REVISTA PLURAIS
e-ISSN 2238-3751
PPG ielt

IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS TRANSDISCIPLINARIAS EN LA ENSEÑANZA DE LA CONDUCCIÓN DE FLUIDOS EN OPERACIONES UNITARIAS

Hugo Alberto Mobarec
Universidad Escuela militar de Ingeniería – Bolivia
E-mail: hmobcla@yahoo.com

Resumen
La formación en Ingeniería Industrial ha estado tradicionalmente marcada por un enfoque disciplinar centrado en la aplicación rigurosa de principios científicos y matemáticos para la resolución de problemas técnicos específicos. En particular, las asignaturas de Operaciones Unitarias han constituido un pilar fundamental para el entendimiento y diseño de procesos industriales. Sin embargo, el mundo contemporáneo, caracterizado por su creciente complejidad, impone desafíos que demandan una renovación profunda de los paradigmas educativos y metodológicos. Este artículo implementa y evalúa estrategias transdisciplinarias aplicadas a la enseñanza de la operación unitaria de conducción de fluidos, integrando metodologías activas, colaborativas y tecnológicamente enriquecidas. Se analizan diez proyectos desarrollados por estudiantes de Ingeniería Industrial que demuestran la pertinencia del paradigma transdisciplinario para abordar problemas reales con una visión holística, ética y contextual. Los resultados evidencian una mejora significativa en la comprensión técnica, la integración de saberes y el desarrollo de competencias transversales. Este trabajo contribuye a la consolidación de una práctica educativa transformadora, sustentada en los principios de la complejidad y la transdisciplinariedad, que favorece una formación más integral, crítica y comprometida con la sociedad y el ambiente.

Palabras clave: Transdisciplinariedad; formación en ingeniería; complejidad; operaciones unitarias; manejo de fluidos.

Abstract
Industrial Engineering education has traditionally been marked by a disciplinary focus centered on the rigorous application of scientific and mathematical principles to solve specific technical problems. However, the contemporary world, characterized by increasing complexity, uncertainty, and multidimensionality, demands a profound renewal of educational paradigms. This paper implements and evaluates transdisciplinary strategies applied to the teaching of the unit operation of fluid conduction, integrating active, collaborative, and technology-enhanced methodologies. It analyzes ten projects developed by Industrial Engineering students that demonstrate the relevance of the transdisciplinary paradigm to address real-world problems from a holistic, ethical, and contextual perspective. The results show significant improvement in technical understanding, knowledge integration, and transversal skills development. This research contributes to the consolidation of a transformative educational practice, grounded in the principles of complexity and transdisciplinarity, fostering a more integral, critical, and socially committed engineering education.

Keywords: Transdisciplinarity; engineering education; complexity; unit operations; fluid conduction.

Resumo
A formação em Engenharia Industrial tem sido tradicionalmente marcada por uma abordagem disciplinar centrada na aplicação rigorosa de princípios científicos e matemáticos para a resolução de problemas técnicos específicos. No entanto, o mundo contemporâneo, caracterizado pela crescente complexidade e multidimensionalidade, impõe desafios que exigem uma renovação profunda dos paradigmas educacionais e metodológicos. Este artigo implementa e avalia estratégias transdisciplinares aplicadas ao ensino da operação unitária de condução de fluidos, integrando metodologias ativas, colaborativas e tecnologicamente enriquecidas. São analisados dez projetos desenvolvidos por estudantes de Engenharia Industrial, que demonstram a pertinência do paradigma transdisciplinar para abordar problemas reais a partir de uma visão holística, ética e contextual. Os resultados evidenciam uma melhoria significativa na compreensão técnica, na integração de saberes e no desenvolvimento de competências transversais. Este trabalho contribui para a consolidação de uma prática educativa transformadora, fundamentada nos princípios da complexidade e da transdisciplinaridade, favorecendo uma formação mais integral, crítica e comprometida com a sociedade e o meio ambiente.

Palavras-chave: Transdisciplinaridade; ensino de engenharia; complexidade; operações unitárias; condução de fluidos.

1 Introducción

La formación en Ingeniería Industrial ha estado tradicionalmente marcada por un enfoque disciplinar centrado en la aplicación rigurosa de principios científicos y matemáticos para la resolución de problemas técnicos específicos. En particular, las asignaturas de Operaciones Unitarias han constituido un pilar fundamental para el entendimiento y diseño de procesos industriales, con énfasis en conceptos como el transporte de masa, energía y cantidad de movimiento mediante modelos matemáticos y físicos precisos.

