participantes utilizando versiones mínimas y registrar dificultades de comprensión de instrucciones. Esta prueba de usabilidad no demuestra aprendizaje ni permite generalizar, pero identifica fallas evitables antes de invertir en una implementación mayor. La decisión final combina puntuación, evidencia cualitativa y juicio profesional documentado.

3.8 Prototipar una experiencia y no solamente un recurso

Un prototipo didáctico incluye una secuencia de acciones, un recurso, una forma de acompañamiento y una evidencia esperada. Puede ser una guía en papel, una simulación configurada, una ficha de observación o un guion de conversación. Su carácter mínimo se refiere a que contiene lo necesario para probar la hipótesis de diseño, no a que simplifica el contenido hasta volverlo trivial. La versión inicial debe permitir observar dónde se produce la comprensión y dónde se interrumpe.

El diseño distingue antes, durante y después. Antes se recupera una explicación o predicción individual. Durante se introduce el apoyo y se registran decisiones. Después se solicita reconstruir la explicación y aplicarla en otra situación. Esta organización permite comparar representaciones sin confundirlas con un simple recuerdo de instrucciones. El docente decide qué datos conservar y qué preguntas utilizar para que el producto final no oculte el proceso seguido.

Tabla 7. *Guion mínimo de prototipo didáctico*

Componente	**Especificación requerida**	**Pregunta de revisión**
Fenómeno y concepto	Situación y relación científica central	¿Qué se busca comprender?
Punto de partida	Producción individual inicial	¿Qué explicación trae el estudiante?
Mediación	Recurso y operación que apoya	¿Cómo cambia la actividad intelectual?
Interacción	Roles, preguntas y apoyos	¿Quién decide y quién explica?
Evidencia	Producto, criterio y registro	¿Qué permitiría reconocer un avance?
Transferencia	Situación nueva sin apoyo intensivo	¿Qué puede hacer fuera del prototipo?
Contingencia	Alternativa accesible y sin conexión	¿Se conserva el propósito conceptual?

Nota. Elaboración propia.

La fidelidad del prototipo debe corresponder a la incertidumbre que se desea resolver. Si la duda es si las instrucciones resultan comprensibles, un boceto basta. Si se necesita evaluar una interacción con un simulador, se requiere una versión funcional. Si el interés es aprendizaje sostenido,

una demostración de cinco minutos no alcanza. Esta correspondencia evita dedicar tiempo a pulir una interfaz antes de saber si la tarea tiene sentido pedagógico.

Se recomienda conservar una ficha por versión con fecha, cambio, motivo y consecuencia esperada. Una modificación en el vocabulario puede alterar la dificultad; un nuevo ejemplo puede enseñar directamente la respuesta de la prueba; un apoyo adicional puede cambiar la comparación entre grupos. La trazabilidad permite interpretar estas decisiones y facilita que otros docentes adapten el recurso sin perder de vista su mecanismo de aprendizaje.

3.9 Modelización y argumentación como núcleo del prototipo

Una representación se convierte en modelo cuando se utiliza para describir, explicar o predecir aspectos de un fenómeno y se reconocen sus limitaciones. Justi y Gilbert (2002) y Schwarz et al. (2009) aportan bases para pensar la modelización como actividad de construcción y revisión. En el diseño propuesto, el estudiante no recibe únicamente una imagen correcta: produce una representación, la confronta con evidencia y explica por qué la modifica. La tecnología puede facilitar esa revisión, pero no sustituye la justificación.

Un prototipo de química puede pedir que se dibujen partículas antes y después de disolver una sustancia. El docente pregunta qué conserva el dibujo, qué omite y cómo se relaciona con una observación macroscópica. Un prototipo de física puede contrastar una curva generada por una simulación con una predicción previa. En ambos casos la discrepancia se utiliza como objeto de discusión. La actividad pierde parte de su valor si el estudiante borra la primera versión y solo entrega la respuesta considerada correcta.

La argumentación requiere conectar afirmación, evidencia y razonamiento. Berland y Reiser (2009) ayudan a comprender su relación con la explicación científica. Para la ruta de este capítulo, la evidencia no es una imagen decorativa ni una lista de enlaces. Debe ser pertinente para sostener una afirmación concreta y su alcance debe explicitarse. Un registro de temperatura puede apoyar una comparación bajo ciertas condiciones; no demuestra por sí solo que una política ambiental sea eficaz.

Figura 2. *Cadena de trazabilidad entre reto, mediación y aprendizaje. Elaboración propia. Las flechas representan relaciones que el diseño debe justificar, no efectos ya demostrados.*



Nota. Elaboración propia.

La distinción resulta especialmente útil al ampliar la propuesta a ciencias sociales. Un mapa de movilidad escolar puede permitir relacionar distancia, tiempo y acceso, pero una asociación observada no demuestra causalidad. El estudiante debe considerar variables omitidas y perspectivas de actores. En matemáticas, algunos enunciados se justifican mediante demostración o contraejemplo, no por acumulación de mediciones. La innovación didáctica debe conservar estas diferencias y utilizarlas como oportunidad para enseñar cómo se produce conocimiento en cada campo.

3.10 Validar con evaluación formativa y criterios compartidos

La validación tiene varios niveles. Primero se revisan claridad, accesibilidad, funcionamiento y precisión conceptual. Después se examina si la experiencia produce los rastros de aprendizaje previstos. Finalmente, cuando el diseño de investigación lo permite, se estudia la contribución de la intervención frente a otras condiciones. Confundir estos niveles lleva a presentar satisfacción como eficacia o una mejora observada como efecto causal. El informe debe nombrar exactamente qué se validó y mediante qué procedimiento.

Black y Wiliam (2009) sitúan la evaluación formativa en el uso de evidencias para orientar decisiones de enseñanza y aprendizaje. Una rúbrica adquiere esa función cuando permite al estudiante reconocer qué debe mejorar y le ofrece una oportunidad real para hacerlo. Si solo aparece al finalizar, puede servir para calificar, pero aporta menos al ajuste del proceso. La ruta propone compartir los criterios antes de implementar y utilizarlos en conversaciones de retroalimentación.

Tabla 8. *Rúbrica orientadora para una explicación científica*

Criterio	Inicial	En desarrollo	Consolidado
Precisión conceptual	Emplea términos sin relación clara	Relaciona conceptos con errores parciales	Explica relaciones pertinentes y reconoce condiciones
Uso de evidencia	Afirma sin datos o fuentes	Incluye evidencia con conexión incompleta	Selecciona evidencia y justifica su pertinencia
Revisión del modelo	Repite la versión inicial	Modifica sin explicar el motivo	Explica cambios a partir del contraste
Autonomía	Depende de respuestas suministradas	Resuelve con preguntas de apoyo	Justifica y transfiere con apoyo reducido
Reconocimiento de límites	Presenta certeza absoluta	Menciona alguna limitación	Delimita lo que puede y no puede concluir

Nota. Instrumento propuesto para adaptación y pilotaje. Sus niveles no constituyen una escala psicométrica validada. La modalidad oral, escrita, gráfica o táctil puede variar, conservando criterios conceptuales equivalentes.

Antes de valorar producciones, dos docentes pueden aplicar la rúbrica a ejemplos comunes y discutir diferencias. El propósito inicial es aclarar descriptores, no fabricar un coeficiente de confiabilidad. Si se realiza un estudio formal, se define una estrategia apropiada para examinar consistencia entre evaluadores y se informa su resultado. Los desacuerdos ofrecen información sobre criterios ambiguos o sobre formas de comprensión no previstas en el instrumento.

La decisión posterior no se reduce a continuar o abandonar. Puede consistir en mantener el recurso y cambiar las preguntas, sustituir una representación, ampliar tiempo de discusión o retirar una ayuda que induce dependencia. El registro de validación debe conectar cada ajuste con una evidencia. También debe conservar los aspectos que no mejoraron y las explicaciones alternativas, como mayor familiaridad con la prueba o diferencias en asistencia.

3.11 Caso recreado de biodiversidad y clasificación argumentada

Se plantea una secuencia para estudiantes de secundaria en un entorno marino-costero de Córdoba. El reto consiste en pasar del reconocimiento visual de organismos a la justificación de agrupaciones mediante caracteres observables. El diseño retoma la línea de taxonomía de la presentación, pero no supone que haya sido implementada. El uso eventual de una aplicación de identificación se subordina a una tarea de contraste: la sugerencia digital es una hipótesis que debe revisarse con otros recursos y con la calidad de la observación.

La fase inicial solicita clasificar un conjunto de imágenes y explicar el criterio usado. El docente identifica si predominan color, tamaño, hábitat u otros rasgos y examina cuándo esos criterios resultan insuficientes. En la empatía se consideran experiencia local, acceso a dispositivos, movilidad y condiciones seguras de observación. Si una salida no es viable, puede utilizarse un banco de imágenes propio con permisos y datos contextuales. La alternativa debe conservar el razonamiento clasificatorio, aunque cambie la experiencia material.

El prototipo integra una ficha con imagen, rasgos, clasificación provisional, fuente de contraste y nivel de certeza. Los equipos comparan dos organismos semejantes y buscan un carácter que permita distinguirlos. Cuando no existe información suficiente, registran la incertidumbre en lugar de completar el nombre mediante una conjetura. Esta decisión enseña que la calidad del registro limita la identificación. El producto final incluye una agrupación argumentada y una revisión de la primera clasificación.

Tabla 9. *Secuencia de biodiversidad y evidencia asociada*

Momento	Tarea	Evidencia que se conserva
Inicio	Clasificar imágenes sin ayuda automática	Criterios iniciales y dudas
Observación	Registrar caracteres y contexto	Fichas con imagen y descripción
Contraste	Comparar identificación provisional con fuentes	Acuerdos, desacuerdos y certeza
Revisión	Reconstruir agrupaciones	Justificación del cambio
Transferencia	Clasificar un organismo no trabajado	Argumento individual y límites

Nota. Elaboración propia.

La evaluación no premia únicamente acertar el nombre. Valora la relación entre rasgos y clasificación, el manejo de incertidumbre y la capacidad para justificar un cambio. La participación puede expresarse mediante texto, audio o explicación apoyada en imágenes. Si se comparten registros, deben protegerse ubicaciones sensibles y datos personales. El aporte esperado al territorio es aprender a observar y argumentar sobre biodiversidad, no producir automáticamente un inventario científico validado.

3.12 Caso recreado de etnobotánica y diálogo de saberes

El segundo caso propone un catálogo escolar que pueda consultarse sin conexión. El reto es relacionar observación botánica, memoria comunitaria y comunicación científica sin confundir usos reportados con propiedades comprobadas. La empatía involucra a estudiantes y personas dispuestas a compartir conocimientos, con acuerdos claros sobre registro, atribución y circulación. No todo conocimiento debe publicarse, y la decisión de no compartirlo merece respeto. El diseño del recurso comienza por esas condiciones de participación.

Cada ficha distingue nombre local, descripción observable, identificación científica cuando pueda verificarse, uso narrado por la comunidad y fuente consultada. La distinción entre campos impide que una aplicación o una respuesta generada convierta una atribución incierta en una afirmación categórica. Las referencias deben ser recuperables y el catálogo debe indicar quién revisó la información. En actividades escolares no se propone ingerir, aplicar ni experimentar con plantas de uso medicinal; el objetivo es analizar formas de conocimiento y clasificar información.

La primera versión puede construirse con fichas impresas y una carpeta digital local. Los estudiantes revisan si un compañero comprende las categorías y puede localizar la evidencia que respalda una afirmación. Después se incorporan fotografías accesibles, descripciones y un índice. La prueba principal consiste en solicitar una nueva ficha a partir de información incompleta y valorar si distingue observación, testimonio y fuente científica. Un catálogo estéticamente cuidado que mezcle esos registros necesita rediseño.

Tabla 10. *Campos para una ficha etnobotánica escolar*

Campo	Regla de registro	Error que permite evitar
Nombre local	Conservar variante y contexto de uso	Tratar un nombre común como identificación única
Rasgos observables	Describir sin inferir propiedades	Confundir apariencia con función
Identificación	Indicar fuente y nivel de certeza	Afirmar una especie sin contraste
Uso reportado	Atribuir el testimonio y contar con permiso	Presentar tradición como eficacia demostrada
Información científica	Registrar referencia recuperable	Repetir afirmaciones sin respaldo
Condiciones de circulación	Acordar acceso y reconocimiento	Divulgar conocimiento sensible

Nota. Elaboración propia.

El diálogo con ciencias sociales aparece al examinar quiénes transmiten los saberes, cómo cambian los nombres y qué relaciones existen entre territorio y prácticas. El diálogo con biología se concentra en caracteres y clasificación. La contribución del Design Thinking es organizar un producto útil para la comunidad escolar a partir de estas necesidades, sin absorber todas las preguntas en una sola disciplina. La sistematización debe explicar qué tensiones surgieron y cómo se resolvieron con los participantes.

3.13 Caso recreado de electricidad y contraste de modelos

El caso de electricidad se centra en una relación delimitada: cómo cambia la corriente al variar resistencia bajo un voltaje constante, dentro de un modelo de circuito resistivo simple. El docente selecciona un simulador que permita representar y modificar esas magnitudes, después de comprobar disponibilidad y accesibilidad. La referencia a una herramienta concreta, como PhET, no reemplaza esa comprobación. La secuencia debe seguir siendo comprensible si se utiliza una tabla de datos preparada para analizar la misma relación.

Antes de interactuar, cada estudiante predice qué ocurrirá y explica su razonamiento. Durante la exploración, el equipo modifica una sola variable y registra condiciones, valores y unidades. El docente observa si los cambios son deliberados o si se realizan ensayos sin propósito. Al finalizar, se compara la predicción con la evidencia y se pide explicar una discrepancia. El modelo no se valida por coincidir con una fórmula memorizada, sino por el uso coherente de relaciones y condiciones.

Tabla 11. *Datos hipotéticos de un circuito ideal para discusión*

Voltaje constante	Resistencia	Corriente calculada	Pregunta de contraste
6 V	3 Ω	2 A	¿Qué relación permite obtener el valor?
6 V	6 Ω	1 A	¿Qué cambió al duplicar resistencia?
6 V	12 Ω	0,5 A	¿La corriente cambia en la misma proporción directa?
6 V	24 Ω	0,25 A	¿Qué predicción harías para otra resistencia?

Nota. Valores didácticos calculados mediante I = V/R en un modelo ideal. No son mediciones ni datos de estudiantes. La actividad no requiere conexión a la red eléctrica ni manipulación de instalaciones domésticas.

La ampliación a matemáticas permite comparar proporcionalidad directa e inversa, revisar unidades y representar la relación gráficamente. La ampliación a ingeniería puede discutir límites del modelo ideal, sin convertir el ejercicio escolar en asesoría técnica. El prototipo gana profundidad cuando el alumno explica cuándo puede utilizar la relación y qué información falta para abordar un circuito diferente. Una respuesta numérica correcta no basta si el procedimiento carece de interpretación.

La validación compara explicaciones iniciales y finales e incorpora una tarea individual con valores distintos. Se registra si el estudiante conserva la relación conceptual cuando no tiene acceso al simulador. Si los equipos obtienen resultados correctos pero no pueden anticipar un caso nuevo, conviene introducir más tiempo de predicción y discusión, antes de añadir nuevas funciones digitales. Esa decisión ejemplifica cómo el análisis de aprendizaje orienta la iteración.

3.14 Caso recreado de química y agentes híbridos

Este caso sobre conservación de la materia anticipa la aplicación conceptual que el capítulo 4 desarrollará mediante un ecosistema de agentes híbridos. El docente presenta un caso anonimizado en el que varios estudiantes interpretan la desaparición visual de una sustancia como desaparición material. El mentor ayuda a identificar el contenido y las representaciones necesarias. Un agente de IA puede proponer preguntas alternativas, pero su contribución se revisa antes de incorporarse. La intervención no requiere que los estudiantes entreguen datos personales ni que el agente conozca diagnósticos.

El prototipo combina observación de una situación segura seleccionada por el docente, modelos de partículas y explicación verbal o escrita. El estudiante representa un estado inicial y uno final, identifica qué entidades conserva y explica los límites de su dibujo. La accesibilidad se atiende mediante representaciones táctiles o descripciones cuando sean necesarias, sin reducir la exigencia de explicar la conservación. La diversidad de formatos responde al mismo propósito conceptual.

La IA puede funcionar como interlocutor de ensayo para el profesor. Una instrucción de trabajo solicita identificar posibles confusiones en un guion, formular preguntas que no anticipen la respuesta y declarar incertidumbres. El docente verifica cada sugerencia con conocimiento disciplinar y fuentes. El registro conserva qué propuesta aceptó, cuál rechazó y por qué. Esta trazabilidad transforma la interacción en evidencia de razonamiento profesional, en lugar de convertir el texto generado en autoridad pedagógica.

