

PRIMERA EDICIÓN



INNOVACIÓN Y APRENDIZAJE EXPERIENCIAL EN INGENIERÍA AMBIENTAL:

Sistematización de prácticas universitarias

AUTORÍA

Javier Alexander Alcázar Espinoza
Alan Roberto Zambrano Pazmiño

Innovación y aprendizaje experiencial en ingeniería ambiental: sistematización de prácticas universitarias

Autores

Javier Alexander Alcázar Espinoza
Alan Roberto Zambrano Pazmiño

© Ediciones RISEI, 2025.

Todos los derechos reservados.

Este libro se distribuye bajo la licencia Creative Commons Atribución CC BY 4.0 Internacional.

Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente la posición de la editorial.

Editorial: Ediciones RISEI.

Colección Sistematización de Experiencias Educativas.

Título del libro: Innovación y aprendizaje experiencial en ingeniería ambiental: sistematización de prácticas universitarias .

Autoría: Javier Alexander Alcázar Espinoza / Alan Roberto Zambrano Pazmiño.

Edición: Primera edición.

Año: 2025.

ISBN: 978-9942-596-35-2.

DOI: <https://doi.org/10.63624/risei.book-978-9942-596-35-2>

Coordinación editorial: Jorge Maza-Córdova y Tomás Fontaines-Ruiz.

Diagramación y diseño: Unidad de Diseño.

Revisión por pares: Sistema doble ciego de revisión externa.

Machala — Ecuador, diciembre de 2025.

Este libro fue diagramado en L^AT_EX.

Disponible en: <https://editorial.risei.org/>

Contacto: info@risei.org

Prólogo

La educación superior vive hoy una transformación profunda que interpela a las universidades, a la docencia y a las prácticas formativas en todas las disciplinas. En un mundo marcado por la incertidumbre, la complejidad ambiental y los desafíos científicos, la formación del ingeniero ambiental adquiere un papel estratégico: no solo debe preparar profesionales técnicamente competentes, sino también ciudadanos críticos capaces de entender las interacciones ecológicas, sociales y tecnológicas que definen nuestro tiempo. En este escenario, la docencia deja de ser un ejercicio de transmisión de contenidos para convertirse en un acto reflexivo, investigativo y comprometido. La pregunta ya no es únicamente qué se enseña, sino cómo se aprende, qué experiencias transforman y qué procesos permiten que los estudiantes se reconozcan como protagonistas activos del conocimiento.

El libro que aquí se presenta nace precisamente de esa búsqueda. Sus dos capítulos, escritos desde la sistematización de experiencias docentes en la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), son testimonio de un esfuerzo por comprender el aprendizaje desde dentro, desde la práctica viva del aula y del laboratorio, desde la mirada crítica de quienes acompañan el crecimiento profesional de los estudiantes. Estos textos forman parte de un movimiento más amplio dentro de la educación latinoamericana: un movimiento que valora la escritura docente, la reflexión situada y la construcción colectiva de saberes como dimensiones esenciales del trabajo académico.

En un primer nivel, este libro dialoga con una preocupación constante: la distancia que a veces separa a la teoría de la práctica. La ingeniería ambiental, como campo interdisciplinario, exige que los estudiantes integren conocimientos provenientes de las ciencias básicas, las tecnologías de tratamiento, la sostenibilidad, la gestión del riesgo y las dinámicas del territorio. Sin embargo, esa integración no ocurre de manera espontánea. Requiere mediación pedagógica, estrategias didácticas innovadoras y experiencias concretas que permitan a los estudiantes ver, hacer, equivocarse, interpretar y volver a intentar. La sistematización se vuelve entonces una herramienta que ilumina este proceso, que permite narrarlo, comprenderlo y proyectarlo hacia nuevas prácticas de enseñanza.

El primer capítulo del libro, centrado en la integración de saberes en la enseñanza del tratamiento de aguas, muestra cómo la fragmentación disciplinar puede convertirse en un problema formativo significativo. La dificultad de articular elementos matemáticos, químicos y biológicos en un problema real de ingeniería no es solamente un asunto técnico: es una puerta hacia la reflexión pedagógica sobre cómo aprenden los estudiantes, cómo se enfrentan a la complejidad y qué estrategias permiten reconstruir, en conjunto, un conocimiento que haga sentido. La experiencia relatada demuestra que la integración no se impone por decreto curricular; se construye desde actividades auténticas, desde la

Prólogo

conversación técnica, desde el diseño de proyectos situados y desde el acompañamiento docente que invita a pensar, relacionar y justificar.

El segundo capítulo, centrado en una práctica de laboratorio marcada por la escasez de insumos, revela otra dimensión de la formación profesional: la resiliencia científica. En un contexto en el que la falta de reactivos podría haber detenido una práctica experimental, los estudiantes decidieron avanzar mediante la improvisación fundamentada, la creatividad y el método de ensayo y error. La elaboración de un floculante a partir de latas recicladas, la sustitución experimental de reactivos y la repetición sistemática de pruebas constituyeron un escenario pedagógico que desbordó la técnica para dar lugar a una vivencia integral: la toma de decisiones, la reflexión colectiva, el análisis crítico de los resultados y la comprensión profunda de los fenómenos fisicoquímicos involucrados.

Ambos capítulos, aunque distintos en su punto de partida, convergen en una tesis común: la educación ambiental significativa surge cuando la práctica se transforma en objeto de reflexión, cuando los estudiantes viven experiencias auténticas que los interpelan, los desafían y los invitan a generar conocimiento más allá de la reproducción de procedimientos. Este libro, por tanto, no solo presenta dos experiencias exitosas; propone una postura educativa que reivindica la práctica docente como un espacio legítimo de producción académica.

Resulta importante subrayar la relevancia de la sistematización como género de escritura y como metodología. En el campo de la pedagogía latinoamericana, la sistematización ha tenido un papel clave para recuperar, valorar y analizar experiencias educativas en contextos reales. Se trata de una práctica que no pretende ofrecer recetas universales, sino reconstruir procesos, evidenciar tensiones, identificar aprendizajes y generar sentidos compartidos. En este libro, la sistematización se asume como una herramienta capaz de elevar la práctica docente al plano del conocimiento, articulando teoría, acción y reflexión.

El aporte de este libro es doble. Por un lado, ofrece a la comunidad académica un ejemplo concreto de cómo la ingeniería ambiental puede enseñarse desde enfoques activos, reflexivos y situados. Los capítulos revelan estrategias didácticas valiosas: el aprendizaje experiencial; la experimentación basada en ensayo y error; el trabajo colaborativo; el acompañamiento docente reflexivo; la gestión creativa de recursos; la vinculación con el currículo; y la evaluación formativa basada en evidencias. Estas estrategias son transferibles a otros cursos, disciplinas y contextos, especialmente en instituciones que enfrentan limitaciones materiales y buscan innovar a partir de sus propias condiciones.

Por otro lado, el libro aporta una reflexión más amplia sobre el oficio docente en la universidad. Ser docente en ingeniería ambiental implica mucho más que transmitir contenidos técnicos: significa diseñar experiencias que permitan a los estudiantes construir un pensamiento científico sólido y ético; significa asumir la incertidumbre como parte del proceso formativo; significa generar espacios donde el error no es sinónimo de fracaso, sino una oportunidad para aprender; y significa reconocer que la práctica docente es también práctica investigativa, capaz de producir conocimiento relevante para la comunidad académica.

Asimismo, el libro evidencia que la innovación pedagógica no depende exclusivamente

te de contar con laboratorios equipados o recursos abundantes. Depende, sobre todo, de la capacidad docente para convertir cada obstáculo en una oportunidad: un reactivo faltante se transforma en desafío experimental; un problema de integración conceptual se convierte en puerta hacia el pensamiento crítico; una limitación técnica abre posibilidades para la creatividad y la sostenibilidad. En este sentido, el enfoque que subyace a ambos capítulos coincide con una visión contemporánea de la educación para el desarrollo sostenible: aquella que reconoce que los desafíos ambientales requieren profesionales capaces de pensar con flexibilidad, actuar con responsabilidad y aprender continuamente.

También se quiere destacar el valor institucional del trabajo presentado. La Universidad Estatal de Milagro, al promover la escritura académica docente y la sistematización de experiencias, fortalece una cultura universitaria basada en la reflexión, el diálogo y la mejora continua. Este libro no es solo un producto académico: es un hito dentro de una estrategia formativa que concibe a la docencia como un espacio de creación colectiva. Al publicar estas experiencias, la universidad apuesta por la transparencia pedagógica, la colaboración entre pares, la visibilización del conocimiento generado en el aula y la consolidación de comunidades académicas que aprenden de sí mismas.

Finalmente, este libro invita a reflexionar sobre el futuro de la enseñanza en disciplinas ambientales. En un mundo donde los problemas ambientales se agudizan, la formación profesional requiere abordajes educativos capaces de articular conocimientos técnicos, sensibilidad socioambiental, creatividad científica y capacidad de acción. Los textos aquí reunidos muestran que esta formación es posible cuando la docencia se construye desde la práctica reflexiva y el compromiso ético; cuando se reconoce la potencia del laboratorio, del error, de la experimentación y del aprendizaje situado; y cuando se otorga a los estudiantes un rol activo en la construcción del conocimiento.

De esta forma se abren las puertas a un libro que no pretende ofrecer respuestas definitivas, sino compartir procesos reales que han transformado la manera de enseñar y aprender en Ingeniería Ambiental. Las experiencias sistematizadas dialogan con el presente y el futuro de la educación superior, proponiendo un camino donde la innovación no es un lujo, sino una necesidad; donde la creatividad se convierte en herramienta científica; y donde la docencia universitaria se entiende como una praxis que combina rigor, humanidad y compromiso con el territorio.

Invitamos al lector a adentrarse en estas páginas con la curiosidad de quien escucha un relato vivo; con la mirada crítica de quien reconoce la complejidad educativa; y con la convicción de que la formación ambiental, cuando se construye desde la experiencia y la reflexión, puede ser una fuerza transformadora para nuestras instituciones, nuestros estudiantes y nuestras sociedades.

Índice general

Prólogo	i
1. Integración de saberes en la enseñanza del tratamiento de aguas	1
1.1. Introducción	4
1.2. Problematización	5
1.2.1. Propósito de la sistematización	7
1.2.2. Criterios de valor	8
1.2.3. Delimitación del objeto de estudio	8
1.3. Fundamentación conceptual y operativa de la experiencia	9
1.3.1. Identificación de conceptos estructurantes	10
1.3.2. Formulación de dimensiones	11
1.3.3. Construcción de indicadores	11
1.3.4. Fuentes y métodos de verificación	12
1.3.5. Justificación teórica del conjunto	12
1.3.6. Cierre del subcapítulo	13
1.4. Vínculo curricular y perfil de carrera	14
1.4.1. Identificación de competencias del perfil de la carrera	14
1.4.2. Resultados de aprendizaje vinculados	15
1.4.3. Actividades y evidencias	16
1.4.4. Integración del vínculo curricular y perfil de carrera	17
1.4.5. Cierre del subcapítulo	17
1.5. Ecosistema estratégico	18
1.5.1. Estrategias núcleo en acción	18
1.5.2. Estrategias de soporte aplicadas	19
1.5.3. Estrategias de contingencia desplegadas	20
1.5.4. Arquitectura del ecosistema estratégico	20
1.5.5. Justificación del logro de competencias	21
1.6. Evaluación - integración de puentes	22
1.6.1. Instrumentos de evaluación aplicados	22
1.6.2. Indicadores de evaluación y criterios de validez	23
1.6.3. Análisis preliminar de evidencias	24
1.6.4. Reflexión sobre validez, sesgos y factibilidad	24
1.6.5. Cierre integrador de la evaluación	25
1.6.6. Cierre del subcapítulo	25
1.7. Reflexión y transferencia	26
1.7.1. Cierre del subcapítulo	27
1.8. Conclusiones	27

Tabla de Contenidos

2. Aprendizaje basado en ensayo y error en el laboratorio ambiental	37
2.1. Introducción	40
2.2. Problematización	41
2.2.1. Propósito de la sistematización	42
2.2.2. Criterios de valor	43
2.2.3. Delimitación del objeto de estudio	44
2.2.4. Cierre del subcapítulo	44
2.3. Identificación de conceptos estructurantes	45
2.3.1. Formulación de dimensiones	47
2.3.2. Construcción de indicadores	48
2.3.3. Fuentes y métodos de verificación	49
2.3.4. Justificación teórica del conjunto	50
2.4. Vínculo con el currículo y el perfil de la carrera	51
2.4.1. Identificación de competencias del perfil de la carrera	51
2.4.2. Resultados de aprendizaje vinculados	53
2.4.3. Actividades y evidencias	54
2.4.4. Reflexión sobre la alineación curricular	55
2.4.5. Cierre del subcapítulo	55
2.5. Ecosistema estratégico	56
2.5.1. Estrategias núcleo en acción	57
2.5.2. Estrategias de soporte aplicadas	58
2.5.3. Estrategias de contingencia desplegadas	60
2.5.4. Arquitectura del ecosistema (diagrama + relato)	61
2.5.5. Cierre integrador del subcapítulo	61
2.6. Evaluación	62
2.6.1. Instrumentos de evaluación aplicados	63
2.6.2. Rúbrica de desempeño experimental	63
2.6.3. Bitácora reflexiva de laboratorio	63
2.6.4. Entrevista semiestructurada a estudiantes	64
2.6.5. Revisión de producto científico	64
2.6.6. Indicadores de evaluación y criterios de validez	64
2.6.7. Análisis preliminar de evidencias	65
2.6.8. Reflexión sobre validez, sesgos y factibilidad	66
2.6.9. Cierre integrador del proceso evaluativo	67
2.7. Reflexión y transferencia	67
2.7.1. Reflexión crítica sobre la experiencia	68
2.7.2. Transferibilidad y proyección institucional	70
2.7.3. Cierre integrador de la sistematización	71
2.8. Conclusiones	72

A. Anexo del Capítulo Integración de saberes en la enseñanza del tratamiento de aguas	81
A.1. Rúbrica de evaluación por competencias	82
A.2. Cuestionario de percepción estudiantil	82
A.3. Guía de entrevista (semiestructurada)	83
A.4. Análisis preliminar de evidencias	84
B. Anexo del Capítulo Aprendizaje basado en ensayo y error en el laboratorio ambiental	86

1

Integración de saberes en la enseñanza del tratamiento de aguas

Javier Alexander Alcázar Espinoza ¹

El presente capítulo sistematiza una experiencia desarrollada en la asignatura Tratamiento de Aguas de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), donde se abordó la dificultad de integrar saberes matemáticos, químicos y biológicos en la resolución de problemas reales. El propósito fue comprender cómo estrategias activas y reflexivas favorecieron dicha integración y fortalecieron la identidad profesional estudiantil. La sistematización empleó análisis de evidencias, planificación estratégica, observación de aula y evaluación triangulada. Los resultados permiten evidenciar avances en pensamiento crítico, autonomía técnica y aplicación contextualizada del conocimiento, constituyendo un modelo formativo sostenible y replicable a otras disciplinas y contextos.

¹Universidad Estatal de Milagro, jalcazare@unemi.edu.ec.

Índice

1.1. Introducción	4
1.2. Problemática	5
1.2.1. Propósito de la sistematización	7
1.2.2. Criterios de valor	8
1.2.3. Delimitación del objeto de estudio	8
1.3. Fundamentación conceptual y operativa de la experiencia	9
1.3.1. Identificación de conceptos estructurantes	10
1.3.2. Formulación de dimensiones	11
1.3.3. Construcción de indicadores	11
1.3.4. Fuentes y métodos de verificación	12
1.3.5. Justificación teórica del conjunto	12
1.3.6. Cierre del subcapítulo	13
1.4. Vínculo curricular y perfil de carrera	14
1.4.1. Identificación de competencias del perfil de la carrera	14
1.4.2. Resultados de aprendizaje vinculados	15
1.4.3. Actividades y evidencias	16
1.4.4. Integración del vínculo curricular y perfil de carrera	17
1.4.5. Cierre del subcapítulo	17
1.5. Ecosistema estratégico	18
1.5.1. Estrategias núcleo en acción	18
1.5.2. Estrategias de soporte aplicadas	19
1.5.3. Estrategias de contingencia desplegadas	20
1.5.4. Arquitectura del ecosistema estratégico	20
1.5.5. Justificación del logro de competencias	21
1.6. Evaluación - integración de puentes	22
1.6.1. Instrumentos de evaluación aplicados	22
1.6.2. Indicadores de evaluación y criterios de validez	23

1.6.3. Análisis preliminar de evidencias	24
1.6.4. Reflexión sobre validez, sesgos y factibilidad	24
1.6.5. Cierre integrador de la evaluación	25
1.6.6. Cierre del subcapítulo	25
1.7. Reflexión y transferencia	26
1.7.1. Cierre del subcapítulo	27
1.8. Conclusiones	27

1.1. Introducción

La formación de ingenieros ambientales enfrenta hoy un desafío central: lograr que los estudiantes integren de manera significativa los saberes científicos que adquieren a lo largo de su trayectoria académica para aplicarlos con solvencia en contextos técnicos reales que faciliten su futuro desempeño laboral. Esta integración, lejos de ser un proceso automático, exige un trabajo pedagógico consciente que articule teoría, práctica y reflexión, y que permita transformar la fragmentación disciplinar en comprensión profunda. En la asignatura Tratamiento de Aguas de la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), este reto se hizo especialmente evidente. Los estudiantes, pese a haber cursado asignaturas de ciencias básicas como Cálculo, Química, Biología, Hidráulica y Microbiología, manifestaban dificultades para relacionar estos conocimientos en la resolución de problemas integrales de saneamiento. Una de las anécdotas iniciales del curso, en la que un estudiante confesó entre risas y tensión que era “*imposible resolver ecuaciones químicas mientras se hacían cálculos de caudales*”, reveló no solo una debilidad conceptual, sino también una percepción común de desconexión entre las disciplinas científicas.

Esta situación, más que un obstáculo, se convirtió en una oportunidad para repensar la práctica docente. La experiencia que se sistematiza en este capítulo surge precisamente de ese punto de inflexión: la necesidad de convertir la dificultad en un motor para innovar en la enseñanza del tratamiento de aguas. La asignatura, ubicada en el séptimo nivel de la carrera de Ingeniería Ambiental, ofrecía las condiciones ideales para ello: un grupo de treinta estudiantes con bases sólidas, un espacio curricular orientado a la aplicación profesional y un contexto institucional que promueve la vinculación entre ciencia, tecnología y sostenibilidad ambiental. Bajo estas condiciones, el aula se transformó progresivamente en un laboratorio de exploración conceptual, experimentación técnica y diálogo interdisciplinario.

El propósito central de esta sistematización es comprender cómo, a través de una planificación estratégica, un conjunto de estrategias activas y una evaluación rigurosa, fue posible favorecer la integración de saberes, fortalecer el pensamiento crítico y consolidar la identidad profesional del futuro ingeniero ambiental. Esta reflexión no se limita a describir prácticas aisladas, sino que propone una lectura estructurada y teóricamente fundamentada del proceso vivido. En este sentido, el capítulo reconstruye el recorrido formativo a través de seis subcapítulos que organizan la experiencia en distintos niveles de análisis: el contexto y la identificación del problema; la fundamentación conceptual

y operativa; la vinculación curricular; el ecosistema estratégico de implementación; la evaluación del aprendizaje y la reflexión crítica sobre la transferibilidad del modelo.

A lo largo de este recorrido, la sistematización muestra cómo la combinación del Aprendizaje Basado en Proyectos-ABP, las bitácoras de escritura reflexiva, los círculos interdisciplinarios y el soporte digital, institucional y colaborativo permitió generar un entorno de aprendizaje activo, riguroso y situado. Las actividades desarrolladas, que incluyeron desde el diseño de sistemas de tratamiento de aguas mediante la metodología BLASF hasta proyectos de compostaje, monitoreo de calidad del aire y prototipos de energías renovables, ofrecieron a los estudiantes oportunidades auténticas para articular saberes, justificar decisiones técnicas y desarrollar autonomía profesional. A su vez, el proceso evaluativo, basado en rúbricas, matrices de seguimiento, análisis documental y triangulación de evidencias, otorgó rigor metodológico y credibilidad académica al modelo implementado.

Finalmente, se busca posicionar la experiencia como un aporte significativo a la discusión actual sobre la enseñanza de la ingeniería ambiental. La sistematización no solo permite comprender la dinámica del aula y las transformaciones logradas, sino que además ofrece un modelo formativo con potencial de ser replicado y adaptado en otros contextos educativos y disciplinas. Al reconstruir críticamente lo ocurrido, el capítulo invita a docentes, investigadores y responsables académicos a reflexionar sobre cómo fortalecer la integración de saberes, promover aprendizajes significativos y formar profesionales capaces de responder con criterio técnico y responsabilidad ética a los desafíos socioambientales contemporáneos.

1.2. Problematización

La experiencia que aquí se sistematiza se desarrolla en la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), en la Facultad de Ciencias e Ingeniería, dentro del programa de Ingeniería Ambiental, específicamente en la asignatura Tratamiento de Aguas. Este espacio curricular se ubica en el séptimo nivel, etapa en la que los estudiantes enfrentan el reto de integrar conocimientos adquiridos en cursos previos y proyectarlos hacia escenarios profesionales. La asignatura se constituye así en un laboratorio pedagógico en el que confluyen teoría, práctica y responsabilidad ambiental.

Los participantes corresponden a un grupo de 30 estudiantes de séptimo nivel, quienes habían cursado y aprobado asignaturas como Cálculo, Química, Biología, Hidráulica

y Microbiología. Aunque contaban con bases sólidas, aún se encontraban en transición hacia la aplicación reflexiva de sus saberes. Durante las primeras prácticas, un estudiante expresó con timidez que era “*imposible resolver ecuaciones químicas al mismo tiempo que se hacían cálculos de caudales*”, lo que provocó risas compartidas y una reflexión grupal. Esa anécdota evidenció una dificultad común, pero también un recurso pedagógico para cohesionar al grupo y transformar la tensión en una oportunidad de aprendizaje compartido.

El contexto académico se vio favorecido por el interés en trabajar con casos reales, una dinámica participativa basada en preguntas y debates, y la constante referencia a la normativa ambiental ecuatoriana sobre recursos hídricos. No obstante, surgieron limitaciones importantes: la escasa iniciativa y el débil pensamiento crítico de algunos estudiantes frente a problemas complejos. Estos elementos configuran el escenario inicial que fundamenta la sistematización.