Sin embargo, el mundo contemporáneo, caracterizado por su creciente complejidad, incertidumbre y multidimensionalidad, impone desafíos que demandan una renovación profunda de los paradigmas educativos y metodológicos. Los enfoques tradicionales, basados en la transmisión unidireccional del conocimiento y la fragmentación disciplinar, resultan insuficientes para formar profesionales capaces de comprender y actuar en sistemas complejos.

El primer artículo derivado de esta línea investigativa —titulado "Transdisciplinariedad en la enseñanza de Operaciones Unitarias: diez experiencias integradoras"— planteó y fundamentó teóricamente una propuesta pedagógica basada en la transdisciplinariedad, concebida como un eje articulador que trasciende la fragmentación disciplinar tradicional. A través del desarrollo de proyectos integradores

realizados por estudiantes, se demostró que la enseñanza de conceptos clásicos puede enriquecerse significativamente cuando se inserta en contextos sociales, culturales, ambientales y tecnológicos, generando un aprendizaje más significativo, crítico y comprometido.

Este abordaje permitió resignificar la operación unitaria desde una perspectiva sistémica y contextual, promoviendo la construcción colectiva del conocimiento y el desarrollo de competencias transdisciplinarias esenciales para el ingeniero del siglo XXI. No obstante, esta primera fase tuvo un carácter exploratorio y predominantemente teórico-metodológico, con el propósito de establecer las bases para una práctica educativa renovada.

En consecuencia, este segundo trabajo constituye una evolución natural y necesaria, encaminada a la implementación y evaluación concreta de las estrategias transdisciplinarias propuestas, focalizándose específicamente en la operación unitaria de conducción de fluidos, una temática fundamental y recurrente en procesos industriales diversos. La elección de esta operación unitaria responde a su naturaleza integradora, que permite conectar principios físicos con realidades técnicas, sociales y ambientales.

El objetivo principal de esta fase es analizar el impacto de la aplicación de metodologías activas, colaborativas y tecnológicamente enriquecidas —entre ellas, proyectos grupales, simulaciones computacionales, webquest y debates interdisciplinarios— en la profundización del conocimiento, el desarrollo de habilidades transversales y la internalización de una visión compleja y sistémica del aprendizaje.

El estudio se desarrolló en un entorno real de aula en la Universidad Mayor de San Andrés, con estudiantes de Ingeniería Industrial organizados en grupos pequeños para fomentar la cooperación, la discusión crítica y la reflexión desde múltiples perspectivas. Se empleó un diseño metodológico mixto que integra análisis cualitativos y cuantitativos, buscando capturar tanto los resultados académicos como las percepciones y experiencias de los participantes.

Finalmente, este trabajo pretende aportar evidencia empírica que sustente la validez y pertinencia de la transdisciplinariedad aplicada a la formación práctica en ingeniería, contribuyendo al avance de la educación superior en contextos complejos y dinámicos, y sentando bases para su expansión y profundización en futuras investigaciones y prácticas pedagógicas.

2 Marco Teórico Actualizado

La complejidad del mundo contemporáneo, entendida como la coexistencia de múltiples factores interrelacionados y dinámicos que condicionan fenómenos sociales, naturales y tecnológicos, exige un replanteamiento epistemológico y pedagógico profundo. Edgar Morin (1999, 2001) ha sido pionero en delinear un pensamiento complejo que reconoce la naturaleza multidimensional, no lineal y recursiva del conocimiento, en contraposición a los enfoques fragmentados y mecanicistas predominantes en la ciencia y la educación tradicionales.

Este pensamiento complejo sostiene que para comprender un fenómeno no basta con analizar sus partes aisladamente, sino que es necesario situarlo en el contexto del todo, entendiendo las interacciones, retroacciones y emergencias que surgen de la interrelación entre las partes y el sistema global. Morin plantea principios fundamentales como la recursividad organizacional, la dialógica de los opuestos, la incertidumbre y la emergencia, los cuales deben impregnar la construcción y transmisión del conocimiento.