Tabla 12. *Distribución de decisiones en el prototipo de química*

Actor	Contribución	Límite
Docente	Selecciona fenómeno, apoyos y evaluación	Responde por contenido y decisiones
Mentor	Revisa coherencia disciplinar e inclusión	No sustituye el conocimiento situado del docente
Pares	Prueban instrucciones y discuten alternativas	Sus opiniones requieren contraste
Agente de IA	Genera preguntas y organiza versiones	No diagnostica ni certifica aprendizaje
Estudiantes	Modelizan, contrastan y explican	Deben conocer criterios y opciones de participación

Nota. Elaboración propia.

La validación puede mostrar que una analogía generada facilita una primera comprensión y, al mismo tiempo, introduce un error. Ese hallazgo no invalida todo el proceso: obliga a modificar o retirar la analogía y a documentar el criterio. El objeto de evaluación incluye tanto el aprendizaje estudiantil como la calidad de las decisiones del equipo docente. Así, el Design Thinking se integra al ecosistema como un procedimiento para aprender del diseño y de sus límites.

3.15 Caso interdisciplinar de agua y decisiones comunitarias

Un problema relacionado con el agua permite articular química, biología, matemáticas y ciencias sociales, siempre que cada área conserve una pregunta reconocible. El reto didáctico puede consistir en analizar información sobre usos y características del agua del entorno y construir una recomendación escolar argumentada. La actividad no pretende certificar potabilidad ni reemplazar análisis especializados. Su valor está en aprender a distinguir indicadores, interpretar variación y comunicar incertidumbre con responsabilidad.

La empatía examina cómo se obtiene y utiliza el agua, quiénes participan en esas tareas y qué información consideran relevante distintos actores. La definición delimita una pregunta manejable, por ejemplo comparar registros de una variable bajo condiciones previamente acordadas. La ideación considera observación, datos públicos, simulaciones o conjuntos didácticos preparados. Cuando medir no sea seguro o técnicamente viable, el docente puede trabajar con datos secundarios identificados, evitando presentar datos inventados como mediciones locales.

El prototipo requiere un diccionario de variables: nombre, unidad, instrumento o fuente, fecha y significado. Los estudiantes grafican, examinan valores atípicos y proponen explicaciones alternativas. Un cambio observado puede asociarse a variaciones de muestreo, condiciones ambientales o errores de registro. La discusión social incorpora cómo se comunica un hallazgo sin estigmatizar a una comunidad. La recomendación final distingue aquello que la evidencia permite sostener de lo que necesita una indagación adicional.

Tabla 13. *Contribuciones disciplinares en el caso del agua*

Campo	Pregunta de aprendizaje	Producto
Química	¿Qué representa cada variable y qué no permite inferir?	Interpretación con unidades y límites
Biología	¿Qué relaciones ecológicas podrían examinarse?	Hipótesis que requieran contraste
Matemáticas	¿Cómo describir variación y comparar registros?	Gráfico con escala, fuente y explicación
Ciencias sociales	¿Quiénes participan y cómo se toman decisiones?	Mapa de actores y argumento situado
Tecnología	¿Cómo registrar y comunicar información accesible?	Recurso reutilizable y trazable

Nota. Elaboración propia.

La validación examina si las recomendaciones corresponden a los datos y si se reconocen límites de inferencia. También revisa la distribución de participación: quién observa, quién calcula, quién interpreta y quién presenta. La interdisciplinariedad se fortalece cuando las contribuciones se necesitan mutuamente para responder el reto. Si cada área produce un fragmento desconectado, el siguiente ciclo debe concentrarse en una pregunta compartida y en una evidencia que obligue a integrar perspectivas.

3.16 Sistematizar para producir conocimiento profesional

Jara (2018) distingue la sistematización de una narración de actividades. En la ruta propuesta, sistematizar implica reconstruir decisiones y comprender por qué la experiencia tomó una dirección particular. La pregunta puede centrarse en cómo se modificó una representación, qué barrera resultó decisiva o qué tipo de retroalimentación permitió revisar un argumento. Elegir un foco evita convertir el informe en una acumulación de fotografías y descripciones sin interpretación.

El expediente reúne versiones del recurso, producciones contrastables, notas de observación y retroalimentación. No todo debe publicarse. Se seleccionan episodios que ayuden a responder la pregunta, se anonimizan datos y se conservan las condiciones de producción. Una captura aislada difícilmente demuestra un cambio; una secuencia de versiones acompañada de justificaciones permite analizarlo mejor. El informe debe reconocer también los registros ausentes y cómo esa ausencia limita las conclusiones.

Tabla 14. *Matriz para reconstruir decisiones y aprendizajes*

Episodio	Evidencia	Interpretación provisional	Ajuste
Instrucción mal comprendida	Preguntas repetidas y respuestas fuera de tarea	Vocabulario ambiguo	Reformular y probar con otro lector
Identificación sin argumento	Fichas con nombre pero sin rasgos	La tarea premia respuesta final	Exigir contraste entre opciones
Participación concentrada	Registro de roles y turnos	Control del recurso por pocos estudiantes	Redistribuir decisiones científicas
Explicación dependiente	Buen producto grupal y dificultad individual	Apoyo demasiado intenso	Retirar ayudas gradualmente
Modelo revisado	Versiones y justificación del cambio	Contraste productivo con evidencia	Conservar la estrategia y replicar con cautela

Nota. Episodios ilustrativos. En una sistematización real deben sustituirse por registros de la experiencia y mantenerse separadas observación e interpretación.

La transferencia se formula como una proposición condicionada. En lugar de afirmar que una herramienta funciona, se explica para qué aprendizaje, con qué apoyos y bajo qué condiciones resultó útil. Otro docente podrá modificar recursos, duración o modalidad, pero necesitará reconocer el mecanismo que conviene conservar. Esta forma de comunicar conecta con la comunidad de práctica que se propondrá en el capítulo 4 y con la agenda investigativa del capítulo 5.

3.17 Gestión de una implementación viable

Una innovación sostenible requiere asignar tiempo a diseño, prueba y análisis. La implementación no debe consumir todos los recursos disponibles y dejar la evaluación para un momento indefinido. Se propone organizar un ciclo breve con responsabilidades claras y puntos de revisión. Su duración dependerá del contenido y del calendario escolar. La siguiente secuencia es una orientación de planificación, no una prescripción de duración suficiente para demostrar cambios estables.

Tabla 15. *Plan orientador de un ciclo de seis semanas*

Semana	Foco	Producto y responsable
1	Comprensión del problema	Evidencia inicial y contexto por el docente
2	Definición e ideación	Reto y alternativas revisados con pares
3	Construcción y prueba de uso	Prototipo con revisión del mentor
4	Implementación inicial	Registros de tareas y participación
5	Ajuste y nueva aplicación	Segunda versión y evidencia comparable
6	Interpretación y comunicación	Síntesis crítica y decisión de continuidad

Nota. Elaboración propia.

El presupuesto debe incluir preparación, formación, accesibilidad, mantenimiento y tiempo de revisión. Un recurso gratuito puede exigir muchas horas de adaptación; una plataforma disponible puede perder utilidad si no existe apoyo para sostenerla. El equipo registra estos costos en unidades pertinentes, incluso cuando no dispone de una valoración monetaria. La factibilidad se juzga en relación con la capacidad real de la institución y no con las condiciones ideales de una demostración.

Se necesita también una regla de interrupción. Si aparecen errores científicos persistentes, exposición de datos, barreras insalvables de participación o una carga docente desproporcionada, el prototipo debe pausarse y rediseñarse. Detener una versión constituye una decisión profesional cuando protege el aprendizaje. El registro explica la razón y conserva alternativas posibles. Esta práctica evita que el entusiasmo inicial obligue a mantener una tecnología que ya no responde al propósito.

La participación estudiantil en el diseño debe tener consecuencias visibles. Si los alumnos señalan que una instrucción confunde, que un formato excluye o que un recurso impide discutir, la respuesta del equipo debe documentarse. Escuchar sin modificar nada convierte la empatía en un trámite. La continuidad del proyecto depende de una relación de confianza en la que las observaciones puedan cuestionar decisiones sin atribuir culpas a quienes encuentran dificultades.

3.18 Conclusiones y puente hacia la aplicación conceptual

La adaptación desarrollada muestra cómo pasar de un problema situado a una intervención que deja rastros examinables. La ruta no garantiza innovación por sí misma. Su valor depende de que cada movimiento contribuya a una decisión mejor fundada y de que el equipo esté dispuesto a revisar sus supuestos. El recurso tecnológico se elige por su función en la comprensión y se juzga junto con la tarea, el acompañamiento y las condiciones de acceso.

El aporte al conjunto del libro es operativo. La cognición distribuida se concreta al decidir qué apoyo ofrece el artefacto y qué responsabilidad conserva el estudiante. La justicia digital se expresa en alternativas equivalentes y distribución de participación. El ecosistema de agentes híbridos se materializa en roles, revisión y escalamiento humano. La excelencia inclusiva se observa cuando distintos estudiantes pueden afrontar una demanda científica exigente con apoyos pertinentes.

Los casos propuestos amplían la mirada más allá de las ciencias naturales sin perder la especificidad de sus objetos. La clasificación biológica, el modelo químico, la relación matemática y la interpretación social requieren formas distintas de justificación. Un diseño riguroso reconoce esas

diferencias y construye encuentros alrededor de problemas comunes. La creatividad se vuelve educativamente valiosa cuando permite comprender mejor, revisar una explicación o participar de manera más equitativa.

El siguiente capítulo retoma esta ruta para organizar una propuesta conceptual de desarrollo profesional docente en química. El ecosistema de agentes híbridos articula los fundamentos cognitivos, las condiciones territoriales y las decisiones metodológicas desarrolladas hasta aquí: distribuye responsabilidades, acompaña el diseño y propone documentar su puesta a prueba. Esa aplicación permite examinar cómo se conectan los tres primeros capítulos, sin atribuir resultados a una intervención todavía no validada. A partir de esta articulación, el capítulo final revisará literatura reciente y formulará preguntas sobre autonomía, formación docente, accesibilidad y transferencia territorial.

Capítulo IV

Ecosistema Pedagógico de Agentes Híbridos para el Desarrollo Profesional de Docentes de Química

Aplicación conceptual de los fundamentos y de la ruta metodológica a una enseñanza inclusiva, reflexiva y situada

Resumen

La transformación de la práctica de los docentes de química en el sector educativo, exige experiencias de desarrollo profesional vinculadas con problemas auténticos del aula, sostenidas en el tiempo y capaces de articular dos saberes que suelen investigarse por separado, el disciplinar y el didáctico y ponerlos al servicio de la educación inclusiva, apoyada en la tecnología y la reflexión. Hoy la promesa de la inteligencia artificial en la educación inclusiva supera lo que la evidencia respalda, de modo que al proponer un ecosistema no buscamos automatizar la enseñanza, sino ampliar el juicio del docente. Como aplicación conceptual de los fundamentos epistemológicos, del marco territorial y de la ruta de Design Thinking de los tres primeros capítulos, este capítulo propone la construcción conceptual de un ecosistema pedagógico mediado por agentes híbridos, correspondiente a un agente virtual basado en inteligencia artificial y agentes humanos de mentoría y colaboración, para acompañar a docentes de química en el análisis de casos escolares caracterizados, la profundización conceptual, el diseño de unidades didácticas flexibles, la implementación, la sistematización y comunicación de experiencias. El ecosistema se fundamenta en el desarrollo profesional situado, la práctica reflexiva, el conocimiento didáctico del contenido, el Diseño Universal para el Aprendizaje, la investigación-acción educativa y la inteligencia artificial híbrida centrada en el ser humano. Se definen sus principios, componentes, relaciones, mecanismos de funcionamiento y condiciones éticas. La tesis central sostiene que la tecnología adquiere valor pedagógico cuando amplía la capacidad del docente para interpretar la diversidad, justificar decisiones, contrastar evidencias y reconstruir críticamente su práctica, sin sustituir su juicio profesional. El capítulo concluye que lo que estructura el ecosistema es el ciclo de reflexión documentada, por encima de cualquier herramienta digital, un ciclo que conecta caso, conocimiento, diseño, acción, evidencia, sistematización y transformación.

Palabras clave: desarrollo profesional docente; enseñanza de la química; educación inclusiva; agentes híbridos; inteligencia artificial; práctica reflexiva; ecosistema pedagógico.

Abstract

Transforming the practice of chemistry teachers in the education sector requires professional development experiences linked to authentic classroom problems—sustained over time and capable of integrating two forms of knowledge often studied separately: disciplinary knowledge and pedagogical knowledge. These must be harnessed for inclusive education, supported by technology and reflection. Today, the promise of artificial intelligence in inclusive education often outpaces the supporting evidence; thus, in proposing an ecosystem, the aim is not to automate teaching but to enhance the teacher's judgment. As a conceptual application of the epistemological foundations, territorial framework and Design Thinking pathway developed in the first three chapters, this chapter proposes the conceptual construction of a pedagogical ecosystem mediated by hybrid agents—comprising an AI-based virtual agent alongside human agents for mentoring and collaboration—to

support chemistry teachers in analyzing specific school-based cases, deepening conceptual understanding, designing flexible teaching units, and implementing, systematizing, and communicating their experiences. The ecosystem is grounded in situated professional development, reflective practice, pedagogical content knowledge, Universal Design for Learning, educational action research, and human-centered hybrid artificial intelligence. Its principles, components, relationships, operational mechanisms, and ethical conditions are defined. The central thesis holds that technology acquires pedagogical value when it expands the teacher's capacity to interpret diversity, justify decisions, compare evidence, and critically reconstruct their practice, without replacing their professional judgment. The chapter concludes that the ecosystem is structured by the cycle of documented reflection—prioritizing this over any specific digital tool—a cycle that connects case, knowledge, design, action, evidence, systematization, and transformation.
Keywords: teacher professional development; chemistry education; inclusive education; hybrid agents; artificial intelligence; reflective practice; pedagogical ecosystem.

4.1 Introducción

Los capítulos 1 y 2 establecieron que la mediación debe fortalecer el pensamiento científico y responder a condiciones institucionales y territoriales concretas. El capítulo 3 convirtió esos criterios en una ruta de diseño. Este capítulo los articula en una propuesta de acompañamiento a docentes de química: los agentes humanos y virtuales apoyan decisiones dentro de esa ruta, mientras el docente conserva la responsabilidad disciplinar, didáctica y ética. Se presenta una aplicación conceptual, cuyos efectos y viabilidad deberán estudiarse mediante implementación y evaluación documentadas.

La enseñanza de la química enfrenta una tensión permanente entre la complejidad epistemológica de la disciplina y la diversidad de quienes aprenden. Los fenómenos químicos se experimentan en el nivel macroscópico, se explican mediante entidades y procesos submicroscópicos y se representan a través de lenguajes simbólicos especializados. El docente debe ayudar a los estudiantes a transitar entre estos niveles sin convertir fórmulas, modelos o analogías en fines aislados. A esta exigencia se suman concepciones alternativas persistentes, condiciones de seguridad en el laboratorio, restricciones materiales, demandas curriculares y múltiples barreras para la participación.

La educación inclusiva profundiza este desafío porque obliga a abandonar la idea de un estudiante promedio. En un mismo grupo pueden coexistir diferencias sensoriales, cognitivas, lingüísticas, culturales, socioeconómicas y emocionales, así como experiencias previas desiguales con la ciencia. Los diagnósticos y caracterizaciones pueden orientar apoyos, pero también pueden producir estigmas si se utilizan como explicaciones totales de la persona. Una enseñanza inclusiva de la química requiere interpretar la relación entre las características del estudiante, las demandas de la disciplina, el diseño curricular y las condiciones del entorno.

La educación no formal como las charlas, conferencias o video tutoriales resulta insuficiente. El docente necesita espacios para estudiar casos reales, fortalecer su conocimiento didáctico, diseñar estrategias para llevarlas al aula, observar sus efectos y discutirlos con otros. Desimone (2009) identifica como rasgos del desarrollo profesional efectivo el foco en el contenido, el aprendizaje activo, la coherencia, la duración y la participación colectiva y Darling-Hammond et al. (2017) añaden el uso de modelos, la retroalimentación, la reflexión y el acompañamiento experto. Estas características reclaman una arquitectura que conecte recursos, personas, herramientas, prácticas y evidencias.

La inteligencia artificial generativa abre posibilidades para ofrecer acompañamiento continuo, personalizar rutas, producir alternativas de representación, organizar evidencias y sostener procesos de escritura reflexiva. Conviene mencionar que Estrada Palencia et al. (2026) en su revisión sistemática

sobre chatbots de IA e inclusión, encontraron beneficios plausibles, pero sobre una base de evidencia frágil con muestras pequeñas, implementaciones breves y resultados heterogéneos, lo que limita cualquier generalización. Esas mismas capacidades abren puerta a riesgos como información incorrecta, sesgos, dependencia y un manejo opaco o indebido de los datos. UNESCO (2024a) propone un enfoque humanocéntrico en el que la IA fortalezca capacidades y derechos sin desplazar la agencia humana. Desde esta perspectiva, el problema no consiste en decidir entre docente o tecnología, sino en diseñar formas de colaboración en las que las capacidades computacionales y humanas se complementen bajo responsabilidad profesional.