El problema central identificado es la dificultad de los estudiantes para integrar conocimientos matemáticos, químicos y biológicos en la resolución de problemas prácticos de tratamiento de aguas, lo que restringe su desarrollo crítico y profesional (Carlino, 2005; Parodi, 2012). Investigaciones recientes confirman que la falta de articulación entre ciencias básicas y competencias aplicadas en ingeniería es un desafío persistente en la educación superior, especialmente en áreas ambientales que requieren análisis interdisciplinario (Gutierrez-Bucheli et al., 2022).

Este desafío trasciende lo puntual y refleja una brecha estructural en la formación profesional: la distancia entre saberes teóricos y su aplicación en escenarios simulados y en contextos reales. La relevancia del problema radica en que el tratamiento de aguas exige precisión y capacidad de análisis científico. Cuando los estudiantes no logran articular estos saberes, se debilita la finalidad de la asignatura y se limita la preparación para responder a los retos ambientales, pues el desarrollo de competencias ambientales y de sostenibilidad es condición para enfrentar los desafíos ecológicos actuales (Araujo-Vizuete et al., 2022).

Si no se atiende esta problemática, los estudiantes pueden egresar con vacíos que afectarán su inserción profesional, tal como muestran Ripoll et al. (2023) al evidenciar que muchos alumnos de áreas científico-tecnológicas carecen de competencias de ingeniería básicas para vincular la teoría con la práctica profesional. Esta carencia disminuye su participación en proyectos de saneamiento y perpetúa un modelo educativo basado princi-

palmente en la transmisión de contenidos, en lugar de un aprendizaje significativo (Lillis & Curry, 2010; Ripoll et al., 2023).

La práctica en el aula mostró con claridad la magnitud del problema. El comentario del estudiante sobre la “imposibilidad” de resolver ecuaciones químicas junto con cálculos de caudales reveló una percepción compartida: la integración de saberes era vista como una tarea inalcanzable. Este tipo de evidencias, más que anécdotas aisladas, reflejan una dificultad colectiva que debe abordarse pedagógicamente.

Lo anterior evidencia un problema formativo y pedagógico que invita a repensar las estrategias docentes. Reconocerlo constituye el primer paso para orientar la sistematización hacia aprendizajes colectivos, entendida como una propuesta pedagógica que permite organizar y reorientar críticamente la práctica educativa (Jara Holliday, 2018a; Rodríguez, 2019).

1.2.1. Propósito de la sistematización

El propósito de esta sistematización es comprender cómo la enseñanza del tratamiento de aguas puede convertirse en un espacio donde los estudiantes integren saberes, desarrollen pensamiento crítico y consoliden su identidad profesional como ingenieros ambientales.

Este propósito nace de la necesidad de transformar la dificultad detectada en una oportunidad para mejorar la práctica docente. Narrar la experiencia no solo permite dejar constancia de lo ocurrido, sino que también abre un espacio para producir conocimiento pedagógico y reflexionar sobre la enseñanza universitaria.

Definir un propósito claro resulta esencial porque orienta el análisis hacia aprendizajes compartidos y transferibles. Escribir sobre la práctica se convierte en un ejercicio de construcción de identidad profesional, en el que el docente se reconoce como productor de saber y se integra a comunidades discursivas que valoran la reflexión sistemática (Carlino, 2005; Hernández Barbosa & Moreno Cardozo, 2025).

El texto se proyecta hacia colegas y lectores como un aporte crítico y didáctico. Busca ofrecer ejemplos de estrategias innovadoras, reflexiones sobre la mediación docente y claves para transformar dificultades en oportunidades de aprendizaje. De este modo, se consolida la intencionalidad de la sistematización, que es producir conocimiento situado y útil para la comunidad académica (Jara Holliday, 2018b; Muñoz Vargas & Grueso Cárdenas, 2024).

1.2.2. Criterios de valor

El valor principal de la experiencia radica en convertir una dificultad recurrente (la integración de saberes en ingeniería) en una oportunidad de innovación pedagógica.

La innovación se evidencia en el diseño de actividades que exigían a los estudiantes articular operaciones matemáticas, balances químicos y fundamentos biológicos en situaciones de saneamiento, en línea con propuestas de aprendizaje basado en proyectos que integran bioprocessos y tratamiento de aguas residuales en problemas ambientales reales (Bes-Piá et al., 2023). Este enfoque se aproxima a la lógica de la investigación-acción, donde la práctica reflexiva genera mejoras continuas (Elliott, 1990).

En términos de impacto, la experiencia fortaleció la confianza de los estudiantes y consolidó el aula como un espacio colaborativo. Para el docente, implicó una reflexión crítica sobre sus propias decisiones pedagógicas, en sintonía con lo que Machost y Stains (2023) denominan práctica reflexiva, entendida como un proceso intencional y sistemático para mejorar la toma de decisiones docentes.

La experiencia también tiene potencial de transferibilidad. La dificultad que aborda no es exclusiva de la ingeniería ambiental, sino que atraviesa varias disciplinas. Documentar y compartir la práctica permite que otros docentes se inspiren y adapten las estrategias a sus propios contextos, siguiendo lo planteado por De De Jong et al. (2022) sobre el valor de difundir innovaciones educativas. En resumen, la experiencia resulta valiosa por su capacidad innovadora, su impacto comprobado y su transferibilidad. La sistematización adquiere sentido al transformar la práctica docente en un conocimiento compartido y aprovechable colectivamente (Jara Holliday, 2018a; Mera Rodríguez, 2019).

1.2.3. Delimitación del objeto de estudio

El objeto de estudio se delimita como el proceso de integración de saberes en la asignatura Tratamiento de Aguas de la carrera de Ingeniería Ambiental en la UNEMI, durante un semestre académico con un grupo de 30 estudiantes de séptimo nivel.

El análisis se centra en la dimensión pedagógica, en particular en las estrategias e interacciones que buscaron superar las dificultades de articulación de conocimientos en problemas de saneamiento. La temporalidad corresponde al periodo 2024–2025. Las evidencias consideradas incluyen registros de aula, evaluaciones, observaciones y testimonios de estudiantes. Esta delimitación concreta, apoyada en la triangulación de entrevisistas, observaciones y análisis documental, asegura el rigor del análisis (Chand, 2025; Flick, 2014).

El recorte se justifica en que la asignatura representa un momento decisivo de transición hacia escenarios profesionalizantes. Fijar estos límites permite evitar generalizaciones vacías y generar aprendizajes útiles y transferibles, en coherencia con la importancia de la delimitación rigurosa del objeto de estudio para asegurar coherencia y transferibilidad de los resultados (Creswell & Creswell, 2018; Jara Holliday, 2018a).

El objeto de estudio se define como un proceso pedagógico en un espacio, tiempo y población concretos. Esto permite concentrar el análisis y proyectar sus resultados hacia debates más amplios sobre la enseñanza en disciplinas profesionales.

Esta primera parte del documento recoge la estructura desde el contexto inicial hasta la delimitación del objeto de estudio, el recorrido permite reconocer una práctica docente, transformarla en un problema formativo, darle un propósito de análisis, demostrar su valor y fijar los límites de su abordaje. Este proceso no solo da coherencia a la sistematización, sino que abre camino al desarrollo del siguiente capítulo, donde se analizarán los hallazgos, aprendizajes y proyecciones de la experiencia en la enseñanza del tratamiento de aguas como disciplina clave en la formación ambiental universitaria.

1.3. Fundamentación conceptual y operativa de la experiencia

El anterior subcapítulo estableció la narrativa contextual y problematizada de la experiencia. Este nuevo subcapítulo busca comprender los fundamentos conceptuales y operativos que sostienen la práctica docente, situándola dentro de marcos analíticos y metodológicos que otorguen rigor a la sistematización. El propósito de esta sección es construir el andamiaje conceptual que permita interpretar los hallazgos, vincular la experiencia con teorías de aprendizaje significativo y asegurar la coherencia entre práctica, conceptos y evidencias.

En este sentido, la experiencia docente desarrollada en la asignatura Tratamiento de Aguas Residuales constituye un escenario idóneo para articular teoría y práctica. Los desafíos identificados (particularmente las dificultades en el manejo de matemáticas y química aplicada) no se abordan aquí solo como vacíos de conocimiento, sino como oportunidades formativas. A partir de esta premisa, este subcapítulo propone fundamentar la experiencia en un conjunto de conceptos, dimensiones, indicadores y métodos, con el fin de garantizar una sistematización sólida, verificable y transferible a otros contextos educativos.

1.3.1. Identificación de conceptos estructurantes

Los conceptos que estructuran esta experiencia son: aprendizaje significativo, integración de saberes, práctica reflexiva, enseñanza contextualizada, pensamiento crítico y transferencia de conocimiento. Estos conceptos emergen de la necesidad de fortalecer la formación del ingeniero ambiental desde una perspectiva que combine teoría y práctica. La enseñanza del diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales en pequeños núcleos poblacionales exige un abordaje que supere la fragmentación disciplinar y promueva la comprensión profunda de los fundamentos científicos aplicados.

El aprendizaje significativo, según Ausubel, se consolida cuando los nuevos conocimientos se relacionan de forma sustantiva con lo que el estudiante ya sabe, generando anclajes conceptuales duraderos (Moreira, 2017). De igual modo, Carlino (2005) y Hyland (2009) plantean que la escritura académica y el razonamiento crítico se constituyen como prácticas sociales que consolidan la identidad profesional (Carlino, 2005; Montes et al., 2022). En esta experiencia, dichos enfoques se integran al proceso de enseñanza, permitiendo a los estudiantes conectar fórmulas, procesos y decisiones técnicas con contextos ambientales reales.

Asimismo, la práctica reflexiva se asume, como una metodología que permite al docente repensar sus estrategias y convertir la dificultad en oportunidad (Aranda-Vega et al., 2020). La enseñanza contextualizada, por su parte, amplía el horizonte de aprendizaje al situar los problemas de ingeniería dentro de la realidad socioambiental ecuatoriana, fomentando la transferencia del conocimiento a escenarios comunitarios.

1.3.2. Formulación de dimensiones

Para operacionalizar los conceptos estructurantes, se establecieron tres dimensiones analíticas: pedagógica, institucional y subjetiva. Estas dimensiones organizan la experiencia de forma coherente y permiten observar cómo interactúan los factores de aprendizaje, la gestión académica y la percepción de los actores involucrados (Flick, 2014; Iturralde et al., 2018; Jara Holliday, 2018a).

La **dimensión pedagógica** se centra en las estrategias de enseñanza y los procesos de aprendizaje activo, entendidos como oportunidades para que el estudiantado se implique en el razonamiento conceptual y cuantitativo más allá de la mera aplicación mecánica de ecuaciones (Koretsky et al., 2018). Siguiendo a Elliott (1993) y Schön (1992), esta dimensión refleja el valor de la práctica reflexiva, en la cual el docente transforma la dificultad en oportunidad formativa. En este caso, la aplicación de simulaciones numéricas, ejercicios de balance de materia y diseño de sistemas reales permitió que los estudiantes transitaran de la memorización de fórmulas a la comprensión aplicada del proceso.

La **dimensión institucional**, sustentada en Fullan (2007) y Bolívar (2012), evidencia cómo la universidad responde a los retos formativos mediante políticas de articulación curricular. En este sentido, la experiencia aporta criterios para fortalecer la conexión entre asignaturas de ciencias básicas y cursos de aplicación profesional, lo que contribuye al desarrollo de un perfil de egreso coherente con las demandas del entorno laboral Montes Anguita et al. (2021).

Finalmente, la dimensión subjetiva, apoyada en Wenger (1998), reconoce las transformaciones en la identidad profesional y el sentido de logro de los estudiantes. La autopercepción de competencia técnica y la confianza en el razonamiento matemático emergieron como elementos clave para el desarrollo de autonomía profesional, en consonancia con la relación entre identidad profesional y autoeficacia docente descrita por Marschall (2021).

1.3.3. Construcción de indicadores

Cada dimensión se tradujo en indicadores observables que permiten medir los avances logrados. Siguiendo a Flick (2014) y Jara Holliday (2018a), los indicadores en la sistematización son instrumentos de interpretación y comprensión, más que simples datos cuantitativos.

En la **dimensión pedagógica**, los indicadores definidos fueron: 1. Capacidad de aplicar fundamentos científicos en el diseño de sistemas reales, y 2. Habilidad para resolver

problemas complejos de cálculo. Ambos se evidencian en los informes técnicos y en las simulaciones prácticas desarrolladas por los estudiantes.

En la **dimensión institucional**, los indicadores se relacionaron con: 1. La articulación entre cursos básicos y aplicados, y, 2. El fortalecimiento de la práctica interdisciplinaria. Estos indicadores se evidenciaron en el rediseño de secuencias de aprendizaje, en la coordinación entre asignaturas y en la inclusión de actividades de refuerzo para fortalecer las bases científicas del estudiantado.

En la dimensión subjetiva, se establecieron indicadores centrados en: 1. La reflexión crítica sobre el propio aprendizaje, 2. El desarrollo de autonomía profesional y 3. La consolidación de la confianza técnica en la toma de decisiones. Estos indicadores se verificaron a través de registros de observación, autoevaluaciones y comentarios reflexivos en las bitácoras de trabajo (Herrera et al., 2022; Stake, 1995; Yin, 2014).

1.3.4. Fuentes y métodos de verificación

Las fuentes de información utilizadas fueron diversas: informes de prácticas, observaciones de aula, rúbricas de desempeño, encuestas de percepción y análisis de productos finales. Cada fuente fue seleccionada por su pertinencia y potencial de triangulación metodológica (Flick, 2014). Los métodos de verificación combinaron observación directa, análisis documental y evaluación participativa, garantizando coherencia entre fuente, indicador y método (Creswell & Creswell, 2018; Stake, 1995; Yin, 2014).

Por ejemplo, los informes técnicos permitieron analizar la precisión de los cálculos y la argumentación técnica; las observaciones de aula revelaron los cambios en la interacción y la colaboración entre pares; y las encuestas aportaron una visión subjetiva sobre la percepción de aprendizaje y confianza profesional. La integración de estas fuentes fortaleció la credibilidad del proceso y otorgó consistencia empírica a los resultados (Hasnawia et al., 2025; Jara Holliday, 2018a).

1.3.5. Justificación teórica del conjunto

El conjunto teórico y metodológico se justifica en la necesidad de dotar de rigor analítico a la experiencia educativa. Los conceptos, dimensiones e indicadores definidos no emergen de manera arbitraria, sino de referentes sólidos en investigación educativa y práctica reflexiva. Flick (2014) enfatiza que la claridad en las categorías y dimensiones

garantiza validez interna, en este mismo aspecto, se garantiza esa validez, en la medida en que permite identificar con precisión los constructos analizados y hacer explícitas las decisiones metodológicas que sostienen la interpretación de los datos Johnson et al. (2020), mientras Jara Holliday (2018a) subraya que la coherencia metodológica fortalece la interpretación y transferibilidad de la experiencia, pues la alineación entre preguntas, marco teórico y decisiones de diseño se reconoce como un criterio central de calidad en la investigación cualitativa (Brown et al., 2025; Levitt et al., 2021).

Asimismo, Carlino (2005) destaca que la escritura académica y la reflexión sobre la práctica constituyen medios para la construcción colectiva del conocimiento. Yin (2014) y Stake (1995), por su parte, coinciden en que la triangulación de fuentes y métodos es clave para la validez en estudios cualitativos, lo que se ve reforzado por aportes más recientes que subrayan la triangulación como estrategia central para aumentar la credibilidad y la validez de los hallazgos (Noble & Heale, 2019). De este modo, cada decisión metodológica se sustenta en un marco teórico que legitima el análisis posterior y consolida la credibilidad de la sistematización.

En esta experiencia, los fundamentos conceptuales y operativos se integran como un cuerpo coherente: los conceptos definen el enfoque; las dimensiones delimitan el análisis; los indicadores precisan la observación; y las fuentes y métodos garantizan la validación. Esta articulación convierte la práctica pedagógica en objeto de conocimiento académico.

1.3.6. Cierre del subcapítulo

El recorrido realizado en este subcapítulo permitió consolidar un andamiaje conceptual y metodológico que otorga solidez a la sistematización. A través de los cinco componentes se identificaron los conceptos estructurantes, se formularon dimensiones analíticas, se definieron indicadores, se seleccionaron fuentes y métodos, y se justificó teóricamente el conjunto. Este proceso fortalece la rigurosidad académica y prepara el terreno para el análisis crítico del siguiente subcapítulo, donde los hallazgos serán interpretados a la luz de los marcos teóricos construidos (Carlino, 2005; Hammarberg et al., 2016; Jara Holliday, 2018a; Yin, 2014).

En resumen, este subcapítulo constituye el esqueleto intelectual del capítulo. Lo elaborado aquí permite sostener el análisis posterior con evidencias verificadas y fundamentos teóricos sólidos, garantizando que la experiencia docente trascienda lo anecdótico para convertirse en conocimiento académico transferible. El siguiente subcapítulo abordará el

análisis interpretativo, donde las evidencias se contrastarán con los marcos teóricos, cerrando el ciclo reflexivo iniciado en el aula.

1.4. Vínculo curricular y perfil de carrera

El subcapítulo 2 permitió consolidar la fundamentación conceptual y operativa de la experiencia, mediante la definición de conceptos estructurantes, dimensiones analíticas, indicadores, fuentes, métodos y una justificación teórica que dio solidez a la sistematización. Este proceso no solo clarificó la estructura interna de la experiencia, sino que aportó rigor metodológico y validez a las evidencias obtenidas. A partir de este andamiaje teórico-práctico, el capítulo se orienta ahora hacia un nuevo propósito: establecer el vínculo entre la práctica sistematizada, el currículo de la carrera y el perfil profesional del Ingeniero Ambiental.

En este tránsito, la experiencia se reinterpreta como una instancia de aprendizaje curricular y no solo como un ejercicio docente aislado. En esta sección se abordará cómo las competencias institucionales, los resultados de aprendizaje y las evidencias generadas se articulan con la formación integral del ingeniero ambiental, en coherencia con los estándares nacionales e internacionales de calidad educativa y con los lineamientos de sostenibilidad profesional que promueve la UNEMI.

1.4.1. Identificación de competencias del perfil de la carrera

La vinculación entre experiencia docente y perfil de egreso constituye un eje esencial en la educación superior contemporánea. Las competencias profesionales integran conocimientos, habilidades y actitudes que permiten al egresado desenvolverse con solvencia en contextos complejos, en coherencia con la perspectiva de la educación basada en competencias, donde una competencia se concibe como la integración de conocimientos, habilidades y actitudes en un contexto determinado (Janssens et al., 2023). En esta línea, Zabalza (2003) señala que el perfil profesional es el horizonte que orienta la docencia universitaria y da sentido a las prácticas formativas.

En el caso de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), las competencias vinculadas directamente con la experiencia sistematizada son:

- **O2:** Diseñar, planificar, ejecutar y evaluar planes de manejo ambiental.
- **O4:** Implementar proyectos técnicos y tecnológicos vinculados a los recursos agua, suelo y aire.
- **O8:** Promover proyectos conjuntos con entidades públicas y privadas orientados a la gestión e investigación ambiental.

Estas competencias expresan la integración entre ciencia, tecnología y ética ambiental. Siguiendo a Barnett (2001), la formación del profesional en la sociedad del conocimiento requiere desarrollar no solo saberes técnicos, sino también la capacidad de actuar reflexivamente frente a la incertidumbre y la complejidad (Marginson, 2024). Durante el proceso sistematizado, las competencias se evidenciaron en proyectos de tratamiento de aguas residuales mediante el sistema BLASF, estudios de compostaje, monitoreo de calidad del aire y diseño de prototipos de energía solar de perovskita. Dichas actividades consolidaron la capacidad de investigación, innovación tecnológica y trabajo colaborativo, coherentes con la visión de Villa y Poblete (2008) sobre las competencias como expresión de aprendizajes demostrables, y con los planteamientos de la educación basada en competencias que enfatizan la definición clara de resultados y la evaluación de desempeños observables (Curry & Docherty, 2017; Marcotte & Gruppen, 2022).

En conjunto, estas competencias validan la correspondencia entre la formación académica y las necesidades del contexto ambiental ecuatoriano, contribuyendo a la consolidación de un perfil profesional capaz de responder a los desafíos del desarrollo sostenible.

1.4.2. Resultados de aprendizaje vinculados

Los resultados de aprendizaje son el puente operativo entre las competencias y la práctica docente. De acuerdo con Biggs y Tang (2011), el principio de alineación constructiva plantea que los resultados esperados deben reflejar de manera coherente lo que se enseña, cómo se enseña y cómo se evalúa. En esta experiencia, se fortalecieron tres resultados fundamentales del currículo:

- **RA5:** Domina teorías y técnicas para resolver problemáticas ambientales de origen natural o antrópico.
- **RA6:** Aplica ciencias básicas y profesionales en sistemas de tratamiento y mitigación.

- **RA7:** Emplea metodologías y tecnologías apropiadas a los sistemas ambientales donde interactúan el ser humano y la naturaleza.

El **RA5** se potenció mediante el diseño y evaluación del sistema BLASF, donde los estudiantes aplicaron fundamentos de cinética microbiana y transferencia de masa, en consonancia con Zabalza (2003) y la necesidad de un currículo orientado a la acción.

El **RA6** se evidenció al integrar química ambiental, microbiología e hidráulica en la resolución de problemas reales de tratamiento de aguas y compostaje, demostrando la aplicación de las ciencias básicas a contextos técnicos.

Por último, el **RA7** se materializó en proyectos de energía renovable y gestión de residuos, donde los estudiantes aplicaron metodologías innovadoras en colaboración con instituciones públicas y privadas.

Estos resultados confirman la pertinencia curricular del plan de estudios y su coherencia con las demandas profesionales del sector ambiental, garantizando una formación integral que articula teoría, práctica y ética ambiental.

1.4.3. Actividades y evidencias

Las actividades académicas fueron diseñadas para evidenciar la coherencia entre los resultados de aprendizaje y las competencias profesionales. Como destacan Biggs y Tang (2011), las actividades deben generar experiencias significativas que conduzcan a la demostración de logros verificables. En este contexto, la experiencia incluyó cinco ejes prácticos interrelacionados:

- **Diseño y operación del sistema BLASF:** permitió integrar ciencia y tecnología en el tratamiento biológico de aguas, con evidencias en informes técnicos, protocolos de operación y análisis cinético (Lopes et al., 2023).
- **Monitoreo de calidad del aire:** fortaleció la capacidad de análisis crítico mediante la aplicación de sensores y protocolos QA/QC, generando bases de datos y mapas ambientales.
- **Compostaje de residuos agroindustriales:** promovió la economía circular y la investigación aplicada.
- **Investigación en celdas solares de perovskita:** impulsó la innovación científica en energías limpias.