En este contexto epistemológico, la transdisciplinariedad, tal como la define Basarab Nicolescu (2008), emerge como un paradigma que trasciende la mera interdisciplinariedad al integrar no solo disciplinas científicas, sino también saberes humanísticos, culturales y experienciales. Reconoce múltiples niveles de realidad y la lógica del tercero incluido, que permite la coexistencia de contradicciones y la emergencia de nuevos conocimientos. La transdisciplinariedad propone, entonces, una reorganización profunda del saber y de las prácticas educativas, orientada a enfrentar la complejidad de los problemas reales, los cuales no pueden ser abordados desde una única disciplina.

En la enseñanza de la ingeniería, tradicionalmente marcada por un fuerte disciplinarismo y un enfoque instrumental, la incorporación de la transdisciplinariedad representa un cambio paradigmático esencial. Permite formar profesionales que no solo dominen conocimientos técnicos, sino que comprendan los procesos industriales en su dimensión social, ambiental, ética y cultural, actuando con flexibilidad, creatividad y responsabilidad en contextos cambiantes y complejos (Prigogine & Stengers, 1983).

La operación unitaria de conducción de fluidos constituye un objeto privilegiado para esta integración, dado que involucra principios físicos fundamentales —dinámica de fluidos, transferencia de masa y energía— que pueden ser explorados y resignificados en diálogo con contextos prácticos, tecnológicos, sociales y ambientales. Esta operación no solo es crucial en procesos industriales, sino que también se vincula con problemáticas

contemporáneas como la sostenibilidad hídrica, la seguridad industrial y la innovación tecnológica.

Para facilitar esta integración, la literatura pedagógica destaca el valor de metodologías activas y colaborativas, como el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje cooperativo y el uso de simulaciones y herramientas digitales interactivas, que promueven el desarrollo de habilidades blandas —comunicación, trabajo en equipo, pensamiento crítico— y permiten situar el aprendizaje en contextos auténticos y significativos (Zabala & Arnau, 2007; Pérez Gómez, 2012).

Asimismo, las aportaciones de autores como Le Moigne (1990) y Varela & Maturana (1994) complementan este marco teórico, enfatizando la naturaleza constructivista y relacional del conocimiento, y la importancia de concebir la enseñanza como un proceso dinámico, emergente y contextualizado.

Finalmente, las recomendaciones de organismos internacionales como la UNESCO (2021) subrayan la urgencia de transformar la educación superior para formar ciudadanos y profesionales capaces de actuar en un mundo globalizado, incierto y complejo, mediante enfoques que integren saberes diversos, promuevan la ética y el compromiso social, y desarrollen competencias transversales.

En consecuencia, la presente investigación se inscribe en esta confluencia teórica y práctica, proponiendo y evaluando estrategias pedagógicas que materializan el paradigma de la transdisciplinariedad y la complejidad en la enseñanza práctica de las Operaciones Unitarias, con miras a una formación integral, contextual y transformadora del ingeniero industrial del siglo XXI.

3 Metodología

La presente investigación se enmarca dentro de un diseño metodológico mixto, que combina técnicas cualitativas y cuantitativas para captar tanto las evidencias objetivas como las percepciones y experiencias de los participantes en el proceso educativo. Este enfoque permite una comprensión integral del impacto de la implementación de estrategias transdisciplinarias en la enseñanza práctica de la operación unitaria de conducción de fluidos, en la asignatura de Operaciones Unitarias I de Ingeniería Industrial.

3.1 Contexto y participantes

El estudio se desarrolló en la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), en la ciudad de La Paz, Bolivia, durante un ciclo académico regular. Participaron 50 estudiantes matriculados en la asignatura Operaciones Unitarias I, organizados en 10 grupos heterogéneos de cinco integrantes. Los equipos se formaron considerando la afinidad y diversidad de perfiles académicos y personales, con el fin de fomentar la colaboración y el intercambio de perspectivas.

Los grupos trabajaron durante ocho semanas, desarrollando proyectos aplicados a la operación unitaria de conducción de fluidos. Estos proyectos integraron conocimientos técnicos con dimensiones sociales, ambientales y tecnológicas, como parte de una propuesta pedagógica basada en la transdisciplinariedad y el pensamiento complejo.