Este capítulo tiene como propósito construir conceptualmente un ecosistema pedagógico de agentes híbridos para el desarrollo profesional de docentes de química orientado a la enseñanza inclusiva. Se argumenta que el ecosistema debe estructurarse como una red de relaciones y no como una plataforma entendida únicamente en términos técnicos. Esta apuesta responde a un vacío documentado por Estrada et al. (2025) en el cual manifiestan que la literatura sobre desarrollo profesional, inteligencia artificial, inclusión y enseñanza de la química se encuentra fragmentadas y carece de programas que integren esas categorías. La unidad funcional del ecosistema pedagógico es un ciclo de indagación profesional: comprender un caso, movilizar conocimiento, diseñar, actuar, documentar, interpretar, compartir y transformar.

4.2 Del Entorno Digital al Ecosistema Pedagógico

El concepto de ecosistema permite superar una visión instrumental de la tecnología educativa. Un entorno digital puede ofrecer contenidos y actividades; un ecosistema, en cambio, articula actores, saberes, normas, mediaciones, recursos, prácticas y flujos de retroalimentación que se modifican mutuamente. Su funcionamiento depende tanto del diseño tecnológico como de la cultura institucional, la confianza entre participantes, el tiempo disponible, la calidad de los casos y la posibilidad de convertir evidencias en aprendizaje profesional.

De la metáfora ecológica se desprenden tres rasgos. Uno, la interdependencia: un agente virtual competente no compensa la ausencia de mentoría, datos confiables o espacios para experimentar. Otro es la adaptabilidad: la ruta debe responder al conocimiento previo del docente, al caso escolar, al contenido químico y a los recursos de cada institución. Y el último, la sostenibilidad: los productos no desaparecen al terminar una intervención, sino que alimentan un repositorio de casos, unidades y sistematizaciones que fortalece la memoria colectiva.

La definición propuesta para este ecosistema pedagógico de agentes híbridos es una red sociotécnica, ética y formativa que articula docentes, mentores, pares, inteligencia artificial, casos escolares, conocimiento especializado y evidencias de práctica para sostener ciclos de reflexión y transformación de la enseñanza inclusiva de la química.

Esta definición atribuye al ecosistema una naturaleza sociotécnica. La plataforma constituye una infraestructura, pero las reglas de participación, los criterios de calidad, los roles humanos y la cultura de colaboración determinan su sentido, atendiendo de forma efectiva, ética y transparente la información escolar sensible y decisiones que afectan oportunidades de aprendizaje y toda interacción debe contribuir a ampliar la capacidad de razonamiento pedagógico del docente.

4.3 Fundamentos Conceptuales

4.3.1 Desarrollo Profesional Situado

El desarrollo profesional situado parte de problemas reconocibles para el docente y se conecta con su contenido, sus estudiantes y su institución. La investigación ha mostrado que las experiencias con mayor potencial de impacto combinan foco disciplinar, participación activa, colaboración, acompañamiento, retroalimentación y duración suficiente (Desimone, 2009; Darling-Hammond et al., 2017). La plataforma debe evitar rutas idénticas para todos: un caso sobre comprensión del enlace químico, otro sobre accesibilidad en el laboratorio y otro sobre lenguaje científico movilizan saberes y decisiones diferentes.

Guskey (2002) plantea que las creencias docentes suelen modificarse cuando los docentes perciben cambios en el aprendizaje de sus estudiantes. Esto justifica que la ruta no termine en el diseño. La implementación y observación en el aula, y la sistematización de la experiencia, permiten confrontar intenciones con resultados. La transformación profesional se vuelve una inferencia respaldada por evidencias, no una declaración de satisfacción.

4.3.2 Práctica Reflexiva e Investigación de la Enseñanza

Schön (1983; 1992) explica que los profesionales actúan en situaciones de incertidumbre que no se resuelven aplicando reglas de manera mecánica. La reflexión en la acción permite ajustar decisiones mientras se enseña; la reflexión sobre la acción reconstruye posteriormente lo sucedido. En el ecosistema, el agente virtual puede registrar decisiones y formular preguntas, mientras el mentor humano ayuda a problematizar supuestos, reconocer implicaciones éticas e interpretar acontecimientos inesperados, teniendo en cuenta que él conoce el contexto donde se desarrolla la práctica.

La investigación-acción participativa organiza esta reflexividad en ciclos de planificación, acción, observación y reflexión (Kemmis et al., 2014). Cada unidad didáctica puede concebirse como un supuesto pedagógico: si se ofrecen determinadas representaciones, apoyos o formas de participación, se espera ampliar la comprensión. Las evidencias del aula permiten revisar ese supuesto y producir una versión mejorada.

4.3.3 Conocimiento Didáctico del Contenido

Shulman (1986, 1987) introdujo el conocimiento didáctico del contenido para explicar que enseñar no consiste en poseer conocimiento disciplinar y pedagógico por separado. El docente transforma el contenido mediante representaciones, ejemplos, analogías, secuencias y evaluaciones adecuadas para aprendices concretos. En química, esta transformación incluye la coordinación entre niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico (Johnstone, 1991; Taber, 2013), además de la anticipación de concepciones alternativas, el uso crítico de modelos y la selección de experiencias relevantes.

4.3.4 Inclusión y Diseño Universal para el Aprendizaje

La inclusión en educación, se entiende como un proceso de identificación y reducción de barreras para la presencia, la participación y el aprendizaje (Ainscow, 2020). Desde esta perspectiva, la

dificultad no reside exclusivamente en el estudiante; surge de la interacción entre sus características y un entorno que puede ser flexible o restrictivo. Un caso caracterizado, debe leerse desde fortalezas, intereses, apoyos, barreras y condiciones contextuales, evitando reducir la identidad del estudiante a una categoría clínica. Este riesgo se agudiza con la mediación algorítmica, es decir, cuando la mediación se ancla a categorías diagnósticas, puede reinstalar una mirada médica de la discapacidad, justo cuando el DUA busca superarla (Estrada Palencia et al., 2026).

El Diseño Universal para el Aprendizaje propone múltiples medios de compromiso, representación y acción o expresión. Las pautas 3.0 de CAST (2024) enfatizan la agencia, la identidad, la pertenencia y la superación de sesgos y prácticas excluyentes. Para la química, esto implica diversificar el acceso a símbolos, modelos, procedimientos y evidencias, ofrecer apoyos sin disminuir la exigencia conceptual y permitir distintas formas de participar en la indagación y demostrar comprensión.

4.3.5 Aprendizaje Situado y Sistematización

Lave y Wenger (1991) sitúan el aprendizaje en la participación en prácticas sociales. Wenger (1998) muestra que una comunidad comparte preocupaciones, repertorios y formas de resolver problemas. Por ello, el ecosistema debe conectar el trabajo individual del docente con mentorías, revisión entre pares y espacios de comunicación pública. La participación en diálogos representa una forma de incorporación a la conversación profesional, siempre que la experiencia haya sido analizada con rigor.

La sistematización de experiencias permite reconstruir críticamente un proceso para comprender su lógica y producir aprendizajes comunicables (Jara, 2018), esto no equivale a describir actividades. Exige delimitar una experiencia, formular una pregunta, organizar una secuencia, seleccionar episodios críticos, interpretar factores y derivar orientaciones. Esta práctica convierte el aula en fuente legítima de conocimiento pedagógico.

4.3.6 Inteligencia Híbrida y Agencia Profesional

Dellermann et al. (2019) definen la inteligencia híbrida como la combinación de capacidades humanas y artificiales para lograr resultados superiores a los que cada parte alcanzaría de forma aislada. En el desarrollo profesional docente, la complementariedad debe diseñarse conscientemente. La IA puede procesar grandes volúmenes de información, mantener disponibilidad, comparar un producto con criterios y generar alternativas, el cual va a estar disponible para el docente en el ecosistema; los humanos aportan comprensión contextual, responsabilidad moral, empatía, interpretación de ambigüedades y experiencia práctica, esta función no se le puede delegar a la IA.

La hibridez no significa distribuir tareas únicamente por eficiencia, implica decidir qué tareas no deben delegarse. La caracterización de estudiantes, la definición de ajustes razonables, la evaluación de alto impacto, el tratamiento de dilemas éticos y la decisión final sobre la enseñanza requieren supervisión y responsabilidad humana. Esa frontera tiene que quedar visible en la propia plataforma. Conviene añadir que una advertencia que el discurso celebratorio suele omitir, es que, sumar una capa de inteligencia artificial puede aumentar la carga de trabajo del docente, en lugar de aliviarla, en este sentido, un ecosistema que descuide su bienestar y su agencia fracasará, por sofisticado que sea su motor.

4.4 Principios del Ecosistema

Centralidad de la práctica: el aprendizaje profesional comienza y retorna a situaciones reales de enseñanza.

Agencia docente: el docente interpreta, decide y responde por las acciones; la IA amplía su razonamiento sin sustituirlo.

Inclusión desde el diseño: las barreras se anticipan y reducen mediante flexibilidad, accesibilidad y participación significativa.

Rigor disciplinar y didáctico: toda recomendación debe sostener precisión química y pertinencia pedagógica.

Reflexión basada en evidencias: las afirmaciones sobre cambio se contrastan con registros, producciones y voces.

Complementariedad híbrida: las funciones se asignan según fortalezas, límites y riesgos de agentes humanos y virtuales.

Transparencia y trazabilidad: el uso de IA, las fuentes, las modificaciones y las decisiones quedan documentados.

Comunidad y circulación: el conocimiento producido se revisa, comparte y reintegra al ecosistema.

Equidad tecnológica: la participación no puede depender de conectividad, dispositivos o alfabetización privilegiados.

4.5 Arquitectura Conceptual

El ecosistema se estructura en seis dimensiones interdependientes. Estas dimensiones no constituyen módulos aislados; forman un circuito en el que las evidencias de una fase retroalimentan las siguientes. La tabla 4.1 sintetiza su función.

Tabla 16. *Dimensiones del ecosistema pedagógico*

Dimensión	Objeto central	Función formativa
Casos y contexto	Situaciones escolares caracterizadas, barreras, fortalezas y dilemas.	Situar el aprendizaje y activar preguntas profesionales.
Conocimiento	Química, didáctica, inclusión, evaluación, tecnología y ética.	Proporcionar marcos para interpretar y decidir.
Diseño	Unidades, secuencias, recursos, laboratorio y evaluación.	Transformar conocimiento en oportunidades de aprendizaje.
Acompañamiento híbrido	Agente virtual, mentor, pares y expertos.	Andamiar, cuestionar, validar y retroalimentar.
Evidencia y sistematización	Bitácoras, producciones, observaciones, decisiones y resultados.	Reconstruir la experiencia y explicar aprendizajes.
Comunidad y comunicación	Repositorios, foros y evento de divulgación.	Validar, transferir y acumular conocimiento profesional.

Nota. Elaboración propia.

La arquitectura opera mediante retroalimentación. Un caso activa una ruta conceptual, esta informa el diseño, la implementación produce evidencias, la sistematización reorganiza el conocimiento, la comunidad discute los hallazgos y las nuevas comprensiones enriquecen el banco de casos y los criterios del agente virtual. El ecosistema aprende cuando conserva y revisa esta memoria sin convertirla en recetas universales.

4.6 Los agentes del ecosistema

El término agente se utiliza en un sentido funcional: una entidad capaz de percibir información relevante, actuar según un propósito y responder a la interacción. El ecosistema reconoce al menos cuatro agentes: docente participante, agente virtual, mentor humano y comunidad de pares. La calidad depende de la coordinación entre ellos.

Tabla 17. *Funciones y límites de los agentes*

Agente	Capacidades	Responsabilidad y límites
docente	Interpreta el caso; diseña; implementa; documenta; reflexiona; comunica.	Conserva autoría, juicio y responsabilidad sobre decisiones pedagógicas y datos.
Virtual	Formula preguntas; recupera recursos; contrasta criterios; genera alternativas; organiza evidencias.	No diagnostica, no decide ajustes, no califica autónomamente y debe declarar incertidumbre y fuentes.
Mentor humano	Contextualiza; acompaña dilemas; valida rigor, inclusión y ética; ofrece retroalimentación dialógica.	Evita imponer soluciones y protege la autonomía del docente.
Pares y expertos	Contradicen, comparan, revisan y comparten repertorios.	Mantienen confidencialidad y sustentan valoraciones con criterios explícitos.

Nota. Elaboración propia.

Conviene pensar el agente virtual como un mediador socrático antes que como un generador automático de productos. Sus interacciones prioritarias incluyen pedir evidencia, revelar supuestos, comparar opciones, señalar información faltante y sugerir fuentes. Una receta completa generada prematuramente puede reducir el esfuerzo cognitivo; una pregunta bien formulada puede ampliar el razonamiento.

El mentor humano interviene especialmente cuando existe ambigüedad, riesgo, tensión ética o necesidad de conocimiento tácito. Su valor no se limita a validar, este construye confianza para que el docente exponga dificultades, revise creencias y ensaye alternativas. La interacción híbrida debe permitir escalamiento: el agente virtual reconoce cuándo un asunto requiere atención humana y el docente puede solicitarla en cualquier momento.

4.7 Ruta de Aprendizaje Profesional

La ruta de aprendizaje profesional adapta los seis movimientos del Design Thinking presentados en el capítulo 3 a las necesidades del docente de química. Comprender el caso articula empatía y definición del reto; profundizar permite fundamentar la ideación; diseñar una unidad flexible convierte las alternativas en prototipos; implementar y observar aporta evidencia para validarlos;

sistematizar y reflexionar reconstruye las decisiones; evaluar y comunicar permite discutirlas y abrir un nuevo ciclo. La correspondencia es funcional, no una equivalencia rígida entre nombres de fases. El docente puede regresar a movimientos previos cuando las evidencias cuestionen una decisión.

Comprender el Caso

Describir la situación sin juzgar, el diagnóstico que emite el médico se considera una fuente parcial, no la identidad del estudiante, reconocer fortalezas, distinguir datos de interpretaciones, identificar barreras y formular preguntas, la experiencia en el aula es clave para poder identificar y eliminar las barreras que impiden la participación optima del estudiante.
En este espacio el docente se cuestiona sobre cómo está planeando, cómo está evaluando y el agente virtual le hace aportes y sugerencias de acuerdo a la información que ya tiene cargada en su memoria.

Profundizar Conceptual y Didácticamente

Seleccionar los conceptos químicos, concepciones alternativas, representaciones, principios inclusivos y decisiones evaluativas que el caso demanda. La ruta de estudio se activa por necesidad pedagógica, por lo tanto, no hay una única ruta.

Diseñar una Unidad Flexible

Alinear propósitos, fenómeno contextual, actividades, representaciones, apoyos, laboratorio, recursos y evaluación. Cada ajuste debe relacionarse con una barrera y conservar el reto cognitivo. No se trata de resumir o disminuir la carga conceptual, en este caso se debe tener en cuenta, múltiples medios de compromiso, representación y acción o expresión, con la finalidad de que el estudiante pueda acceder al conocimiento científico.

Implementar y Observar

Poner a prueba la propuesta en condiciones reales con docentes de química de educación básica secundaria y media, registrar episodios críticos, recoger producciones y realizar ajustes responsables durante la acción. La reflexión en la acción y sobre la acción son fundamentales para que, tanto el agente virtual como el mentor humano pueda hacer retroalimentación y poder ir mejorando la práctica docente.

Sistematizar y Reflexionar

Reconstruir la experiencia, contrastar intención y resultado, interpretar factores, reconocer cambios en el razonamiento docente y formular aprendizajes transferibles. Estos cuestionamientos y la sistematización sirven como apoyo para que entre pares también se puedan hacer retroalimentación e incluso se pueda replicar la experiencia con un caso similar.

Evaluar y Comunicar

Someter la sistematización a autoevaluación, coevaluación y revisión experta; preparar una ponencia, póster o capítulo breve para compartir el conocimiento producido. Al someter la experiencia sistematizada a evaluación ayuda a identificar acciones de mejora, ya sea desde el agente híbrido, el

mentor o los demás docentes de química y con la finalidad de que esto pueda ser replicable a otras instituciones se debe comunicar en un evento científico.

4.8 El Caso Escolar Como Dispositivo Formativo

El caso constituye el punto de entrada al ecosistema porque concentra la complejidad de la enseñanza sin reducirla a una lista de técnicas. Un caso robusto combina información sobre el contexto, fortalezas, intereses, formas de comunicación, barreras observadas, apoyos existentes, producciones escolares, contenido químico implicado, condiciones de aula y preguntas sin resolver. Su finalidad es desarrollar juicio profesional más que dar una receta correcta.

Los casos deben anonimizarse y construirse con criterios de dignidad, pertinencia y suficiencia. La plataforma debe diferenciar datos confirmados, interpretaciones y vacíos, y evitar inferencias clínicas o decisiones automatizadas. El Decreto 1421 de 2017 regula la atención educativa a la población con discapacidad y contempla apoyos y ajustes razonables; no debe presentarse como una clasificación general de toda diversidad escolar (Presidencia de la República de Colombia, 2017). La descripción de cada caso debe priorizar fortalezas, barreras y condiciones del entorno, y aplicar el marco correspondiente a sus necesidades.