- **Vinculación institucional y ecoeficiencia:** fomentó la responsabilidad social universitaria a través de proyectos conjuntos con comunidades y empresas.

Estas actividades dieron origen a evidencias verificables: bases de datos experimentales, publicaciones científicas, materiales de capacitación, tesis de grado y prototipos tecnológicos. En línea con Zabalza (2003), esta trazabilidad entre actividad, resultado y evidencia confirma la coherencia curricular y el impacto formativo de la experiencia.

1.4.4. Integración del vínculo curricular y perfil de carrera

La experiencia sistematizada demuestra la integración efectiva entre las competencias (O2, O4, O8), los resultados de aprendizaje (RA5, RA6, RA7) y las actividades y evidencias generadas, consolidando un proceso formativo coherente, verificable y alineado con los estándares del perfil de egreso del Ingeniero Ambiental. La articulación entre docencia, investigación y vinculación se traduce en un modelo de enseñanza activa que fomenta la resolución de problemas reales, la innovación y el compromiso con la sostenibilidad.

Tal como plantean Hernández Ruiz y Carrasco Ramírez (2023), la formación profesional debe responder a la complejidad del entorno y promover una praxis reflexiva capaz de transformar realidades. La experiencia desarrollada confirma que el currículo de Ingeniería Ambiental en la UNEMI no solo enseña, sino que forma profesionales con conciencia crítica y técnica sólida para enfrentar los desafíos ambientales actuales.

Este módulo establece las bases conceptuales y empíricas para el análisis de resultados que se abordará en el siguiente apartado del capítulo. Desde la sistematización realizada, se dispone ahora de un marco curricular validado por la práctica, donde las evidencias se convierten en indicadores tangibles de aprendizaje y transformación.

1.4.5. Cierre del subcapítulo

En conjunto, el subcapítulo 3 constituye el punto de convergencia entre la fundamentación teórica y la práctica profesional, mostrando que la educación en ingeniería ambiental puede y debe estar en diálogo constante con los problemas del territorio. La articulación entre competencias, resultados de aprendizaje, actividades y evidencias demuestra la madurez de un proceso formativo que trasciende lo académico para incidir en lo social y lo ambiental. Esta coherencia entre el hacer, el saber y el ser sienta las bases para el subcapítulo 4, donde se analizarán los impactos, aprendizajes y transformaciones derivados de la

experiencia, fortaleciendo el sentido de la sistematización como práctica de investigación educativa.

1.5. Ecosistema estratégico

El subcapítulo 4, constituye la fase operativa y articuladora de la sistematización, donde convergen las estrategias núcleo, de soporte y de contingencia que sostuvieron la experiencia educativa innovadora. Este apartado se construye sobre los cimientos curriculares del módulo anterior, trasladando el énfasis desde la vinculación con el perfil profesional hacia la acción pedagógica y la planificación estratégica. A través de los distintos puentes de escritura, se muestra cómo la práctica docente se convierte en un espacio de innovación metodológica y transformación institucional.

El cierre del subcapítulo 3 marcó la culminación de la vinculación curricular y la identificación de competencias profesionales. Este nuevo tramo del capítulo abre el camino hacia la operacionalización estratégica, donde la teoría se transforma en acción pedagógica. Desde esta perspectiva, las competencias del ingeniero ambiental se concretan en decisiones metodológicas, instrumentos didácticos y procesos de acompañamiento académico que integran la docencia, la investigación y la vinculación social. Esta transición representa una bisagra narrativa que conecta el diseño curricular con la praxis educativa, preparando el terreno para el análisis del ecosistema de estrategias implementadas.

1.5.1. Estrategias núcleo en acción

Las estrategias núcleo constituyen el corazón metodológico de la experiencia, al articular la planificación, la práctica y la evaluación bajo un mismo propósito formativo. Según Biggs y Tang (2011), la efectividad de una propuesta educativa depende de la coherencia entre los resultados de aprendizaje esperados, las actividades diseñadas y las formas de evaluación, lo que denominan alineación constructiva. En esta misma línea, Rodríguez Fernández y Pérez Martínez (2024) señalan que el modelo de alineamiento constructivo ofrece un marco para articular de manera sistemática los resultados, las experiencias de aprendizaje y la evaluación en la educación superior contemporánea. En esta experiencia, las estrategias núcleo se estructuraron en tres ejes:

1. Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP),
2. Bitácora de Escritura Reflexiva, y
3. Círculos de Diálogo Interdisciplinario.

El ABP permitió a los estudiantes desarrollar soluciones ambientales aplicadas al contexto local, integrando saberes técnicos, sociales y éticos. Este enfoque fortaleció la autonomía y el trabajo colaborativo, al tiempo que evidenció el aprendizaje situado. La Bitácora de Escritura Reflexiva, inspirada en Carlino (2005), promovió la metacognición y la escritura académica como práctica social, articulando pensamiento técnico con reflexión crítica. Finalmente, los Círculos de Diálogo Interdisciplinario propiciaron el intercambio de saberes entre docentes y estudiantes de diferentes áreas, generando aprendizaje colaborativo y visión sistémica.

Las evidencias de estas estrategias se reflejaron en proyectos ambientales reales, informes técnicos, guías de discusión y registros de escritura estudiantil. La coherencia entre objetivos, procesos y productos evidenció el cumplimiento de los resultados de aprendizaje y fortaleció el compromiso estudiantil con la sostenibilidad y la innovación.

1.5.2. Estrategias de soporte aplicadas

Las estrategias de soporte garantizaron la estabilidad, coherencia y sostenibilidad del proceso innovador. De acuerdo con Fullan (2007) y Bolívar (2012), todo cambio educativo requiere condiciones institucionales y culturales que lo respalden. En esta experiencia se aplicaron cuatro soportes clave:

- **Soporte tecnológico-digital**, mediante el uso de software especializado (EPA-SWMM, BioWin, QGIS) para la simulación hidráulica y biológica.
- **Soporte institucional**, expresado en la formación docente y la coordinación académica interdepartamental.
- **Soporte colaborativo**, basado en comunidades de práctica interdisciplinarias (Wenger, 1998).
- **Soporte evaluativo**, que integró rúbricas de desempeño, coevaluación y retroalimentación formativa.

Estos soportes potenciaron las estrategias núcleo: el ABP se fortaleció con el uso de simuladores y herramientas digitales; la Bitácora Reflexiva ganó profundidad gracias al acompañamiento institucional; y los Círculos Interdisciplinarios se consolidaron mediante la evaluación colaborativa. Las evidencias incluyeron bases de datos experimentales, actas de reuniones, rúbricas y encuestas de satisfacción, que mostraron mejoras sostenidas en competencias analíticas y comunicativas. En conjunto, estos soportes actuaron como pilares que aseguraron la coherencia del ecosistema educativo y su pertinencia institucional.

1.5.3. Estrategias de contingencia desplegadas

Durante la implementación surgieron contingencias que exigieron respuestas inmediatas y flexibles. Entre ellas destacaron fallas intermitentes en los equipos informáticos, ausentismo temporal por conectividad, limitaciones de tiempo y discrepancias metodológicas entre docentes. Estas situaciones, lejos de interrumpir el proceso, se convirtieron en oportunidades de aprendizaje. Conforme señalan Stake (1995) y Yin (2014), la validez de una experiencia no depende de la ausencia de imprevistos, sino de la capacidad para gestionarlos con rigor y coherencia, haciendo explícitos los criterios de calidad y las decisiones adoptadas durante el proceso (Korstjens & Moser, 2018).

Las medidas adoptadas incluyeron el uso de simuladores en línea, respaldo en la nube, tutorías asincrónicas y la creación de una mesa técnica docente para consensuar criterios de evaluación. Estas estrategias garantizaron la continuidad y equidad del proceso formativo. Las evidencias (bitácoras digitales, registros en Moodle, reportes técnicos y actas de consenso) confirmaron la resiliencia institucional y el compromiso estudiantil. El manejo de estas contingencias demostró que la flexibilidad y la adaptabilidad son competencias clave del ecosistema pedagógico, alineadas con la visión de cambio educativo de (Fullan, 2007).

1.5.4. Arquitectura del ecosistema estratégico

La articulación entre estrategias núcleo, soportes y contingencias configuró un ecosistema sistémico y dinámico, donde cada elemento cumple una función específica dentro de un proceso de autorregulación. Inspirado en el pensamiento complejo de Morin (2001), este ecosistema puede compararse con un humedal educativo, un sistema vivo que filtra, conecta y renueva saberes. En esta arquitectura, las estrategias núcleo actúan como raíces

que sostienen la estructura; los soportes como canales que distribuyen energía y recursos; y las contingencias como mecanismos de equilibrio que aseguran la estabilidad del sistema.

El diagrama conceptual que acompaña esta descripción representa el flujo circular del aprendizaje, desde la planificación hasta la evaluación. Muestra cómo las decisiones docentes, el trabajo colaborativo y las adaptaciones emergentes conforman una red de relaciones interdependientes. De acuerdo con Bryson (2018), Checkland (1999) y Snowden y Boone (2007), la planificación estratégica en sistemas complejos requiere una visión holística capaz de integrar la incertidumbre, y precisamente este modelo responde a esa premisa. La arquitectura del ecosistema no es estática: evoluciona con cada ciclo de aprendizaje, reconfigurando sus componentes según las necesidades del contexto.

1.5.5. Justificación del logro de competencias

El cierre del módulo integra los resultados alcanzados y justifica el logro de las competencias profesionales previstas en el perfil de egreso. Las estrategias aplicadas fortalecieron tres competencias esenciales:

1. Dominio técnico, a través del ABP y el uso de herramientas de simulación.
2. Competencia investigativa y comunicativa, mediante la Bitácora Reflexiva.
3. Competencia colaborativa, promovida en los Círculos Interdisciplinarios y soportes institucionales.

Siguiendo a Zabalza (2003), el currículo basado en competencias articula conocimiento, habilidades y valores en contextos reales, articulando saberes con experiencias de la vida cotidiana del estudiante Moobola y Mulenga (2020); y, como plantea Barnett (2001), la educación debe preparar profesionales capaces de actuar con juicio crítico ante la complejidad. Las evidencias (informes, modelos digitales, bitácoras, rúbricas y presentaciones públicas) validan el logro de estas competencias. La experiencia, además, demostró pertinencia al responder a desafíos ambientales actuales y transferibilidad al ofrecer un modelo adaptable a otras asignaturas técnicas y contextos institucionales.

En resumen, el ecosistema estratégico evidencia que la innovación educativa se consolida cuando la planificación, la práctica y la reflexión convergen en un sistema coherente,

ético y sostenible. El siguiente módulo abordará la evaluación del impacto formativo y social de esta experiencia, profundizando en cómo los resultados cuantitativos y cualitativos confirman la eficacia del modelo y su valor transformador en la formación de ingenieros ambientales.

1.6. Evaluación - integración de puentes

El subcapítulo anterior permitió exponer la lógica estratégica que sostuvo la experiencia implementada, mostrando cómo las estrategias núcleo, de soporte y de contingencia operaron como un ecosistema pedagógico y adaptativo. Se evidenció una articulación coherente entre planificación, operacionalización y acompañamiento docente, mediante actividades experienciales y mecanismos de seguimiento formativo orientados a la transferencia de los aprendizajes a contextos reales. No obstante, para otorgar legitimidad académica, credibilidad metodológica y potencial de transferencia, es indispensable evaluar el proceso de forma sistemática.

En este sentido, la evaluación se constituye como el eje que permite verificar la coherencia entre lo planificado y lo ejecutado, analizar el impacto de las estrategias aplicadas y garantizar la trazabilidad del aprendizaje. Para ello, se utilizaron instrumentos como rúbricas analíticas, matrices de seguimiento, cuestionarios de percepción estudiantil e indicadores de transferencia y desempeño técnico. Esta transición marca el inicio de un proceso evaluativo que no busca únicamente medir resultados, sino comprender la profundidad formativa de la experiencia y su valor como modelo replicable.

1.6.1. Instrumentos de evaluación aplicados

La evaluación requirió el uso de instrumentos rigurosos que permitieran medir evidencias, contrastar desempeños y asegurar la calidad metodológica de la sistematización. Como señalan Casanova (1999) y Scriven (1991), los instrumentos no solo recolectan datos, sino que posibilitan juicios fundamentados sobre los procesos educativos, al concebir la evaluación como un proceso de recogida de información para emitir juicios que orienten la acción pedagógica (Vegliante, 2025). En este caso, se emplearon rúbricas de desempeño, matrices de seguimiento de competencias, cuestionarios de percepción estudiantil, registros de observación directa y análisis de productos académicos. Su aplicación

respondió a una lógica secuencial de evaluación formativa, complementada con triangulación de evidencias y seguimiento docente personalizado.

Cada instrumento cumplió una función específica. Las rúbricas permitieron valorar competencias técnicas y comunicativas; las matrices de seguimiento registraron progresos en habilidades experimentales y trabajo colaborativo; los cuestionarios permitieron analizar percepciones, aprendizajes y nivel de apropiación conceptual; mientras que el análisis de productos académicos evidenció la transferencia teórico-práctica del conocimiento. Estos instrumentos ofrecieron una evaluación integral que combinó perspectivas cuantitativas y cualitativas, fortaleciendo la credibilidad del proceso (Almalki, 2016; Stake, 1995) y su potencial de replicabilidad institucional.

En conjunto, los instrumentos aplicados permitieron validar lo aprendido, habilitar retroalimentación oportuna y otorgar trazabilidad a los resultados. La evaluación se presentó, entonces, como narrativa verificable y como motor de mejora, siguiendo el enfoque de evaluación auténtica y orientada al aprendizaje, que subraya la importancia de tareas significativas y feedback útil para el aprendizaje presente y futuro (Barrientos-Hernán et al., 2020; Biggs & Tang, 2011).

1.6.2. Indicadores de evaluación y criterios de validez

Los indicadores fueron esenciales para establecer correspondencia entre resultados previstos, competencias del perfil de egreso y evidencias producidas. Se utilizaron indicadores de desempeño técnico, transferencia del aprendizaje, sostenibilidad del conocimiento, pertinencia social del proyecto y autonomía en el trabajo colaborativo. Su aplicación se basó en contrastar el desempeño real con los descriptores curriculares y estándares de acreditación, mediante matrices de seguimiento y análisis comparativo antes-después.

Cada indicador permitió evidenciar progresos verificables: los registros experimentales mostraron dominio progresivo de parámetros ambientales; las presentaciones de proyecto evidenciaron transferencia técnica contextualizada; y los informes de laboratorio reflejaron capacidad explicativa y criterio profesional. Desde la perspectiva metodológica, se garantizaron criterios de validez mediante consistencia interna, triangulación y replicabilidad metodológica, siguiendo los enfoques de Yin (2014) y Stake (1995) sobre credibilidad en estudios de caso, y las recomendaciones recientes sobre rigor cualitativo y triangulación propuestas por (Abdalla et al., 2018).

De esta manera, los indicadores no fueron simples cuantificadores, sino herramientas para justificar la pertinencia curricular y la coherencia pedagógica de la propuesta. Tal como plantea Patton (2018), evaluar implica emitir juicios fundamentados sobre la calidad del proceso educativo, lo cual se garantizó a través de un enfoque integral, contextualizado y técnicamente verificable.

1.6.3. Análisis preliminar de evidencias

La sistematización de evidencias implicó un trabajo riguroso de organización, análisis y codificación. Se recopilaron informes técnicos, registros de laboratorio, rúbricas por competencias, encuestas de percepción estudiantil, bitácoras de campo y matrices de seguimiento del sistema BLASF. Estas evidencias fueron procesadas mediante categorización y codificación abierta, complementadas con análisis estadístico descriptivo de los parámetros ambientales y con la integración sistemática de datos cualitativos y cuantitativos para la triangulación entre datos técnicos, percepciones y desempeño académico.

Los hallazgos preliminares mostraron un patrón ascendente en la capacidad de los estudiantes para conectar teoría con práctica, interpretar resultados biológicos y justificar decisiones con criterio ingenieril. Se evidenció un aumento sostenido en la eficiencia del sistema BLASF y una apropiación del enfoque práctico-experimental, respaldada por fragmentos de informes estudiantiles, curvas de remoción de contaminantes y testimonios de aprendizaje significativo. Como señalan Mangaroska y Giannakos (2019), la comprensión profunda de los datos depende de su contextualización pedagógica y su articulación con patrones emergentes.

En resumen, el análisis de evidencias permitió reconocer avances formativos verificables y consolidó la credibilidad de los resultados técnicos y educativos. Así, la experiencia trascendió lo anecdótico y se situó como estudio de caso fundamentado, con capacidad para proyectarse como modelo formativo replicable (Greenhalgh, 2025; Stake, 1995).

1.6.4. Reflexión sobre validez, sesgos y factibilidad

La evaluación rigurosa exigió un ejercicio crítico sobre la validez, los sesgos y las condiciones reales de factibilidad. La validez se aseguró mediante triangulación metodológica, validación entre pares y comparación con registros históricos del laboratorio, siguiendo los criterios de Yin (2014) para la credibilidad interna de los casos aplicados.

Entre los sesgos identificados se hallaron el sesgo de confirmación y la participación voluntaria en encuestas, mitigados mediante revisión ciega de datos, formularios anónimos y capacitación metodológica previa (Fenner et al., 2020).

En cuanto a la factibilidad, se enfrentaron dificultades técnicas, tiempos limitados de laboratorio y restricciones en la estabilización experimental del sistema BLASF. Sin embargo, se aplicaron soluciones basadas en el principio de factibilidad progresiva de Patton y Campbell-Patton (2022), evidenciando que la investigación educativa debe adaptarse a las condiciones reales sin perder rigor académico (Sullivan et al., 2021). Este ejercicio reflexivo permitió comprender que la evaluación no se limita a la medida de resultados, sino también al reconocimiento de los márgenes realistas de ejecución y aprendizaje.

1.6.5. Cierre integrador de la evaluación

La evaluación confirmó avances significativos en competencias técnicas, investigativas y colaborativas, evidenciando la capacidad del ecosistema pedagógico para generar aprendizajes transferibles y pertinente con el perfil profesional. Se demostraron progresos en habilidades experimentales, análisis crítico y diseño de soluciones ambientales contextualizadas, en coherencia con los principios de evaluación útil y formativa propuestos por Patton y Campbell-Patton (2022) y con la evidencia sobre el papel de la evaluación en el desarrollo de competencias experimentales y de análisis en ingeniería (Subheesh & Sethy, 2020).

Asimismo, el proceso permitió reconocer limitaciones y oportunidades de mejora, asumiendo una postura crítica y responsable frente a los desafíos pedagógicos. La evaluación no fue un cierre, sino una bisagra hacia escenarios reales de aplicación y transferencia de conocimiento. Como señala Stake (1995), la credibilidad de un estudio educativo se sostiene no solo en sus resultados, sino en la honestidad metodológica con que se reportan sus hallazgos y desafíos. En la misma línea, Ghamrawi et al. (2025) enfatizan que la transparencia en el reporte de los procedimientos y resultados es condición central para la credibilidad de las investigaciones en educación.

1.6.6. Cierre del subcapítulo

El subcapítulo 5 permitió consolidar el carácter formativo de la experiencia mediante un proceso evaluativo riguroso, reflexivo y verificable. Se establecieron vínculos claros

entre estrategias implementadas, evidencias producidas y competencias alcanzadas, asegurando la credibilidad del proceso y su valor como referencia pedagógica. Así, el capítulo se prepara para avanzar hacia el subcapítulo 6, dedicado a la transferencia y proyección profesional, donde la evaluación se convertirá en argumento central para demostrar el impacto potencial del modelo en contextos reales de gestión ambiental.

1.7. Reflexión y transferencia

El presente subcapítulo se estructuró como un cierre reflexivo del proceso de sistematización, habilitando una lectura crítica sobre los aprendizajes, tensiones y proyecciones que emergieron de la experiencia pedagógica. La transición inicial marcó claramente el paso desde la evaluación formativa hacia un espacio de análisis más profundo, donde los logros y limitaciones identificados ya no se leen como resultados aislados, sino como fundamentos para comprender el sentido formativo y transferible del trabajo realizado. De esta forma, se permitió cerrar el componente evaluativo sintetizando evidencias clave (avances técnicos, integración teoría-práctica y construcción de identidad profesional) y abriendo la reflexión hacia la necesidad de proyectar la experiencia más allá del aula como modelo viable para la enseñanza de la ingeniería ambiental en contextos reales.

Sobre esta base, el subcapítulo 1 profundizó en la reflexión crítica sobre la experiencia desarrollada. Se evidenciaron aportes significativos en la consolidación de una pedagogía situada y activa, donde el sistema BLASF operó como laboratorio experimental y como contexto de aprendizaje auténtico. Se afirmaron también los aportes en razonamiento técnico, pensamiento crítico y construcción colectiva de conocimiento (Vera Zambrano et al., 2025). No obstante, se enunciaron tensiones vinculadas a la incertidumbre y la complejidad, especialmente en la transición hacia modelos pedagógicos más autónomos y experimentales (Pettig & Ohl, 2023). Estos desafíos mostraron que la innovación implica confrontar dinámicas institucionales, resistencias metodológicas y limitaciones estructurales, pero también evidenciaron su potencial transformador cuando se asume desde una perspectiva crítica y reflexiva. En coherencia con la visión de Wenger (1998), la experiencia consolidó comunidades de práctica capaces de sostener aprendizajes colectivos y aportar evidencia para la mejora curricular institucional (Flórez & Fernández, 2021).

La reflexión crítica del módulo excedió la mirada descriptiva para convertirse en un ejercicio de comprensión y resignificación de lo vivido. Tal como señala Jara Holliday (2018a), sistematizar implica transformar la práctica en conocimiento transferible, y este

módulo mostró cómo ese proceso puede materializarse mediante análisis, evidencias, diálogo y proyección profesional. Los aprendizajes personales, colectivos e institucionales se articularon con una conciencia ética y ambiental que fortaleció el sentido de la formación en ingeniería ambiental. De este modo, la experiencia no solo fortaleció competencias, sino que permitió descubrir un modelo pedagógico viable para contextos educativos y comunitarios diversos, abriendo el camino hacia una pedagogía crítica y sostenible, capaz de dialogar con los desafíos del presente.