3.2 Estrategias pedagógicas implementadas

Para materializar la transdisciplinariedad en el aula, se emplearon diversas metodologías activas y colaborativas:

Proyectos colaborativos: cada grupo seleccionó un caso real o simulado relacionado con la conducción de fluidos, desarrollando un análisis integrado que incluyó aspectos técnicos, normativos, ambientales y sociales.

Simulaciones computacionales: se utilizaron programas especializados (COCO, MATLAB y DWSIM) para modelar y simular fenómenos de transporte de fluidos, permitiendo visualizar y experimentar con diferentes variables en contextos reales o hipotéticos.

Webquest e inteligencia artificial: los estudiantes realizaron búsquedas guiadas y estructuradas en internet, apoyadas por herramientas de IA para recopilar, analizar y sintetizar información científica y técnica.

Debates interdisciplinarios: se organizaron sesiones de discusión donde los participantes defendieron perspectivas desde diferentes disciplinas (ingeniería, medio ambiente, ética, economía).

Portafolios transdisciplinarios: cada grupo elaboró un registro reflexivo del proceso, incluyendo evidencias, mapas conceptuales y aprendizajes significativos.

3.3 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

La recopilación de datos se realizó mediante una combinación de métodos:

Encuestas estructuradas y semiestructuradas: aplicadas antes y después de la intervención para medir cambios en percepciones, actitudes y competencias relacionadas con la transdisciplinariedad.

Análisis documental: revisión de informes, presentaciones y portafolios de los estudiantes, evaluando la integración de saberes y la profundidad del análisis transdisciplinar.

Observación participante: el docente-investigador registró las dinámicas de grupo, la participación, los conflictos y las estrategias de aprendizaje durante las actividades.

Entrevistas focalizadas: realizadas a una muestra representativa de estudiantes y al docente para profundizar en las experiencias y percepciones sobre la metodología.

3.4 Análisis de datos

Los datos cuantitativos provenientes de las encuestas se analizaron mediante estadística descriptiva (medias, frecuencias, porcentajes) y comparativa (pruebas t para muestras relacionadas), evaluando la significancia de los cambios observados. Los datos cualitativos, provenientes de los análisis documentales, observaciones y entrevistas, se procesaron mediante análisis temático, identificando categorías emergentes, patrones y relaciones conceptuales que permitieron comprender los procesos de aprendizaje.

Se utilizó software especializado para los análisis cualitativos (NVivo) y estadísticos (SPSS), garantizando rigor y trazabilidad en el tratamiento de la información.

3.5 Consideraciones éticas

Se garantizó la participación voluntaria y la confidencialidad de los estudiantes, informándoles sobre los objetivos de la investigación y el uso de los datos. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes. La investigación se desarrolló conforme a los estándares éticos de la Universidad Mayor de San Andrés y la legislación vigente en materia de investigación académica.

4 Resultados

4.1 Descripción general de los proyectos

En el marco de la asignatura Operaciones Unitarias I, los estudiantes desarrollaron diez proyectos integradores orientados a analizar el transporte de fluidos desde diversas perspectivas técnicas, sociales, históricas, ambientales y tecnológicas. Esta diversidad temática permitió abordar la operación unitaria no solo como un fenómeno físico, sino como un proceso multidimensional que interactúa con múltiples disciplinas y contextos reales.

Cada proyecto fue diseñado para fomentar la aplicación del paradigma transdisciplinario, promoviendo en los estudiantes el pensamiento complejo, la reflexión crítica y la integración de saberes. Los grupos aplicaron metodologías activas como simulaciones, análisis bibliográfico, estudios de caso, debates y construcción de portafolios, evidenciando la riqueza conceptual y práctica que ofrece la transdisciplinariedad en la enseñanza de la mecánica de fluidos.

4.2 Resultados específicos por proyecto

4.2.1 Transporte de fluidos a través de la historia

Este proyecto ofreció una exploración de la evolución histórica de las técnicas y teorías del transporte de fluidos, desde las primeras civilizaciones hasta la ingeniería moderna. Los estudiantes identificaron hitos como los acueductos romanos, la bomba de Arquímedes y el desarrollo de las leyes hidráulicas clásicas, integrando análisis técnico, histórico y sociológico.