El análisis puede seguir una secuencia: descripción libre de juicios, identificación de fortalezas, localización de barreras, determinación de demandas químicas y didácticas, formulación de hipótesis, búsqueda de información adicional, generación de alternativas, contraste con DUA y criterios éticos y justificación de una decisión. El historial de este razonamiento es una evidencia de aprendizaje profesional.

4.9 Diseño Inclusivo para la Enseñanza de la Química

La unidad didáctica es el lugar donde convergen los fundamentos del ecosistema. Debe articular contenido, pedagogía, tecnología e inclusión alrededor de una experiencia significativa. El fenómeno químico puede servir como organizador: calidad del agua, corrosión, cambios de estado, combustión, alimentos o materiales permiten conectar conceptos con problemas sociales y ambientales.

Las representaciones múltiples son esenciales, pero su diversidad debe responder a funciones claras. Un modelo molecular manipulable puede apoyar relaciones espaciales, una animación puede mostrar procesos no observables, una descripción textual accesible puede acompañar una imagen, una simulación permite variar condiciones y una experiencia macroscópica aporta anclaje fenomenológico. El docente debe explicitar las correspondencias y limitaciones de cada representación.

En el laboratorio, la inclusión implica examinar accesibilidad física, información de seguridad, manipulación, comunicación, roles y alternativas equivalentes. No se trata de excluir preventivamente a estudiantes considerados vulnerables, sino de rediseñar condiciones y apoyos. Un vacío persistente es que los apoyos basados en IA tienden a concentrarse en discapacidad sensorial y comunicativas y desatienden a los estudiantes con movilidad reducida. La evaluación debe ofrecer diversas formas de demostrar comprensión, con criterios comunes y oportunidades de retroalimentación.

4.10 Sistematización y Evento de divulgación como Dispositivos de Reflexión

La sistematización evita que la experiencia quede reducida a una impresión personal. El docente delimita qué experiencia analizará, formula una pregunta, reconstruye la cronología, selecciona

evidencias, identifica episodios críticos, establece categorías e interpreta relaciones. Las evidencias pueden incluir versiones de la unidad, producciones de estudiantes, registros de interacción, notas de campo, retroalimentación y reflexiones.

La IA puede apoyar la transcripción, clasificación preliminar, comparación de versiones y búsqueda de patrones, sin embargo, las categorías y conclusiones requieren revisión humana. La plataforma debe distinguir entre texto generado, texto transformado por el docente y argumentación propia. La transparencia fortalece la autoría y permite evaluar la profundidad reflexiva.

El evento cumple tres funciones: obliga a convertir la experiencia en argumento, somete las interpretaciones a la evaluación de otros y reconoce al docente como productor de conocimiento. No todos los productos deben llegar automáticamente a esta instancia. Se requieren criterios mínimos de rigor conceptual, protección de identidades, calidad de evidencia, profundidad analítica y contribución para otros contextos.

4.11 Condiciones Éticas, Tecnológicas e Institucionales

El ecosistema trata datos escolares y recomendaciones potencialmente sensibles. Su gobernanza debe incluir consentimiento informado, minimización de datos, anonimización, control de acceso, tiempos de conservación, registro de usos, mecanismos de corrección y prohibición de incorporar información identificable en modelos externos sin autorización. Los participantes deben conocer las capacidades y límites del sistema. Las orientaciones sobre IA generativa ofrecen un referente complementario para revisar estos usos (UNESCO, 2024b).

La transparencia algorítmica, aun cuando no sea posible explicar cada operación interna, debe expresarse en información comprensible sobre fuentes, criterios, incertidumbre y responsabilidades. Las recomendaciones del agente virtual deben ser contestables: el docente puede pedir justificación, señalar errores y escalar al mentor. Los sesgos deben monitorearse mediante revisión de casos, lenguaje, recursos y patrones de recomendación.

La sostenibilidad requiere tiempo reconocido para mentoría y sistematización, liderazgo institucional, infraestructura accesible, formación en IA, soporte técnico y una política de mejora. La equidad obliga a ofrecer alternativas de baja conectividad y apoyos para docentes con diferentes niveles de alfabetización digital. De lo contrario, la plataforma puede reproducir las desigualdades que pretende combatir.

4.12 Proposiciones Conceptuales para Orientar el Diseño y la Investigación

De la fundamentación anterior se derivan proposiciones susceptibles de orientar el desarrollo tecnológico y futuras investigaciones:

La reflexión docente será más profunda cuando las recomendaciones del agente virtual adopten la forma de preguntas y contraste de evidencias, en lugar de productos terminados.

La complementariedad entre agente virtual y mentor humano será efectiva cuando existan reglas de escalamiento, trazabilidad y responsabilidad claramente definidas.

La transformación de la práctica dependerá más de la conexión entre caso, implementación y evidencia que de la intensidad de uso de la plataforma.

La lectura inclusiva de los casos mejorará cuando se prioricen fortalezas y barreras contextuales sobre etiquetas diagnósticas.

La comunidad entre los participantes, aumentará la sostenibilidad del ecosistema cuando las sistematizaciones se conviertan en recursos revisables y no en modelos prescriptivos.

La confianza será una condición mediadora: sin seguridad psicológica, los docentes tenderán a ocultar dificultades y producir reflexiones performativas.

La participación en el evento de divulgación fortalecerá la identidad profesional cuando se acompañe la escritura, se protejan los datos y se reconozca el conocimiento derivado de la práctica.

4.13 Discusión

La propuesta integra tradiciones que con frecuencia se desarrollan por separado. El modelo convencional de talleres puntuales, transmisión de contenidos descontextualizados, cursos certificados que rara vez llegan al aula, trata el desarrollo profesional, la reflexión, el saber didáctico y la inclusión como compartimientos independientes. Frente a ello, aquí el desarrollo profesional aporta criterios de calidad y sostenibilidad, la práctica reflexiva ofrece el mecanismo de aprendizaje, el conocimiento didáctico del contenido delimita qué saberes se movilizan, el DUA orienta la inclusión, la comunidad explica la dimensión social, la sistematización convierte experiencia en conocimiento y la inteligencia híbrida distribuye funciones entre personas y tecnología. La diferencia con el enfoque tradicional no es de grado, sino de lógica, donde aquello capacita a un docente genérico para un aula ideal, el ecosistema parte de casos reales y devuelve el conocimiento al lugar de donde se produjo.

Esta integración evita dos reduccionismos. El tecnocéntrico que hoy es dominante en el discurso de innovación y supone que una plataforma inteligente produce mejora por sí misma. Repite, con nueva tecnología, el viejo error del modelo tradicional, que confiaba en que bastaba entregar un recurso o un curso para que la práctica cambiara. El humanista ingenuo niega que las herramientas pueden ampliar capacidades de búsqueda, representación, seguimiento y retroalimentación.

Este capítulo defiende sin neutralidad una tercera posición que indica que el ecosistema propone diseñar relaciones sociotécnicas en las que la tecnología sea potente, pero contestable, el docente conserve agencia, pero trabaje acompañado y la institución asuma condiciones de gobernanza. Es una apuesta más exigente que la capacitación tradicional, precisamente porque no ofrece atajos ni promete resultados automáticos.

Con la misma exigencia crítica debe evitarse que la inclusión educativa se reduzca a una lista de verificación, versión contemporánea del cumplimiento formal que caracterizó a la educación inclusiva de corte integradora. Un recurso puede cumplir criterios técnicos de accesibilidad y a la vez sostener bajas expectativas o relegar al estudiante tareas periféricas. La inclusión sustantiva exige acceso real al conocimiento químico, participación en prácticas científicas y reconocimiento de identidades. La pregunta decisiva no es cuántos ajustes se incorporaron, sino qué oportunidades de comprender, actuar y pertenecer fueron ampliadas.

Por último, la palabra transformación requiere cautela que el entusiasmo tecnológico y la retórica de la capacitación tradicional rara vez conceden. Cambiar un recurso no transforma una práctica, del mismo modo que asistir a un curso no modifica lo que ocurre en el aula. Hay transformación cuando se modifican de manera razonada y relativamente sostenida en la forma de interpretar a los estudiantes, seleccionar contenidos, distribuir participación, usar evidencias y tomar decisiones. Por ello, la evaluación debe comparar momentos, considerar explicaciones alternativas y reconocer que los cambios son graduales y a veces reversibles.

4.14 Conclusiones

El ecosistema pedagógico de agentes híbridos ofrece una base conceptual para organizar el desarrollo profesional de docentes de química alrededor de problemas auténticos de inclusión. Su

contribución principal consiste en conectar dimensiones que suelen aparecer fragmentadas: caso, conocimiento, diseño, acción, evidencia, reflexión, comunidad y comunicación.

Lo que sostiene al ecosistema es el ciclo documentado de razonamiento profesional, el agente virtual y la plataforma, solo lo hacen posible. La IA adquiere sentido cuando ayuda a formular mejores preguntas, recuperar conocimiento pertinente, generar alternativas y organizar evidencias. El mentor humano aporta juicio situado, ética, confianza y diálogo. El docente mantiene autoría y responsabilidad.

La enseñanza inclusiva de la química requiere sostener simultáneamente rigor disciplinar y flexibilidad pedagógica. El DUA, el conocimiento didáctico del contenido y la lectura contextual de los casos permiten diseñar oportunidades variadas sin disminuir la exigencia cognitiva. Los diagnósticos deben orientar apoyos y nunca definir por completo a la persona.

La sistematización y la participación en un evento de divulgación cierran provisionalmente el ciclo al convertir la experiencia en conocimiento revisable. A la vez, abren un nuevo ciclo: los hallazgos enriquecen la memoria colectiva y generan nuevas preguntas. El ecosistema será sostenible si aprende de sus participantes, protege sus derechos y conserva la primacía del juicio pedagógico humano.

Este capítulo propone un modelo, no lo prueba. Dado que la evidencia sobre IA e inclusión en química es todavía escasa y de calidad desigual, debe entenderse como un supuesto a investigar y no como una solución para implementar sin más. Su función en la secuencia del libro es mostrar cómo los fundamentos de los capítulos 1 y 2 y la metodología del capítulo 3 pueden orientar una arquitectura de acompañamiento. El capítulo 5 retoma sus preguntas abiertas para formular una agenda de investigación sobre aprendizaje, juicio docente, inclusión y sostenibilidad.

Capítulo V

Horizontes de la didáctica de las ciencias y agenda de investigación situada

Resumen

El cierre de la obra integra sus fundamentos cognitivos, territoriales y profesionales con una revisión documental selectiva de literatura científica reciente. La ventana principal comprende 2021–2025, los cinco años calendario completos anteriores a esta edición; se incorporan dos aportes de 2026 como actualización contextual separada. Se examinan inteligencia artificial educativa, laboratorios virtuales, Design Thinking, desarrollo profesional e inclusión. Las matrices distinguen resultados publicados, límites de transferencia y propuestas propias. Las visualizaciones describen el conjunto documental seleccionado y distribuciones geográficas informadas por revisiones previas; no constituyen una bibliometría original ni un ranking global. Sobre esta base se formula una agenda de trabajos futuros para Córdoba, con preguntas, diseños posibles, evidencias, condiciones de gobernanza y un horizonte de cinco años. La tesis de cierre es que el futuro de las mediaciones depende de la capacidad institucional para producir y revisar evidencia de comprensión, participación y autonomía.

Palabras clave: revisión documental; prospectiva educativa; formación docente; inteligencia artificial; equidad; investigación situada.

5.1 Qué significa cerrar una obra orientada a la transformación

Cerrar este libro supone volver sobre una pregunta que atraviesa sus capítulos: qué debe cambiar para que una mediación tecnológica amplíe las posibilidades de aprender ciencias en condiciones diversas. La respuesta no puede limitarse a un inventario de herramientas. El capítulo 1 situó el problema en la relación entre cognición, artefactos y autonomía; el capítulo 2 lo vinculó con condiciones institucionales y territoriales; el capítulo 3 convirtió esos fundamentos en una ruta de diseño; el capítulo 4 los articuló en una aplicación conceptual de acompañamiento docente mediante agentes híbridos. El cierre examina qué evidencia respalda estas apuestas y qué preguntas permanecen abiertas.

La transformación necesita expresarse en objetos observables. Puede tratarse de una explicación más precisa, de una participación menos concentrada, de un criterio profesional mejor fundamentado o de una adaptación que amplía el acceso sin reducir la demanda conceptual. Cada objeto exige datos distintos y un tiempo de observación pertinente. Una institución que no establece esas diferencias corre el riesgo de valorar como equivalentes el uso frecuente de una plataforma y la comprensión de un fenómeno.

La literatura reciente ofrece un campo dinámico, pero heterogéneo. Conviven revisiones de aplicaciones, análisis bibliométricos, propuestas conceptuales y estudios de intervención. Su coexistencia permite explorar el campo desde varios ángulos, aunque impide sumar conclusiones como si todas respondieran a la misma pregunta. El propósito de este capítulo es organizar esas contribuciones para orientar decisiones y nuevas investigaciones, no producir una estimación única del efecto de la tecnología educativa.

La agenda propuesta distingue lo que ya puede orientar una práctica prudente y lo que necesita investigación local. La existencia de resultados favorables en otro nivel educativo no autoriza su

traslado automático a una escuela rural de Córdoba. Tampoco la falta de estudios locales implica que deba posponerse toda innovación. Se requiere una secuencia responsable: comprender el problema, adaptar una propuesta, observar sus consecuencias y ampliar su alcance únicamente cuando la evidencia y las condiciones lo permitan.

5.2 Alcance y procedimiento de la revisión documental

Se realizó una búsqueda dirigida en la web académica y en páginas editoriales y repositorios institucionales, con consulta en septiembre de 2026. Se combinaron términos en español e inglés sobre inteligencia artificial educativa, laboratorios virtuales, Design Thinking, formación docente, inclusión y ciencias. Las referencias del manuscrito y de la presentación sirvieron como puntos de entrada, complementados con búsquedas por título, autor y DOI. Las fuentes se seleccionaron por pertinencia para los ejes del libro y por posibilidad de verificar sus datos bibliográficos y su contenido accesible.

La ventana principal se fija entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2025. Esta decisión ofrece cinco años completos y evita comparar un año 2026 todavía en curso con anualidades cerradas. Se añade una actualización contextual de dos artículos de 2026 relacionados directamente con la obra. El horizonte prospectivo, distinto de la ventana de revisión, se plantea para 2027–2031. Fechas de publicación, periodos estudiados por cada revisión y años de planificación no deben confundirse.

El conjunto principal incluye trece artículos identificados en las tablas 5.2 y 5.3. Se dio prioridad al acceso abierto y a versiones accesibles en revistas o repositorios de los autores. El alcance de lectura disponible fue desigual: algunas páginas permitieron revisar métodos y resultados, mientras otras ofrecieron ficha editorial y resumen verificable. En estas últimas se restringen las afirmaciones a lo documentado en el resumen; no se atribuyen tamaños de efecto, calidad metodológica ni hallazgos no comprobados. Esta limitación forma parte del alcance interpretativo del capítulo.

Tabla 18. *Decisiones metodológicas y límites*

Elemento	Decisión aplicada	Consecuencia
Propósito	Revisión documental narrativa y selectiva	Orienta interpretación y agenda
Periodo principal	Publicaciones de 2021–2025	Cinco años completos comparables como fechas
Actualización	Dos aportes de 2026 separados	No altera los conteos anuales del conjunto principal
Selección	Pertinencia, trazabilidad y acceso verificable	No asegura exhaustividad
Extracción	Año, tema, tipo, contexto y aporte	Permite matrices comparables
Agrupación	Un foco principal por artículo	Simplifica temas que pueden solaparse
Geografía	Datos expresamente informados por revisiones	No estima liderazgo mundial actual
Síntesis	Contraste argumentado y propuestas propias	No calcula un efecto combinado

Nota. Elaboración propia.

No se presenta un protocolo PRISMA, una búsqueda exhaustiva en bases de suscripción ni un análisis de coocurrencias. Tampoco se atribuye selección independiente a varios revisores. La transparencia se sostiene en identificar las fuentes utilizadas, declarar las decisiones y restringir las inferencias. El hecho de incluir revisiones sistemáticas como documentos de consulta no convierte este capítulo en una revisión sistemática de segundo orden.

5.3 Matriz documental sobre tecnologías y aprendizaje

La primera matriz reúne artículos que ayudan a situar aplicaciones de IA, diseño y laboratorios. La unidad de análisis es el documento seleccionado, no cada estudio primario incluido en él. Si una revisión examina decenas de investigaciones y otra incluye parte de las mismas, sus conclusiones no representan observaciones independientes. Por esa razón no se suman sus muestras ni sus resultados. Se extrae una contribución acotada de cada fuente y se formula una precaución para su uso en el libro.