1.7.1. Cierre del subcapítulo

El subcapítulo 6 consolidó el carácter reflexivo de la sistematización y permitió reconocer la experiencia no solo como práctica replicable, sino como aporte a la construcción de una pedagogía situada y transformadora. La reflexión final no agotó el proceso, sino que lo reabrió: permitió comprender el sentido de lo vivido, identificar posibilidades de mejora y proyectar la experiencia hacia otros espacios institucionales y territoriales donde la ingeniería ambiental puede generar impactos concretos y socialmente responsables. Así, este módulo opera como puente hacia nuevas preguntas y escenarios de acción, preparando el camino para el cierre del capítulo y para la propuesta final de transferencia, escalabilidad y sostenibilidad del modelo educativo implementado.

1.8. Conclusiones

La sistematización de esta experiencia permitió comprender de manera integral cómo la enseñanza del tratamiento de aguas puede convertirse en un espacio pedagógico de integración de saberes, desarrollo del pensamiento crítico y consolidación de la identidad profesional del futuro ingeniero ambiental. El proceso reveló que la principal dificultad inicial (la desconexión entre los conocimientos matemáticos, químicos y biológicos) no respondía únicamente a vacíos conceptuales, sino a la necesidad de articular estrategias didácticas situadas, reflexivas y orientadas al aprendizaje activo. Las actividades diseñadas, especialmente el Aprendizaje Basado en Proyectos, las bitácoras de escritura reflexiva y los círculos de diálogo interdisciplinario, demostraron su eficacia para transformar la fragmentación disciplinar en comprensión científica aplicada.

Asimismo, la evaluación formativa y la triangulación metodológica confirmaron avances significativos en competencias técnicas, investigativas y colaborativas. Los estudiant-

tes lograron no solo aplicar teorías y procedimientos en proyectos reales, sino también interpretar datos, justificar decisiones técnicas y fortalecer su autonomía profesional. Las evidencias producidas (informes técnicos, simulaciones, registros experimentales y reflexiones escritas) validaron la pertinencia del ecosistema estratégico implementado y mostraron un aprendizaje profundo y transferible.

El vínculo entre la experiencia, el currículo de la carrera y el perfil profesional se evidenció de forma clara: las competencias O2, O4 y O8, junto con los resultados de aprendizaje RA5, RA6 y RA7, se concretaron en prácticas auténticas que respondieron a problemas ambientales reales y promovieron una formación ética, científica y socialmente responsable. De este modo, la experiencia fortaleció la coherencia curricular e iluminó rutas de mejora para la formación en ingeniería ambiental.

Finalmente, la sistematización reafirmó el valor de transformar la práctica docente en conocimiento compartido. El análisis crítico, la reflexión sostenida y la producción de evidencias no solo ofrecieron aprendizajes para el aula, sino también claves para orientar innovaciones futuras, contribuir al debate académico y consolidar una pedagogía situada, crítica y sostenible. El capítulo deja como legado un modelo formativo replicable, adaptable y pertinente para enfrentar los desafíos contemporáneos de la educación ambiental en articulación con las demandas del territorio y la responsabilidad socioambiental.

Bibliografía

- Abdalla, M. M., Oliveira, L. G. L., Azevedo, C. E. F., & Gonzalez, R. K. (2018). Quality in qualitative organizational research: Types of triangulation as a methodological alternative. *Administração: Ensino e Pesquisa*, 19(1), 66-98. <https://doi.org/10.13058/raep.2018.v19n1.578>
- Almalki, S. (2016). Integrating quantitative and qualitative data in mixed methods research—Challenges and benefits. *Journal of Education and Learning*, 5(3), 288-296. <https://doi.org/10.5539/jel.v5n3p288>
- Aranda-Vega, E. M., Martín-Cuadrado, A. M., & Corral-Carrillo, M. J. (2020). Diarios de clase: estrategia para desarrollar el pensamiento reflexivo de profesores. *Educación y Educadores*, 23(2), 243-266. <https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.2.5>
- Araujo-Vizuete, G., Robalino-López, A., & Murillo-Ojeda, R. (2022). Evaluation of environmental competencies in Higher Education Institutions (HEI). Case study: Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. *DYNA*, 89(224), 132-139. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n224.103515>
- Barnett, R. (2001). *Los límites de la competencia: El conocimiento, la educación superior y la sociedad*. Gedisa.
- Barrientos-Hernán, E. J., López-Pastor, V. M., & Pérez-Brunicardi, D. (2020). Evaluación auténtica y evaluación orientada al aprendizaje en educación superior. Una revisión en bases de datos internacionales. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 13(2), 67-83. <https://doi.org/10.1536/riee2020.13.2.004>
- Bes-Piá, M.-A., Mendoza-Roca, J.-A., Ferrer-Polonio, E., Iborra-Clar, A., Zuriaga-Agustí, E., & Luján-Facundo, M.-J. (2023). Integration of project-based learning (PjBL) methodology in the course “Bioprocesses applied to the environment”. *Education Sciences*, 13(6), 570. <https://doi.org/10.3390/educsci13060570>
- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for Quality Learning at University* (4.^a ed.). Open University Press.
- Bolívar, A. (2012). *La cultura escolar en la sociedad neoliberal*. Ediciones Morata.
- Brown, M. E. L., Stalmeijer, R. E., & O'Brien, B. C. (2025). Transferability in three dimensions (3D): Applicability, theoretical engagement, and resonance [Advance online publication]. *Advances in Health Sciences Education*. <https://doi.org/10.1007/s10459-025-10439-2>

- Bryson, J. M. (2018). *Strategic Planning for Public and Nonprofit Organizations: A Guide to Strengthening and Sustaining Organizational Achievement*. John Wiley & Sons.
- Carlino, P. (2005). *Escribir, leer y aprender en la universidad. Una introducción a la alfabetización académica*. Fondo de Cultura Económica. <https://www.aacademica.org/paula.carlino/3.pdf>
- Casanova, M. A. (1999). *Evaluación educativa: Escuela básica*. Editorial La Muralla.
- Chand, S. P. (2025). Methods of data collection in qualitative research: Interviews, focus groups, observations, and document analysis. *Advances in Educational Research and Evaluation*, 6(1), 303-317. <https://doi.org/10.25082/AERE.2025.01.001>
- Checkland, P. (1999). *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley & Sons.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5.^a ed.). SAGE.
- Curry, L., & Docherty, M. (2017). Implementing competency-based education. *Collected Essays on Learning and Teaching*, 10, 61-82. <https://doi.org/10.22329/celt.v10i0.4716>
- De Jong, L., Meirink, J., & Admiraal, W. (2022). School-based collaboration as a learning context for teachers: A systematic review. *International Journal of Educational Research*, 112, 101927. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101927>
- Elliott, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Ediciones Morata.
- Elliott, J. (1993). *La investigación-acción en educación*. Ediciones Morata.
- Fenner, K., Hyde, M., Crean, A., & McGreevy, P. (2020). Identifying sources of potential bias when using online survey data to explore horse training, management, and behaviour: A systematic literature review. *Veterinary Sciences*, 7(3), 140. <https://doi.org/10.3390/vetsci7030140>
- Flick, U. (2014). *Introducción a la investigación cualitativa* (5.^a ed.). Morata.
- Flórez, M. C., & Fernández, O. L. (2021). Communities of practice as platforms for educational improvement. *Sophia*, 17(1), e1104. <https://acortar.link/weA5OH>
- Fullan, M. (2007). *The New Meaning of Educational Change* (4.^a ed.). Teachers College Press.
- Ghamrawi, N., Shal, T., Ghamrawi, N. A. R., Abu-Tineh, A., Alshaboul, Y., & Alazai- zeh, M. A. (2025). A step-by-step approach to systematic reviews in educational research. *European Journal of Educational Research*, 14(2), 549-566. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.2.549>

- Greenhalgh, T. (2025). Case studies: A guide for researchers, educators, and implementers. *BMJ Medicine*, 4(1), e001623. <https://doi.org/10.1136/bmjmed-2025-001623>
- Gutierrez-Bucheli, L., Kidman, G., & Reid, A. (2022). Sustainability in engineering education: A review of learning outcomes. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129734. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129734>
- Hammarberg, K., Kirkman, M., & de Lacey, S. (2016). Qualitative research methods: When to use them and how to judge them. *Human Reproduction*, 31(3), 498-501. <https://doi.org/10.1093/humrep/dev334>
- Hasnawia, H., Purwantiningsih, A., & Puryanto, S. (2025). Implementation of multicultural education through PPKn learning in building tolerance attitudes of elementary school students: A case study at SDN 011 Lakahang. *Daengku: Journal of Humanities and Social Sciences Innovation*, 5(3), 401-409. <https://doi.org/10.35877/454RI.daengku4092>
- Hernández Barbosa, R., & Moreno Cardozo, S. M. (2025). Escritura académica y transformación curricular: una fusión para pensar el papel del maestro. *Zona Próxima*, (42). <https://doi.org/10.14482/zp.42.526.459>
- Hernández Ruiz, A., & Carrasco Ramírez, M. (2023). El papel del docente en la formación del pedagogo para afrontar momentos de crisis: La arista desde la pedagogía crítica. En F. Torres García, E. Olvera Reyes & B. A. Osorio (Eds.), *La formación de los profesionales de la educación: Complejidad y los retos ante la ¿post-pandemia?* Paidepráxico Editores.
- Herrera, L., Cuesta Melo, C. H., & Lucero Zambrano, M. A. (2022). The Influence of Self-Assessment on the English Language Learning Process. *Colombian Applied Linguistics Journal*, 24(1), 89-104. <https://doi.org/10.14483/22487085.17673>
- Hyland, K. (2009). *Academic Discourse: English in a Global Context*. Continuum.
- Iturralde, D., Andrade, N. A., & Markman, M. I. (2018). *Las dimensiones institucionales en la evaluación estratégica de la escuela secundaria*. Universidad FASTA, Facultad de Ciencias de la Educación. <https://acortar.link/FyLboi>
- Janssens, O., Embo, M., Valcke, M., & Haerens, L. (2023). When theory beats practice: The implementation of competency-based education at healthcare workplaces. *BMC Medical Education*, 23, 484. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04446-3>
- Jara Holliday, O. (2018a). *La sistematización de experiencias: Práctica y teoría para otros mundos posibles* (1.^a ed.). Fundación CINDE. <http://bit.ly/4imVpVA>

- Jara Holliday, O. (2018b). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos posibles*. Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano (CINDE).
- Johnson, J. L., Adkins, D., & Chauvin, S. (2020). A review of the quality indicators of rigor in qualitative research. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 84(1), 7120. <https://doi.org/10.5688/ajpe7120>
- Koretsky, M., Keeler, J., Ivanovitch, J., & Cao, Y. (2018). The role of pedagogical tools in active learning: A case for sense-making. *International Journal of STEM Education*, 5, 18. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0116-5>
- Korstjens, I., & Moser, A. (2018). Series: Practical guidance to qualitative research. Part 4: Trustworthiness and publishing. *European Journal of General Practice*, 24(1), 120-124. <https://doi.org/10.1080/13814788.2017.1375092>
- Levitt, H. M., Morrill, Z., Collins, K. M., & Rizo, J. L. (2021). The methodological integrity of critical qualitative research: Principles to support design and research review. *Journal of Counseling Psychology*, 68(3), 357-370. <https://doi.org/10.1037/cou0000523>
- Lillis, T., & Curry, M. J. (2010). *Academic writing in a global context: The politics and practices of publishing in English*. Routledge. <https://bit.ly/4oXFG1H>
- Lopes, E. W. R., Carneiro, W. d. S., De Farias Silva, C. E., Vitorino, A. F. R. d. A., de Sá Filho, M. L. F., & De Andrade, F. P. (2023). A procedure to implement kinetic modelling of wastewater treatment by microalgae considering multiple contaminant removal. *Energy, Ecology and Environment*, 8(6), 556-569. <https://doi.org/10.1007/s40974-023-00279-4>
- Machost, H., & Stains, M. (2023). Reflective practices in education: A primer for practitioners. *CBE—Life Sciences Education*, 22(2), es2. <https://doi.org/10.1187/cbe.22-07-0148>
- Mangaroska, K., & Giannakos, M. (2019). Learning analytics for learning design: A systematic literature review of analytics-driven design to enhance learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 12(4), 516-534. <https://doi.org/10.1109/TLT.2018.2868673>
- Marcotte, K. M., & Gruppen, L. D. (2022). Competency-based education as curriculum and assessment for integrative learning. *Education Sciences*, 12(4), 267. <https://doi.org/10.3390/educsci12040267>

- Marginson, S. (2024). Student self-formation: An emerging paradigm in higher education. *Studies in Higher Education*, 49(4), 748-762. <https://doi.org/10.1080/03075079.2023.2252826>
- Marschall, G. (2021). The role of teacher identity in teacher self-efficacy development: The case of Katie [Advance online publication]. *Journal of Mathematics Teacher Education*. <https://doi.org/10.1007/s10857-021-09515-2>
- Mera Rodríguez, K. (2019). La sistematización de experiencias. *ReHuSo: Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 4(1), 99-108.
- Montes, S., Figueroa Arce, C., Klener, H., Vera, J., Tamburrino, I., & Gómez, P. (2022). Negotiating academic and professional identities in writing the undergraduate dissertation. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educacional Latinoamericana*, 59(2), 1-13. <https://doi.org/10.7764/PEL.59.2.2022.8>
- Montes Anguita, R., Jaroba Petruccelli, O., Ibarra Gallardo, D., & Martínez Inostroza, M. (2021). La enseñanza de las TIC en la formación del profesorado de música: Un ejemplo en la Universidad de Playa Ancha. *Neuma*, 14(2), 96-119. <https://doi.org/10.4067/S0719-53892021000200096>
- Moobola, L., & Mulenga, I. M. (2020). Social studies curriculum at the crossroads: Implementation of the secondary school Social Studies curriculum in Chingola District of Zambia. *European Journal of Education Studies*, 7(3). <https://doi.org/10.46827/ejes.v0i0.2997>
- Moreira, M. A. (2017). Aprendizaje significativo: Un concepto subyacente. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 7(3), 4-21.
- Morin, E. (2001). *El método III: El conocimiento del conocimiento*. Ediciones Cátedra.
- Muñoz Vargas, C. A., & Grueso Cárdenas, E. (2024). The continuing pedagogical training of university mathematics teachers from a critical pedagogical perspective. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 51(6), 142-152. <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.51.6.14>
- Noble, H., & Heale, R. (2019). Triangulation in research, with examples. *Evidence-Based Nursing*, 22(3), 67-68. <https://doi.org/10.1136/ebnurs-2019-103145>
- Parodi, G. (2012). Alfabetización académica y profesional en el siglo XXI: leer y escribir desde las disciplinas. *Boletín de Filología*, 47(2), 275-284. <https://doi.org/10.4067/S0718-93032012000200012>
- Patton, M. Q. (2018). Evaluation science. *American Journal of Evaluation*, 39(2), 183-200. <https://doi.org/10.1177/1098214018763121>

- Patton, M. Q., & Campbell-Patton, C. E. (2022). *Utilization-Focused Evaluation* (5.^a ed.). SAGE Publications.
- Pettig, F., & Ohl, U. (2023). Dealing with uncertainty in a transformative education for sustainability. En O. Muñiz Solari & G. Schrüfer (Eds.), *Understanding sustainability with pedagogical practice: A contribution from geography education* (pp. 29-40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2687-9_3
- Ripoll, V., Godino-Ojer, M., & Calzada, J. (2023). Development of engineering skills in students of biotechnology: Innovation project “From laboratory to industry”. *Education for Chemical Engineers*, 43, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.01.006>
- Rodríguez, A. M. (2019). La sistematización de experiencias como método de investigación para la producción del conocimiento. *ReHuSo: Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 4(1), 113-123. <https://doi.org/10.33936/rehuso.v4i1.2143>
- Rodríguez Fernández, A., & Pérez Martínez, A. (2024). Universidad actual y el modelo de alineamiento constructivo. *InterCambios. Dilemas y transiciones de la educación superior*, 11(1), 30-39. <https://doi.org/10.29156/INTER.11.1.3>
- Schön, D. (1992). *La formación de profesionales reflexivos*. Paidós.
- Scriven, M. (1991). *Evaluation Thesaurus* (4.^a ed.). Sage Publications.
- Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007). A leader's framework for decision making. *Harvard Business Review*, 85(11), 68-76.
- Stake, R. E. (1995). *The Art of Case Study Research*. Sage Publications.
- Subheesh, N. P., & Sethy, S. S. (2020). Learning through assessment and feedback practices: A critical review of engineering education settings. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(3), em1829. <https://doi.org/10.29333/ejmste/114157>
- Sullivan, C. M., Chiaramonte, D., López-Zerón, G., Gregory, K., & Olsen, L. (2021). Evaluation in the real world: Decision points and rationales in creating a rigorous study designed to convey ecologically valid findings. *American Journal of Community Psychology*, 67(3-4), 447-455. <https://doi.org/10.1002/ajcp.12485>
- Vegliante, R. (2025). Formative assessment and educational benefits. *Encyclopedia*, 5(2), 68. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia5020068>
- Vera Zambrano, M. J., Asang Mañay, A. G., García Luna, M. K., Moreira Zambrano, A. C., & Quijije Velez, M. P. (2025). Aprendizaje colaborativo para la gestión del

- conocimiento en los diferentes niveles educativos. *Tesla Revista Científica*, 5(1).
<https://doi.org/10.55204/trc.v5i1.e485>
- Villa, A., & Poblete, M. (2008). *Aprendizaje basado en competencias: Una propuesta para la evaluación de las competencias genéricas*. Universidad de Deusto.
- Wenger, E. (1998). *Communities of Practice: Learning, Meaning and Identity*. Cambridge University Press.
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research: Design and Methods* (5.^a ed.). Sage.
- Zabalza, M. A. (2003). *Competencias docentes del profesorado universitario: Calidad y desarrollo profesional*. Narcea.

2

Aprendizaje basado en ensayo y error en el laboratorio ambiental

Alan Roberto Zambrano Pazmiño²

Este capítulo sistematiza una experiencia desarrollada en el laboratorio de la asignatura Gestión, Laboratorio y Análisis de Aguas, donde estudiantes de Ingeniería Ambiental enfrentaron la carencia de insu- mos elaborando un floculante a partir de latas recicladas. El propósito fue comprender cómo la escasez puede convertirse en oportunidad de aprendizaje mediante el ensayo y error, la colaboración y la reflexión. La sistematización empleó registros de laboratorio, bitácoras, entrevis- tas, evidencias fotográficas y análisis del producto obtenido. Los resul- tados muestran desarrollo de resiliencia científica, pensamiento crítico, creatividad y competencias experimentales esenciales para la forma- ción profesional.

²Universidad Estatal de Milagro, azambranop8@unemi.edu.ec.

Índice

2.1. Introducción	40
2.2. Problematización	41
2.2.1. Propósito de la sistematización	42
2.2.2. Criterios de valor	43
2.2.3. Delimitación del objeto de estudio	44
2.2.4. Cierre del subcapítulo	44
2.3. Identificación de conceptos estructurantes	45
2.3.1. Formulación de dimensiones	47
2.3.2. Construcción de indicadores	48
2.3.3. Fuentes y métodos de verificación	49
2.3.4. Justificación teórica del conjunto	50
2.4. Vínculo con el currículo y el perfil de la carrera	51
2.4.1. Identificación de competencias del perfil de la carrera	51
2.4.2. Resultados de aprendizaje vinculados	53
2.4.3. Actividades y evidencias	54
2.4.4. Reflexión sobre la alineación curricular	55
2.4.5. Cierre del subcapítulo	55
2.5. Ecosistema estratégico	56
2.5.1. Estrategias núcleo en acción	57
2.5.2. Estrategias de soporte aplicadas	58
2.5.3. Estrategias de contingencia desplegadas	60
2.5.4. Arquitectura del ecosistema (diagrama + relato)	61
2.5.5. Cierre integrador del subcapítulo	61
2.6. Evaluación	62
2.6.1. Instrumentos de evaluación aplicados	63
2.6.2. Rúbrica de desempeño experimental	63
2.6.3. Bitácora reflexiva de laboratorio	63

2.6.4. Entrevista semiestructurada a estudiantes	64
2.6.5. Revisión de producto científico	64
2.6.6. Indicadores de evaluación y criterios de validez	64
2.6.7. Análisis preliminar de evidencias	65
2.6.8. Reflexión sobre validez, sesgos y factibilidad	66
2.6.9. Cierre integrador del proceso evaluativo	67
2.7. Reflexión y transferencia	67
2.7.1. Reflexión crítica sobre la experiencia	68
2.7.2. Transferibilidad y proyección institucional	70
2.7.3. Cierre integrador de la sistematización	71
2.8. Conclusiones	72

2.1. Introducción

La experiencia que sustenta este capítulo se desarrolló en la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), dentro de la Facultad de Ingeniería, específicamente en la asignatura *Gestión, Laboratorio y Análisis de Aguas* del programa de Ingeniería Ambiental. Este espacio formativo combina la teoría del tratamiento de aguas con la práctica experimental, orientando a los estudiantes hacia la comprensión de los procesos químicos que permiten mejorar la calidad del recurso hídrico. En este contexto, el laboratorio se convierte en un escenario vivo de aprendizaje, donde los conocimientos se ponen a prueba y se transforman en soluciones sostenibles.

Los participantes fueron estudiantes de quinto nivel de Ingeniería Ambiental, acompañados por el docente encargado de las prácticas de laboratorio. Se trataba de un grupo comprometido, con bases sólidas en química ambiental y motivado por aprender a diseñar y aplicar tratamientos que reduzcan el impacto de los contaminantes en ecosistemas acuáticos. La experiencia refleja el interés por vincular la teoría con la realidad local, considerando la importancia del agua en la región de Milagro y las limitaciones que enfrentan los sistemas de tratamiento convencionales.

Durante una de las sesiones más significativas, el grupo se propuso elaborar sulfato de aluminio a partir de latas recicladas, con el propósito de obtener un floculante alternativo para el tratamiento de aguas residuales. La práctica comenzó con entusiasmo, entre el sonido del metal al ser cortado y el olor característico de los reactivos. La escena combinaba la emoción del descubrimiento con la incertidumbre propia del laboratorio: cada estudiante asumió un rol, desde medir concentraciones hasta controlar la temperatura de reacción. Este momento permitió visualizar cómo la educación ambiental puede ir más allá de la teoría, transformándose en una experiencia de innovación sustentable.

El desarrollo de la práctica estuvo marcado por condiciones desafiantes y creativas. Uno de los reactivos esenciales, el hidróxido de potasio a 1,9 M, no estaba disponible; sin embargo, el grupo decidió sustituirlo por hidróxido de sodio a 1,4 M, ajustando las proporciones y controlando cuidadosamente la reacción. Esta decisión experimental fomentó el razonamiento crítico y la capacidad de adaptación, competencias fundamentales en la formación de ingenieros ambientales. Las limitaciones materiales implicaron repetir el procedimiento en tres ocasiones hasta lograr la dosificación precisa que permitió obtener el floculante deseado. Cada error se transformó en un aprendizaje sobre la importancia del control de variables y la resiliencia científica.