4.2.2 Prospectiva de la inteligencia artificial en el transporte de fluidos

Este trabajo analizó el papel de la inteligencia artificial (IA) en la optimización de sistemas de transporte de fluidos, explorando tecnologías como el mantenimiento predictivo, el control automático mediante algoritmos de aprendizaje y los gemelos digitales. Se concluyó que la IA puede mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad de los sistemas, reforzando la necesidad de ingenieros con competencias digitales y pensamiento sistémico.

4.2.3 Ciencias de la salud y transporte de fluidos

Este proyecto vinculó la mecánica de fluidos con procesos fisiológicos, analizando el transporte de fluidos en el sistema circulatorio y respiratorio. Se aplicaron

conceptos como viscosidad, flujo laminar y turbulento, y leyes hidráulicas en el estudio del cuerpo humano. La integración entre ingeniería y biología fortaleció la comprensión de los fenómenos vitales desde una perspectiva técnica y aplicada.

4.2.4 Aplicaciones industriales de la nanotecnología

Se abordó la relación entre la nanotecnología y el transporte de fluidos, analizando innovaciones en sensores, nano-revestimientos y filtración molecular. Los estudiantes concluyeron que los avances en nanomateriales permiten mejorar la eficiencia, el control y la sostenibilidad en sistemas de transporte industrial.

4.2.5 Aspectos sociales y demográficos en el transporte de fluidos

El proyecto examinó cómo el crecimiento urbano, la migración y las desigualdades sociales influyen en la planificación y operación de los sistemas de transporte de fluidos. Se destacó que la infraestructura hidráulica refleja inequidades socioeconómicas, reforzando la necesidad de políticas públicas integrales.

4.2.6 Naturaleza, ambiente y transporte de fluidos

Este trabajo analizó la relación entre procesos naturales (ciclo hidrológico, transporte de contaminantes) y la mecánica de fluidos, destacando estrategias sostenibles de tratamiento y depuración. La integración entre ecología, ingeniería ambiental y física permitió reflexionar sobre la responsabilidad ecológica en la práctica industrial.

4.2.7 Seguridad industrial y transporte de fluidos

El grupo abordó los riesgos vinculados al transporte de fluidos peligrosos, las fugas, explosiones y efectos sobre la salud. Se estudiaron protocolos de seguridad, normativas internacionales y medidas de prevención. La articulación entre ingeniería, derecho y salud ocupacional promovió una visión integral de la seguridad.

4.2.8 Alimentos líquidos en la mecánica de fluidos

Este proyecto exploró la aplicación de la mecánica de fluidos al procesamiento de alimentos líquidos, analizando sus propiedades reológicas, tipos de flujo y equipos utilizados. La combinación entre ingeniería alimentaria, física y tecnología evidenció la complejidad del diseño de procesos alimentarios.

4.2.9 Biotecnología y mecánica de fluidos

Se analizaron procesos biotecnológicos como la fermentación y la operación de biorreactores, destacando la influencia del flujo y la viscosidad en los procesos vivos. La integración entre biología e ingeniería permitió comprender cómo el transporte de fluidos es esencial en la innovación biotecnológica.

4.2.10 Ciencias básicas y transporte de fluidos

Este proyecto reforzó la importancia de las ciencias fundamentales —matemática, física y química— como base de los procesos industriales, demostrando que la comprensión profunda de los principios básicos permite aplicar la transdisciplinariedad con rigor científico.

4.3 Análisis transversal de los resultados

El análisis conjunto de los diez proyectos revela la consolidación de una red conceptual y metodológica que supera la fragmentación disciplinar. Se identificaron múltiples conexiones entre áreas tradicionales y emergentes, como la ingeniería química, la física aplicada, la biotecnología y las ciencias sociales, configurando nodos de aprendizaje integrador.

Los resultados demuestran que el aprendizaje se enriquece cuando los estudiantes enfrentan problemas reales, que demandan la integración de diversos saberes y el desarrollo de competencias críticas. Además, se observó la emergencia de nuevas áreas de interés, como la IA aplicada, la nanotecnología y la biotecnología, que requieren una formación dinámica y multidimensional.

No obstante, los participantes también señalaron dificultades como la coordinación interdisciplinaria, la falta de formación docente en enfoques transdisciplinarios y la limitada disponibilidad tecnológica, lo cual sugiere la necesidad de fortalecer las políticas institucionales de innovación educativa.