Tabla 19. *Matriz de revisión documental del conjunto principal A*

ID y fuente	Tipo y foco	Aporte verificado	Límite de transferencia
D01 Zhang y Aslan 2021	Revisión de IA educativa	Examina aplicaciones y líneas de investigación	IA amplia no equivale a IA generativa
D02 Hwang y Tu 2021	Revisión y mapeo en matemáticas	Sitúa roles y tendencias disciplinares de IA	No representa todas las ciencias
D03 Li y Zhan 2022	Revisión de Design Thinking escolar	Reúne 43 artículos con 44 estudios	Predominan experiencias breves y grupos pequeños
D04 Salas-Pilco y Yang 2022	Revisión regional de educación superior	Describe 31 estudios latinoamericanos	Periodo primario julio 2016–junio 2021
D05 Santos y Prudente 2022	Metaanálisis de laboratorios virtuales	Informa efecto medio favorable en logro	El promedio no garantiza cada implementación
D06 Crompton y Burke 2023	Revisión de IA en educación superior	Analiza 138 artículos de 2016–2022	No caracteriza por sí sola la ola generativa posterior
D07 Elmoazen et al. 2023	Revisión de analítica en laboratorios	Examina seguimiento y evaluación de actividad	Las trazas necesitan interpretación pedagógica

Nota. Los identificadores D01–D13 corresponden únicamente a este conjunto documental. Las referencias completas y enlaces se encuentran en el listado único al final del libro. Las matrices sintetizan información recuperable de resúmenes y, cuando estuvieron disponibles, apartados del texto.

Zhang y Aslan (2021) ayudan a situar la IA educativa antes de la expansión pública de los grandes modelos conversacionales. Hwang y Tu (2021) aportan un recorte disciplinar en matemáticas. Juntas, estas fuentes recuerdan que IA educativa es una categoría más amplia que chatbot generativo. Para una agenda de ciencias conviene clasificar funciones: adaptación de tareas, recomendación, evaluación, predicción o interlocución. Sin esa distinción, se corre el riesgo de atribuir a una familia tecnológica los resultados de otra.

Santos y Prudente (2022) informan un efecto agregado favorable de los laboratorios virtuales sobre el logro estudiantil, con g = 0,587. El dato ofrece una señal de potencial, pero no prescribe una herramienta ni una secuencia. La pregunta local sigue siendo qué concepto se enseña, qué comparación se establece y qué apoyo recibe el estudiante. El libro utiliza esta evidencia como justificación para investigar diseños, sin convertirla en promesa de mejora de magnitud fija.

5.4 Matriz documental sobre juicio docente e inclusión

El segundo grupo desplaza la atención hacia la calidad de las decisiones pedagógicas. Las revisiones de formación y conocimiento docente son relevantes porque el recurso no se implementa solo. Entre una capacidad técnica y una oportunidad de aprendizaje median selección de tareas, retroalimentación, accesibilidad y expectativas. Estos componentes pueden explicar que una misma tecnología produzca experiencias diferentes. La matriz organiza fuentes que permiten formular preguntas sobre esa mediación profesional.

Tabla 20. *Matriz de revisión documental del conjunto principal B*

ID y fuente	Tipo y foco	Aporte verificado	Uso en la agenda
D08 Lo 2023	Revisión rápida de ChatGPT	Identifica posibilidades y problemas iniciales	Separar capacidad técnica y aprendizaje
D09 Bond et al. 2024	Revisión de revisiones sobre IA universitaria	Reclama ética, colaboración y rigor	Diseñar estudios con trazabilidad
D10 Campos Mera y Benarroch Benarroch 2024	Revisión de laboratorios en secundaria	Encuentra predominio de PhET, física y alumnado de 16 años	Examinar otros contenidos y edades
D11 Tan et al. 2025	Revisión de IA y profesión docente	Distingue enseñanza y desarrollo profesional	Investigar acompañamiento sostenido
D12 Bastani et al. 2025	Ensayo en matemáticas de secundaria	Muestra que el diseño del apoyo modifica sus consecuencias	Evaluar desempeño con ayuda y aprendizaje sin ella
D13 Estrada et al. 2025	Revisión y propuesta en química inclusiva	Conecta formación, IA e inclusión	Someter el modelo a validación situada

Nota. Elaboración propia.

La revisión de Tan et al. (2025) identificó 95 artículos: el 65 % se concentró en aplicaciones de IA a la enseñanza y el 35 % en desarrollo profesional. La asimetría aporta una razón para estudiar al docente como aprendiz y diseñador, no únicamente como implementador. La fecha utilizada aquí es 2025, correspondiente al volumen publicado, aunque el artículo apareció anticipadamente en línea en diciembre de 2024. Esta decisión se mantiene en los conteos para evitar duplicarlo.

Bastani et al. (2025) realizaron una intervención aleatorizada en matemáticas de secundaria en Turquía. Su comparación distingue herramientas con formas de apoyo diferentes y advierte sobre la distancia entre rendir mejor durante la práctica asistida y aprender para actuar sin asistencia. El hallazgo

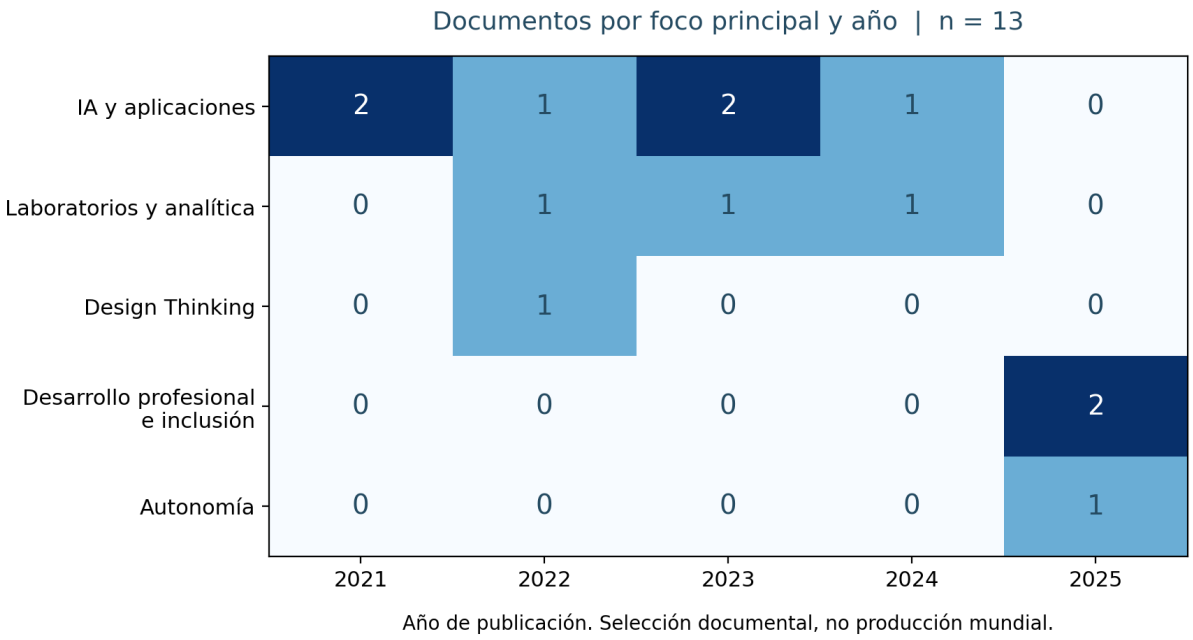
no se extrapola automáticamente a química, a todos los sistemas de IA ni a otros países. Orienta una pregunta evaluativa concreta: qué conserva el estudiante cuando se retira la ayuda.

Estrada et al. (2025) aporta una conexión directa con el ecosistema del capítulo 4. Su propuesta puede utilizarse como fundamento para diseñar acompañamiento, pero un modelo derivado de revisión requiere contrastación en la práctica. Este cierre conserva esa distinción: la coherencia conceptual es un requisito, mientras la viabilidad, los efectos y la sostenibilidad constituyen preguntas empíricas. Ninguna tabla convierte una propuesta en intervención validada por el hecho de resumirla.

5.5 Qué muestran las tendencias y qué no permiten afirmar

La figura 5.1 representa la distribución temática por año de los trece documentos seleccionados. Cada artículo recibe un único foco principal: IA y aplicaciones educativas; laboratorios y analítica; Design Thinking; desarrollo profesional e inclusión; o autonomía y aprendizaje. El criterio se basa en el objeto central del título y del resumen, no en una clasificación automática de palabras clave. La asignación es editorial y puede revisarse; se explicita para que el lector pueda reconstruir los conteos.

Figura 3. *Distribución temática anual del conjunto documental seleccionado 2021–2025. Elaboración propia con D01–D13. Las celdas indican documentos, no volumen mundial de publicaciones; cero significa ausencia en esta selección.*



Nota. Elaboración propia.

Tabla 21. *Registro de codificación que sustenta la figura anterior*

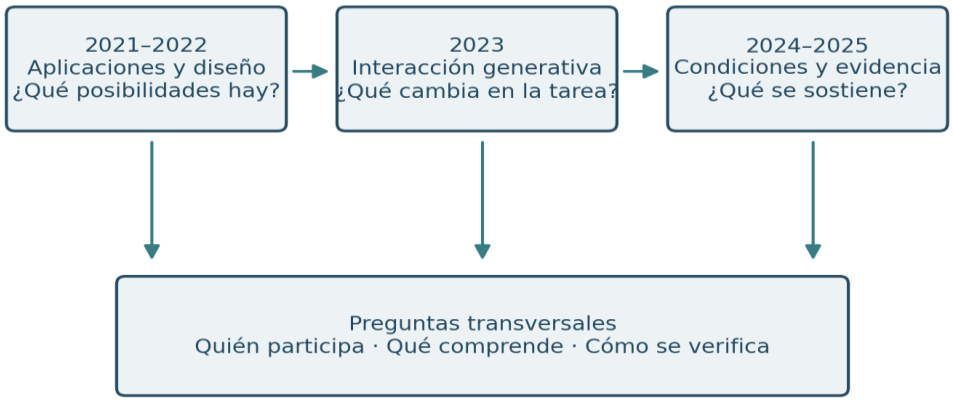
Año	IA y aplicaciones	Laboratorios y analítica	Design Thinking	Desarrollo profesional e inclusión	Autonomía
2021	D01 D02	—	—	—	—
2022	D04	D05	D03	—	—
2023	D06 D08	D07	—	—	—
2024	D09	D10	—	—	—
2025	—	—	—	D11 D13	D12

La distribución no demuestra que el Design Thinking haya perdido interés después de 2022 ni que la formación docente comenzara en 2025. Esas interpretaciones confundirían el procedimiento de selección con la evolución del campo. El gráfico sirve para transparentar la composición del argumento: hay una base sobre aplicaciones, un grupo dedicado a laboratorios y una atención final a profesión docente y autonomía. Una bibliometría destinada a medir crecimiento exigiría otra estrategia de recuperación y normalización.

La tendencia interpretativa que puede plantearse con mayor prudencia es un cambio en las preguntas presentes en las fuentes consultadas. Se pasa de describir aplicaciones y posibilidades a discutir condiciones de uso, responsabilidad, calidad de evidencia y aprendizaje independiente. No se trata de etapas que se sustituyan por completo: conviven y se superponen. La revisión de Lo (2023) representa el interés inicial por ChatGPT; las fuentes posteriores amplían preguntas sobre gobernanza y consecuencias del diseño.

Para el lector del libro, esta lectura tiene una implicación práctica. Una agenda madura no debe abandonar las preguntas de acceso y funcionamiento, pero necesita añadir seguimiento de comprensión, retención, participación y juicio profesional. La novedad de una herramienta puede justificar una exploración; la continuidad de una intervención debe justificarse con evidencias sobre su valor. La figura 5.2 organiza esa progresión como un mapa conceptual de preguntas, no como una medición de frecuencia.

Figura 4. *Evolución interpretativa de las preguntas en las fuentes consultadas. Elaboración propia. La disposición temporal indica énfasis documentales y no etapas universales ni exclusivas.*



Nota. Elaboración propia.

5.6 Geografías de investigación y diferencias entre liderazgos

Hablar de países líderes requiere especificar qué se cuenta. Un país puede aparecer por afiliación de autoría, lugar de realización del estudio, colaboración internacional o número de documentos en una base. Esos indicadores responden a preguntas distintas. Tampoco un liderazgo en educación superior describe necesariamente investigación en educación básica o en didáctica de la química. En consecuencia, este capítulo utiliza tres recortes publicados y conserva sus unidades y periodos.

Crompton y Burke (2023), en su revisión de 138 estudios de IA en educación superior correspondientes a 2016–2022, sitúan a China por delante de Estados Unidos en número de estudios; Estados Unidos aporta 21. Bond et al. (2024), al examinar autoría de síntesis de evidencia, identifican a Estados Unidos, Canadá y Australia entre los países más productivos. La diferencia no constituye una contradicción: cambia el corpus y cambia aquello que se contabiliza.

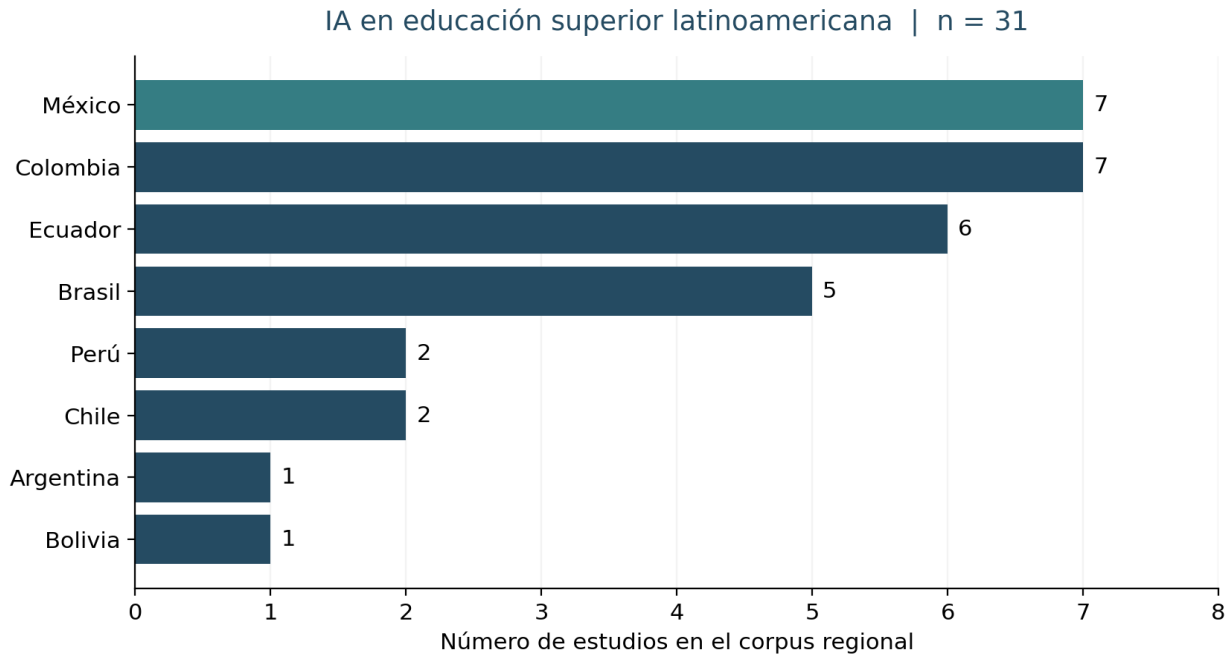
Tabla 22. *Liderazgos informados en distintos recortes documentales*

Recorte y fuente	Unidad	Países destacados	Alcance de la afirmación
IA en educación superior Crompton y Burke 2023	Estudios por localización	China y Estados Unidos	Conjunto de 138 artículos de 2016–2022
Síntesis de evidencia Bond et al. 2024	Productividad de autoría por país	Estados Unidos, Canadá y Australia	Literatura secundaria incluida en esa revisión
IA universitaria latinoamericana Salas-Pilco y Yang 2022	Estudios por país de realización	México y Colombia, siete cada uno	31 estudios de julio 2016–junio 2021
Didáctica situada y química inclusiva en esta obra	Pertinencia temática	Colombia como contexto de aplicación	No constituye indicador de liderazgo bibliométrico

Nota. Elaboración propia.

La revisión regional de Salas-Pilco y Yang (2022) distribuye sus 31 estudios entre México y Colombia, con siete cada uno; Ecuador, con seis; Brasil, con cinco; Perú y Chile, con dos cada uno; Argentina y Bolivia, con uno cada uno. La figura 5.3 reproduce esos conteos con atribución. Son datos de un conjunto histórico de educación superior, no un ranking actualizado de producción científica latinoamericana ni una medida de calidad educativa.

Figura 5. *Estudios por país en el corpus regional de Salas-Pilco y Yang 2022. Elaboración gráfica propia a partir de los conteos publicados. N = 31; estudios de julio de 2016 a junio de 2021; educación superior.*



Nota. Elaboración propia.

La implicación para Córdoba es construir alianzas a partir de problemas y capacidades, no imitar países por su posición en una tabla. Una colaboración pertinente puede aportar experiencia en evaluación, accesibilidad o enseñanza disciplinar, aunque su institución publique menos. El reconocimiento del conocimiento territorial debe acompañar la cooperación internacional. Transferir una intervención exige discutir lengua, currículo, recursos y formas de participación, además de reproducir sus componentes técnicos.

