

La ecología de investigación-diseño transdisciplinar (EIDT): génesis, arquitectura e impacto en la era algorítmica

The EIDT: genesis, architecture and impact of a hybrid methodology for the
algorithmic era

José Armando Herrera Robles¹

jaherrerar@educacionbogota.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-0309-9400>

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Jorge Luis Montealegre Torres²

jorge.montealegre@umem.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1024-5453>

Secretaría de Educación Municipal de Armenia, Colombia

Resumen

El presente artículo expone la génesis, arquitectura e impacto de la Ecología de Investigación-Diseño Transdisciplinar (EIDT), una propuesta metodológica original desarrollada para superar la dicotomía entre la investigación social crítica y la investigación técnica educativa en el aula de química de la educación media pública bogotana, radicalmente atravesada por la Inteligencia Artificial Generativa. **Objetivo:** Presentar los fundamentos epistemológicos, la arquitectura metodológica de seis fases y los hallazgos empíricos de la EIDT como marco metodológico original para la investigación en sistemas educativos complejos de la era algorítmica. **Metodología:** La EIDT emergió de una investigación doctoral contextualizada en el aula de química de dos instituciones educativas distritales (IED) de Bogotá (localidades 4 y 15), cuyo diagnóstico inicial evidenció tres crisis estructurales: ceguera unidisciplinar, brecha de equidad sociotecnológica y uso acrítico de las herramientas generativas en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química. El estudio involucró 100 estudiantes de ciclo V, seis docentes co-investigadores de ciencias naturales, cuatro directivos y once mujeres del programa de educación flexible Manzanas del Cuidado, entre marzo y octubre de 2025. La metodología articula dialécticamente la Investigación-Acción Participativa y la Investigación Basada en Diseño bajo la lógica del Tercero Incluido de Nicolescu (1994), desplegando seis fases recursivas de morfogénesis, mecanismos de vigilancia epistemológica en el Ciber-Espacio-Tiempo y una Matriz de Gestión de Incertidumbre. **Resultados:** La evaluación mediante escalas pre/post y rúbricas analíticas confirma la pertinencia ecológica del modelo: el 78 % de los estudiantes supera la subordinación algorítmica, el 90 % alcanza altos niveles de criticidad epistémica y el 89 % integra química, ecología y ética en retos socioambientales territoriales. **Conclusión:** Se concluye que la EIDT constituye una contribución metodológica original para la investigación educativa en entornos complejos de la era algorítmica, al demostrar que el método puede ser tan recursivo, adaptativo y situado como el sistema que investiga.

Palabras clave: EIDT, Investigación-Acción Participativa, Pensamiento Complejo, Tercero Incluido, Inteligencia Artificial Generativa, Transdisciplina, Química, Ecología, Ética, Agencia Epistémica.

Abstract

This article presents the genesis, architecture, and empirical impact of the Transdisciplinary Design-Research Ecology (EIDT), an original methodology developed to overcome the structural dichotomy between critical social research and technical educational research in the public secondary chemistry classroom in Bogotá, radically disrupted by Generative Artificial Intelligence (GenAI). **Objective:** To present the epistemological foundations, the six-phase methodological framework, and the empirical findings of EIDT as an original methodological framework for research on complex educational systems in the algorithmic era. **Methodology:** The EIDT emerged from a doctoral study situated in the chemistry classroom of two district educational institutions (IED) in Bogotá, Colombia (localities 4 and 15), where initial diagnostics revealed three structural crises: unidisciplinary blindness, a sociotechnological equity gap, and the uncritical adoption of generative tools in chemistry teaching and learning processes. The study involved 100 students from the upper secondary cycle (grades 10 and 11), six natural sciences teacher co-researchers, four school administrators, and eleven women from the Manzanas del Cuidado adult education program, during March–October 2025. The EIDT dialectically integrates Participatory Action Research (PAR) and Design-Based Research (DBR) under Nicolescu's (1994) logic of the Included Third, deploying six recursive morphogenesis phases, epistemic vigilance mechanisms within the Cyber-Space-Time (CET), and an Uncertainty Management Matrix. **Results:** Evaluation through pre/post scales and analytical rubrics (N=100) confirms the model's ecological relevance: 78% of students overcame algorithmic subordination, 90% achieved high epistemic criticality, and 89% integrated chemistry, ecology, and ethics in territorial socio-environmental challenges. **Conclusions:** It is concluded that the EIDT constitutes an original methodological contribution to educational research in complex, algorithmically disrupted environments, demonstrating that the method itself can be as recursive, adaptive, and contextually situated as the system it investigates.

Keywords: EIDT; Participatory Action Research; Complex Thinking; Included Third; Generative Artificial Intelligence; Transdisciplinarity; Chemistry; Ecology; Ethics; Epistemic Agency.

