

Este material foi testado com as seguintes questões de acessibilidade:

- PDF lido por meio do software *NVDA* (leitor de tela para cegos e pessoas com baixa visão);
- Guia da *British Dyslexia Association* para criar o conteúdo seguindo padrões como escolha da fonte, tamanho e entrelinha, bem como o estilo de parágrafo e cor;
- As questões cromáticas testadas no site *CONTRAST CHECKER* (<https://contrastchecker.com/>) para contraste com fontes abaixo e acima de 18pts, para luminosidade e compatibilidade de cor junto a cor de fundo e teste de legibilidade para pessoas daltônicas.

Transdisciplinariedad en la enseñanza de operaciones unitarias: Diez experiencias integradoras

Transdisciplinarity in the teaching of unit operations: Ten integrative experiences

Transdisciplinaridade no ensino de operações unitárias: Dez experiências integradoras

Hugo Alberto Mobarec Clavijo

Escuela Militar de Ingeniería (EMI), La Paz, Bolivia,

hmobcla@yahoo.com

Resumen: Este artículo presenta una propuesta pedagógica basada en la transdisciplinariedad como eje articulador de saberes técnicos, científicos, sociales y culturales en la enseñanza de Operaciones Unitarias I. A través del desarrollo de diez proyectos integradores realizados por estudiantes de ingeniería industrial, se demuestra cómo los conceptos clásicos del transporte de masa, energía y cantidad de movimiento pueden ser abordados desde una perspectiva contextual, compleja y significativa. El artículo incluye una fundamentación teórica basada en el paradigma de la complejidad, un análisis metodológico de aula, gráficos interpretativos, y una reflexión sobre tendencias emergentes. Se concluye que la transdisciplinariedad fortalece la formación profesional, fomenta el pensamiento crítico, y transforma el aula en un espacio de construcción colectiva del conocimiento. La investigación confirma la

comprensión de Suanno (2023) de que la transdisciplinariedad es un principio-estrategia para reorganizar el conocimiento, reorganizar la búsqueda del conocimiento, así como una forma de producir metamorfosis y reforma en el estilo de vida.

Palabras clave: Complejidad. Transdisciplinariedad. Pensamiento crítico. Enseñanza compleja. Operaciones unitarias.

Abstract: This article presents a pedagogical proposal based on transdisciplinarity as a connecting axis between technical, scientific, social, and cultural knowledge in the teaching of Unit Operations I. The development of ten integrative projects carried out by industrial engineering students demonstrates how the classic concepts of mass, energy, and momentum transport can be approached from a contextual, complex, and meaningful perspective. The article includes a theoretical foundation based on the complexity paradigm, a methodological analysis of the classroom, interpretive graphics, and a reflection on emerging trends. It concludes that transdisciplinarity strengthens professional development, fosters critical thinking, and transforms the classroom into a space for collective knowledge construction. The research confirms Suanno's (2023) understanding that transdisciplinarity is a principle-strategy for reorganizing knowledge, reorganizing the search for knowledge, as well as a way to produce metamorphosis and reform in lifestyle.

Keywords: Complexity. Transdisciplinarity. Critical thinking. Complex didactics. Unitary operations.

Resumo: Este artigo apresenta uma proposta pedagógica pautada na transdisciplinaridade como eixo articulador dos conhecimentos técnicos, científicos, sociais e culturais no ensino de Operações Unitárias I. Por meio do desenvolvimento de dez projetos integradores realizados

por alunos de engenharia de produção, demonstra-se como os conceitos clássicos de transporte de massa, energia e quantidade de movimento podem ser abordados sob uma perspectiva contextual, complexa e significativa. O artigo inclui uma fundamentação teórica baseada no paradigma da complexidade, uma análise metodológica da sala de aula, gráficos interpretativos e uma reflexão sobre tendências emergentes. Conclui-se que a transdisciplinaridade fortalece a formação profissional, fomenta o pensamento crítico e transforma a sala de aula em um espaço de construção coletiva do conhecimento. A pesquisa confirma a compreensão de Suanno (2023) que conceitua transdisciplinaridade como um princípio-estratégia de reorganização do conhecimento, de reorganização da busca pelo conhecimento, bem como de via para produzir metamorfose e reforma no estilo de vida.