4.4 Reflexiones sobre la transdisciplinariedad en el aprendizaje

Los resultados indican que la transdisciplinariedad no solo profundiza la comprensión técnica, sino que transforma el rol del estudiante y del docente. El estudiante se convierte en agente activo, reflexivo y colaborativo, mientras que el docente actúa como mediador del aprendizaje, promoviendo el diálogo entre saberes y la creatividad colectiva.

La implementación de metodologías activas y el uso de herramientas digitales —simulaciones, IA, webquest— favorecieron un aprendizaje auténtico y contextualizado, fortaleciendo la autonomía, la innovación y la sensibilidad ética.

En conjunto, la experiencia demuestra la viabilidad y el valor de integrar la transdisciplinariedad en la enseñanza de Operaciones Unitarias, ofreciendo un modelo replicable y adaptable a otras áreas de la formación ingenieril.

5 Discusión

La implementación de estrategias pedagógicas basadas en la transdisciplinariedad para la enseñanza de la operación unitaria de conducción de fluidos ha generado resultados que no solo validan el marco teórico propuesto, sino que también evidencian un impacto significativo en la formación integral de los estudiantes de Ingeniería Industrial.

En esta sección se analizan los hallazgos en relación con la literatura sobre educación en ingeniería, complejidad y transdisciplinariedad, así como las implicaciones de los resultados para el diseño curricular y la práctica docente en contextos universitarios.

5.1 Confirmación de la pertinencia del paradigma transdisciplinario

Los resultados corroboran que la transdisciplinariedad constituye un enfoque altamente pertinente para responder a los retos educativos contemporáneos en ingeniería. La diversidad temática y la riqueza conceptual de los proyectos reflejan la capacidad de los estudiantes para articular conocimientos técnicos con dimensiones sociales, ambientales, históricas y tecnológicas.

Este hallazgo coincide con los postulados de Morin (1999) y Nicolescu (2008), quienes plantean que el conocimiento auténtico emerge en la interacción entre distintos niveles de realidad, reconociendo la incertidumbre y la complementariedad de los saberes. El aprendizaje transdisciplinar, en consecuencia, promueve una comprensión más profunda de los fenómenos industriales y una actitud ética frente a los desafíos globales.

5.2 Fortalecimiento de competencias transversales

La experiencia permitió desarrollar en los estudiantes competencias transversales clave para la formación profesional: pensamiento crítico, comunicación efectiva, colaboración interdisciplinaria, creatividad y capacidad de resolver problemas complejos.

Estas competencias son esenciales para desempeñarse en un entorno laboral marcado por la innovación tecnológica, la sostenibilidad y la responsabilidad social.

La literatura especializada respalda esta observación. Zabala y Arnau (2007) destacan que las metodologías activas generan aprendizajes más duraderos y contextualizados, mientras Pérez Gómez (2012) subraya la importancia de situar el conocimiento en contextos reales y colectivos. De este modo, la aplicación de la transdisciplinariedad no solo potencia el aprendizaje técnico, sino también la formación humana del ingeniero.

5.3 Integración efectiva de tecnología y metodologías activas

La incorporación de herramientas digitales y de inteligencia artificial resultó determinante para fortalecer el proceso de aprendizaje.

El uso de software de simulación (COCO, DWSIM, MATLAB) y plataformas digitales permitió visualizar fenómenos de transporte, analizar escenarios y fomentar la experimentación. Esto generó un aprendizaje más autónomo y flexible, en consonancia con las tendencias actuales de la educación universitaria, caracterizadas por la hibridación tecnológica y el aprendizaje ubicuo.

Asimismo, la metodología activa y colaborativa transformó la dinámica del aula. El docente pasó a ocupar un rol de mediador y orientador, guiando la construcción colectiva del conocimiento, mientras los estudiantes asumieron la responsabilidad de su propio aprendizaje, trabajando de manera cooperativa y reflexiva.

5.4 Retos y limitaciones identificados

A pesar de los avances, se identificaron retos significativos que deben abordarse para optimizar futuras implementaciones.

Entre ellos, la necesidad de fortalecer la formación docente en transdisciplinariedad, promover la integración efectiva de tecnologías emergentes y garantizar recursos adecuados en infraestructura y conectividad.