Este contexto resulta clave para la sistematización porque ilustra cómo el aprendizaje basado en la experiencia fortalece la autonomía, la creatividad y la resolución de problemas reales. Más allá de la obtención del floculante, la práctica permitió reflexionar sobre el aprovechamiento de residuos metálicos y la capacidad de los estudiantes para generar conocimiento a partir de la experimentación. Este escenario constituye el punto de partida ideal para analizar cómo la innovación docente puedeemerger de las limitaciones, transformando los desafíos en oportunidades de aprendizaje significativo.

2.2. Problematización

A partir de este contexto, se identificó un problema central: la falta de insumos y reactivos en los laboratorios universitarios, situación que limita la ejecución efectiva de prácticas experimentales y afecta el desarrollo del aprendizaje significativo y la autonomía científica de los estudiantes. En este sentido, se hace necesario la búsqueda de enfoques pedagógicos que fomenten prácticas innovadoras en la enseñanza-aprendizaje (Parra Ocampo & Mejía Narro, 2022; Reyes, 2021; Rocha, 2021). Esta carencia no solo obstaculiza los objetivos académicos, sino que también impacta la motivación y la confianza del alumnado, generando frustración ante los intentos fallidos de obtener resultados.

La relevancia de este problema radica en su efecto directo sobre la formación práctica en ingeniería ambiental, donde el laboratorio constituye un espacio esencial para la aplicación del conocimiento teórico. Cuando los recursos son limitados, la experiencia educativa se ve comprometida y reduce las oportunidades de fomentar la indagación y la toma de decisiones fundamentadas. En este sentido, la capacidad docente para guiar el aprendizaje desde la incertidumbre se vuelve crucial, ya que el aula-laboratorio se transforma en un microescenario de investigación aplicada donde se pone a prueba la innovación metodológica (Palacios Núñez et al., 2021).

Ignorar esta problemática implica reproducir modelos educativos centrados en la repetición técnica, donde los estudiantes no desarrollan pensamiento crítico ni resiliencia (Bhardwaj et al., 2025). Si las instituciones no reconocen la importancia del laboratorio como espacio transformador, se corre el riesgo de formar profesionales dependientes de condiciones ideales e incapaces de responder ante escenarios adversos. En consecuencia, atender esta limitación no solo es una necesidad pedagógica, sino también ética, vinculada con la formación de ingenieros comprometidos con su contexto.

Durante la práctica, los estudiantes repitieron el procedimiento tres veces hasta lograr el resultado esperado. La falta de reactivos los obligó a improvisar con otras concentraciones, generando un proceso de reflexión y resiliencia colectiva. Este aprendizaje evidenció que la escasez puede convertirse en motor de innovación pedagógica, promoviendo el trabajo colaborativo y el pensamiento científico (Arnab et al., 2025). De esta reflexión surge la necesidad de comprender el valor educativo del error como herramienta para formar profesionales más autónomos y creativos (Narciss & Alemdag, 2025). Tratar el error no como un fracaso, sino como una oportunidad guiada de aprendizaje, se ha asociado con mejoras en la resiliencia socioemocional del estudiantado en contextos STEM (Tang et al., 2025).

2.2.1. Propósito de la sistematización

El propósito central de esta sistematización es reflexionar sobre la importancia de los conocimientos previos de química y la resiliencia de los estudiantes frente a la escasez de recursos, destacando el rol del ingeniero ambiental como profesional que busca soluciones creativas y fundamentadas en la ciencia. El verdadero aprendizaje surge del desafío, no de la comodidad.

Este propósito nace de la experiencia concreta de elaborar un floculante a partir de latas recicladas, donde la ausencia de un reactivo obligó a replantear la práctica. Los estudiantes pusieron en juego sus conocimientos previos, trabajaron en equipo y valoraron la experimentación como vía para construir saberes auténticos. Sistematizar esta experiencia significa reconocer el valor pedagógico del error, la persistencia y la búsqueda colectiva de alternativas.

Esta sistematización resulta relevante porque muestra cómo la innovación educativa puedeemerger de la limitación, cuando el profesorado guía el aprendizaje desde la incertidumbre. La escritura académica es una práctica social que permite transformar la experiencia en conocimiento compartido y fortalecer la identidad profesional docente (Sendera et al., 2024).

A los lectores, esta sistematización ofrece una mirada concreta sobre cómo el error y la improvisación consciente pueden convertirse en motores del aprendizaje. Los aportes se vinculan con la formación en sostenibilidad, la investigación aplicada y el trabajo colaborativo. Más que un modelo cerrado, este texto busca inspirar nuevas formas de enseñanza contextualizadas y humanizadas.

En síntesis, el propósito de esta sistematización es mostrar cómo la práctica docente puede transformarse en espacio de investigación pedagógica, donde cada obstáculo se convierte en una oportunidad para aprender y generar conocimiento útil (Marsh & Deacon, 2024). Este propósito se enlaza con los criterios de valor que permitirán comprender la calidad y la pertinencia de la experiencia educativa.

2.2.2. Criterios de valor

El valor principal de esta experiencia radica en su capacidad para convertir una limitación técnica en una oportunidad de innovación científica y pedagógica, transformando el error en motor de aprendizaje. La obtención de un floculante funcional utilizando hidróxido de sodio en lugar de potasio (no registrado previamente en la literatura) demuestra cómo la investigación aplicada puede nacer en el aula.

Su principal innovación radica en romper con el protocolo tradicional de laboratorio y promover la experimentación mediante el método de acierto y error. Este enfoque se relaciona con la investigación-acción de Elliott (1993), que integra observación, reflexión y acción docente. El resultado trascendió el aula, consolidándose con la publicación de un artículo científico, evidencia de su originalidad e impacto.

El mayor impacto fue emocional y formativo: tras tres intentos fallidos, el cuarto experimento logró clarificar el agua residual, generando entusiasmo y orgullo. Esta vivencia fortaleció la confianza científica de los estudiantes y reafirmó el valor de la práctica reflexiva (Ho et al., 2025). La experiencia demostró que con recursos limitados es posible generar aprendizaje profundo y resultados validados.

La experiencia es también transferible. Cualquier docente puede reproducir este enfoque, aprovechando la improvisación fundamentada y los conocimientos químicos básicos. Tal como plantean Dautova et al. (2020) compartir prácticas reflexivas fortalece la comunidad profesional docente y promueve la mejora continua. Así, esta práctica aporta una innovación técnica y un modelo pedagógico replicable.

En suma, los criterios de valor de esta experiencia combinan innovación técnica, impacto educativo y transferibilidad pedagógica, mostrando cómo la sistematización convierte la práctica en conocimiento compartido y reflexión colectiva (Jara Holliday, 2018). Este cierre conduce naturalmente a la delimitación del objeto de estudio.

2.2.3. Delimitación del objeto de estudio

El objeto de estudio de esta sistematización se centra en el proceso de aprendizaje experimental vivido durante la práctica de laboratorio para elaborar un floculante a partir de latas recicladas. El análisis busca comprender cómo la metodología de ensayo y error fortaleció la resiliencia, la creatividad y la autonomía científica de los estudiantes ante la escasez de insumos.

El foco principal radica en el aprendizaje basado en la experimentación y la resolución de problemas reales, dentro de la interacción docente–estudiante y la reflexión colectiva. Se busca identificar las estrategias que transformaron la dificultad en oportunidad pedagógica y reconocer las competencias científicas adquiridas. Esta visión responde a una docencia universitaria entendida como práctica investigativa.

La experiencia se desarrolló en el primer semestre de 2022, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UNEMI, con la participación de dieciocho estudiantes de quinto nivel y dos docentes de laboratorio. Las evidencias consideradas incluyen bitácoras de laboratorio, registros fotográficos, evaluaciones, reflexiones de grupo y un artículo científico publicado. Como sostienen Creswell y Creswell (2018), la delimitación precisa de los elementos del estudio garantiza coherencia y rigor interpretativo.

Esta delimitación se justifica en la convicción de que el aprendizaje científico se fortalece cuando se sustenta en la práctica experimental y la superación de limitaciones materiales. Tal como afirma Jara Holliday (2018), la sistematización adquiere valor cuando define límites claros, pues esa precisión permite convertir la experiencia en un aporte comunicable y replicable dentro de la comunidad académica.

En síntesis, este capítulo analizará el proceso de aprendizaje experimental de los estudiantes de Ingeniería Ambiental, delimitado en tiempo, espacio y actores, para comprender cómo el método de ensayo y error se tradujo en aprendizajes significativos. La claridad de estos límites fortalecerá la interpretación de las evidencias y los significados pedagógicos que se desarrollarán en las secciones posteriores.

2.2.4. Cierre del subcapítulo

En conjunto, esta introducción presenta el recorrido completo de la experiencia: desde su contexto y problemática hasta su propósito, valor y delimitación analítica. La práctica descrita constituye una evidencia de cómo la docencia universitaria puede convertirse en espacio de investigación y transformación educativa, donde las limitaciones materiales

impulsa la creatividad y el aprendizaje significativo. En los apartados siguientes se profundizará en la interpretación de los resultados y en la construcción teórica derivada de la sistematización, con el fin de aportar al diálogo sobre innovación y sostenibilidad en la enseñanza de las ciencias ambientales.

Este primer subcapítulo de esta sistematización permitió reconstruir el contexto universitario en el que surgió la experiencia, mostrando un entorno educativo en transformación donde la práctica docente y la investigación aplicada se fusionaron. En dicho marco, los estudiantes enfrentaron la escasez de materiales e insumos para desarrollar una práctica de laboratorio, lo que se convirtió en el detonante de un proceso de aprendizaje innovador. La experiencia de elaborar un floculante a partir de latas recicladas no solo fue un ejercicio técnico, sino un acto de resiliencia académica que desafió las condiciones tradicionales del aprendizaje experimental. Lo que inicialmente parecía una limitación se transformó en una oportunidad para fortalecer competencias científicas, pensamiento crítico y responsabilidad ambiental, tres pilares esenciales en la formación de ingenieros ambientales.

En este punto, el capítulo avanza hacia una etapa de mayor profundidad: la fundamentación conceptual y operativa. Esta sección tiene como propósito dotar de sustento teórico y metodológico al proceso descrito, articulando los conceptos que explican la experiencia, las dimensiones que la organizan, los indicadores que orientan su análisis y las fuentes que aseguran su verificación. De esta forma, el subcapítulo no se limita a narrar hechos, sino que busca comprenderlos desde marcos epistemológicos y pedagógicos sólidos, en los que teoría y práctica se retroalimentan. En palabras de Jara Holliday (2018), “la sistematización transforma la práctica en conocimiento comunicable” (p. 45); y en este sentido, la experiencia de laboratorio adquiere valor no solo por sus resultados, sino por el modo en que se convierte en una evidencia del aprender haciendo.

2.3. Identificación de conceptos estructurantes

Toda sistematización requiere identificar los conceptos que sostienen su coherencia interna. En este caso, la experiencia se edifica sobre siete ejes teóricos interrelacionados: aprendizaje experiencial, resiliencia científica, innovación docente, investigación-acción, error pedagógico, sostenibilidad, y competencias científicas. Estos conceptos no son elementos aislados, sino dimensiones que se entrelazan para explicar cómo la práctica experimental permitió convertir la carencia en una oportunidad formativa y ética.

El aprendizaje experiencial constituye el punto de partida. Kolb (1984, mencionado por Wibowo et al. (2024)) plantea que el conocimiento surge de la transformación de la experiencia mediante un ciclo continuo que involucra la acción, la reflexión, la conceptualización y la aplicación. En esta práctica, los estudiantes vivieron ese ciclo de forma genuina: planificaron el experimento, lo ejecutaron con recursos limitados, observaron los resultados, discutieron los errores y rediseñaron los procedimientos. Así, el aprendizaje no fue un proceso lineal, sino un movimiento espiral en el que cada error generó comprensión. Esta dinámica concreta encarna la esencia del aprendizaje activo: “aprender de lo vivido y vivir para aprender”.

La resiliencia científica emerge como una competencia transversal. Schön (1992) sostiene que el profesional reflexivo es aquel que piensa en la acción y sobre la acción, adaptándose a los imprevistos del contexto (Cattaneo & Motta, 2021). En el laboratorio, la ausencia de hidróxido de potasio (reactivo clave) obligó a los estudiantes a buscar alternativas, ensayando con hidróxido de sodio y reformulando concentraciones. Este proceso, lejos de generar frustración, promovió una actitud científica perseverante, donde la incertidumbre fue motor de creatividad y análisis crítico.

Por su parte, la innovación docente y la investigación-acción se articularon como marcos metodológicos para orientar la mejora continua de la práctica, en línea con los aportes que destacan el potencial de la investigación-acción para impulsar cambios e innovaciones en la docencia universitaria (Marin-García, 2021). El docente no fue un simple transmisor de conocimientos, sino un mediador reflexivo que acompañó al grupo en la resolución de problemas reales. Las decisiones sobre los materiales, los tiempos y las repeticiones del experimento se tomaron de manera colaborativa, aplicando un modelo de mejora continua basado en la observación, la reflexión y la retroalimentación constante. La experiencia se convirtió así en un ejemplo de docencia investigativa.

El error pedagógico, lejos de concebirse como un fracaso, fue resignificado como un instrumento de aprendizaje. Como señalan Boomgaarden et al. (2024), las teorías sobre aprendizaje a partir de errores destacan que el error puede funcionar como un punto de partida para reconocer lagunas de conocimiento y, al contrastarlo con la solución correcta, fortalecer la comprensión conceptual. En este caso, los errores iniciales (como la precipitación inadecuada o la turbidez persistente) se analizaron colectivamente, generando discusiones sobre las reacciones químicas involucradas y estimulando la metacognición.

Los conceptos de sostenibilidad y competencias científicas aportan la dimensión ética y profesional. La reutilización de materiales reciclados (como latas de aluminio) reflejó

el compromiso ambiental y social, mientras que el diseño experimental, la observación de resultados y la comunicación científica fortalecieron competencias propias del perfil del ingeniero ambiental: análisis crítico, trabajo colaborativo y rigor metodológico.

En síntesis, estos conceptos estructurantes otorgan coherencia y densidad a la sistematización. Desde la acción concreta hasta la teoría educativa, permiten comprender la experiencia como un espacio donde la práctica, la reflexión y la ética convergen para formar profesionales críticos, creativos y responsables.

2.3.1. Formulación de dimensiones

Las **dimensiones analíticas** traducen los conceptos estructurantes en categorías de observación e interpretación. Siguiendo a Flick (2014), las dimensiones son lentes que permiten comprender un fenómeno en su complejidad. En esta experiencia se establecieron cuatro dimensiones principales: pedagógica, científica, institucional y subjetiva.

La **dimensión pedagógica** aborda los procesos de enseñanza-aprendizaje. Se vincula con la docencia reflexiva propuesta que conciben al profesor como investigador de su propia práctica (Goh, 2021). En este caso, la docencia se tornó dialógica: los estudiantes participaron activamente en el diseño experimental, discutieron hipótesis y reflexionaron sobre los resultados. Este enfoque promovió la autonomía y la autoevaluación, pilares del aprendizaje significativo (Abu-Gweder, 2025). *Ejemplo:* sustitución del reactivo y el análisis posterior del fallo no solo resolvieron un problema técnico, sino que consolidaron la comprensión conceptual sobre la floculación y los procesos de coagulación química.

La **dimensión científica** se centra en los procedimientos experimentales y la validación empírica de resultados. Como muestra Kılıç (2022), las prácticas reflexivas que articulan la observación sistemática, el análisis de la evidencia empírica y la toma de decisiones en la acción contribuyen al desarrollo de una identidad profesional más sólida en docentes de ciencias en formación. *Ejemplo:* la eficacia del floculante fue comprobada mediante la reducción de la turbidez y el pH del agua tratada, demostrando una aplicación exitosa del método científico.

La **dimensión institucional** examina los factores estructurales y organizativos que condicionan o posibilitan la innovación educativa. Wright et al. (2022) destacan que las instituciones que promueven culturas colaborativas son más capaces de sostener prácticas innovadoras. En este contexto, la universidad actuó como un espacio de aprendizaje

organizacional, donde la falta de insumos se enfrentó con apoyo docente, flexibilidad administrativa y acompañamiento logístico.

Ejemplo: la autorización para reutilizar materiales reciclados y la disposición del laboratorio en horarios extendidos facilitaron la continuidad del proyecto.

La dimensión subjetiva analiza las emociones, percepciones y significados construidos por los participantes. Farnsworth et al. (2016) conciben el aprendizaje como una práctica social, donde la identidad profesional se forma en la interacción. Los estudiantes experimentaron emociones de incertidumbre, curiosidad y satisfacción, que reforzaron su sentido de pertenencia y confianza en su capacidad para resolver problemas reales. *Ejemplo:* la emoción colectiva al observar la clarificación del agua fue tan significativa como el resultado químico en sí, mostrando que la motivación es un componente indispensable del aprendizaje profundo.

Estas dimensiones revelan que la experiencia no puede entenderse solo como un proceso técnico, sino como una práctica compleja donde convergen acción, reflexión, emoción e institucionalidad.

2.3.2. Construcción de indicadores

Los indicadores de análisis permiten observar con precisión cómo las dimensiones se manifiestan en la práctica. Según Jara Holliday (2018), los indicadores actúan como mediadores entre lo vivido y lo analizado, traduciéndose en evidencias concretas que validan la interpretación.

Para la dimensión pedagógica, los indicadores fueron:

- Aplicación del aprendizaje experiencial como metodología activa.
- Transformación del error en oportunidad formativa.
- Participación reflexiva y colaborativa de los estudiantes.

Para la dimensión científica:

- Formulación de hipótesis y control de variables.
- Registro sistemático de observaciones.
- Validación empírica del producto obtenido.

Para la dimensión institucional:

- Disponibilidad de recursos básicos.
- Flexibilidad administrativa ante la innovación.
- Integración de la experiencia en prácticas formativas.

Y para la dimensión subjetiva:

- Evidencia de resiliencia frente a la frustración.
- Sentimiento de logro colectivo.
- Consolidación de identidad profesional.

Estos indicadores se validaron mediante bitácoras, informes, fotografías y reflexiones escritas. Hammarberg et al. (2016) coinciden en que la credibilidad de un estudio cualitativo depende de la consistencia entre los indicadores y la evidencia empírica. En esta experiencia, cada indicador permitió comprender no solo qué se aprendió, sino cómo y por qué ese aprendizaje fue significativo.

2.3.3. Fuentes y métodos de verificación

La fiabilidad del proceso de sistematización se sostuvo en la triangulación de diversas fuentes de evidencia. Yin (2014) subraya que la validez de un estudio de caso depende de la convergencia de múltiples datos. En este caso, se utilizaron cinco tipos: bitácoras de laboratorio, registros fotográficos, reflexiones estudiantiles, observaciones docentes y el artículo científico publicado.

Las bitácoras documentaron los procesos, errores y correcciones, evidenciando el progreso del razonamiento científico (Flick, 2014). *Ejemplo:* un registro de los ensayos con diferentes concentraciones de reactivo permitió identificar el punto óptimo de floculación.

Los registros fotográficos sirvieron como soporte visual del trabajo colaborativo y la creatividad en el uso de materiales reciclados.

Las reflexiones escritas expresaron las percepciones subjetivas de los estudiantes: sus emociones ante los fracasos y su orgullo tras el logro final (Jara Holliday, 2018).

Las observaciones docentes complementaron el análisis desde la mirada pedagógica, aportando evidencia sobre la participación, el liderazgo y la cooperación.

Finalmente, el artículo científico validó externamente los resultados obtenidos, otorgando legitimidad académica al proceso.

La triangulación entre estas fuentes garantizó una visión integral y verificable, fortaleciendo la coherencia interpretativa y la validez del estudio de caso (Yin, 2018).

2.3.4. Justificación teórica del conjunto

El conjunto teórico-metodológico que estructura esta sistematización se sostiene en una relación orgánica entre conceptos, dimensiones, indicadores, fuentes y métodos. Esta articulación no es solo técnica, sino epistemológica: expresa una manera de comprender el aprendizaje como fenómeno complejo, situado y transformador (Leal Filho et al., 2018).

Los conceptos definen el horizonte interpretativo; las dimensiones, las categorías de análisis; los indicadores, los criterios de observación; y las fuentes, el sustento empírico de la verificación. Esta coherencia interna otorga validez al estudio, tal como plantean Flick (2014) y Jara Holliday (2018), quienes advierten que la sistematización adquiere rigor cuando logra conectar teoría, práctica y evidencia de forma integrada.

En este contexto, el laboratorio se convirtió en un microecosistema educativo donde la creatividad docente, la resiliencia estudiantil y la innovación metodológica coexistieron armónicamente. La experiencia demuestra que el rigor científico no se opone a la flexibilidad pedagógica; por el contrario, ambos se potencian cuando la enseñanza se orienta al descubrimiento y la reflexión. Como señala Carlino (2005), la escritura académica es una forma de pensar y aprender: escribir sobre la experiencia permitió a docentes y estudiantes comprenderla más profundamente.

Este subcapítulo deja asentado un marco sólido de interpretación que permitirá, en el siguiente apartado, analizar los resultados y evidencias desde una mirada crítica y formativa. La práctica ha dejado de ser un evento aislado para transformarse en conocimiento sistematizado y transferible, validado tanto en la acción como en la reflexión.

2.4. Vínculo con el currículo y el perfil de la carrera

El subcapítulo anterior permitió establecer las bases conceptuales y metodológicas de la experiencia, definiendo las dimensiones, indicadores y fuentes que aseguraron su coherencia científica y pedagógica. En este punto, el proceso de sistematización avanza hacia una mirada más aplicada: la vinculación de la experiencia con el currículo de la carrera de Ingeniería Ambiental. Esta transición marca un giro desde la teoría hacia la práctica educativa integrada, donde las competencias, los resultados de aprendizaje y las evidencias se relacionan directamente con el perfil profesional del egresado.

El vínculo curricular no se limita a describir la correspondencia entre actividades y contenidos, sino que busca demostrar cómo la experiencia concreta del laboratorio fortaleció las competencias clave de la formación ambiental, especialmente aquellas relacionadas con la resolución de problemas, la sostenibilidad y la comunicación científica. Este paso confirma que la práctica innovadora no es un evento aislado, sino una acción formativa alineada con las metas institucionales y los estándares de calidad educativa. El currículo por competencias requiere integrar teoría, práctica y reflexión en un marco coherente que prepare al estudiante para la complejidad del ejercicio profesional (Yao & Lin, 2025).