1. Introducción

La investigación educativa en la era de la Inteligencia Artificial Generativa (IAGen) enfrenta un dilema metodológico sin precedentes. Los enfoques cualitativos de corte sociopolítico —como la Investigación-Acción Participativa (IAP)— ofrecen la profundidad hermenéutica necesaria para comprender las tensiones humanas ante la irrupción tecnológica, pero carecen de los artefactos técnicos para intervenir la "caja negra" del algoritmo (Delgado & Sotolongo, 2006; Reason & Bradbury, 2008; Stringer, 2014). En el polo opuesto, los enfoques cuantitativos e instrumentales —como la Investigación Basada en Diseño (DBR)— proveen el rigor para diseñar y refinar intervenciones pedagógicas en contextos reales (Anderson & Shattuck, 2012; Edelson, 2002; McKenney & Reeves, 2019), pero corren el riesgo de caer en el solucionismo tecnológico, ciego a las desigualdades estructurales que atraviesan la escuela pública latinoamericana.

Este dilema no es teórico: es ontológico. La irrupción de la IAGen ha transformado las infraestructuras epistémicas de la educación, modificando la forma en que el conocimiento se crea, valida y comparte en las aulas de ciencias naturales (Chen, 2025; Crompton & Burke, 2023; Holmes & Tuomi, 2022). En las aulas de química de la educación media bogotana, los estudiantes, docentes y algoritmos co-evolucionan simultáneamente en lo que Acero et al. (2025) denominan el Ciber-Espacio-Tiempo (CET): un nivel de realidad híbrido donde los datos no son hechos puros sino construcciones atravesadas por la ilusión de competencia del estudiante y las alucinaciones de la máquina. Kasneci et al. (2023) advierten que los grandes modelos de lenguaje transforman los procesos cognitivos de los aprendices con efectos aún no comprendidos;

Bender et al. (2021) demuestran que estos modelos reproducen sesgos estructurales a escala global. Ningún método convencional de investigación fue diseñado para operar en este entorno de alta complejidad e incertidumbre.

La investigación en metodologías mixtas ha avanzado significativamente en la última década, proponiendo marcos de integración dialéctica entre lo cualitativo y lo cuantitativo (Johnson & Onwuegbuzie, 2004; Fetters et al., 2013; Gonfiantini, 2023). Sin embargo, estos marcos no fueron diseñados para sistemas educativos atravesados por tecnologías disruptivas que modifican la naturaleza misma de los datos recolectados. En el aula de química, esta limitación es particularmente aguda: los estudiantes interactúan simultáneamente con el rigor del triángulo de Johnstone —niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico—, con los sesgos algorítmicos de los modelos de lenguaje que alucinan datos químicos con confianza estadística, y con las tensiones socioterritoriales de las localidades donde se sitúan las instituciones educativas. Ningún marco convencional ofrece herramientas para navegar estas tres dimensiones en simultáneo. Adicionalmente, los sistemas complejos adaptativos (Gell-Mann, 1994; Jacobson & Wilensky, 2006) como el aula de química no se comportan de manera predecible: cada intervención produce emergencias que requieren un método que co-evolucione con el fenómeno en lugar de imponerle un diseño externo. La respuesta a este vacío fue la Ecología de Investigación-Diseño Transdisciplinar (EIDT): una metodología original que supera la dicotomía IAP/DBR al aplicar la lógica del Tercero Incluido (Nicolescu, 1994) al plano del método mismo. Si la IAP es el polo A (investigación centrada en los sujetos, las narrativas y el contexto cultural) y la DBR es el polo No-A (investigación centrada en los artefactos, la métrica y los principios generalizables), la EIDT emerge como el Tercero (T): un nivel de realidad metodológica superior donde ambas no se contradicen, sino que se co-producen dialécticamente. La perspectiva ética de Maldonado (2024) sobre la IA y la visión transdisciplinar de Carrizo et al. (2003) refuerzan la necesidad de un marco que asuma la complejidad tecnosocial sin reduccionismos.

Este artículo se propone responder la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera puede la Ecología de Investigación-Diseño Transdisciplinar (EIDT) superar la dicotomía entre la investigación social crítica y la investigación técnica educativa en el aula de química de la educación media pública bogotana, atravesada por la Inteligencia Artificial Generativa? El objetivo del artículo es presentar los fundamentos epistemológicos, la arquitectura metodológica de seis fases y los hallazgos empíricos de la EIDT como marco metodológico original para la investigación en sistemas educativos complejos de la era algorítmica. El artículo se organiza en cuatro secciones: en Materiales y Métodos se presenta el contexto investigativo que dio lugar a la EIDT; en Resultados y Discusión se expone su origen epistemológico, arquitectura e impacto empírico; las Conclusiones sintetizan las contribuciones metodológicas al campo de la investigación educativa compleja y dan respuesta explícita a la pregunta planteada.

2. Materiales y métodos

La EIDT emergió de una investigación doctoral desarrollada entre marzo y octubre de 2025 en dos Instituciones Educativas Distritales (IED) de Bogotá: el Colegio Francisco de Paula Santander (FPS, localidad 15, Antonio Nariño) y el Colegio Los Alpes (ALP, localidad 4, San Cristóbal Sur). Ambas instituciones pertenecen al sector público con marcadas condiciones de vulnerabilidad socioeconómica (estratos 1 y 2), lo que las convirtió en entornos privilegiados para estudiar la disrupción tecnológica desde la inequidad estructural.