Algunos estudiantes manifestaron dificultad para coordinar trabajos en equipos multidisciplinarios, lo cual refleja la importancia de incorporar de manera gradual estas estrategias en el currículo, generando una cultura colaborativa sostenida. También se observó una resistencia inicial frente al cambio metodológico, especialmente en quienes estaban habituados a modelos de enseñanza tradicionales, centrados en la exposición magistral.

En este sentido, es fundamental que las instituciones universitarias implementen políticas de apoyo a la innovación pedagógica, creando espacios de formación continua y de intercambio entre docentes de distintas áreas.

5.5 Implicaciones para la formación en ingeniería

Los resultados de este estudio evidencian que la integración de la transdisciplinariedad en la enseñanza de Operaciones Unitarias contribuye a formar ingenieros con una visión sistémica, crítica y ética.

Este perfil profesional responde a las exigencias del siglo XXI, en el que la resolución de problemas requiere tanto rigor técnico como sensibilidad social y ambiental.

Se recomienda incorporar formalmente la transdisciplinariedad en los planes de estudio de ingeniería, promoviendo el trabajo interdisciplinar, el pensamiento complejo y la sostenibilidad como ejes transversales del currículo.

La experiencia desarrollada puede servir como modelo replicable en otras asignaturas, consolidando una cultura de aprendizaje contextual, reflexivo y comprometido con el entorno.

6 Conclusiones

La presente investigación, centrada en la implementación y evaluación de estrategias transdisciplinarias en la enseñanza de la operación unitaria de conducción de fluidos, demuestra la viabilidad y relevancia de integrar el paradigma de la complejidad en la formación de ingenieros industriales.

Los diez proyectos desarrollados por los estudiantes constituyen evidencia tangible del enriquecimiento conceptual, técnico y humano que aporta la transdisciplinariedad al proceso de aprendizaje.

En primer lugar, se confirma que este enfoque permite una comprensión profunda y contextualizada de fenómenos técnicos complejos, vinculando los principios de la mecánica de fluidos con dimensiones sociales, ambientales, históricas y tecnológicas. Esta visión integral supera la fragmentación disciplinar tradicional, favoreciendo la reflexión crítica y la creatividad.

En segundo lugar, la aplicación de metodologías activas y colaborativas, apoyadas en tecnologías digitales e inteligencia artificial, fomenta competencias transversales como la comunicación, el trabajo en equipo, el pensamiento crítico y la autonomía. Estas

capacidades resultan esenciales para el ejercicio profesional en entornos cambiantes y multidisciplinarios.

En tercer lugar, los resultados subrayan la necesidad de fortalecer la formación docente en enfoques transdisciplinarios, así como la incorporación progresiva de estas prácticas en el currículo universitario. Su institucionalización contribuiría a una enseñanza más flexible, dinámica y contextualizada.

Finalmente, este estudio aporta una evidencia empírica valiosa que valida la transdisciplinariedad como un paradigma transformador para la educación en ingeniería, promoviendo una formación integral, ética y comprometida con el desarrollo sostenible. La experiencia aquí descrita puede replicarse en otras operaciones unitarias y áreas afines, consolidando una pedagogía de la complejidad que prepare a los futuros profesionales para actuar con sensibilidad, rigor y creatividad ante los desafíos del mundo contemporáneo.

7 Referencias

LE MOIGNE, J. L. **La teoría del sistema general**: teoría de la modelización. México: Trillas, 1990.

MORIN, E. **Introducción al pensamiento complejo**. Barcelona: Gedisa, 1999.

MORIN, E. **Los siete saberes necesarios para la educación del futuro**. París: UNESCO, 2001.

NICOLESCU, B. **La transdisciplinariedad**: manifiesto. México: Multiversidad Mundo Real Edgar Morin, 2008.

PÉREZ GÓMEZ, A. I. **Educarse en la era digital**. Madrid: Morata, 2012.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **La nueva alianza**. Metamorfosis de la ciencia. Madrid: Alianza Editorial, 1983.

UNESCO. **Reimaginar juntos nuestros futuros**: un nuevo contrato social para la educación. París: UNESCO, 2021.

VARELA, F.; MATURANA, H. **El árbol del conocimiento**: las bases biológicas del entendimiento humano. Buenos Aires: Lumen, 1994.

ZABALA, A.; ARNAU, L. **Cómo aprender y enseñar competencias**: 11 ideas clave. Barcelona: Graó, 2007.