5.7 Clústeres temáticos como organización de la agenda

Se utilizan clústeres en un sentido cualitativo de agrupaciones temáticas. No fueron calculados mediante redes de coautoría ni algoritmos de coocurrencia. La distinción importa porque una visualización de temas puede parecer una bibliometría sin serlo. Los grupos se construyen para conectar la revisión con preguntas de intervención y no para asignar una posición competitiva a países o instituciones. Los vínculos representan afinidades interpretativas que deben revisarse cuando se incorpore nueva literatura.

Tabla 23. *Clústeres cualitativos y preguntas de enlace*

Agrupación	Problema compartido	Conexión con el libro	Vacío a investigar
Mediación y autonomía	Distribución del razonamiento	Capítulo 1	Qué aprendizaje permanece sin apoyo
Acceso y justicia digital	Oportunidades desiguales de participación	Capítulo 2	Equivalencia entre modalidades de acceso
Diseño y modelización	Traducción de retos en tareas	Capítulo 3	Qué componentes explican la mejora
Profesión docente e IA	Calidad de decisiones y acompañamiento	Capítulo 4	Valor añadido de mentoría humana
Evidencia y sostenibilidad	Continuidad y transferencia	Capítulo 5	Condiciones para ampliar una intervención

Nota. Elaboración propia.

No se asigna un país líder a cada agrupación porque las fuentes consultadas no proporcionan una comparación homogénea de ese tipo. La tabla geográfica anterior ofrece los recortes que sí pueden respaldarse. Para responder en el futuro una pregunta de liderazgo por clúster sería necesario definir una base, una estrategia reproducible, un periodo, una unidad de conteo y una regla de clasificación. Ese trabajo podría ser una investigación específica, pero no se simula aquí mediante cifras inventadas.

Los clústeres permiten detectar relaciones que suelen quedar separadas. La autonomía se vincula con accesibilidad porque no todos los estudiantes pueden practicar sin apoyo bajo las mismas condiciones. La formación docente se vincula con sostenibilidad porque un recurso requiere interpretación y mantenimiento. La modelización se vincula con evidencia porque los cambios de representación ofrecen huellas del razonamiento. Estas conexiones sugieren estudiar mecanismos y condiciones, en lugar de comparar tecnologías como paquetes indiferenciados.

Una agenda territorial puede seleccionar un problema que atraviese varios grupos, como comprender fenómenos ambientales con recursos de baja conectividad. Esa elección no obliga a medir todo al mismo tiempo. El equipo define una pregunta principal y conserva las demás como contexto o líneas posteriores. La coherencia de un proyecto depende de que sus objetivos y datos puedan responderse entre sí, no de que su título mencione todas las tendencias del campo.

5.8 Reflexión sobre autonomía y autoridad del conocimiento

El capítulo 1 plantea que la cognición puede distribuirse entre personas y artefactos. La pregunta de cierre es qué distribución fortalece al aprendiz y cuál lo vuelve dependiente de respuestas externas. No toda ayuda reduce autonomía: una representación puede permitir comprender una relación que antes resultaba inaccesible. El problema aparece cuando el apoyo resuelve la operación que se pretende aprender y el diseño no ofrece oportunidades para reconstruirla. La evaluación necesita distinguir producto asistido y capacidad desarrollada.

El estudio de Bastani et al. (2025) respalda la importancia de atender al diseño del apoyo, dentro de su contexto particular. A partir de esa advertencia, se propone que las investigaciones locales incorporen tres momentos: práctica acompañada, tarea independiente y transferencia diferida. La propuesta es una derivación metodológica del presente capítulo, no una réplica automática del estudio.

Su objetivo es observar si el estudiante puede explicar, detectar errores y decidir cuando cambia la situación o desaparece la herramienta.

Tabla 24. *Evidencias para examinar autonomía intelectual*

Dimensión	Tarea posible	Interpretación que debe evitarse
Explicación	Justificar una respuesta con palabras propias	Fluidez verbal equivale a comprensión
Verificación	Identificar un error en una explicación suministrada	Aceptación de la respuesta equivale a confianza informada
Transferencia	Resolver una situación con estructura diferente	Repetición del ejercicio equivale a transferencia
Regulación	Decidir cuándo pedir o retirar ayuda	Menor uso siempre significa mayor autonomía
Persistencia	Repetir una tarea conceptual semanas después	Mejoría inmediata equivale a aprendizaje duradero

Nota. Elaboración propia.

La autoridad epistémica también se distribuye. Un sistema puede producir una explicación convincente y equivocada; un estudiante puede discrepar con razones válidas; una fuente puede quedar desactualizada o ser retractada. Enseñar ciencias requiere practicar la revisión de afirmaciones y de sus respaldos. El docente no elimina toda incertidumbre, pero ofrece criterios para gestionarla. El trabajo con IA debería aumentar las oportunidades de justificar y contrastar, en lugar de convertir la rapidez de respuesta en criterio de verdad.

Una tarea de auditoría de explicaciones puede utilizar errores preparados por el docente y claramente controlados. Los estudiantes identifican el problema, proponen una corrección y aportan evidencia. No se necesita inducir al sistema a producir contenidos engañosos ni presentar información falsa como material confiable. La actividad puede realizarse en papel y adaptarse a varios campos. Su valor está en hacer visible el juicio del estudiante frente a una afirmación que parece autorizada.

5.9 Reflexión sobre modelización y experimentación

Las fuentes sobre laboratorios virtuales aportan razones para explorar su uso, pero no justifican reemplazar indiscriminadamente toda experiencia material. Campos Mera y Benarroch Benarroch (2024) documentan una concentración de investigaciones en determinadas herramientas, contenidos y edades. Este recorte abre preguntas sobre otras áreas y grupos. También invita a evaluar qué dimensiones se observan: conocimiento conceptual, habilidades de manipulación, argumentación y participación no son resultados equivalentes.

Elmoazen et al. (2023) examinan el uso de analítica en laboratorios virtuales. Las trazas de interacción pueden ayudar a reconstruir secuencias y detectar dificultades, aunque no revelan por sí mismas la comprensión. Un estudiante puede realizar muchos intentos porque investiga deliberadamente o porque no entiende la tarea. La interpretación requiere relacionar acciones con predicciones, explicaciones y condiciones de acceso. El registro digital se convierte en evidencia educativa cuando se conecta con una pregunta pedagógica.

Tabla 25. *Comparación funcional de modalidades de experimentación*

Modalidad	Oportunidad didáctica	Limitación que debe examinarse
Experiencia material	Manipulación y observación situada	Seguridad, recursos y variabilidad
Simulación	Control de variables y representación	Supuestos del modelo y simplificaciones
Laboratorio remoto	Acceso mediado a equipamiento real	Disponibilidad y condiciones de interacción
Datos secundarios	Interpretación y contraste sin montaje	Menor control sobre la producción del dato
Diseño combinado	Articulación de representaciones	Sobrecarga si no se explicita la relación

Nota. Elaboración propia.

La tabla es una comparación conceptual elaborada para orientar diseño. No ordena modalidades de mejor a peor. Una secuencia puede comenzar con simulación para explorar relaciones y continuar con observación; otra puede partir de una discrepancia material y utilizar un modelo para interpretarla. La selección debe responder al propósito y a las condiciones del grupo. Lo decisivo es explicar qué aporta cada modalidad y qué aprendizaje se examinará con ella.

Para Córdoba resulta pertinente estudiar versiones equivalentes de una misma tarea bajo condiciones diferentes de conectividad. El interés no sería probar que la modalidad digital siempre supera a la impresa, sino identificar qué funciones deben preservarse para sostener comprensión y participación. Una guía bien construida puede conservar predicción, contraste y revisión aun cuando cambie el medio. Esa posibilidad vincula la modelización con justicia digital y evita confundir innovación con intensidad tecnológica.

5.10 Reflexión sobre formación docente y agentes híbridos

El ecosistema del capítulo 4 depende de relaciones de confianza y de tiempo profesional. Un agente virtual disponible permanentemente no compensa la ausencia de oportunidades para implementar, observar y discutir. La literatura sobre formación recogida por Tan et al. (2025) señala la necesidad de atender específicamente el desarrollo profesional. La agenda del libro propone estudiar cómo cambia el razonamiento docente y no solo cuántas recomendaciones recibe o cuántos productos genera.

Una evidencia prometedora es la comparación de decisiones sobre casos semejantes antes y después de un ciclo de acompañamiento. El docente puede explicar qué barreras reconoce, qué contenido prioriza, qué alternativas descarta y cómo evaluaría comprensión. La calidad del razonamiento se examina con criterios explícitos y con conocimiento del contexto. La escritura extensa no debe confundirse con profundidad reflexiva, ni una terminología sofisticada con una mejor decisión didáctica.

Tabla 26. *Evidencias de aprendizaje profesional*

Objeto	Registro	Criterio de interpretación
Lectura del caso	Análisis inicial y revisado	Reconoce fortalezas y barreras contextuales
Diseño	Versiones de una unidad	Justifica cambios con conocimiento disciplinar
Implementación	Episodios de aula	Ajusta apoyos ante evidencia relevante
Uso de IA	Decisiones aceptadas y rechazadas	Conserva revisión y responsabilidad
Colaboración	Retroalimentación entre pares	Integra críticas de manera argumentada
Sistematización	Relato analítico	Relaciona decisiones, consecuencias y límites

Nota. Elaboración propia.

La comparación entre mentoría humana, apoyo de IA y modalidad combinada requiere cuidado. Si un grupo recibe más tiempo de acompañamiento o mejores materiales, no puede atribuirse la diferencia únicamente a la tecnología. Los estudios futuros deben documentar dosis, calidad y funciones del apoyo. También deben observar efectos no previstos: sobrecarga, inseguridad para expresar dudas o dependencia de aprobación externa. La confianza profesional se construye cuando el sistema permite disentir y revisar.

El modelo de Estrada et al. (2025) y la revisión de Estrada Palencia et al. (2026) aportan continuidad temática con la obra. Esta última se incorpora como actualización de 2026 y mantiene la cautela sobre una base de evidencia inclusiva heterogénea. La prioridad local consiste en estudiar accesibilidad y participación con medidas concretas. Un chatbot que facilita una interacción no demuestra, por ese solo hecho, que se hayan reducido barreras para aprender un contenido químico.

5.11 Inclusión y justicia digital como resultados evaluables

La justicia digital no puede quedar limitada a contar equipos o conexiones. Es necesario observar si los estudiantes acceden a las tareas que concentran el valor intelectual de la actividad. Un grupo puede compartir un dispositivo y, aun así, distribuir de manera equitativa decisiones y argumentación. Otro puede disponer de equipos individuales y mantener barreras de lenguaje, accesibilidad o expectativas. Los indicadores deben combinar condiciones materiales con participación y aprendizaje.

Se propone estudiar las barreras en tres momentos: antes de implementar, durante la actividad y al interpretar resultados. Antes se revisan formatos, recursos y apoyos; durante se observa quién puede intervenir; después se examina si las oportunidades y los logros se distribuyeron de manera desigual. Esta lectura evita atribuir a características personales un resultado que puede depender del diseño. Las categorías de análisis deben ser pertinentes y respetuosas, sin generar perfiles deficitarios permanentes.

Tabla 27. *Matriz de equidad para el seguimiento de mediaciones*

Dimensión	Indicador propuesto	Fuente	Decisión posible
Acceso efectivo	Estudiantes que pueden realizar la tarea	Registro de condiciones	Ajustar recursos o modalidad
Participación científica	Distribución de predicción, medición y explicación	Observación de roles	Reorganizar interacciones
Accesibilidad	Barreras reportadas y resueltas	Prueba de uso y entrevista	Modificar representación
Comprensión	Desempeño con criterios comunes	Producciones y rúbrica	Revisar apoyos
Autonomía	Tarea independiente accesible	Evaluación posterior	Retirar o rediseñar ayudas
Pertenencia	Percepción de reconocimiento y voz	Conversación voluntaria	Revisar relaciones de participación

Nota. Elaboración propia.

Los indicadores propuestos no constituyen escalas validadas. Cada proyecto debe revisar su claridad, viabilidad y sensibilidad al contexto. En grupos pequeños, la desagregación puede revelar identidades; en esos casos se priorizan análisis protegidos y relatos anonimizados. La producción de evidencia no debe aumentar la exposición de quienes enfrentan más barreras. El diseño ético comienza al decidir qué datos son realmente necesarios.

La comparación entre modalidades exige equivalencia de oportunidad, no uniformidad de formato. Una explicación oral y una escrita pueden valorarse con criterios conceptuales comunes, pero requieren apoyos y tiempos diferentes. Si la evaluación penaliza una modalidad por características ajenas al aprendizaje investigado, el resultado será difícil de interpretar. La inclusión se vuelve una condición de validez del estudio, además de un compromiso educativo.

5.12 Agenda de trabajos futuros y criterios de prioridad

La agenda se organiza alrededor de problemas que emergen del diálogo entre capítulos y fuentes, no de una lista de tecnologías de moda. Se proponen siete líneas conectadas: autonomía con IA, modelización multimodal, acompañamiento docente, mediaciones de baja conectividad, diálogo de saberes, analítica interpretable y transferencia institucional. Cada una puede originar proyectos de alcance distinto, desde una sistematización de aula hasta un estudio entre varias instituciones.

Tabla 28. *Agenda de investigación propuesta para Córdoba*

Línea	Pregunta orientadora	Evidencia principal	Aporte esperado
Autonomía con IA	¿Qué apoyos favorecen desempeño independiente?	Tareas con ayuda y sin ayuda	Criterios para retirar andamios
Modelización	¿Cómo cambian modelos y explicaciones?	Versiones de representaciones	Secuencias disciplinares mejor fundadas
Agentes híbridos	¿Qué añade la mentoría humana al apoyo digital?	Decisiones y práctica docente	Reglas de complementariedad
Baja conectividad	¿Qué funciones se conservan en modalidades equivalentes?	Acceso, participación y comprensión	Diseños sostenibles
Saberes territoriales	¿Cómo se articulan registros de conocimiento?	Argumentos y acuerdos comunitarios	Pertinencia y justicia epistémica
Analítica	¿Qué trazas ayudan a interpretar aprendizaje?	Acciones y explicaciones relacionadas	Indicadores comprensibles
Transferencia	¿Qué condiciones permiten sostener y adaptar?	Seguimiento institucional y costos	Criterios de ampliación

Nota. Elaboración propia.

La prioridad puede discutirse mediante cuatro criterios: relevancia educativa, necesidad territorial, viabilidad y capacidad de producir evidencia útil. No se asignan puntuaciones empíricas a proyectos inexistentes. Cada equipo debe valorar sus propuestas con información local y reconocer quién participa en esa decisión. Una línea técnicamente atractiva puede ser poco pertinente si no atiende una necesidad reconocida por la comunidad escolar.

También conviene considerar dependencias. Antes de estudiar escalamiento, debe existir una versión suficientemente estable; antes de automatizar analítica, debe comprenderse qué representa el indicador; antes de comparar resultados, deben revisarse instrumentos y condiciones de acceso. Ordenar esas dependencias reduce el riesgo de acumular datos que luego no responden a ninguna pregunta. La agenda funciona como secuencia de aprendizaje institucional, no como compromiso de ejecutar todos los proyectos simultáneamente.

5.13 Proyecto propuesto sobre autonomía y apoyos de IA

Se propone investigar si una tutoría basada en preguntas y pistas permite construir explicaciones científicas más autónomas que una ayuda orientada a entregar respuestas completas. La pregunta debe delimitar contenido, nivel y duración. Una posible aplicación es una unidad sobre relaciones entre variables físicas o sobre interpretación de evidencia ambiental. El propósito no es comparar marcas comerciales, sino funciones pedagógicas del apoyo bajo condiciones documentadas.

El diseño podría comenzar con un estudio piloto de viabilidad y continuar con una comparación entre grupos, cuando existan condiciones institucionales y metodológicas suficientes. Si no hay asignación aleatoria, se declaran las diferencias iniciales y se consideran estrategias apropiadas para analizarlas. La muestra no se fija por conveniencia retórica: requiere justificar precisión, variabilidad esperada, agrupación por aulas y pérdidas de seguimiento. Los estudiantes no deben perder oportunidades de aprendizaje por participar en la investigación.

Tabla 29. *Esquema de un estudio de autonomía*

Componente	Propuesta
Resultado principal	Calidad de explicación en tarea independiente
Resultados secundarios	Transferencia, retención y reconocimiento de errores
Comparación	Formas de apoyo con tareas y tiempos equivalentes
Medición inicial	Conocimiento y explicación antes de la unidad
Medición final	Producción individual sin asistencia generativa
Seguimiento	Tarea diferida con problema distinto
Control de implementación	Registro de apoyos, cambios y tiempo efectivo
Interpretación	Distinguir asociación, efecto estimable y límites

Nota. Elaboración propia.