El muestreo fue no probabilístico intencional por criterio (Zapata & Rondán, 2016), fundamentado en tres condicionantes: (a) la caracterización socioeconómica de las localidades 4 y 15 como territorios con alta brecha de conectividad digital documentada en los sistemas de información de la SED Bogotá; (b) la voluntad explícita de los docentes para participar como co-investigadores en un proceso de transformación pedagógica; y (c) la diversidad de poblaciones atendidas, que incluye educación regular, programas de educación flexible y adultos mayores. Los criterios de inclusión fueron: estudiantes matriculados activamente en ciclo V (grados

10.º y 11.º, edades entre 15 y 18 años) con consentimiento informado firmado por padres o acudientes y asentimiento propio. El criterio de exclusión fue: asistencia inferior al 80 % durante las fases de intervención, para garantizar la participación sostenida en los ciclos de codiseño y validación.

La muestra definitiva incluyó 100 estudiantes de ciclo V —valor establecido por la suma de dos grupos completos de química por cada IED (promedio de 25 estudiantes por grupo, cuatro grupos en total), cubriendo la totalidad del alumnado de ciclo V disponible en ambas instituciones durante el período de intervención—, 6 docentes co-investigadores de ciencias naturales y tecnología, 4 directivos docentes y, como componente de equidad educativa, 11 mujeres del programa Manzanas del Cuidado vinculado al ALP. El tamaño de 100 participantes garantiza: (a) potencia estadística suficiente para el análisis de frecuencias y medidas de tendencia central en los cuestionarios Likert; (b) riqueza fenomenológica para la saturación teórica en la codificación cualitativa con Atlas.ti (ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH, 2022); y (c) representatividad de las condiciones socioeducativas heterogéneas de las localidades 4 y 15 de Bogotá. El diseño adoptó un enfoque mixto de triangulación concurrente (CUAL-CUAN), aplicando cuestionarios Likert (N=100) en paralelo con entrevistas semiestructuradas, grupos focales, observación participante y codificación abierta y axial mediante Atlas.ti (ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH, 2022). La elección del enfoque mixto no fue pragmática sino epistemológica: en un sistema vivo como el aula de química atravesada por la IAGen, lo cuantitativo dimensiona el problema mientras lo cualitativo le otorga sentido (Creswell & Clark, 2018; Johnson & Onwuegbuzie, 2004). La EIDT operó sobre cuatro pilares: (1) pensamiento complejo de Morin (1999a) como matriz; (2) transdisciplinariedad de Nicolescu (1994) como actitud; (3) IAP de Fals Borda (1985), Kemmis & McTaggart (2014) y Stringer (2014) como paradigma emancipatorio; y (4) DBR de Brown (1992), Edelson (2002) y Wang & Hannafin (2005) como motor de diseño iterativo.

3. Resultados

Impacto empírico de la EIDT: validación desde la complejidad

La validez de la EIDT no se mide por su adecuación a criterios de reproducibilidad clásica, sino por la transferibilidad, confiabilidad y pertinencia ecológica del conocimiento producido (Lincoln & Guba, 1985). La Tabla 1 sistematiza los cuatro hallazgos estructurantes.

Tabla 1

Dimensión evaluada	Hallazgo cuantitativo	Hallazgo cualitativo	Contribución de la EIDT
Quiebre del efecto oráculo	78 % rechaza transcripción acrítica (media 1,91/5,0). Pre-test: 74,7 % uso instrumental.	Estudiantes verbalizan: "Nosotros mandamos a la máquina, no ella a nosotros."	La lente DBR diseñó los prompts antagónicos; la IAP garantizó que el rechazo fuera culturalmente situado.
Alta criticidad epistémica	90 % en Niveles 3 y 4 (Rúbrica de Soberanía Epistémica). Nivel 1 reducido al 1-2 %.	Los estudiantes citan artículos científicos propios para refutar al algoritmo.	La vigilancia epistemológica del CET detectó en tiempo real la transición de la deuda cognitiva a la agencia.

Transdisciplinariedad emergente	89 % integra química, ecología, ética y política en retos socioambientales territoriales.	Los estudiantes conectan el pH del Río Fucha con la legislación ambiental y la ética ciudadana.	La Fase 3 (codiseño) ancló el saber a problemáticas territoriales reales desde el primer ciclo.
Equidad epistémica	Grupo Manzanas del Cuidado (n=11): 100 % capaz de auditar narrativas corporativas de la IA.	Las mujeres cuidadoras desmontaron falacias industriales con argumentos de su experiencia territorial.	El Protocolo de Equidad y la IAP como paradigma emancipador garantizaron la voz de las más vulnerables.

Fuente: A partir de los instrumentos de evaluación pre/post (N=100), la Rúbrica de Soberanía Epistémica y los registros cualitativos de la Fase 5. *Autor:* Autoría propia.