Palavras chave: Complexidade. Transdisciplinaridade. Pensamento crítico. Didática complexa. Operações unitárias.

Data de submissão: 20/05/2025

Data de aprovação: 03/06/2025

Introducción

La enseñanza tradicional de las Operaciones Unitarias en Ingeniería Industrial se ha estructurado históricamente en torno a principios físicos, químicos y matemáticos rigurosos, centrados en balances de masa y energía, ecuaciones diferenciales, diseño de equipos y simulación de procesos. Sin embargo, el escenario contemporáneo exige que estos contenidos no se vean como fragmentos aislados del conocimiento técnico, sino como parte de una práctica total, vinculada a la vida, a los contextos y a las necesidades del entorno.

Desde esta perspectiva, surge una nueva concepción de la educación y la didáctica, y, a la vez, una emergencia metodológica, en la que las prácticas transdisciplinarias no sustituyen los contenidos tradicionales, sino que los revitalizan, los redefinen y los proyectan hacia nuevas formas de aprendizaje y enseñanza. La transdisciplinariedad puede complementar la disciplinariedad, así como coexistir con esta última (Suanno, 2023). Lo importante es ampliar nuestra comprensión del mundo actual, es decir, de los seres humanos, la naturaleza, la sociedad, las culturas, la ciencia y la tecnología.

Estado del arte: De la complejidad al paradigma transdisciplinario en la enseñanza de la ingeniería

El mundo contemporáneo se caracteriza por una creciente complejidad estructural, funcional y epistemológica. Esta complejidad se manifiesta en fenómenos que desafían los límites del conocimiento tradicional y disciplinar, tales como el cambio climático, las crisis sanitarias, los conflictos energéticos, los desarrollos tecnológicos disruptivos y la interdependencia global. Ante este panorama, las ciencias ya no pueden seguir operando bajo esquemas cerrados o compartimentados.

Desde mediados del siglo XX, diversos autores han planteado enfoques para abordar esta complejidad. Uno de los más influyentes ha sido Edgar Morin, quien propone el pensamiento complejo como una forma de superar la fragmentación del saber. Morin plantea que el conocimiento debe ser contextualizado, relacional, transdisciplinario y abierto a la incertidumbre, integrando ciencia, filosofía, ética y cultura.

A este enfoque se suma el trabajo de Jean-Louis Le Moigne, quien articula la complejidad con el enfoque sistémico constructivista. Le Moigne plantea que los sistemas complejos no pueden ser entendidos únicamente desde una perspectiva determinista o mecanicista, sino que requieren de modelos integradores, múltiples niveles de

análisis y una visión constructiva del conocimiento, basada en la interacción entre el observador y el objeto.

Por su parte, Ilya Prigogine, Premio Nobel de Química, introduce el concepto de estructuras disipativas para describir cómo los sistemas alejados del equilibrio pueden autoorganizarse, generando orden a partir del caos. Su trabajo evidencia que los fenómenos naturales y sociales no son estáticos ni previsibles, sino abiertos, evolutivos y creativos, lo que desafía la lógica lineal y fortalece la visión compleja del mundo.

Otro gran aporte proviene de Francisco Varela y Humberto Maturana, con su teoría de la autopoiesis, que describe cómo los seres vivos se producen y mantienen a sí mismos en un proceso continuo de organización. Esta visión, aplicada al conocimiento, implica que la cognición es un fenómeno biológico y relacional, y que el aprendizaje debe ser entendido como una transformación estructural del sujeto en interacción con su entorno.

En el marco de esta complejidad epistemológica, surge la necesidad de transformar también las formas de conocimiento. Aquí aparece la transdisciplinariedad, tal como la concibe Basarab Nicolescu, quien la define como un nuevo enfoque de producción de saber que supera las disciplinas sin negarlas, integrando conocimientos científicos, humanísticos, culturales y experienciales. Nicolescu propone una ontología transdisciplinaria que reconoce múltiples niveles de realidad y una lógica del

tercero incluido, que rompe con la dualidad clásica (A o no A) y permite pensar lo contradictorio y lo emergente.