El análisis debe considerar que estudiantes del mismo grupo comparten docente y condiciones. Tratar todas las observaciones como independientes puede subestimar incertidumbre. Cuando el tamaño y el diseño lo permitan, se emplean modelos acordes con esa estructura; cuando no, se presentan resultados descriptivos y limitaciones sin sobreinterpretar pruebas estadísticas. La transparencia sobre incertidumbre es parte del rigor, especialmente en experiencias pequeñas.

Una contribución útil sería identificar episodios en que la ayuda favorece razonamiento y episodios en que lo sustituye. Ese análisis puede combinar datos de desempeño con explicaciones de los estudiantes y observación docente. El resultado esperado es un conjunto de criterios de diseño revisables. No se presupone que una modalidad vencerá a la otra; la investigación debe admitir resultados nulos, mixtos o contrarios a la expectativa inicial.

5.14 Proyecto propuesto sobre desarrollo profesional híbrido

La segunda propuesta examina cómo un ciclo de mentoría humana y apoyo de IA modifica las decisiones de docentes de ciencias ante casos inclusivos. Su unidad principal es la práctica profesional, aunque puede incorporar evidencias de aprendizaje estudiantil. La intervención se organiza alrededor de casos auténticos anonimizados, diseño de unidades, implementación y revisión. La tecnología se incorpora como apoyo a preguntas y organización de versiones, con reglas de responsabilidad explícitas.

Un estudio de casos múltiples permitiría comprender mecanismos y diferencias entre instituciones. Cada caso incluiría contexto, experiencia docente, contenido, recursos, barreras y formas

de acompañamiento. La comparación entre casos buscaría patrones y excepciones, sin convertir un número reducido de experiencias en una estimación representativa de todos los docentes de Córdoba. Un diseño posterior podría contrastar modalidades de acompañamiento con mayor control y seguimiento.

Tabla 30. *Preguntas y registros del acompañamiento híbrido*

Pregunta	Registro requerido	Señal de cambio
¿Cómo interpreta la diversidad?	Análisis sucesivos de casos	Sustituye etiquetas por barreras y apoyos
¿Cómo decide una representación?	Versiones y justificaciones	Conecta contenido y necesidades
¿Cómo utiliza la crítica?	Retroalimentación y respuesta	Revisa decisiones con argumentos
¿Qué acepta de la IA?	Propuestas y verificación	Selecciona con criterio profesional
¿Qué sostiene en el tiempo?	Seguimiento de unidades	Reutiliza y adapta principios

Nota. Elaboración propia.

La investigación debe reconocer el papel del mentor como parte activa de la intervención. Su experiencia, disponibilidad y forma de preguntar influyen en el proceso. Una descripción que solo nombre la plataforma será insuficiente para interpretar resultados. También conviene registrar la seguridad psicológica del espacio: si los docentes sienten que exponer dificultades perjudica su evaluación laboral, pueden producir relatos de éxito que oculten problemas reales.

La devolución de resultados a los participantes debe favorecer aprendizaje y no clasificación punitiva. El producto puede incluir una colección de casos, criterios de diseño y ejemplos anonimizados de revisión profesional. La publicación necesita acuerdos sobre autoría, acceso y reconocimiento. Esta propuesta concreta la idea del capítulo 4 de una memoria colectiva que se revisa con la práctica y no de un repositorio de respuestas definitivas.

5.15 Proyecto propuesto sobre equivalencia y baja conectividad

La tercera propuesta estudia una misma secuencia de modelización en modalidades con distinta dependencia tecnológica. Por ejemplo, una versión utiliza simulación, otra trabaja con datos e imágenes locales y una tercera combina observación material con fichas. El problema es determinar qué funciones se conservan y qué barreras aparecen, manteniendo un propósito conceptual común. No se supone que todas las modalidades sean idénticas ni que sus diferencias carezcan de importancia.

La fase de diseño define componentes esenciales: predicción individual, contraste de evidencia, revisión del modelo y transferencia. Luego se adaptan medios, tiempos y apoyos a cada contexto. La evaluación registra aprendizaje, participación, interrupciones, preparación docente y costos de mantenimiento. La comparación debe evitar confundir modalidad con institución: si cada escuela utiliza una única versión, las diferencias pueden depender de otros factores. El diseño debe reconocer esa limitación o planificar una estrategia que permita examinarla.

Tabla 31. *Componentes a conservar y aspectos adaptables*

Núcleo que se conserva	Aspecto adaptable	Evidencia de fidelidad
Propósito conceptual	Fenómeno próximo o ejemplo	Correspondencia con objetivo
Predicción razonada	Audio, dibujo o texto	Argumento previo disponible
Contraste de evidencia	Simulación, observación o datos	Relación entre evidencia y pregunta
Revisión de explicación	Formato y apoyos de comunicación	Justificación del cambio
Transferencia	Situación nueva pertinente	Desempeño individual accesible

Nota. Elaboración propia.

Una investigación de este tipo puede ofrecer una contribución especialmente útil al territorio: identificar principios transportables entre condiciones materiales diferentes. El resultado no sería una receta única, sino un mapa de adaptaciones con sus ventajas, costos y límites. Las instituciones podrían decidir con mayor información qué recursos necesitan y cuáles funciones pueden sostener mediante alternativas locales.

La participación comunitaria debe incorporarse desde el inicio cuando los ejemplos utilizan saberes o espacios del territorio. La equivalencia no consiste en copiar una actividad urbana y reducir sus recursos hasta que pueda ejecutarse. Puede requerir rediseñar el fenómeno, reconocer conocimientos disponibles y modificar la forma de producir evidencia. Esta perspectiva convierte la baja conectividad en una condición de diseño que debe atenderse, sin romantizar la falta de infraestructura.

5.16 Instrumentos y calidad de la evidencia futura

Una agenda rigurosa necesita instrumentos que correspondan con sus preguntas. Si el objetivo es modelización, se requieren tareas que permitan construir y revisar representaciones; si es participación, se necesita observar distribución de roles; si es razonamiento profesional, se analizan decisiones justificadas. Una encuesta general de satisfacción no puede sustituir todas esas evidencias. La selección debe comenzar por el significado del resultado y por las inferencias que se desean realizar.

Tabla 32. *Matriz de correspondencia entre preguntas e instrumentos*

Resultado	Instrumento posible	Revisión necesaria
Comprensión conceptual	Tarea abierta y rúbrica disciplinar	Pertinencia y claridad de criterios
Argumentación	Producción con evidencia y razonamiento	Consistencia entre evaluadores
Participación	Registro de decisiones y roles	Cobertura y sesgo de observación
Accesibilidad	Prueba de uso y reporte de barreras	Participación de usuarios diversos
Autonomía	Tarea sin apoyo y seguimiento	Equivalencia de dificultad
Juicio docente	Caso y justificación de decisiones	Sensibilidad al contexto
Sostenibilidad	Registro de tiempo, recursos y continuidad	Costos completos y comparables

Nota. Elaboración propia.

El pilotaje permite detectar ambigüedades y estimar la carga que impone el registro. No equivale automáticamente a validar un instrumento en todos sus usos. La validez se refiere a las interpretaciones que se sostienen con las evidencias disponibles. Un instrumento útil para retroalimentación de aula puede requerir trabajo adicional antes de emplearse para comparar instituciones o realizar decisiones de alto impacto.

La triangulación debe responder a una pregunta específica. Comparar producción estudiantil, observación y entrevista puede aclarar por qué una actividad resultó difícil. Si las fuentes discrepan, no se fuerza una coincidencia: se examina qué dimensión observa cada una. Un estudiante puede valorar positivamente un recurso y, al mismo tiempo, no mejorar su explicación. Esa diferencia constituye un resultado relevante y no un inconveniente que deba ocultarse.

La gestión de datos contempla ausencias y cambios de implementación. Se registra quién participó en cada momento, por qué faltan evidencias cuando pueda saberse y qué ajustes se realizaron. Excluir silenciosamente a quienes no completaron la experiencia puede producir una imagen demasiado favorable. La calidad del estudio depende de hacer visible el recorrido real, incluidas interrupciones, dificultades y resultados que no confirman la hipótesis.

5.17 Gobernanza y actualización responsable de las fuentes

La investigación con mediaciones tecnológicas requiere decisiones sobre datos, responsabilidades y revisión de contenidos. El marco humanocéntrico de UNESCO (2024a) y las orientaciones de Miao y Holmes (2023) ofrecen referencias para organizar estas preguntas. En la agenda propuesta, la gobernanza se concreta en quién autoriza usos, quién revisa errores, cómo se atienden desacuerdos y qué información se conserva. No basta con una declaración general de uso ético.

Tabla 33. *Responsabilidades mínimas de gobernanza*

Decisión	Responsable propuesto	Registro
Selección de herramienta	Equipo docente e institución	Justificación pedagógica y técnica
Tratamiento de datos	Responsable institucional definido	Finalidad, acceso y conservación
Revisión científica	Docente y par disciplinar	Correcciones y fuentes
Atención de barreras	Equipo de acompañamiento	Incidente, respuesta y seguimiento
Cambios de versión	Coordinación del proyecto	Fecha y efecto esperado
Publicación de resultados	Equipo investigador y participantes según acuerdos	Autoría, permisos y anonimización

Nota. Elaboración propia.

La actualización bibliográfica forma parte de esta gobernanza. Durante la revisión del manuscrito se identificó que Wang y Fan (2025), utilizado en la versión previa como respaldo sobre resultados de ChatGPT, fue retractado el 22 de abril de 2026. Se retiró su uso como evidencia favorable y se reformuló el pasaje correspondiente. Este caso se menciona como trazabilidad editorial, no como fuente para concluir sobre eficacia. La revisión de integridad debe atender avisos de retractación, correcciones y correspondencia entre DOI y título.

También se depuraron entradas duplicadas y se distinguieron documentos institucionales y artículos científicos. Una política educativa informa propósitos y condiciones, pero no prueba por sí misma una mejora de aprendizaje. Un artículo de revisión organiza evidencia, pero no equivale a un ensayo local. Conservar estas diferencias permite construir argumentos más precisos y evita que la cantidad de referencias sustituya la calidad de su relación con las afirmaciones.

La actualización no exige perseguir cada novedad. Se puede establecer una revisión periódica de las fuentes que sustentan decisiones centrales y de los recursos cuya versión cambia. El registro debe indicar qué se modificó y si el cambio altera una conclusión. Una comunidad de práctica que aprende a revisar sus apoyos bibliográficos fortalece la misma actitud crítica que busca desarrollar en sus estudiantes.

5.18 Escenarios y horizonte de planificación 2027–2031

El horizonte de cinco años se plantea como una herramienta de planificación, no como predicción. La evolución tecnológica y las condiciones institucionales pueden cambiar; por eso se proponen escenarios con señales observables y respuestas posibles. Los escenarios no reciben probabilidades inventadas. Su utilidad consiste en preparar decisiones ante combinaciones plausibles de infraestructura, formación y gobernanza, manteniendo el propósito educativo del libro.

Tabla 34. *Escenarios de mediación tecnológica para el territorio*

Escenario	Condiciones	Riesgo principal	Respuesta de diseño
Expansión acompañada	Recursos, mentoría y evaluación	Crecer más rápido que la capacidad de revisión	Ampliación por etapas con evidencia
Adopción fragmentada	Herramientas disponibles y apoyo desigual	Experiencias aisladas y dependencia individual	Comunidades y repositorio de decisiones
Restricción persistente	Conectividad y presupuesto limitados	Reducción de oportunidades	Modalidades equivalentes y recursos locales
Automatización acrítica	Alto uso y escasa supervisión	Pérdida de juicio y exposición de datos	Revisar funciones y restituir control humano

Nota. Elaboración propia.

Una estrategia robusta debe ser útil en varios escenarios. La formación para formular buenas preguntas, interpretar evidencia y diseñar apoyos accesibles conserva valor aunque cambie una plataforma. La documentación de versiones también resulta pertinente con recursos digitales o impresos. En cambio, una inversión cuya utilidad depende de un único proveedor y de condiciones ideales puede ser más vulnerable. La planificación debe examinar esa dependencia antes de convertir un piloto en compromiso institucional.

Tabla 35. *Hoja de ruta propuesta para cinco años*

Año	Prioridad	Hito verificable	Decisión al cierre
2027	Caracterización y pilotaje	Problemas, instrumentos y prototipos revisados	Ajustar o descartar diseños inviables
2028	Implementación documentada	Evidencias comparables de varios ciclos	Identificar condiciones de utilidad
2029	Replicación y contraste	Estudios en contextos distintos	Delimitar transferibilidad
2030	Integración institucional	Formación, recursos y gobernanza articulados	Evaluar costos y sostenibilidad
2031	Evaluación y nueva agenda	Síntesis de resultados y límites	Renovar prioridades con evidencia

Nota. Elaboración propia.

Los hitos no equivalen a metas de publicación. Un proyecto puede producir un artículo y dejar escaso aprendizaje institucional; también puede generar una mejora documentada de gran utilidad antes de alcanzar una revista. La agenda debe reconocer ambos procesos y sostener criterios académicos para comunicar los resultados. La cantidad de productos no sustituye la pregunta por su contribución a la comprensión científica y a la equidad.

5.19 Seguimiento y decisiones de continuidad

Un tablero de seguimiento debe concentrarse en pocos indicadores interpretables. Si reúne demasiadas métricas, puede aumentar la carga de registro sin mejorar decisiones. Se propone distinguir implementación, aprendizaje, equidad y sostenibilidad. Cada indicador necesita definición, fuente, frecuencia y responsable. Los valores de referencia deben acordarse a partir de una línea inicial real; no se establecen porcentajes de éxito sin conocer el contexto.

Tabla 36. *Tablero orientador para proyectos de mediación*

Dimensión	Indicador	Frecuencia	Pregunta de decisión
Implementación	Componentes realizados y cambios	Cada ciclo	¿Se aplicó lo que se quería probar?
Aprendizaje	Calidad de explicaciones y transferencia	Inicio, cierre y seguimiento	¿Qué comprensión cambió?
Equidad	Barreras y distribución de participación	Durante y después	¿Quiénes quedaron con menos oportunidades?
Profesión docente	Decisiones justificadas y revisadas	Cada ciclo	¿Qué criterio profesional se fortaleció?
Recursos	Tiempo de preparación y mantenimiento	Cada periodo	¿Puede sostenerse sin sobrecarga?
Transferencia	Adaptaciones y resultados en otro contexto	Al ampliar	¿Qué condiciones deben conservarse?

Nota. Elaboración propia.

La decisión de continuidad combina resultados y condiciones. Una intervención puede mostrar comprensión favorable pero exigir una carga imposible de sostener; otra puede ser accesible y aceptada, aunque necesite mejorar su núcleo conceptual. En ambos casos la respuesta puede ser rediseño. La ampliación requiere una justificación específica: no basta con que el piloto haya sido bien recibido. Deben examinarse recursos, capacidad de acompañamiento y límites de los datos.

Se propone conservar un registro de decisiones negativas: recursos retirados, indicadores descartados, hipótesis no respaldadas y adaptaciones que no funcionaron. Ese archivo previene repetir errores y reduce el sesgo hacia relatos exclusivamente exitosos. La memoria institucional se vuelve más útil cuando permite entender los límites de una experiencia. También ofrece a futuros investigadores preguntas que no aparecen en versiones idealizadas de la innovación.

La devolución a estudiantes y comunidad cierra el ciclo de responsabilidad. Los resultados se comunican en lenguaje comprensible, con sus límites y con las decisiones que se derivan de ellos. Una investigación situada no termina únicamente cuando se publica: también debe explicar a quienes participaron qué se aprendió y qué cambiará. Ese retorno conecta producción académica y compromiso territorial.

5.20 Límites del capítulo y nuevas posibilidades de investigación

La revisión es selectiva y depende de fuentes recuperables mediante búsqueda dirigida. No estima la totalidad de publicaciones ni evalúa formalmente el riesgo de sesgo de cada estudio primario. La diversidad de acceso impide atribuir una lectura integral a todos los documentos. Las matrices organizan información verificable y las propuestas posteriores son elaboraciones metodológicas del capítulo. Estas condiciones limitan la fuerza de las generalizaciones, pero no impiden formular preguntas de investigación pertinentes.

La abundancia de revisiones en el conjunto puede reproducir el solapamiento de estudios primarios. Por eso no se suman participantes ni efectos. La representación de ciencias sociales es menor que la de IA educativa, laboratorios y ciencias naturales; su incorporación en la agenda responde al alcance amplio solicitado para la didáctica de las ciencias. Se requiere una revisión específica para profundizar diferencias epistemológicas, métodos y resultados en esas disciplinas.

La geografía presentada depende de los periodos y criterios de las fuentes citadas. No permite afirmar quién lidera cada clúster en 2026. Una investigación futura podría construir una base bibliográfica reproducible, normalizar afiliaciones y comparar campos con reglas explícitas. Ese proyecto debería publicar sus datos y decisiones de clasificación, además de discutir los sesgos de idioma e indexación. Los mapas de producción científica necesitan esa cautela para no invisibilizar conocimiento local.