El hallazgo epistemológicamente más relevante no es cuantitativo sino meta-empírico: los tres indicadores principales (78 %, 90 %, 89 %) no emergieron de mediciones aisladas sino de la triangulación dialéctica de las lentes IAP y DBR operando en simultáneo. El quiebre del efecto oráculo fue la propiedad emergente de un sistema que aprendió a autoorganizarse a partir de la perturbación algorítmica diseñada en la Fase 3. La transdisciplinariedad emergente no fue planificada en ningún protocolo: surgió cuando los estudiantes conectaron orgánicamente el pH del Río Fucha con la legislación ambiental y la ética ciudadana, evidenciando la integración de química, ecología y política que Yuriev et al. (2024) identifican como el horizonte de la educación científica en la era de la IA. Esta conexión entre la asignatura de química, el territorio y la ética ciudadana confirma que la EIDT logra lo que UNESCO (2024, 2025) establece como condición para la alfabetización mediática e informacional (MIL): el empoderamiento del sujeto frente al ecosistema algorítmico a través de saberes situados.

El caso del grupo de las Manzanas del Cuidado merece especial atención metodológica. Once mujeres adultas (edades entre 25 y 74 años, estratos 1 y 2, sin formación técnica en inteligencia artificial) participaron en la Fase 4 de implementación. Al presentarles el avatar Magnus Valdés —un CEO corporativo parametrizado para emitir narrativas pseudocientíficas sobre la biodegradabilidad del cianuro en fuentes hídricas del sector— las participantes no recurrieron a fórmulas estequiométricas sino a su conocimiento encarnado del territorio: identificaron inconsistencias en las afirmaciones de la IA comparándolas con lo que habían observado directamente en las fuentes de agua de la localidad 4, con lo que sus hijos les habían enseñado en la escuela sobre reacciones químicas, y con las narrativas comunitarias sobre el impacto de las industrias locales. Estas Anclas Analógicas de carácter territorial les permitieron refutar las falacias corporativas de la IA con una autoridad epistémica que ninguna formación técnica podría haber provisto. Esta validación decolonial —el conocimiento situado del Sur Global refutando los sesgos del norte algorítmico— confirma la premisa epistemológica central de la EIDT: el conocimiento encarnado y territorial es una forma legítima de evidencia científica (Bender et al., 2021; Blonder & Feldman-Maggor, 2024), en concordancia con el mandato de la UNESCO (2024, 2025) de garantizar la alfabetización informacional como imperativo de justicia epistémica para las comunidades más vulnerables

4. Discusión

Génesis de la EIDT: el Tercero Incluido como principio metodológico

La EIDT nació de una insuficiencia ontológica concreta: ninguno de los marcos metodológicos disponibles era capaz, por sí solo, de responder a la naturaleza del fenómeno estudiado en el aula de química de las IED FPS y ALP. Aplicar exclusivamente la IAP implicaba el riesgo de quedarse en el diagnóstico sociopolítico de las brechas digitales sin llegar a ofrecer los artefactos técnicos para intervenir la caja negra algorítmica. Aplicar exclusivamente la DBR producía un tecnocratismo ciego, desconectado de las realidades vivas y las desigualdades de las IED (McKenney & Reeves, 2019). El aula de química, en tanto sistema complejo adaptativo (Gell-Mann, 1994), no admite reducción a ninguno de los dos enfoques en aislamiento.

La solución fue aplicar la lógica del Tercero Incluido (Nicolescu, 1994) al plano del método mismo. Así como ontológicamente la IA supera la dicotomía A/no-A para constituirse como un tercer actor que religa lo humano y lo artificial, metodológicamente la EIDT supera la dicotomía IAP/DBR para constituirse como un nivel de realidad metodológica superior que integra lo emancipatorio y lo técnico. Esta convergencia es lo que Fetter et al. (2013) denominan "integración de alto nivel" en los métodos mixtos: no la yuxtaposición de datos, sino la emergencia de conocimiento que ninguno de los dos enfoques podría producir en solitario. En el contexto específico del aula de química bogotana, esta integración fue necesaria porque el objeto de estudio —la interacción entre un estudiante de química, un modelo de lenguaje que alucina datos estequiométricos y un territorio atravesado por conflictos socioambientales— no podía ser aprehendido ni por el lente emancipador de la IAP ni por el lente técnico de la DBR en forma separada. La dimensión ética de esta integración es subrayada por Maldonado (2024): cualquier metodología que ignore la condición de los sujetos en contextos de asimetría tecnológica reproduce la misma inequidad que pretende estudiar. La Tabla 2 sistematiza los cinco pilares en sus dimensiones clave.