2.4.1. Identificación de competencias del perfil de la carrera

La experiencia desarrollada se vincula directamente con cuatro competencias del perfil del Ingeniero Ambiental:

1. Pensamiento crítico y resolución de problemas.
2. Investigación aplicada y manejo del método científico.
3. Sostenibilidad ambiental y responsabilidad ética.
4. Comunicación científica y trabajo en equipo.

Estas competencias, definidas en coherencia con el proyecto Tuning América Latina (2007), se consideran pilares en la formación de profesionales capaces de responder a los desafíos ambientales con rigor técnico y sensibilidad social (Aguilar Joyas, 2015).

El pensamiento crítico y la resolución de problemas se fortalecieron en el contexto de la práctica experimental, donde los estudiantes debieron encontrar soluciones viables

ante la falta del reactivo principal. Como señalan Gishen et al. (2020), educar para la incertidumbre y la complejidad implica preparar a los futuros profesionales para actuar con juicio en escenarios no lineales e impredecibles; en esta línea, formar en la incertidumbre significa preparar al estudiante para actuar con criterio y creatividad en contextos complejos. En este caso, la sustitución del hidróxido de potasio por hidróxido de sodio implicó un proceso de análisis, experimentación y reflexión, que fomentó la autonomía intelectual y la toma de decisiones fundamentadas.

La investigación aplicada se evidenció en el uso del método científico como eje articulador de la experiencia. Los estudiantes formularon hipótesis, controlaron variables y validaron resultados empíricamente. Este proceso, descrito por Zabalza (2003) como parte esencial del aprendizaje por competencias, consolidó la capacidad investigativa al integrar teoría, práctica y observación sistemática. Además, la publicación de un artículo científico derivado del proyecto reflejó la apropiación del conocimiento y su proyección hacia la comunidad académica.

En cuanto a la sostenibilidad ambiental, esta competencia se desarrolló a partir del uso de materiales reciclados y de la reflexión sobre el impacto ecológico de las prácticas de laboratorio. La experiencia demostró que es posible innovar sin generar residuos adicionales, cumpliendo con los principios de economía circular y responsabilidad ambiental. Como muestra Okyay (2025), la formación en ingeniería sostenible exige que los futuros profesionales aprendan a equilibrar la eficiencia técnica con la reducción del impacto ambiental en sus decisiones de diseño.

Por último, la comunicación científica y el trabajo en equipo se fortalecieron en las discusiones, redacción de informes y presentaciones grupales. Carlino (2005) plantea que escribir en el ámbito académico no es solo comunicar resultados, sino construir pensamiento disciplinar. Los informes y reflexiones producidos por los estudiantes reflejaron una apropiación del lenguaje científico y una comprensión colectiva del proceso investigativo.

Estas competencias, desarrolladas en interacción, muestran que la experiencia no solo generó aprendizajes técnicos, sino que fortaleció el perfil profesional de los futuros ingenieros ambientales, alineando la práctica educativa con los estándares curriculares y las demandas del entorno laboral.

2.4.2. Resultados de aprendizaje vinculados

En el marco curricular de la carrera, se identificaron cuatro resultados de aprendizaje directamente vinculados con la experiencia sistematizada:

1. Aplicar métodos experimentales en el tratamiento de aguas.
2. Analizar resultados con base en principios químicos y ambientales.
3. Diseñar soluciones sostenibles ante limitaciones técnicas.
4. Comunicar hallazgos científicos de forma oral y escrita.

Estos resultados se articulan con el modelo de alineación constructiva propuesto por Biggs y Tang (2011), que sugiere la correspondencia entre lo que se enseña, lo que se aprende y lo que se evalúa.

El primer resultado, aplicar métodos experimentales, se logró mediante la práctica de elaboración del floculante, donde los estudiantes reprodujeron el método científico en condiciones no ideales. La experiencia permitió integrar la teoría química sobre coagulación y floculación con la manipulación directa de variables, reforzando la comprensión conceptual a través de la experimentación.

El segundo resultado, analizar resultados con base en principios químicos y ambientales, se evidenció en la validación empírica del producto mediante la medición de pH, turbidez y tiempo de sedimentación. Este proceso fortaleció la competencia analítica y el rigor metodológico, asegurando que los resultados fueran interpretados críticamente, en concordancia con lo que plantea Zabalza (2003) respecto a la evaluación formativa como herramienta de aprendizaje.

El tercer resultado, diseñar soluciones sostenibles, se concretó en la utilización de residuos reciclados (latas de aluminio) como materia prima. Este acto pedagógico integró la dimensión ambiental con la innovación tecnológica, permitiendo a los estudiantes comprender la relevancia de la sostenibilidad como principio transversal de la ingeniería. En línea con Barnett (2001), la formación en la complejidad implica preparar a los futuros profesionales para actuar en contextos donde las soluciones deben ser tanto eficientes como responsables socialmente.

El cuarto resultado, comunicar hallazgos científicos, se plasmó en la redacción del informe técnico y en la elaboración del artículo publicado. Esta fase promovió la reflexión metacognitiva, la escritura académica y el aprendizaje colaborativo. Según Carlino

(2005), la comunicación científica no solo transmite resultados, sino que permite al estudiante apropiarse del conocimiento y posicionarse como miembro de la comunidad académica.

2.4.3. Actividades y evidencias

La trazabilidad entre actividades, resultados y evidencias constituye un eje fundamental para la evaluación del aprendizaje. Biggs y Tang (2011) proponen que toda actividad de enseñanza debe alinearse con los resultados esperados, de modo que el aprendizaje sea verificable y significativo. En esta experiencia se desarrollaron cuatro actividades principales:

1. Planificación y diseño del experimento.
2. Ejecución práctica y registro de observaciones.
3. Reflexión colaborativa y análisis de resultados.
4. Comunicación científica y divulgación de hallazgos.

En la planificación, los estudiantes revisaron literatura, identificaron materiales disponibles y definieron los procedimientos experimentales. Este proceso implicó la activación de conocimientos previos y la aplicación de la metodología científica, conectando la teoría con la acción (Zabalza, 2003).

Durante la ejecución práctica, se enfrentaron a los imprevistos de la carencia de reactivos y a la necesidad de sustituirlos por alternativas viables. Este desafío fortaleció la competencia de resolución de problemas, entendida como la capacidad de actuar eficazmente en determinadas situaciones movilizando diversos recursos internos y externos, cuya evidencia se observa en el desempeño del estudiante en contextos reales (Morales-Gamboa & Sucar, 2020).

La reflexión colaborativa constituyó un espacio clave de aprendizaje. Los grupos discutieron los resultados, compararon errores y propusieron ajustes. Esta instancia de diálogo permitió la construcción colectiva del conocimiento, tal como sugieren Farnsworth et al. (2016) en su concepto de comunidades de práctica.

Finalmente, la comunicación científica se materializó en informes, presentaciones y la publicación del artículo. Cada uno de estos productos actuó como evidencia verificable del proceso de aprendizaje y del desarrollo de competencias comunicativas y metacognitivas.

La coherencia entre actividades, resultados y evidencias refleja una planificación didáctica alineada y un proceso formativo que trasciende la reproducción de procedimientos, orientándose hacia la comprensión, la ética y la innovación.

2.4.4. Reflexión sobre la alineación curricular

Reflexionar sobre la alineación curricular implica examinar en qué medida la experiencia contribuyó efectivamente al perfil de egreso y a los objetivos formativos de la carrera. En este sentido, la práctica permitió constatar que las competencias desarrolladas (científicas, ambientales, comunicativas y éticas) coinciden con las establecidas en el currículo oficial.

Entre los aportes más significativos destaca el fortalecimiento de la formación práctica, la integración de la sostenibilidad como eje transversal y la articulación entre docencia e investigación. Estas dimensiones respondieron a las recomendaciones de Zabalza (2003) sobre la necesidad de que el currículo universitario promueva aprendizajes contextualizados y reflexivos. Asimismo, el trabajo colaborativo entre docentes y estudiantes consolidó una cultura de aprendizaje compartido, en línea con Barnett (2001), quien destaca que la educación superior debe preparar a los sujetos para la incertidumbre y la cooperación.

Sin embargo, también se identificaron tensiones curriculares: la limitada infraestructura, la falta de insumos y la escasa capacitación docente en metodologías activas revelan la necesidad de repensar la estructura institucional para sostener innovaciones pedagógicas. Díaz Barriga (2009) advierte que la implementación del enfoque por competencias exige transformar no solo los contenidos, sino las prácticas institucionales y evaluativas.

El análisis curricular evidenció que la experiencia no solo se ajustó a los propósitos formativos de la carrera, sino que también los amplió, incorporando la resiliencia científica como valor formativo. Este hallazgo permite proyectar futuras líneas de trabajo orientadas a consolidar políticas de innovación y sostenibilidad en el currículo ambiental.

2.4.5. Cierre del subcapítulo

El recorrido desarrollado en este subcapítulo demuestra que la práctica de laboratorio trasciende su función instrumental para convertirse en un espacio formativo integral, donde confluyen competencias, resultados, evidencias y reflexión. La coherencia entre los elementos analizados confirma la pertinencia académica y curricular de la experien-

cia, al tiempo que reafirma el potencial de la sistematización como herramienta de mejora educativa.

El proceso permitió evidenciar que el aprendizaje experiencial (basado en la experimentación, la reflexión y la comunicación científica) es una vía efectiva para desarrollar las competencias establecidas en el perfil del ingeniero ambiental. A su vez, la articulación entre currículo y práctica fortaleció la identidad profesional de los participantes, reafirmando que la educación superior debe concebirse como un espacio de investigación formativa y compromiso con la sostenibilidad.

Siguiendo a Zabalza (2003) y Barnett (2001), este subcapítulo confirma que la calidad de la enseñanza universitaria se mide no solo por la transmisión de conocimientos, sino por la capacidad de formar sujetos críticos, autónomos y socialmente responsables. De este modo, la experiencia analizada se erige como evidencia de que la innovación pedagógica, cuando se sustenta en fundamentos teóricos sólidos y se articula con el currículo, tiene un impacto real en la formación de profesionales comprometidos con la transformación social y ambiental.

2.5. Ecosistema estratégico

La experiencia sistematizada ha mostrado hasta este punto una sólida correspondencia entre currículo, competencias y resultados de aprendizaje, lo que garantiza su coherencia pedagógica. Sin embargo, para comprender su verdadero impacto formativo, es necesario adentrarse en la dinámica interna del proceso: las estrategias implementadas en el aula-laboratorio y las condiciones que hicieron posible su desarrollo. Este tránsito marca el paso del nivel curricular al nivel operativo o estratégico, donde la innovación se traduce en acciones concretas que dieron vida a la experiencia.

En este nuevo subcapítulo se describe la ingeniería didáctica del proyecto: las estrategias núcleo, de soporte y de contingencia que se articularon como un ecosistema vivo de aprendizaje. Las competencias vinculadas en el subcapítulo anterior (pensamiento crítico, investigación aplicada, sostenibilidad y comunicación científica) se expresaron en la práctica mediante tres estrategias fundamentales: el aprendizaje experiencial basado en ensayo y error, el trabajo colaborativo guiado y el acompañamiento docente reflexivo. A partir de ellas, se desplegaron apoyos y decisiones que configuraron un entramado complejo de interacciones, aprendizajes y adaptaciones que permitieron sostener la experiencia y garantizar su éxito formativo.

2.5.1. Estrategias núcleo en acción

Las estrategias núcleo representan el corazón pedagógico de la experiencia, aquellas que estructuraron la práctica, guiaron las decisiones didácticas y generaron aprendizajes significativos. En esta sistematización, las estrategias núcleo fueron tres:

1. Aprendizaje experiencial basado en ensayo y error,
2. Trabajo colaborativo guiado, y
3. Acompañamiento docente reflexivo.

2.5.1.1 Aprendizaje experiencial basado en ensayo y error

El eje central de la experiencia fue el aprendizaje experiencial, entendido como un proceso en el que la acción y la reflexión se integran para construir conocimiento. Morris (2020) señala que la experiencia concreta, seguida de la observación y la conceptualización, conforma un ciclo continuo de aprendizaje significativo. En el laboratorio, los estudiantes aplicaron esta lógica al enfrentarse a una práctica experimental con recursos limitados, donde el ensayo y error se convirtió en un método legítimo de aprendizaje.

La secuencia operativa comenzó con la planificación del experimento, la revisión de fuentes científicas y la selección de materiales alternativos. Posteriormente, durante la ejecución, los estudiantes sustituyeron el hidróxido de potasio por hidróxido de sodio, registrando cuidadosamente las reacciones observadas y los resultados obtenidos. Finalmente, en la etapa de reflexión, se analizaron los errores y se ajustaron las concentraciones hasta obtener un producto funcional. La evidencia principal de esta estrategia se reflejó en las bitácoras de laboratorio, donde los estudiantes registraron sus observaciones y reflexiones. Estas evidencias demostraron que la práctica no solo consolidó conocimientos químicos, sino también habilidades metacognitivas como la autorregulación, la perseverancia y el pensamiento crítico.

2.5.1.2 Trabajo colaborativo guiado

El trabajo colaborativo constituyó una segunda estrategia núcleo que permitió materializar el aprendizaje colectivo. Farnsworth et al. (2016) y Wenger (1998) definen las comunidades de práctica como espacios donde los participantes aprenden unos de otros a través de la interacción, el diálogo y la resolución conjunta de problemas. En este caso, la

dinámica grupal fue intencionadamente guiada por los docentes, quienes promovieron la cooperación, la distribución equitativa de tareas y la comunicación entre pares.

Cada grupo asumió roles específicos (coordinador, registrador, responsable técnico y evaluador) para garantizar la participación activa. Este enfoque facilitó la integración de saberes y la toma de decisiones conjuntas, fortaleciendo tanto la competencia comunicativa como la ética profesional. Las reuniones de retroalimentación y los debates sobre los resultados consolidaron el sentido de comunidad científica en formación, evidenciado en los informes grupales y discusiones presenciales.

2.5.1.3 Acompañamiento docente reflexivo

El acompañamiento docente fue la tercera estrategia núcleo y actuó como articulador entre el aprendizaje autónomo y la guía profesional. El docente reflexivo es aquel que piensa “en la acción y sobre la acción”, ayudando a los estudiantes a comprender sus propios procesos de pensamiento y acción, lo que favorece una articulación más profunda entre teoría y práctica en la formación docente (Slade et al., 2019). En este caso, el rol docente no se limitó a supervisar, sino que consistió en facilitar la reflexión, orientar la toma de decisiones experimentales y garantizar que el error se transformara en una oportunidad de aprendizaje.

Durante las sesiones, se promovieron espacios de diálogo donde se analizaban las causas de los resultados no esperados y se proponían soluciones técnicas y conceptuales. Este acompañamiento fortaleció la confianza del grupo y la conciencia del proceso, permitiendo avanzar hacia una comprensión integral del fenómeno experimental.

En conjunto, las estrategias núcleo operaron como un engranaje articulado que dio vida a la experiencia, asegurando que el aprendizaje fuese profundo, situado y transferible (Biggs & Tang, 2011).

2.5.2. Estrategias de soporte aplicadas

El funcionamiento del ecosistema educativo dependió no solo de las estrategias núcleo, sino también de los soportes estructurales que hicieron viable la innovación. Estos soportes fueron:

1. Gestión del laboratorio con recursos limitados,
2. Acompañamiento técnico y logístico,

3. Comunicación constante docente-estudiante, y
4. Apoyo institucional para la publicación científica.

2.5.2.1. Gestión del laboratorio con recursos limitados

La escasez de materiales impulsó un modelo de gestión creativa de recursos, en el que se emplearon materiales reciclados y se promovió la eficiencia en el uso de insumos. Fullan (2007) sostiene que los cambios educativos sostenibles surgen cuando las limitaciones se convierten en oportunidades para la innovación. Este enfoque no solo redujo costos, sino que también fomentó una conciencia ambiental coherente con la formación en Ingeniería Ambiental.

2.5.2.2. Acompañamiento técnico y logístico

El soporte técnico, brindado por el personal del laboratorio, fue clave para garantizar la seguridad y la continuidad de las prácticas. La coordinación semanal entre docentes y técnicos permitió anticipar problemas y distribuir recursos de manera equitativa. Según Bolívar (2012), las innovaciones requieren un entramado institucional que ofrezca respaldo logístico y administrativo, evitando que el cambio dependa únicamente de la voluntad individual.

2.5.2.3. Comunicación constante docente-estudiante

Se implementaron canales digitales de comunicación (correo institucional, grupos de mensajería y foros virtuales) que facilitaron la coordinación y el intercambio de ideas. Este soporte fortaleció el sentido de comunidad y permitió mantener el flujo de información en tiempo real. Wenger (1998) destaca que las comunidades de aprendizaje se consolidan mediante la interacción continua y la retroalimentación oportuna, ambas presentes en esta experiencia.

2.5.2.4. Apoyo institucional para la publicación científica

El proceso culminó con la redacción y publicación de un artículo científico, respaldado por la universidad. Este soporte institucional representó una forma de validación

externa y reconocimiento académico. Tal como señala Jara Holliday (2018), la sistematización alcanza su mayor impacto cuando los resultados se comunican y comparten con la comunidad educativa, promoviendo la transferencia del conocimiento generado.

En conjunto, estos soportes posibilitaron que las estrategias núcleo funcionaran con eficacia, asegurando la sostenibilidad de la innovación y el cumplimiento de los objetivos pedagógicos y científicos.

2.5.3. Estrategias de contingencia desplegadas

Todo proceso innovador implica incertidumbre y requiere capacidad de adaptación. Las estrategias de contingencia implementadas respondieron a los imprevistos surgidos durante la experiencia, tales como:

1. Falta del reactivo principal (hidróxido de potasio),
2. Errores iniciales en las pruebas experimentales,
3. Limitaciones en equipos de medición, y
4. Restricciones de tiempo.

Ante la falta del reactivo, el grupo optó por sustituirlo por hidróxido de sodio, ajustando las concentraciones y registrando cada variación. Yin (2014) resalta que la validez de un estudio de caso radica en su capacidad para documentar la toma de decisiones frente a la incertidumbre, demostrando razonamiento técnico y científico.

Los errores iniciales fueron abordados mediante repetición y ajuste progresivo de los experimentos, lo que fortaleció la competencia de resiliencia científica y el pensamiento crítico. Los momentos de error son oportunidades para comprender la lógica interna del aprendizaje y generar conocimiento situado (Zhang & Fiorella, 2023).

Las limitaciones de equipos se resolvieron con uso compartido y programación colaborativa, garantizando que todos los grupos completaran sus pruebas. Finalmente, las restricciones de tiempo se superaron reorganizando el cronograma y estableciendo horarios extendidos con acompañamiento docente.

Estas contingencias, lejos de obstaculizar la experiencia, reforzaron el aprendizaje colaborativo, la autonomía y la capacidad de adaptación del grupo. Fullan (2007) sostiene que las reformas sostenibles no se logran evitando los problemas, sino aprendiendo de

ellos. En este sentido, las contingencias funcionaron como catalizadores del aprendizaje reflexivo y la madurez profesional.

2.5.4. Arquitectura del ecosistema (diagrama + relato)

El conjunto de estrategias núcleo, soporte y contingencia conformó un ecosistema educativo dinámico, similar a una red viva de raíces que se nutre de la interacción entre sus partes. Nogueira (2023) señala que todo sistema complejo se caracteriza por la interdependencia y la autoorganización, principios que se reflejan en esta experiencia.

En esta arquitectura, las estrategias núcleo representan el tronco del sistema (la base pedagógica que sostiene el aprendizaje); las estrategias de soporte actúan como el sustrato que aporta recursos y estabilidad; y las estrategias de contingencia son las raíces adaptativas que garantizan la resiliencia del ecosistema ante el cambio.

El diagrama visual que acompaña este subcapítulo representa las conexiones entre estos elementos. En el centro se sitúa el “núcleo pedagógico” (aprendizaje experiencial, colaboración y reflexión), rodeado por un anillo de “soportes institucionales” (gestión, acompañamiento y comunicación), del que emergen raíces que simbolizan las contingencias. Estas raíces se extienden hacia distintos niveles: técnico, emocional e institucional, demostrando que la flexibilidad y la adaptabilidad son esenciales para la sostenibilidad del aprendizaje.

Checkland (1999) describe los sistemas blandos como estructuras abiertas que evolucionan mediante la interacción de sus componentes humanos, técnicos y organizativos. Este modelo se ajusta perfectamente a la práctica descrita, donde la interacción constante entre docentes, estudiantes y entorno institucional generó un flujo de aprendizaje continuo. Bryson (2018) añade que la planificación estratégica en contextos educativos debe concebirse como un proceso emergente, más que como una secuencia rígida. La metáfora del laboratorio como ecosistema resiliente sintetiza esta idea: un sistema vivo capaz de regenerarse a partir de la experiencia, donde cada actor y cada decisión influyen en el equilibrio del conjunto.

2.5.5. Cierre integrador del subcapítulo

El análisis del ecosistema estratégico demuestra que la innovación educativa no depende únicamente de la planificación, sino de la interacción constante entre personas,

recursos y contextos. Las estrategias núcleo generaron el aprendizaje; los soportes lo sostuvieron; y las contingencias lo fortalecieron. En conjunto, este entramado de acciones confirmó la coherencia entre los objetivos curriculares, las competencias profesionales y la práctica formativa.

El ecosistema descrito es transferible a otros contextos educativos, pues muestra que es posible promover aprendizajes significativos aun en condiciones de limitación. Siguiendo a Zabalza (2003) y Barnett (2001), el éxito de una práctica docente no reside en la abundancia de recursos, sino en la capacidad de integrar saberes, reflexionar sobre la acción y construir conocimiento pertinente. La experiencia de laboratorio aquí sistematizada demuestra que la educación ambiental puede ser un espacio de resiliencia, innovación y compromiso social.

2.6. Evaluación

La evaluación dentro de esta sistematización no se concibe como un momento final, sino como un proceso continuo de aprendizaje y mejora. Según Beekman et al. (2021), la evaluación formativa permite comprender la evolución del aprendizaje más que juzgar su resultado, constituyéndose en una herramienta de autorregulación pedagógica, tal como muestran estudios recientes sobre el impacto de la evaluación formativa en el desarrollo de la autorregulación del alumnado. En este subcapítulo se analizan los instrumentos aplicados, los indicadores definidos, los criterios de validez adoptados, las evidencias recogidas y las reflexiones sobre sesgos y factibilidad.