Otra posibilidad es desarrollar un repositorio de casos de innovación situado en Córdoba. Su valor no residiría en acumular recursos, sino en vincular problema, diseño, evidencia, condiciones y revisiones. Cada caso podría incluir materiales accesibles y una explicación de límites. El repositorio serviría a la formación docente y a investigaciones sobre transferencia, siempre que existan acuerdos de mantenimiento, protección de datos y reconocimiento de quienes producen el conocimiento.

5.21 Síntesis integradora y cierre de la obra

El recorrido de los cinco capítulos permite sostener una idea: la mediación tecnológica es una relación pedagógica que debe diseñarse, acompañarse y examinarse. El recurso amplía posibilidades, pero su valor depende de cómo se incorpora a una práctica de conocimiento. En ciencias, esa práctica incluye preguntar, representar, contrastar, argumentar y revisar. La innovación cobra sentido cuando esas operaciones se vuelven más accesibles y más exigentes para estudiantes diversos.

Tabla 36. *Síntesis de contribuciones y compromisos del libro*

Capítulo	Contribución central	Compromiso que deja abierto
1	Fundamentación cognitiva y epistemológica	Proteger autonomía y criterio científico
2	Lectura estratégica y territorial	Convertir equidad en condiciones efectivas
3	Ruta de diseño y validación situada	Documentar decisiones y aprender de versiones
4	Ecosistema profesional de agentes híbridos	Sostener juicio docente y acompañamiento
5	Lectura documental y agenda futura	Investigar resultados y límites con transparencia

Nota. Elaboración propia.

La literatura consultada ofrece motivos para explorar y motivos para moderar expectativas. Las aplicaciones de IA, los laboratorios virtuales y las metodologías de diseño abren oportunidades; la heterogeneidad de estudios y las diferencias de contexto obligan a evaluarlas. Esta combinación de apertura y exigencia evita tanto la adopción automática como la inmovilidad. El trabajo docente requiere margen para experimentar y condiciones para examinar lo que ocurre.

Para Córdoba, el futuro puede construirse alrededor de problemas reconocibles: comprender el territorio, ampliar la participación, fortalecer explicaciones científicas y sostener comunidades profesionales. Las alianzas y las tecnologías son medios para ese propósito. Su selección debe reconocer conocimientos locales y barreras materiales, sin disminuir las expectativas de aprendizaje. La excelencia inclusiva se concreta cuando el acceso al conocimiento deja de depender de contar con condiciones excepcionales.

La obra concluye con una invitación a producir evidencia compartida. Cada prototipo puede abrir una pregunta; cada implementación puede revelar una condición; cada sistematización puede orientar a otro docente. La responsabilidad consiste en comunicar tanto los avances como los límites y en conservar la disposición a revisar. Una didáctica de las ciencias situada aprende de su territorio, dialoga con la literatura y devuelve a la comunidad mejores oportunidades para comprender y transformar su realidad.

Referencias

Ainscow, M. (2020). Promoting inclusion and equity in education: Lessons from international experiences. *Nordic Journal of Studies in Educational Policy, 6*(1), 7–16. https://doi.org/10.1080/20020317.2020.1729587
Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política de Colombia*. https://www.senado.gov.co/images/Archivospdf/elsenado/Normatividad/constitucion_politica.pdf

Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö., & Mariman, R. (2025). Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 122*(26), Article e2422633122. https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122

Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education, 93*(1), 26–55. https://doi.org/10.1002/sce.20286

Black, P., & Wiliam, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability, 21*(1), 5–31. https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5

Bond, M., Khosravi, H., De Laat, M., Bergdahl, N., Negrea, V., Oxley, E., Pham, P., Chong, S. W., & Siemens, G. (2024). A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: A call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 21*, Article 4. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00436-z

Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences, 2*(2), 141–178. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0202_2

Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking transforms organizations and inspires innovation*. HarperBusiness.

Campos Mera, G., & Benarroch Benarroch, A. (2024). Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: Una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias, 42*(2), 109–129. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6040

CAST. (2024). *Universal Design for Learning Guidelines version 3.0*. https://udlguidelines.cast.org/

Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access, 8*, 75264 75278. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510

Clark, A. (2025). Extending minds with generative AI. *Nature Communications, 16*, 4627. https://doi.org/10.1038/s41467-025-59906-9

Computadores para Educar. (2024, 13 de diciembre). *Computadores para Educar cierra el 2024 con resultados positivos en su misión de fortalecer la educación con tecnología*. https://www.computadoresparaeducar.gov.co/publicaciones/5550/computadores-para-educar-cierra-el-2024-con-resultados-positivos-en-su-mision-de-fortalecer-la-educacion-con-tecnologia/

Congreso de Colombia. (2019, 25 de julio). *Ley 1978 de 2019: Por la cual se moderniza el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se distribuyen competencias, se crea un regulador único y se dictan otras disposiciones*. https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30036682

Congreso de la República de Colombia. (1994, 8 de febrero). *Ley 115 de 1994: Por la cual se expide la Ley General de Educación*. Diario Oficial No. 41.214. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=292

Crompton, H., & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: The state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 20*, Article 22. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8

Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). *Effective teacher professional development*. Learning Policy Institute. https://doi.org/10.54300/122.311

Dellermann, D., Ebel, P., Söllner, M., & Leimeister, J. (2019). Hybrid intelligence. *Business & Information Systems Engineering, 61*, 637–643. https://doi.org/10.1007/s12599-019-00595-2

Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Documento CONPES 3975: Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial*. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3975.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Documento CONPES 3988: Tecnologías para aprender: Política nacional para impulsar la innovación en las prácticas educativas a través de las tecnologías digitales*. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3988.pdf

Desimone, L. (2009). Improving impact studies of teachers' professional development: Toward better conceptualizations and measures. *Educational Researcher, 38*(3), 181–199. https://doi.org/10.3102/0013189X08331140

Elmoazen, R., Saqr, M., Khalil, M., & Wasson, B. (2023). Learning analytics in virtual laboratories: A systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments, 10*, Article 23. https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y

Estrada Palencia, P., Agudelo Arteaga, K., & Parodi Camaño, T. (2026). Artificial intelligence chatbots for inclusive pedagogical practices: A PRISMA systematic review and bibliometric mapping (2021–2025). *Journal of Artificial Intelligence and Technology, 6*, 686–695. https://doi.org/10.37965/jait.2026.1252

Estrada, P. A., Agudelo, K. P., & Flórez, E. P. (2025). Artificial intelligence and inclusive education: A professional development model for chemistry teachers in secondary education. *Educational Process: International Journal, 17*, Article e2025380. https://doi.org/10.22521/edupij.2025.17.380

European Commission. (2026, 24 de marzo). *About SELFIE*. European Education Area. https://education.ec.europa.eu/selfie/introduction

Gobernación de Córdoba. (2024). *Plan de Desarrollo Departamental 2024-2027*. https://www.cordoba.gov.co/documentos/452/planes-de-desarrollo-departamental/

Guskey, T. (2002). Professional development and teacher change. *Teachers and Teaching, 8*(3), 381–391. https://doi.org/10.1080/135406002100000512

Hsu, L. (2025). Entangled cognition in EFL education: The role of generative AI. *Contemporary Educational Technology, 17*(4), ep619. https://doi.org/10.30935/cedtech/17621

Hwang, G.-J., & Tu, Y.-F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. *Mathematics, 9*(6), Article 584. https://doi.org/10.3390/math9060584

IDEO.org. (2015). *The field guide to human-centered design*. https://www.designkit.org/resources/1.html

ISTE. (s. f.). *Standards*. https://iste.org/standards

Jara, O. (2018). *La sistematización de experiencias: Práctica y teoría para otros mundos posibles*. CINDE.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*(2), 75-83. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x

Jose, B., Cleetus, A., Joseph, B., Joseph, L., Jose, B., & John, A. K. (2025). Epistemic authority and generative AI in learning spaces: Rethinking knowledge in the algorithmic age. *Frontiers in Education, 10*, 1647687. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1647687

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education, 24*(4), 369–387. https://doi.org/10.1080/09500690110110142

Kemmis, S., McTaggart, R., & Nixon, R. (2014). *The action research planner: Doing critical participatory action research*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-4560-67-2

Klein, C. R., & Klein, R. (2025). The extended hollowed mind: Why foundational knowledge is indispensable in the age of AI. *Frontiers in Artificial Intelligence, 8*, 1719019. https://doi.org/10.3389/frai.2025.1719019

Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511815355

Li, T., & Zhan, Z. (2022). A systematic review on design thinking integrated learning in K-12 education. *Applied Sciences, 12*(16), Article 8077. https://doi.org/10.3390/app12168077

Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences, 13*(4), Article 410. https://doi.org/10.3390/educsci13040410

Luckin, R. (2018). *Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century*. UCL Institute of Education Press. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10178695/

Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693

Ministerio de Educación Nacional. (2025). *Observatorio Colombiano de Innovación Educativa con uso de TIC*. https://obsedutic.mineducacion.gov.co/

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record, 108*(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x
Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education, 39*(4), 235–251. https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480

Panke, S. (2019). Design thinking in education: Perspectives, opportunities and challenges. *Open Education Studies, 1*(1), 281–306. https://doi.org/10.1515/edu-2019-0022

Parodi Camaño, T. A., Torres Vásquez, R. E., & Vidal Durango, J. V. (2026). Modelización e innovación situada en ciencias: Una ruta pedagógica para aulas diversas. *Transformar, 7*(2), 36–46. https://revistatransformar.cl/index.php/transformar/article/view/223

Perkins, D. N. (1993). Person-plus: A distributed view of thinking and learning. In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognitions: Psychological and educational considerations* (pp. 88–110). Cambridge University Press.
Presidencia de la República de Colombia. (2017, 29 de agosto). *Decreto 1421 de 2017 por el cual se reglamenta en el marco de la educación inclusiva la atención educativa a la población con discapacidad*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87040

Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What is design thinking and why is it important? *Review of Educational Research, 82*(3), 330–348. https://doi.org/10.3102/0034654312457429

Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107466

Salas-Pilco, S. Z., & Yang, Y. (2022). Artificial intelligence applications in Latin American higher education: A systematic review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 19*, Article 21. https://doi.org/10.1186/s41239-022-00326-w

Salomon, G. (Ed.). (1993). *Distributed cognitions: Psychological and educational considerations*. Cambridge University Press.

Santos, M. L., & Prudente, M. (2022). Effectiveness of virtual laboratories in science education: A meta-analysis. *International Journal of Information and Education Technology, 12*(2), 150–156. https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.2.1598

Schön, D. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.

Schön, D. (1992). *La formación de profesionales reflexivos*. Paidós.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching, 46*(6), 632–654. https://doi.org/10.1002/tea.20311

Secretaría de Educación de Córdoba. (2025). *Plan Territorial de Formación Docente 2024-2027*. https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-424735_recurso_14.pdf

Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 4–14. https://doi.org/10.3102/0013189X015002004

Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review, 57*(1), 1–23. https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411
Taber, K. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice, 14*, 156-168. https://doi.org/10.1039/C3RP00012E

Tan, X., Cheng, G., & Ling, M. (2025). Artificial intelligence in teaching and teacher professional development: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 8*, Article 100355. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100355

Tian, J., & Zhang, R. (2025). Learners' AI dependence and critical thinking: The psychological mechanism of fatigue and the social buffering role of AI literacy. *Acta Psychologica, 260*, 105725. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105725

UNESCO. (2024a). *AI competency framework for teachers*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391104

UNESCO. (2024b). *Guía para el uso de IA generativa en educación e investigación*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000389227

Universidad de Córdoba. (2022). *Proyecto Educativo Institucional (PEI): Hacia la consolidación de una universidad de excelencia e inclusiva.*

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Wang, J., & Fan, W. (2025). [Artículo retractado el 22 de abril de 2026]. The effect of ChatGPT on students' learning performance, learning perception, and higher-order thinking: Insights from a meta-analysis. *Humanities and Social Sciences Communications, 12*, Article 621. https://doi.org/10.1057/s41599-025-04787-y

Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511803932

Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design* (Expanded 2nd ed.). ASCD.

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 17*(2), 89–100. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x

Zhang, K., & Aslan, A. B. (2021). AI technologies for education: Recent research & future directions. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 2*, Article 100025. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025



Roger Eli Torres Vásquez
Licenciado en Matemáticas y Física; magíster en Educación y en Didáctica Digital. Docente investigador de la Universidad de Córdoba, adscrito al Departamento de Ciencias Naturales de la Facultad de Educación y Ciencias Humanas. Con más de 25 años de trayectoria, ha enseñado en básica, media, pregrado y posgrado, en instituciones públicas y privadas. Asesor y consultor en pedagogía, currículo, didáctica y políticas de formación docente; participó en los dos últimos planes decenales de educación de Montería. Investiga en didáctica de ciencias naturales y exactas, educación para la salud, cuidado y bienestar. Es jefe del Departamento de Ciencias Naturales y director regional de la Maestría en Educación del SUE Caribe. Integra BIMADINO y HUELLAS–Calidad de Vida, clasificados en MinCiencias.
rogertorres@correo.unicordoba.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7910-1589



Tobías Parodi Camaño
Ingeniero industrial, especialista en Gestión de Proyectos, magíster en Administración de Organizaciones y doctor en Innovación. Investigador reconocido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. Se desempeña como docente investigador en la Universidad de Córdoba y en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). Integra el Grupo de Investigación en Emprendimiento y Empresarialidad ESCALA y el Grupo de Investigación en Aplicación de Teoría de Restricciones (GITOC). Coordina el Semillero de Investigación Innovarium, cuya actividad se orienta a la innovación abierta, la integración tecnológica y el desarrollo de propuestas educativas con impacto social y académico.
tobiasparodic@correo.unicordoba.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4548-1058



Karen Patricia Agudelo Arteaga
Licenciada en Biología y Química de la Universidad de Córdoba; magíster en Informática Educativa de la Universidad de La Sabana y doctora en Ciencias de la Educación de la Universidad del Atlántico. Cuenta con más de 20 años de experiencia en educación básica, media y superior; actualmente es docente ocasional de la Universidad de Córdoba. Ha sido ponente en educación, didáctica y educación ambiental, y par evaluador de investigaciones, proyectos de extensión, eventos y revistas científicas. Es autora de libros, capítulos y artículos en revistas indexadas. Integra el Grupo de Investigación GICNEA, categoría B, y es investigadora Asociada reconocida por MinCiencias.
karenagudelo@correo.unicordoba.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0792-1155



Paula Andrea Estrada Palencia
Química de la Universidad de Córdoba; especialista en Aplicación de TIC para la Enseñanza de la Universidad de Santander y magíster en Recursos Digitales Aplicados a la Educación de la Universidad de Cartagena. Es estudiante del Doctorado en Didáctica de las Ciencias de la Universidad de Córdoba. Cuenta con 10 años de experiencia en educación básica secundaria y media. Se desempeña como docente en propiedad de la Secretaría de Educación de Montería y como docente de la Maestría en Didáctica de las Ciencias Naturales. Ha sido ponente en eventos nacionales e internacionales sobre educación, tecnologías e innovación. Es autora de capítulos de libro y artículos científicos publicados en revistas indexadas.
pestrada@correo.unicordoba.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-7569-4871



José Alberto Salgado Vargas
Licenciado en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental y especialista en Gerencia Ambiental de CECAR; magíster en Educación de la Universidad de Córdoba y doctorando en Educación de la Universidad Nacional de Rosario. Investiga la didáctica de las ciencias mediante tecnologías y narrativas biográficas. Con más de 20 años de trayectoria en educación básica, media, técnica y superior, ha sido directivo docente, gestor pedagógico de TIC y coordinador de proyectos y semilleros. Es catedrático de la Universidad de Córdoba y docente titular de la Institución Educativa Cristóbal Colón de Montería. Participa como ponente, conferencista, par evaluador, director de tesis y jurado de pregrado y posgrado. Publica artículos en revistas indexadas e integra GICNEA, categoría B en MinCiencias.
jasalgadov@correo.unicordoba.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6248-187X

DIDÁCTICA DE CIENCIAS EN CÓRDOBA

Un enfoque situado mediado por las tecnologías

SOBRE LA OBRA

¿Cómo integrar las tecnologías en la enseñanza de las ciencias desde las preguntas, la diversidad y las realidades del territorio? Esta obra propone una mirada situada en Córdoba, Colombia, que vincula el pensamiento científico con la innovación didáctica y el juicio profesional docente.

A lo largo de cinco capítulos, articula fundamentos de la mediación tecnológica, políticas y condiciones territoriales, una ruta de Design Thinking y una propuesta conceptual de agentes híbridos para el desarrollo profesional de docentes de química. El recorrido culmina con una revisión documental y una agenda de investigación.

Dirigido a docentes, investigadores y estudiantes de posgrado, el libro ofrece criterios para diseñar experiencias de aprendizaje inclusivas y usar la inteligencia artificial con sentido pedagógico, responsabilidad ética y atención a las desigualdades de acceso.

Enseñar ciencias desde el territorio,
con tecnología y criterio pedagógico.

Roger Eli Torres Vásquez · Tobías Parodi Camaño
Karen Patricia Agudelo Arteaga
Paula Andrea Estrada Palencia · José Alberto Salgado Vargas

Universidad de Córdoba