Tabla 2

Dimensión	IAP	DBR	Pensamiento Complejo	Transdisciplina
Propósito	Transformar realidades sociales mediante la acción colectiva y participación consciente.	Diseñar intervenciones educativas efectivas y teorizar desde la práctica.	Comprender la realidad en su multidimensionalidad superando la fragmentación del saber.	Integrar saberes científicos, humanísticos, técnicos y territoriales.
Actores	Co-construcción dialógica; docentes y estudiantes son co-investigadores legítimos.	Colaboración como co-diseñadores del aprendizaje en entornos reales.	Sujeto y objeto no separados; el conocimiento emerge de la interacción.	Diálogo entre disciplinas, culturas y experiencias de vida.
Método	Cualitativo, emancipador, cíclico: diagnóstico—acción—	Iterativo, centrado en diseño, evaluación y refinamiento continuo.	Abierto, reflexivo, no reduccionista; articula lo lógico con lo afectivo.	Transversal, relacional, adaptativa; combina lo

	reflexión– evaluación.			cuantitativo y cualitativo.
Ética	Colaboración, justicia social, empoderamiento y autonomía de los actores.	Compromiso, mejora continua y pertinencia educativa.	Comprensión, solidaridad con el otro y el planeta.	Cuidado de la vida y la Tierra como sistema compartido.
Principios	Participación, empoderamiento, horizontalidad.	Diseño iterativo, contextualización, teoría desde la práctica.	Rekursividad, dialógica, auto-eco- organización, incertidumbre.	Diálogo de saberes, apertura epistémica, enfoque glocal.

Fuente: A partir de Fals Borda (1985), Kemmis & McTaggart (2014), Wang & Hannafin (2005), Morin (1999a), Nicolescu (1994) y Carrizo et al. (2003). *Autor:* Autoría propia.

La Tabla 2 evidencia que la convergencia de los cuatro pilares no es un eclecticismo sino una integración dialéctica necesaria. La IAP otorga el sentido ético, participativo y territorial; la DBR aporta la materialidad del diseño iterativo; el pensamiento complejo provee la epistemología de la incertidumbre y la recursividad; y la transdisciplina garantiza que el conocimiento producido trascienda las fronteras disciplinares. Su fusión en la EIDT constituye lo que Delgado & Sotolongo (2006) denominan una "epistemología de segundo orden": el investigador co-evoluciona con el sistema que investiga, un principio coherente con el llamado de Max-Neef (2005) a una transdisciplinariedad que integre los niveles de realidad sin jerarquías epistemológicas. Esta integración no es abstracta: en la práctica del aula de química, significó que el mismo acto —diseñar un prompt para que la IA emita datos pseudocientíficos sobre la contaminación de una cuenca hídrica— era simultáneamente un artefacto de DBR (diseñado para generar fricción cognitiva medible) y un artefacto de IAP (anclado en las narrativas territoriales de los estudiantes sobre su cuenca). La sinergia entre los dos lentes produjo algo que ninguno podría haber generado solo: el Avatar Magnus Valdés, un personaje de IA que los estudiantes debían auditar con química real, convertido en el motor de una morfogénesis cognitiva verificable empíricamente. Gonfiantini (2023) y Jacobson & Wilensky (2006) confirman que este tipo de convergencia metodológica en sistemas complejos requiere aceptar la emergencia como un resultado legítimo, no como una anomalía que corregir.

Arquitectura de la EIDT: seis fases de morfogénesis recursiva

La EIDT se operacionalizó en seis fases recursivas de morfogénesis. Estas fases no son lineales: operan bajo el principio recursivo de Morin (1999a), donde cada ciclo retroalimenta y redefine el anterior. La Tabla 3 muestra la arquitectura completa con sus dos lentes metodológicos.

Tabla 3

Fase	Nombre	Lente IAP	Lente DBR	Producto
1	Diagnóstico y exploración de saberes	Pacto ético de co-investigación. Mapeo participativo de	Cuestionarios Likert (N=100), entrevistas, grupos focales, Atlas.ti	Línea base empírica. Evidencias del abismo de

		tensiones y brechas.	(ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH, 2022).	reflexividad y la ilusión de competencia.
2	Fundamentación epistemológica y diseño del ecosistema	Resignificación del rol de la IA como Tercero Incluido desde las voces de los actores.	Revisión PRISMA (WoS, Scopus, ERIC). Tres niveles de integración IA-educación.	Resignificación oráculo→Tercero Incluido. Marco de análisis crítico del sistema.
3	Codiseño y prototipado (Bucle recursivo)	Talleres de co-reflexión. Validación participativa de los artefactos desde el territorio.	Protocolo de diseño didáctico. Prototipado de "trampas algorítmicas". Pilotajes.	Protocolo EIDT. Rúbrica de soberanía epistémica. Avatar Magnus Valdés.
4	Implementación in situ y seguimiento	Observación participante. Mesas de co-reflexión. Registros de agencia epistémica.	Diarios de campo, auditoría de prompts. Bucle Acción–Observación–Reflexión–Ajuste.	Evidencias de morfogénesis del contrato didáctico y autoorganización del aula.
5	Evaluación crítica y sistematización	Grupos focales de cierre. Narrativas de transformación docente y estudiantil.	Escalas pre/post (N=100). Rúbricas analíticas. Codificación axial Atlas.ti.	Datos: 78 %, 90 %, 89 %. Matriz de triangulación metodológica.
6	Modelización y propuesta reflexiva	Talleres de validación con docentes, directivos y expertos. Política pública.	Esquemas sistémicos del modelo NEXUS-RELOAD-MIL. Validación de transferibilidad.	Modelo educativo reflexivo. Recomendaciones para la SED Bogotá.