El propósito de este subcapítulo es ofrecer una mirada integral al proceso evaluativo, mostrando cómo la experiencia logró equilibrar la rigurosidad científica con la reflexión pedagógica. La evaluación, en este contexto, se convierte en una práctica interpretativa que da sentido a la acción educativa, en línea con Scriven (1991, como se cita en Bauer (2019), quien la define como un “juicio fundamentado basado en evidencias verificables”.

2.6.1. Instrumentos de evaluación aplicados

El proceso evaluativo se sustentó en un conjunto de instrumentos diseñados para captar evidencias del desarrollo de competencias y aprendizajes. Los instrumentos utilizados fueron:

1. Rúbrica de desempeño experimental,
2. Bitácora reflexiva de laboratorio,
3. Entrevista semiestructurada a estudiantes, y
4. Revisión de producto científico (artículo publicado).

2.6.2. Rúbrica de desempeño experimental

Este instrumento permitió evaluar las destrezas técnicas y la aplicación del método científico durante las prácticas. Los criterios incluyeron la manipulación de materiales, el control de variables, la precisión en el registro de datos y la capacidad para interpretar resultados. Diversos estudios destacan que la evaluación formativa requiere criterios claros y observables que orienten la autorregulación del estudiante, al hacer visibles las metas, los estándares de calidad y las brechas entre el desempeño actual y el esperado (Panadero, 2017). En este caso, la rúbrica no solo calificó el producto final, sino que funcionó como una guía de aprendizaje progresivo, fomentando la reflexión sobre los errores y las mejoras. Las evidencias mostraron avances sostenidos en la precisión experimental y en la argumentación científica durante las discusiones grupales.

2.6.3. Bitácora reflexiva de laboratorio

Inspirada en la metodología de Schön (1992), la bitácora fue un instrumento clave para registrar el proceso de pensamiento de los estudiantes. En ella documentaron sus observaciones, dudas, hipótesis y correcciones. Esta herramienta permitió analizar la evolución del razonamiento científico y del pensamiento crítico, así como las emociones asociadas al trabajo experimental.

El análisis de contenido de las bitácoras evidenció que los estudiantes desarrollaron la capacidad de aprender del error, internalizar procedimientos y vincular teoría con práctica, demostrando la efectividad del enfoque de aprendizaje experiencial.

2.6.4. Entrevista semiestructurada a estudiantes

Las entrevistas se aplicaron para explorar las percepciones y valoraciones subjetivas sobre el proceso de aprendizaje. Stake (1995) señala que la credibilidad de un estudio de caso se refuerza cuando incorpora la voz de los participantes. En las entrevistas, los estudiantes expresaron satisfacción por haber superado los desafíos materiales, orgullo por su autonomía científica y conciencia del valor de la sostenibilidad en el trabajo experimental.

Este instrumento complementó la información cuantitativa con testimonios cualitativos, ofreciendo una comprensión más profunda del impacto pedagógico y emocional del proyecto.

2.6.5. Revisión de producto científico

El artículo publicado actuó como una fuente externa de validación. Su análisis permitió evaluar la calidad del trabajo realizado según criterios de la comunidad académica. Brookhart (2015) plantea que la evaluación adquiere credibilidad cuando los juicios se apoyan en estándares reconocidos por pares. La aceptación del artículo en una revista científica demostró la solidez del proceso y su pertinencia dentro del ámbito universitario.

2.6.6. Indicadores de evaluación y criterios de validez

Los indicadores de evaluación definieron las dimensiones a analizar y los criterios que aseguraron la coherencia del proceso. Los indicadores aplicados fueron cinco:

1. Aplicación del método científico en la práctica experimental.
2. Análisis y comunicación de resultados.
3. Diseño de soluciones sostenibles.
4. Trabajo colaborativo y liderazgo compartido.
5. Reflexión crítica sobre la experiencia.

Cada indicador se operacionalizó mediante evidencias específicas (rúbricas, bitácoras, entrevistas y productos escritos). Yin (2014) sostiene que la validez en estudios de caso depende de la convergencia entre múltiples fuentes de evidencia. Por ello, la triangulación

de datos permitió verificar la coherencia interna y la correspondencia entre aprendizaje declarado y aprendizaje demostrado.

Los criterios de validez adoptados fueron los propuestos por Maxwell (2013), complementados con el modelo de validez en evaluación cualitativa planteado por (Lub, 2015).

- Validez descriptiva, asegurada mediante el registro fiel de observaciones.
- Validez interpretativa, garantizada por la participación reflexiva de los actores.
- Validez teórica, sustentada en el marco conceptual previamente establecido.
- Validez evaluativa, basada en la consistencia entre objetivos, procesos y resultados.

Estos criterios fortalecieron la credibilidad y transferibilidad del estudio, demostrando que la experiencia no solo fue innovadora, sino también metodológicamente rigurosa.

2.6.7. Análisis preliminar de evidencias

El análisis de evidencias recogidas se realizó a través de procedimientos de codificación y categorización temática. Siguiendo a Miles et al. (2020), las evidencias cualitativas fueron organizadas en matrices que permitieron identificar patrones recurrentes y relaciones entre dimensiones pedagógicas, científicas e institucionales.

Las principales evidencias recogidas fueron:

- Registros de observación (análisis técnico de las pruebas experimentales).
- Reflexiones escritas (percepciones y aprendizajes).
- Indicadores de desempeño (rúbricas y autoevaluaciones).
- Validación externa (artículo científico publicado).

Del análisis emergieron tres patrones principales:

1. Progresión del aprendizaje científico, evidenciada en la capacidad para diseñar experimentos con autonomía.
2. Consolidación del trabajo colaborativo, manifestada en la resolución conjunta de problemas.

3. Construcción de identidad profesional, reflejada en la confianza para comunicar resultados y asumir responsabilidades.

Creswell (2012) sostiene que el análisis cualitativo en educación debe buscar la comprensión de patrones de cambio más que la generalización estadística. En la misma línea, Merriam y Tisdell (2016) señalan que, al no ser la generalización estadística el propósito de la investigación cualitativa, el análisis se orienta a descubrir significados, patrones y temas que permitan comprender en profundidad el fenómeno estudiado.

2.6.8. Reflexión sobre validez, sesgos y factibilidad

El análisis crítico del proceso evaluativo permitió identificar posibles sesgos y limitaciones. Uno de los principales riesgos fue el sesgo de confirmación, dado que los docentes también actuaron como investigadores. Este riesgo se mitigó mediante la triangulación de fuentes y la revisión externa del artículo científico. Maxwell (2013) advierte que la reflexividad del investigador es esencial para reconocer sus propias influencias sobre el proceso de interpretación; en la misma línea, Jamieson et al. (2023) definen la reflexividad como el examen crítico de las propias creencias y supuestos y de cómo estos influyen en el proceso de investigación.

Otro posible sesgo fue el efecto de deseabilidad social en las entrevistas, que se redujo asegurando anonimato y confidencialidad en las respuestas. En cuanto a la factibilidad, se enfrentaron limitaciones logísticas (insumos, tiempos, infraestructura), resueltas mediante estrategias de contingencia documentadas en el subcapítulo 4.

Yin (2014) y Patton y Campbell-Patton (2022) coinciden en que la credibilidad de un estudio no depende de la ausencia de dificultades, sino de la capacidad del equipo investigador para documentar, reflexionar y aprender de ellas. En la misma línea, Daniel (2019) subraya que la credibilidad y el rigor se fortalecen cuando el equipo investigador deja un rastro de auditoría detallado del proceso, explica sus decisiones metodológicas y reconoce los desafíos afrontados durante el estudio. Este proceso reflexivo fortaleció la validez interna y el carácter ético del estudio, consolidando una práctica docente basada en la transparencia y la mejora continua.

2.6.9. Cierre integrador del proceso evaluativo

El cierre del proceso evaluativo permitió confirmar la pertinencia del enfoque y la coherencia entre objetivos, estrategias y resultados. Los datos recogidos mostraron que los estudiantes alcanzaron los resultados de aprendizaje esperados:

- Aplicaron el método científico en condiciones reales de limitación.
- Desarrollaron pensamiento crítico y resiliencia ante la incertidumbre.
- Comunicaron sus hallazgos con rigor y claridad.
- Propusieron soluciones sostenibles a problemas experimentales.

Stake (1995) resalta que el valor de una evaluación cualitativa reside en su capacidad para generar comprensión más que calificación. En este sentido, la experiencia evaluada permitió comprender cómo los aprendizajes se construyen en contextos adversos y cómo el error se convierte en una fuente legítima de conocimiento.

Patton y Campbell-Patton (2022) añade que la evaluación útil es aquella que transforma la práctica. En la misma línea, Patton y Campbell-Patton (2022) sostienen que las evaluaciones deben diseñarse explícitamente para favorecer el uso de los hallazgos y contribuir a la transformación de los contextos en los que se aplican. En este caso, la retroalimentación derivada del proceso evaluativo orientó mejoras en la planificación de prácticas futuras, consolidando un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la reflexión, la sostenibilidad y la innovación continua.

2.7. Reflexión y transferencia

El proceso evaluativo permitió verificar la validez, coherencia y alcance de la experiencia sistematizada, confirmando que la innovación pedagógica basada en la práctica experimental generó aprendizajes significativos, resilientes y sostenibles. Sin embargo, más allá de los resultados obtenidos, este subcapítulo se orienta hacia la reflexión crítica, entendida como el momento en que la práctica se transforma en conocimiento consciente.

Según Freire (1997), la praxis educativa implica la unidad entre acción y reflexión, donde el sujeto reconoce su papel transformador dentro del contexto. En este sentido, el cierre de la evaluación no representa un punto final, sino el inicio de un diálogo profundo

sobre los significados, tensiones y aprendizajes que emergieron del proceso. Este subcapítulo, por tanto, busca interpretar los logros desde una mirada reflexiva, identificar los desafíos estructurales y proyectar la transferibilidad de la experiencia hacia otros espacios formativos, fortaleciendo la identidad docente e institucional.

2.7.1. Reflexión crítica sobre la experiencia

2.7.1.1. Aportes de la experiencia

El principal aporte de esta sistematización radica en haber demostrado que la innovación educativa puede florecer incluso en contextos de limitación material, cuando existe una visión pedagógica clara y un compromiso colectivo. El laboratorio de Ingeniería Ambiental se convirtió en un espacio de reconstrucción del conocimiento, donde los estudiantes no solo aprendieron química aplicada, sino también resiliencia, pensamiento crítico y sostenibilidad.

Barnett (2001) advierte que la educación superior enfrenta el desafío de preparar profesionales capaces de actuar en entornos de incertidumbre y complejidad. Este proyecto respondió a ese reto al promover el aprendizaje en condiciones reales de escasez, donde la solución no provenía de la teoría abstracta, sino del ingenio, la cooperación y la reflexión colectiva.

Desde una perspectiva docente, la experiencia aportó un modelo metodológico replicable, basado en la integración entre investigación-acción y aprendizaje experiencial. El uso de materiales reciclados no solo resolvió un problema técnico, sino que generó conciencia ambiental y ética profesional. A nivel institucional, se consolidó un ejemplo de cómo la práctica docente puede generar conocimiento validado, al convertirse en una publicación científica reconocida por pares académicos.

2.7.1.2. Tensiones y resistencias encontradas

Toda práctica innovadora enfrenta tensiones. En este proceso se identificaron tres principales:

1. La tensión entre autonomía y control docente, que exigió equilibrar la libertad de los estudiantes con la seguridad experimental.
2. La resistencia institucional ante el cambio, propia de estructuras académicas rígidas que aún asocian la innovación con improvisación.

3. La tensión entre teoría y práctica, manifestada en la dificultad inicial de los estudiantes para vincular los fundamentos químicos con los resultados observados.

Freire (1997) señala que la educación liberadora implica conflicto, pues cuestiona las prácticas tradicionales y promueve la emancipación del pensamiento. Estas tensiones, lejos de obstaculizar el proceso, se convirtieron en espacios de crecimiento y aprendizaje profesional. Schön (1992) complementa esta idea al plantear que la reflexión en la acción surge precisamente en la incertidumbre, cuando el profesional enfrenta problemas que no tienen soluciones predeterminadas.

Las resistencias también impulsaron la construcción de consensos dentro del equipo docente y entre los estudiantes, fortaleciendo la cohesión del grupo. El reconocimiento de estas tensiones fue fundamental para madurar el proyecto y consolidar una visión compartida del aprendizaje como proceso colaborativo y crítico.

2.7.1.3. Aprendizajes personales, colectivos e institucionales

Los aprendizajes derivados de la experiencia se manifiestan en tres niveles:

- Personal: El docente-investigador fortaleció su capacidad reflexiva y su comprensión del rol educativo como facilitador del pensamiento crítico. La escritura académica de esta sistematización permitió ordenar la experiencia, resignificarla y proyectarla hacia la investigación pedagógica.
- Colectivo: Los estudiantes desarrollaron competencias científicas y sociales, internalizando valores de cooperación, responsabilidad y sostenibilidad. La práctica evidió que el error, cuando se analiza críticamente, se convierte en un recurso de aprendizaje.
- Institucional: La universidad incorporó esta experiencia como referente de buenas prácticas en innovación educativa, abriendo la posibilidad de replicarla en otras asignaturas experimentales.

Jara Holliday (2018) sostiene que la sistematización es una forma de aprendizaje colectivo, en la que los actores transforman su comprensión de la realidad a partir de la reflexión sobre la acción. En esta experiencia, los aprendizajes no solo fueron cognitivos, sino también éticos y emocionales, lo que refuerza la integralidad del proceso formativo.

En síntesis, la práctica generó un cambio de paradigma en la concepción de la docencia universitaria: del profesor transmisor al docente reflexivo e investigador, capaz de construir conocimiento junto a sus estudiantes.

2.7.1.4. Síntesis reflexiva

La experiencia de sistematización permitió descubrir que el aprendizaje verdadero ocurre cuando la práctica se convierte en objeto de reflexión y diálogo. Freire (1997) lo expresa con claridad: “no hay enseñanza sin investigación, ni investigación sin enseñanza”. En este sentido, la docencia se resignifica como praxis transformadora que combina sensibilidad humana, rigor científico y compromiso social.

La reflexión final reveló que las innovaciones educativas sostenibles no requieren grandes recursos, sino intencionalidad pedagógica, pensamiento crítico y trabajo colaborativo. Este cierre no es una conclusión definitiva, sino un punto de partida para seguir investigando, adaptando y mejorando las estrategias implementadas. Como señala Barnett (2001), la educación del futuro demanda “profesionales reflexivos capaces de habitar la complejidad”, y esta experiencia representa un paso firme en esa dirección.

2.7.2. Transferibilidad y proyección institucional

El valor de una sistematización no reside únicamente en su relato, sino en su capacidad de transferencia a otros contextos educativos. La experiencia aquí descrita ofrece un modelo replicable para carreras de ingeniería y ciencias aplicadas, especialmente en instituciones con recursos limitados.

El modelo se basa en cuatro principios transferibles:

1. Aprender haciendo y reflexionando sobre la acción (Kolb, 1984; Schön, 1992).
2. Revalorar el error como oportunidad formativa (Carlino, 2005).
3. Construir conocimiento desde la colaboración y la sostenibilidad (Barnett, 2001; Wenger, 1998).
4. Documentar, evaluar y comunicar la experiencia para generar impacto institucional (Jara Holliday, 2018).

Desde el punto de vista operativo, la transferibilidad de esta práctica se evidencia en tres niveles:

- Curricular: Puede integrarse como modelo de enseñanza-aprendizaje en asignaturas experimentales, fortaleciendo la relación entre teoría y práctica.
- Investigativo: Fomenta la cultura de investigación en el aula, incentivando la producción científica derivada de la práctica docente.
- Comunitario: Promueve la formación de redes entre docentes, estudiantes y técnicos, configurando comunidades de práctica sostenibles (Wenger, 1998).

Además, la publicación del artículo científico y la documentación sistemática del proceso actúan como garantías de legitimidad académica, facilitando la adaptación del modelo a otros programas universitarios. Este enfoque coincide con lo que Patton y Campbell-Patton (2022) denomina “evaluación útil”, aquella que no se limita a valorar, sino que impulsa decisiones de mejora y transferencia.

2.7.3. Cierre integrador de la sistematización

La culminación de esta sistematización representa el punto de encuentro entre la experiencia vivida, la reflexión crítica y la proyección institucional. A lo largo del proceso se comprobó que la docencia innovadora es posible cuando se articula la teoría con la acción, la emoción con la razón y la ciencia con la pedagogía.

El recorrido desarrollado (desde la contextualización hasta la reflexión final) demuestra que la sistematización no es solo un ejercicio narrativo, sino una práctica investigativa que da voz a quienes construyen conocimiento desde la educación. En palabras de Jara Holliday (2018), “sistematizar es transformar la práctica en saber compartido”, y este capítulo ha buscado precisamente eso: comunicar, inspirar y dejar huella en la cultura académica universitaria.

De esta experiencia emergen tres certezas fundamentales:

1. La educación científica requiere reflexión ética y social.
2. La innovación es más un acto de voluntad pedagógica que de disponibilidad de recursos.
3. La sistematización es una herramienta de transformación institucional, no solo personal.

Finalmente, este proceso reafirma el compromiso de la Universidad Estatal de Milagro con una educación superior de calidad, basada en la sostenibilidad, la investigación aplicada y el aprendizaje reflexivo. El conocimiento generado aquí no se agota en el laboratorio, sino que se proyecta hacia las aulas, las comunidades y las futuras generaciones de profesionales capaces de pensar, crear y transformar su entorno.

2.8. Conclusiones

La sistematización desarrollada en este capítulo evidencia que la innovación educativa puede emerger incluso en contextos de limitaciones materiales, siempre que exista una intencionalidad pedagógica clara y un compromiso ético con el aprendizaje. La experiencia de elaborar un floculante a partir de latas recicladas, en ausencia del reactivo convencional, se convirtió en un escenario auténtico para que los estudiantes de Ingeniería Ambiental ejercitaran la creatividad científica, el pensamiento crítico y la resiliencia frente a la incertidumbre, competencias esenciales para su formación profesional.

Uno de los hallazgos centrales fue confirmar que el aprendizaje experiencial, basado en el método de ensayo y error, permite a los estudiantes comprender en profundidad los procesos químicos implicados en el tratamiento de aguas. La necesidad de repetir el experimento, ajustar concentraciones y evaluar resultados impulsó un proceso de reflexión constante que fortaleció la autonomía científica. Más allá del logro técnico (la obtención de un floculante funcional), la experiencia demostró que el error, cuando se analiza críticamente, puede convertirse en un recurso pedagógico poderoso.

Asimismo, la experiencia reveló el valor del trabajo colaborativo como motor de aprendizaje significativo. Las discusiones grupales, la asignación de roles y la toma de decisiones colectivas consolidaron una comunidad de práctica que aprendió a dialogar, escuchar, negociar y construir conocimiento de manera conjunta. Este proceso fortaleció no solo habilidades técnicas, sino también habilidades socioemocionales indispensables en el ejercicio profesional de la ingeniería.

El acompañamiento docente reflexivo fue otro elemento clave. La guía pedagógica, centrada en el diálogo, la exploración de alternativas y la resignificación del error, permitió que los estudiantes se sintieran acompañados sin perder autonomía. El docente asumió el rol de mediador y facilitador, promoviendo un clima de confianza que hizo posible enfrentar la incertidumbre sin temor al fracaso.

Desde una perspectiva curricular, la experiencia mostró una clara alineación con el perfil de egreso de la carrera, fortaleciendo competencias como la investigación aplicada, la sostenibilidad, la resolución de problemas complejos y la comunicación científica. La posterior publicación del artículo derivado de esta práctica constituye una evidencia de la madurez académica alcanzada y del potencial de estas metodologías para generar conocimiento relevante más allá del aula.

Finalmente, la sistematización permitió comprender que la docencia universitaria es un espacio de investigación en sí misma. Documentar, analizar y reflexionar sobre la práctica posibilita reconocer sus tensiones, aprendizajes y desafíos, y proyectar mejoras para futuras experiencias educativas. En este sentido, la práctica analizada se convierte en un modelo transferible a otras asignaturas experimentales, especialmente en instituciones con recursos limitados, demostrando que la sostenibilidad, la creatividad y el rigor científico pueden coexistir en ambientes formativos bien acompañados.

Este capítulo confirma que la formación de ingenieros ambientales requiere experiencias reales, reflexivas y colaborativas que conecten la teoría con la acción. La práctica narrada no solo permitió elaborar un floculante, sino también construir una visión más crítica, ética y humana de la educación científica. La sistematización deja como legado un modelo pedagógico replicable y una invitación a seguir transformando la enseñanza desde la reflexión y la acción conjunta.