Fuente: A partir de la sistematización de la intervención en las IED FPS y ALP, Bogotá, 2025. *Autor:* Autoría propia.

La innovación más disruptiva de esta arquitectura es el movimiento de retroceso entre fases, una característica que la distingue de los modelos de DBR convencionales (Anderson & Shattuck, 2012; Edelson, 2002). Cuando durante la Fase 4 la IAGen generó un "caos no productivo" —una avalancha de corte y pegue acrílico en las tareas de química—, la EIDT facultó al investigador para retornar a la Fase 3 y transformar un prompt abierto que permitía el facilismo en un protocolo de debugging que obligara a la verificación estequiométrica. Este

bucle inter-retro-activo materializa el principio moriniano del "orden que nace de la turbulencia" (Morin, 1999a), convirtiendo la incertidumbre en el insumo primario del diseño. Cada retroceso fue más que un círculo vicioso: representó un ciclo virtuoso porque al regresar con una nueva experiencia se transformó el punto de partida.

La EIDT en el Ciber-Espacio-Tiempo: vigilancia epistemológica y gestión de la incertidumbre

La EIDT no operó en un aula convencional sino en el Ciber-Espacio-Tiempo (CET): ese nivel de realidad híbrido donde las interacciones físicas del aula se entrelazan con los flujos de datos y algoritmos de la IAGen (Acero et al., 2025). En un contexto donde los modelos de lenguaje generativo transforman cómo los estudiantes construyen y validan el conocimiento químico (Kasneci et al., 2023; Holmes & Tuomi, 2022), la metodología incorporó dos mecanismos de autorregulación.

El primero fue la vigilancia epistemológica, un filtro metodológico inspirado en Bachelard (2000): "No hay verdad sin error rectificado", y en el falsacionismo de Popper (1980): toda afirmación científica debe poder ser refutada. Operó en tres niveles: (a) vigilancia sobre el dato —ninguna respuesta de la máquina sobre reacciones químicas se asumió válida hasta ser triangulada con la teoría química y la praxis docente—; (b) vigilancia sobre el sujeto —monitoreo constante del tecnoentusiasmo ingenuo y la tecnofobia reaccionaria del investigador—; y (c) vigilancia sobre el proceso —auditoría de si el estudiante ejercía agencia epistémica o había caído en la deuda cognitiva documentada por Kosmyrna et al. (2025).

El segundo mecanismo fue la gestión de la contradicción en el enfoque mixto. Cuando las escalas Likert reportaron que el 53,2 % de los estudiantes se autopercibía competente frente a la IAGen (Herrera Robles, 2025), mientras la observación cualitativa evidenciaba un "corte y pegue" sistemático en las actividades de química, la EIDT no anuló ningún dato ni forzó un consenso artificial. Aplicó la lógica del Tercero Incluido: la dialógica entre ambos polos reveló la Ilusión de Competencia, una propiedad emergente del sistema indetectable desde ninguno de los dos enfoques por separado. Esta distinción entre hallazgo cuantitativo y cualitativo es precisamente lo que Fetters et al. (2013) identifican como el valor añadido de la integración en métodos mixtos: "1+1=3". El proceso de validación fue apoyado por Comunidades de Práctica Pedagógica (DeLuca et al., 2014) que permitieron la revisión colaborativa de los hallazgos entre los docentes co-investigadores. La Tabla 4 sistematiza las tres emergencias más frecuentes durante la implementación y sus respuestas metodológicas.

Tabla 4

Emergencia (Entropía)	Manifestación en el aula	Respuesta metodológica (Neguentropía)	Herramienta EIDT
Disonancia cognitiva	Los estudiantes rechazan el error de la IA o la asumen como verdad absoluta, perpetuando la pasividad.	Activar la Pedagogía del Error (De la Torre, 2004). Convertir la alucinación en objeto de estudio.	Taller de Debugging crítico (IAP): el error de la IA se vuelve el reactivo para detonar la agencia epistémica.

Resistencia docente	Miedo al desplazamiento laboral o sensación de obsolescencia ante la velocidad de la IA.	Reconfigurar el rol docente de "Transmisor" a "Curador del Caos" y mediador ético.	Grupos focales de co-reflexión (IAP): espacios de catarsis y empoderamiento.
Falla técnica / estructural	Brecha de acceso: caída de red, equipos obsoletos, falta de datos (solo 25 % con acceso estable).	Adaptación bajo el principio Low-Tech / High-Cog (baja tecnología, alta demanda cognitiva).	Rediseño del artefacto (DBR): simulaciones desconectadas (IA en papel) o dispositivos en modo offline.
Ilusión de competencia	El estudiante cree ser crítico pero su praxis es "corte y pegue" instrumental.	Vigilancia epistemológica inmediata. Confrontación con la propia deuda cognitiva (Kosmyna et al., 2025).	Intervención del Tercero Incluido: el docente introduce una variable de complejidad irresoluble sin criterio humano.
Alucinación colectiva	Datos químicos falsos validados por el grupo por la autoridad del algoritmo.	Suspensión fenomenológica: detener la clase para analizar la genealogía del error algorítmico.	Auditoría del Prompt: análisis inverso de cómo se preguntó para entender por qué la máquina falló.

Fuente: A partir de la sistematización de las intervenciones en las IED FPS y ALP, Bogotá, 2025. *Autor:* Autoría propia.

La Tabla 4 revela la característica más diferencial de la EIDT respecto a los marcos convencionales: su diseño asume la emergencia como una condición constitutiva del sistema, no como una amenaza a controlar. La resistencia docente ante el avatar Magnus Valdés reveló empíricamente la brecha entre el discurso de la innovación y la praxis de la inercia. La alucinación colectiva sobre datos estequiométricos demostró la deuda cognitiva en tiempo real (Kosmyna et al., 2025). El fallo de internet validó la pertinencia del principio Low-Tech / High-Cog. En todos los casos, la emergencia no interrumpió la investigación: la profundizó.

El investigador como sujeto situado: reflexividad y auto-eco-organización

La EIDT rechaza la objetividad neutra y desencarnada (Maturana & Varela, 1980). El investigador principal asumió su condición de sujeto situado —docente de ciencias naturales en contexto urbano bogotano— como un dato metodológico de primer orden. Su posición inicial oscilaba entre el tecnoentusiasmo ingenuo y la tecnofobia reaccionaria ante la IAGen. La interacción con los Modelos de Lenguaje Grande durante las fases de diseño operó a su vez como un Tercero Incluido: la arquitectura algorítmica de la máquina funcionó como

un espejo de la propia cognición del investigador, obligándolo a deconstruir su rol de "autoridad epistémica" para transitar hacia el de "Curador del Caos" y agente relacional. Esta morfogénesis en la identidad del investigador —desde el positivismo disciplinar hacia el pensamiento complejo (Morin, 1999b)— no es una limitación: es la demostración más honesta de que la EIDT es un sistema que aprende de sí mismo, en coherencia con los principios de la investigación-acción como práctica transformadora (Kemmis & McTaggart, 2014; Stringer, 2014).

5. Conclusiones

Las conclusiones que se presentan a continuación responden a la pregunta de investigación planteada —¿De qué manera puede la EIDT superar la dicotomía entre la investigación social crítica y la investigación técnica educativa en el aula de química bogotana, atravesada por la IAGen?— y dan cuenta del objetivo de exponer los fundamentos epistemológicos, la arquitectura y el impacto empírico de la EIDT. De los resultados obtenidos, de su análisis y de la discusión epistemológica, se derivan las siguientes conclusiones:

- 1) La EIDT constituye una contribución metodológica original porque propone una solución operativa y replicable al dilema entre la investigación social crítica y la técnica educativa: la aplicación de la lógica del Tercero Incluido al nivel del método mismo. No es eclecticismo: es una síntesis superadora que eleva el plano metodológico a un nivel de realidad superior donde la IAP y la DBR se co-producen dialécticamente, en lugar de coexistir como enfoques yuxtapuestos. Esta solución es verificable empíricamente: los artefactos pedagógicos producidos (Avatar Magnus Valdés, Protocolo EIDT, Rúbrica de Soberanía Epistémica) son el resultado directo de la integración de los dos lentes, no de ninguno de ellos en aislamiento.
- 2) La vigilancia epistemológica en tres niveles —sobre el dato, el sujeto y el proceso— es el mecanismo que permite a la EIDT operar con rigor en el Ciber-Espacio-Tiempo. En entornos donde los datos están contaminados por las alucinaciones de la IAGen y la ilusión de competencia del estudiante, la vigilancia epistemológica es la condición de posibilidad del conocimiento válido, coherente con el principio de Bachelard (2000) y el falsacionismo de Popper (1980).
- 3) La Matriz de Gestión de Incertidumbre demuestra que la EIDT trata la emergencia como condición constitutiva del sistema, no como una amenaza a controlar. Esta perspectiva rompe con los marcos positivistas de la investigación educativa convencional y constituye la ruptura epistemológica más profunda de la metodología propuesta.
- 4) La validación empírica de la EIDT en las aulas de química de las dos IED bogotanas confirma que el modelo genera conocimiento pertinente, ético y transferible en contextos de alta complejidad y vulnerabilidad socioeconómica. El principio Low-Tech / High-Cog demuestra que la soberanía epistémica no depende de infraestructura de alta tecnología, sino del rigor del diseño metodológico que asume la complejidad como motor del aprendizaje, en coherencia con los lineamientos de la UNESCO (2024, 2025) sobre equidad digital y MIL.
- 5) La EIDT tiene potencial de replicabilidad en cualquier sistema educativo que enfrente la disrupción tecnológica desde condiciones de desigualdad estructural. Se recomienda a investigadores en didáctica de las ciencias naturales, tecnología e inteligencia artificial considerar este modelo como marco de referencia para abordar fenómenos educativos donde la dimensión social, técnica y ética son constitutivamente inseparables, y donde la asignatura de química puede convertirse en el eje de una ecología política y epistémica situada.