Bibliografía

- Abu-Gweder, A. (2025). Dialogic learning: Developing teaching and meaningful learning skills in Hebrew as a second language among Arab Bedouin students in the Community-Academy Classroom program. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 24(7), 798-812. <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.7.39>
- Aguilar Joyas, J. C. (2015). Competencias específicas Tuning en programas de administración: Colombia y su región suroccidente. *Contexto*, 4, 111-117. <https://doi.org/10.18634/ctxj.4v.1i.410>
- Arnab, S., Masters, A., Aldy, P. R., Mahon, D., & Minoi, J.-L. (2025). Playful and frugal learning design: A value-based approach to inclusive and sustainable STEM education. *Social Sciences & Humanities Open*, 12, 101923. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101923>
- Barnett, R. (2001). *Los límites de la competencia: El conocimiento, la educación superior y la sociedad*. Gedisa.
- Bauer, A. (2019). “How ‘good’ is good enough?” Defining evaluative worth and merit criteria. *Estudos em Avaliação Educacional*, 30(73), 14-43. <https://doi.org/10.18222/eae.v30i73.5879>
- Beekman, K. S., Joosten-ten Brinke, D., & Boshuizen, H. P. A. (2021). Sustainability of developed self-regulation by means of formative assessment among young adolescents: A longitudinal study. *Frontiers in Education*, 6, 746819. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.746819>
- Bhardwaj, V., Zhang, S., Tan, Y. Q., & Pandey, V. (2025). Redefining learning: Student-centered strategies for academic and personal growth. *Frontiers in Education*, 10, 1518602. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1518602>
- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for Quality Learning at University* (4.^a ed.). Open University Press.
- Bolívar, A. (2012). *La mejora de la educación: Políticas, profesorado y cambio institucional*. Graó.
- Boomgaarden, A., Loibl, K., & Leuders, T. (2024). Fostering learning from errors—Computer-based adaptivity at the transition between problem solving and explicit instruction. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 45(2), Article 9. <https://doi.org/10.1007/s13138-024-00232-w>

- Brookhart, S. M. (2015). *Grading and Learning: Practices that Support Student Achievement*. ASCD.
- Bryson, J. (2018). *Strategic Planning for Public and Nonprofit Organizations*. Wiley.
- Carlino, P. (2005). *Escribir, leer y aprender en la universidad. Una introducción a la alfabetización académica*. Fondo de Cultura Económica. <https://bit.ly/4og2mch>
- Cattaneo, A. A. P., & Motta, E. (2021). “I reflect, therefore I am... a good professional”: On the relationship between reflection-on-action, reflection-in-action and professional performance in vocational education. *Vocations and Learning*, 14(2), 185-204. <https://doi.org/10.1007/s12186-020-09259-9>
- Checkland, P. (1999). *Systems Thinking, Systems Practice*. Wiley.
- Creswell, J. W. (2012). *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research* (4.^a ed.). Pearson.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5.^a ed.). SAGE.
- Daniel, J. (2019). *Mega-Universities and Knowledge Media: Technology Strategies for Higher Education*. Routledge.
- Dautova, O. B., Ignateva, E. Y., & Salygina, I. A. (2020). Professional learning communities of teachers as reflexive practice. En S. A. Glebovich (Ed.), *Pedagogical Education – History, Present Time, Perspectives* (pp. 97-104, Vol. 87). European Proceedings of Social; Behavioural Sciences. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2020.08.02.12>
- Díaz Barriga, A. (2009). Currículo y competencias: La tensión entre formación y evaluación. *RIES*, 1(2), 19-32.
- Elliott, J. (1993). *La investigación-acción en educación*. Ediciones Morota.
- Farnsworth, V., Kleanthous, I., & Wenger-Trayner, E. (2016). Communities of practice as a social theory of learning: A conversation with Etienne Wenger. *British Journal of Educational Studies*, 64(2), 139-160. <https://doi.org/10.1080/00071005.2015.1133799>
- Flick, U. (2014). *Introducción a la investigación cualitativa*. Ediciones Morata.
- Freire, P. (1997). *Pedagogía de la autonomía: Saberes necesarios para la práctica educativa*. Siglo XXI.
- Fullan, M. (2007). *The New Meaning of Educational Change* (4.^a ed.). Teachers College Press.

- Gishen, F., Dacre, J., Horn, C., & Peters, D. (2020). Educating future doctors for uncertainty and complexity. *The Clinical Teacher*, 17(6), 726-728. <https://doi.org/10.1111/tct.13165>
- Goh, L. H. (2021). Reflective practice and teacher research: Catalysts for teacher growth. *Universal Journal of Educational Research*, 9(6), 1306-1315. <https://doi.org/10.13189/ujer.2021.090620>
- Hammarberg, K., Kirkman, M., & de Lacey, S. (2016). Qualitative research methods: When to use them and how to judge them. *Human Reproduction*, 31(3), 498-501. <https://doi.org/10.1093/humrep/dev334>
- Ho, W. W. Y., Lau, Y. H. Y., & Li, E. K. L. (2025). Facilitating reflection, confidence, and positive mirror effect in teacher practicum: A serial multiple mediation model. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), Article 134. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04454-2>
- Jamieson, S., Govaart, G. H., & Pownall, M. (2023). Learning through experience: The role of reflection in higher education. *Teaching in Higher Education*.
- Jara Holliday, O. (2018). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos posibles*. Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano (CIN-DE).
- Kılıç, A. (2022). The impact of reflective practices on pre-service science teachers' classroom teaching practices. *Journal of Pedagogical Research*, 6(1), 151-167. <https://doi.org/10.33902/JPR.2022175781>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall.
- Leal Filho, W., Raath, S., Lazzarini, B., Vargas, V. R., De Souza, L., Anholon, R., Quelhas, O. L. G., Haddad, R., Klavins, M., & Orlovic, V. L. (2018). The role of transformation in learning and education for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 199, 286-295. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.017>
- Lub, V. (2015). Validity in qualitative evaluation: Linking purposes, paradigms and perspectives. *International Journal of Qualitative Methods*, 14(5), 1-8. <https://doi.org/10.1177/1609406915621406>
- Marin-García, J. A. (2021). Teaching experiences based on action research. *WPOM-Working Papers on Operations Management*, 12(1), 1-24. <https://doi.org/10.4995/wpom.7243>

- Marsh, B., & Deacon, M. (2024). Teacher practitioner enquiry: A process for developing teacher learning and practice? *Educational Action Research*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/09650792.2024.2313085>
- Maxwell, J. A. (2013). *Qualitative Research Design: An Interactive Approach* (3.^a ed.). SAGE.
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). *Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation* (4.^a ed.). Jossey-Bass.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2020). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook* (4.^a ed.). SAGE.
- Morales-Gamboa, R., & Sucar, L. E. (2020). Competence-based student modelling with dynamic Bayesian networks (arXiv:2008.12114). <https://arxiv.org/abs/2008.12114>
- Morris, T. H. (2020). Experiential learning – A systematic review and revision of Kolb's model. *Interactive Learning Environments*, 28(8), 1744-5191. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1570279>
- Narciss, S., & Alemdag, E. (2025). Learning from errors and failure in educational contexts: New insights and future directions for research and practice. *British Journal of Educational Psychology*, 95(1), 197-218. <https://doi.org/10.1111/bjep.12716>
- Nogueira, B. M. (2023). The emergence of complexity thinking and its influence on educational research. *Canadian Journal for New Scholars in Education*, 14(1).
- Okyay, U. S. (2025). The integration of environmental considerations into geotechnical engineering education: Balancing optimization and sustainability. *Proceedings of GEE 2025 – Geotechnical Engineering Education 2025: Charting the Path Toward the Future*, 1-12. <https://bit.ly/47VmVWY>
- Palacios Núñez, M. L., Toribio López, A., & Deroncele Acosta, A. (2021). Innovación educativa en el desarrollo de aprendizajes relevantes: una revisión sistemática de literatura. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), 134-145.
- Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology*, 8, 422. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00422>
- Parra Ocampo, P. J., & Mejía Narro, E. (2022). El impacto del aprendizaje significativo en la educación del siglo XXI. *Revista Cubana de Educación Superior*, 41(3).
- Patton, M. Q., & Campbell-Patton, C. E. (2022). *Utilization-Focused Evaluation* (5.^a ed.). SAGE Publications.

- Reyes, G. R. B. (2021). El aprendizaje significativo como estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional*, 6(5), 75-86.
- Rocha, J. C. R. (2021). Importancia del aprendizaje significativo en la construcción de conocimientos. *Revista Científica Estelí*, 63-75.
- Schön, D. (1992). *La formación de profesionales reflexivos*. Paidós.
- Sendera, P., Senderayi, S. P., & Dube, B. (2024). Esoteric rumination: Can emerging researchers in Zimbabwean teachers colleges genuinely disengage the publish or perish intonation? *E-Journal of Humanities, Arts and Social Sciences*, 5(4), 380-392. <https://doi.org/10.38159/ehass.2024542>
- Slade, M. L., Burnham, T. J., Catalana, S. M., & Waters, T. (2019). The impact of reflective practice on teacher candidates' learning. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 13(2), Article 15. <https://doi.org/10.20429/ijstotl.2019.130215>
- Stake, R. E. (1995). *The Art of Case Study Research*. Sage.
- Tang, L., Gu, J., Shao, M., & Zhao, L. (2025). Effects of different interventions to treat errors during STEM learning on improving young children's psychological resilience. *Research in Science & Technological Education*, 43(3), 776-795. <https://doi.org/10.1080/02635143.2024.2338809>
- Tuning América Latina. (2007). *Reflexiones y perspectivas de la Educación Superior en América Latina*.
- Wenger, E. (1998). *Communities of Practice: Learning, Meaning and Identity*. Cambridge University Press.
- Wibowo, A. H., Mohamad, B., Djatmika & Santosa, R. (2024). Designing and assessing experiential learning pedagogy for an intercultural communicative competence training module: A quasi-experimental study. *Frontiers in Education*, 9, 1470209. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1470209>
- Wright, C., Ritter, L. J., & Wisse Gonzales, C. (2022). Cultivating a collaborative culture for ensuring sustainable development goals in higher education: An integrative case study. *Sustainability*, 14(3), 1273. <https://doi.org/10.3390/su14031273>
- Yao, D., & Lin, J. (2025). Cognitive enhancement through competency-based programming education: A 12-year longitudinal study. *Education and Information Technologies*, 30, 20347-20383. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13582-w>
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research: Design and Methods* (5.^a ed.). Sage.

- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6.^a ed.). SAGE.
- Zabalza, M. A. (2003). *Competencias docentes del profesorado universitario: Calidad y desarrollo profesional*. Narcea.
- Zhang, Q., & Fiorella, L. (2023). An integrated model of learning from errors. *Educational Psychologist*, 58(1), 18-34. <https://doi.org/10.1080/00461520.2022.2149525>

A

Anexo del Capítulo Integración de saberes en la enseñanza del tratamiento de aguas

El anexo define un marco integral para evaluar y documentar aprendizajes con la metodología BLASF. Presenta una rúbrica por competencias con cinco criterios (interpretación de datos, normativa ambiental, dominio técnico, coherencia teoría-práctica y comunicación científica) en cuatro niveles, con logro mínimo del 70% y aplicable a informes, bitácoras y presentaciones. Incluye un cuestionario de percepción (Likert y preguntas abiertas) para identificar aprendizajes, dificultades y mejoras, y una guía de entrevista semiestructurada para estudiantes, docentes y técnicos. Añade indicadores operativos por dimensión (técnica, pedagógica, motivación, normativa y transferibilidad) y métodos de análisis (codificación, triangulación y análisis temporal), anticipando fortalecimiento de competencias críticas y técnicas.

A.1. Rúbrica de evaluación por competencias

Tabla A.1: Rúbrica de evaluación por competencias

Criterio	Nivel Excelente (4)	Nivel Aceptable (3)	Nivel Básico (2)	Nivel Insuficiente (1)
Interpretación de datos experimentales	Analiza con precisión y propone mejoras técnicas sustentadas.	Interpreta correctamente los datos.	Se limita a describir sin análisis.	Presenta errores o contradicciones.
Aplicación de normativa ambiental	Aplica con rigor la normativa vigente y genera reflexiones críticas.	Cita normativa básica.	Menciona normativa, pero sin aplicación.	No reconoce el marco normativo.
Dominio técnico del sistema BLASF	Justifica parámetros operativos y decisiones técnicas.	Explica con claridad el funcionamiento.	Presenta nociones generales.	Desconoce la funcionalidad.
Coherencia teoría-práctica	Integra teoría con evidencia experimental de forma reflexiva.	Relaciona conceptos con ejemplos básicos.	Conecta parcialmente.	No evidencia integración.
Comunicación científica	Redacción clara, gráfica y con respaldo bibliográfico.	Redacción comprensible.	Presenta errores estructurales.	Desorganizado y sin sustento.

Indicador de logro: $\geq 70\%$ del puntaje total.

Nota: Esta tabla es aplicable a informes técnicos, bitácoras experimentales y presentaciones finales.

A.2. Cuestionario de percepción estudiantil

Objetivo: Identificar aprendizajes, dificultades y percepciones sobre la metodología BLASF.

Formato sugerido: Escala Likert + preguntas abiertas.

Ejemplos de ítems:

1. La experiencia experimental me permitió comprender mejor los procesos de nitrificación-desnitrificación. (1-5)
2. ¿Qué parámetro del sistema BLASF resultó más complejo de monitorear y por qué?
3. Considero que el enfoque de enseñanza fortaleció mi capacidad de análisis ambiental. (1-5)

-
4. ¿En qué medida las actividades prácticas se conectaron con los ODS y normativa ambiental nacional?
5. ¿Qué mejora propondrías para los próximos ciclos académicos?

Indicadores derivados: profundidad de pensamiento crítico, integración normativa, motivación académica.

A.3. Guía de entrevista (semiestructurada)

Dirigido a: estudiantes, docentes colaboradores, técnicos de laboratorio.

Ejes temáticos:

1. Pertinencia de la metodología BLASF o ¿Qué elementos del sistema consideras más formativos?
2. Aplicabilidad profesional o ¿Crees que esta experiencia puede replicarse en otras comunidades?
3. Validez y sesgos o ¿Se presentaron errores en la toma de datos? ¿Cómo pudieron mitigarse?
4. Competencias desarrolladas o ¿Qué habilidad técnica o analítica consolidaste durante el proceso?
5. Proyección futura o ¿Qué evidencia recomendarías incluir en el informe final para validarla académicamente?

Tabla A.2: Indicadores de evaluación (operativos)

Dimensión	Indicador	Fuente de evidencia	Método de análisis
Técnica	Remoción de NH_4^+ y DBO.	Matrices experimentales.	Estadístico descriptivo.
Pedagógica	Integración teoría-práctica.	Rúbricas e informes.	Ánálisis cualitativo.
Motivación	Interés y participación.	Encuestas.	Ánálisis de discurso.
Normativa	Uso de legislación ambiental.	Informes y entrevistas.	Codificación temática.
Transferibilidad	Posibilidad de replicar el modelo.	Discusión grupal.	Matriz DAFO.

Fuente: elaboración propia.

Nota: Esta tabla contiene los indicadores y las fuentes de evidencia que pueden consultarse.

A.4. Análisis preliminar de evidencias

Métodos de procesamiento sugeridos:

- Codificación abierta y axial (Miles et al., 2014)
- Triangulación de fuentes (Stake, 1995)
- Análisis temporal de datos experimentales
- Interpretación normativa–técnica integradora

Conclusión preliminar esperada:

Los estudiantes lograron manejar parámetros ambientales reales y relacionarlos con criterios técnicos de diseño, fortaleciendo competencias de análisis, evaluación crítica y justificación técnica bajo escenarios operativos reales.

B

Anexo del Capítulo Aprendizaje basado en ensayo y error en el laboratorio ambiental

El anexo presenta la bitácora de la práctica para obtener alumbre (floculante) a partir de aluminio, hidróxido de sodio, agua destilada y ácido sulfúrico. La tabla registra cuatro intentos con masas y volúmenes empleados, fallos observados y el resultado final. En el intento 1 el aluminio se secó con NaOH; en el 2 el exceso de ácido eliminó cristales; en el 3 los cristales desaparecieron al neutralizar; en el 4 se logró el floculante y la obtención de alumbre. Se incorporan tres figuras: filtración del sulfato de aluminio, materia prima y obtención de la sal como evidencia visual del proceso.

Tabla B.1: Bitácora de registro de la práctica

Intento	Papel Aluminio	Hidróxido de Sodio (g) (1,4 M)		Agua destilada (ml)		Ácido sulfúrico (ml) (9 M)		Agua destilada (ml)		Fallos	Obtención de alumbre (g)
1	15	1,2		50		x		x		Se secó el aluminio junto con el hidróxido de sodio.	No
2	7,5	1,4		25		12,34		12,66		Demasiado ácido sulfúrico a la mezcla, desaparecieron los cristales.	No
3	7,5	2,6		50		9,87		10,13		Se formaron los cristales, pero al neutralizar el ácido sulfúrico estas desaparecieron.	No
4	7,5	2,8		50		4,94		5,06		Se logró realizar el floculante.	Sí

Fuente: elaboración propia.

Nota: Se registran los datos de los intentos realizados.

Figura B.1: Filtración de sulfato de aluminio



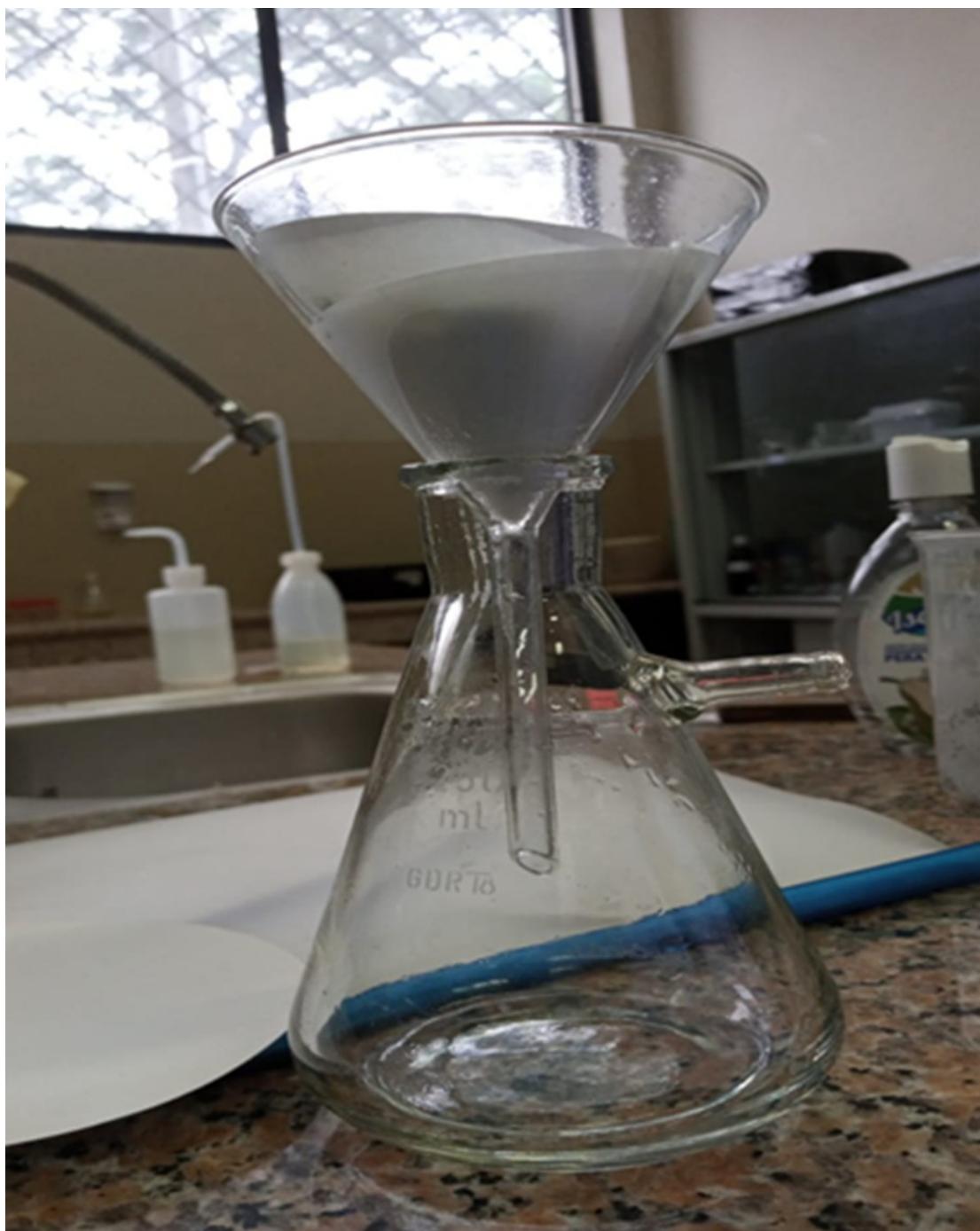
Fuente: elaboración propia.

Figura B.2: Materia prima



Fuente: elaboración propia.

Figura B.3: Obtención de la sal



Fuente: elaboración propia.

Innovación y aprendizaje experiencial en ingeniería ambiental: sistematización de prácticas universitarias

Resumen

Este libro reúne dos sistematizaciones que exploran, desde perspectivas complementarias, cómo la innovación pedagógica y la reflexión docente fortalecen la formación de ingenieros ambientales en la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI). Ambos capítulos evidencian que la enseñanza en contextos técnicos y experimentales exige integrar saberes, enfrentar la incertidumbre y transformar las limitaciones en oportunidades de aprendizaje significativo. El primer capítulo aborda la dificultad recurrente de articular conocimientos matemáticos, químicos y biológicos en la resolución de problemas de tratamiento de aguas. A través de estrategias activas, reflexión guiada y vinculación curricular, los estudiantes desarrollaron pensamiento crítico, autonomía técnica y capacidad de análisis, demostrando que la formación profesional se fortalece cuando la práctica se aborda como un proceso investigativo. El segundo capítulo se centra en una experiencia de laboratorio marcada por la escasez de insumos, donde los estudiantes elaboraron un floculante a partir de latas recicladas. La falta de reactivos impulsó procesos de ensayo y error, resiliencia científica, creatividad y colaboración. La práctica permitió evidenciar cómo el error, la experimentación y la toma de decisiones fundamentadas pueden convertirse en motores de aprendizaje profundo y sostenible. La triangulación de bitácoras, registros fotográficos, observaciones y un artículo científico publicado otorgó rigor metodológico a la sistematización. En conjunto, las dos experiencias muestran que la educación ambiental universitaria puede trascender la transmisión de contenidos para convertirse en una praxis crítica, contextualizada y orientada a la sostenibilidad. El libro propone un modelo de docencia reflexiva que integra teoría, práctica, ética y colaboración, ofreciendo aportes replicables para fortalecer la enseñanza en disciplinas profesionales .

Palabras claves: Sistematización educativa; Innovación pedagógica; Ingeniería ambiental; Aprendizaje experiencial; Sostenibilidad.

Abstract

This book brings together two systematizations that explore, from complementary perspectives, how pedagogical innovation and teacher reflection strengthen the training of environmental engineers at the State University of Milagro (UNEMI). Both chapters demonstrate that teaching in technical and experimental contexts requires integrating knowledge, confronting uncertainty, and transforming limitations into opportunities for meaningful learning. The first chapter addresses the recurring difficulty of articulating mathematical, chemical, and biological knowledge in solving water treatment problems. Through active strategies, guided reflection, and curricular integration, students developed critical thinking, technical autonomy, and analytical skills, demonstrating that professional training is strengthened when practice is approached as an investigative process. The second chapter focuses on a laboratory experience marked by a scarcity of supplies, where students produced a flocculant from recycled cans. The lack of reagents fostered trial and error, scientific resilience, creativity, and collaboration. The practical experience demonstrated how error, experimentation, and informed decision-making can become drivers of deep and sustainable learning. The triangulation of logs, photographic records, observations, and a published scientific article lent methodological rigor to the systematization. Taken together, the two experiences show that university-level environmental education can transcend the transmission of content to become a critical, contextualized, and sustainability-oriented practice. The book proposes a reflective teaching model that integrates theory, practice, ethics, and collaboration, offering replicable contributions to strengthen teaching in professional disciplines..

Keywords : Educational systematization; Pedagogical innovation; Environmental engineering; Experiential learning; Sustainability.