6. Referencias bibliográficas

Acero, C., González, M., & Santamaría, R. (2025). Journey through the MILtiverse: Toolkit for youth organizations. UNESCO. <https://doi.org/10.58338/FVKH3606>

- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH. (2022). ATLAS.ti 22 [Software informático]. <https://atlasti.com>
- Bachelard, G. (2000). *La formación del espíritu científico* (23.^a ed.). Siglo XXI.
- Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? En *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 610–623). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>
- Blonder, R., & Feldman-Maggor, Y. (2024). Generative AI in chemistry education: Cultural biases and pedagogical implications. *Journal of Chemical Education*, 101(8), 3201–3210. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00311>
- 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
- Carrizo, L., Prieto, M., & Klein, J. T. (2003). Transdisciplinariedad y complejidad en el análisis social. UNESCO-MOST.
- Chen, B. (2025). Generative AI as epistemic infrastructure: Implications for human epistemic agency in education. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/s11423-025-10478-9>
- 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>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE.
- DeLuca, C., Bolden, B., Chan, J., Poulton, P., & Searchfield, C. (2014). Collaborative inquiry for learning in education: Unpacking the research-practice relationship. *McGill Journal of Education*, 49(3), 643–664. <https://doi.org/10.7202/1029328ar>
- Delgado, C. J., & Sotolongo, P. L. (2006). *La revolución contemporánea del saber y la complejidad social*. CLACSO.
- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105–121. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101_4
- Fals Borda, O. (1985). *Conocimiento y poder popular: Lecciones con campesinos de Nicaragua, México y Colombia*. Siglo XXI.
- Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs: Principles and practices. *Health Services Research*, 48(6 Pt. 2), 2134–2156. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117>
- Gell-Mann, M. (1994). *El quark y el jaguar: Aventuras en lo simple y lo complejo*. Tusquets.

- Gonfiantini, V. (2023). Complexity and transdisciplinarity in educational research. Springer.
- Herrera Robles, J. A. (2025). Reconfiguración del aula de química como sistema reflexivo desde el pensamiento complejo y el ágora tecnopedagógica [Tesis doctoral en proceso]. Multiversidad Mundo Real Edgar Morin.
- Holmes, W., & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. *European Journal of Education*, 57(4), 542–570. <https://doi.org/10.1111/ejed.12533>
- Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11–34. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1501_4
- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, 33(7), 14–26. <https://doi.org/10.3102/0013189X033007014>
- Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, Article 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (2014). Participatory action research: Communicative action and the public sphere. En N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The SAGE handbook of qualitative research* (4th ed., pp. 549–603). SAGE.
- Kosmyna, N., Hauptmann, E., Yuan, Y. J., Liao, X.-H., Beresnitzky, A., & Braunstein, I. M. (2025). Your brain on ChatGPT: Accumulation of cognitive debt when using an AI assistant for essay writing task. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2506.08872>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE.
- Maldonado, C. E. (2024). *Inteligencia artificial y ética*. Universidad El Bosque.
- Maturana, H., & Varela, F. (1980). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. D. Reidel.
- Max-Neef, M. A. (2005). Foundations of transdisciplinarity. *Ecological Economics*, 53(1), 5–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.01.014>
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2019). *Conducting educational design research* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315105642>
- Morin, E. (1999a). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. UNESCO.
- Morin, E. (1999b). *La cabeza bien puesta: Repensar la reforma, reformar el pensamiento*. Nueva Visión.
- Nicolescu, B. (1994). *La transdisciplinariedad: Una nueva visión del mundo*. Multiversidad Mundo Real Edgar Morin.
- Popper, K. (1980). *La lógica de la investigación científica*. Tecnos.
- Reason, P., & Bradbury, H. (Eds.). (2008). *The SAGE handbook of action research* (2nd ed.). SAGE.
- Stringer, E. T. (2014). *Action research* (4th ed.). SAGE.
- UNESCO. (2024). *AI competency framework for students*. UNESCO.

UNESCO. (2025). Media and information literacy: Global standards for MIL practitioners. UNESCO.

Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5–23. <https://doi.org/10.1007/BF02504682>

Yuriev, E., Wink, M., & Holme, T. A. (2024). Generative AI in chemistry education: From personalised learning to ethical pedagogy. *Chemistry Education Research and Practice*, 25(2), 341–358. <https://doi.org/10.1039/D3RP00225J>

Zapata, G., & Rondán, V. (2016). Investigación-acción participativa: Guía metodológica. Instituto de Montaña