Estas concepciones convergen en la idea de que la complejidad no es solo una propiedad del mundo, sino un principio epistemológico y pedagógico, que debe guiar la enseñanza en todos los niveles.

En el campo de la Ingeniería, tradicionalmente centrado en la precisión técnica, la transdisciplinariedad representa un cambio de paradigma. Permite comprender los procesos como parte de sistemas vivos, dinámicos y contextuales, en los que intervienen factores materiales, energéticos, sociales, éticos y ambientales. Esto es especialmente importante en asignaturas como Operaciones Unitarias, donde el transporte de masa, energía y cantidad de movimiento puede ser resignificado como parte de fenómenos complejos de salud, ambiente, historia, industria o tecnología.

Este artículo propone justamente explorar esa potencia transformadora de la transdisciplinariedad a través de diez proyectos realizados por estudiantes de ingeniería industrial, en el marco del curso Operaciones Unitarias I. Cada proyecto representa una experiencia formativa que articula saberes científicos, técnicos y culturales, y que permite observar cómo la enseñanza de la ingeniería puede actualizarse desde el paradigma de la complejidad hacia una práctica educativa más ética, contextual y sistémica.

Metodología

La metodología utilizada en aula, para desarrollar los 10 proyectos en clases, siguió las siguientes etapas:

1. De un curso de 55 estudiantes, se formó 10 grupos de 5-6 por afinidad entre ellos;
2. Se definieron los 10 temas más importantes, los mismos que fueron:
 - a. Alimentos líquidos y transporte de fluidos;
 - b. Seguridad industrial y transporte de fluido;
 - c. Agronomía y transporte de fluidos;
 - d. Naturaleza, ambiente y transporte de fluidos;
 - e. Lo social y demográfico en el transporte de fluidos;
 - f. Ciencias de la salud y transporte de fluidos;
 - g. Biotecnología y mecánica de fluidos;
 - h. Inteligencia artificial y transporte de fluidos;
 - i. Historia y transporte de fluidos;
 - j. Ciencias básicas y transporte de fluidos.
3. Se les asignó a cada grupo un tema y se les dio un tiempo de 30 días para que como grupos busquen las relaciones de la mecánica de fluidos con los temas y establezcan un proyecto en un informe final, sin dejar de llevar a cabo las otras actividades y enseñanza de la asignatura;
4. Se compartió con todos los grupos todos los proyectos;

5. Se analizó las relaciones y ligaduras a fin de establecer la complejidad de la mecánica de fluidos con los entornos de todas y cada una de las disciplinas estudiadas;

6. Se hizo un resumen de las observaciones, conclusiones y recomendaciones que se han plasmado en este artículo.

Comprendemos que la mecánica de fluidos es la rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos (líquidos y gases) en reposo y en movimiento, así como las fuerzas que actúan sobre ellos. En el contexto de la enseñanza de Operaciones Unitarias I, la mecánica de fluidos constituye un eje fundamental, ya que permite comprender, modelar y diseñar procesos de transporte, conducción, bombeo y almacenamiento de fluidos dentro de sistemas industriales. La propuesta formativa en esta asignatura parte de un enfoque integrador entre los principios físicos y su aplicación ingenieril, favoreciendo el desarrollo de competencias en análisis dimensional, balance de energía mecánica, cálculo de pérdidas por fricción y selección de equipos. En este marco, los objetivos de Operaciones Unitarias I - centrados en la identificación, análisis y aplicación de fenómenos de transporte - encuentran en la mecánica de fluidos una herramienta clave para la solución de problemas reales, la simulación de procesos y la innovación tecnológica en industrias alimentarias, químicas y ambientales.

Resultados por proyecto

1. Alimentos líquidos en la mecánica de fluidos

Este proyecto, desarrollado por estudiantes del curso Operaciones Unitarias I en Ingeniería Industrial, consistió en abordar el análisis y tratamiento de alimentos líquidos desde una perspectiva transdisciplinaria. El objetivo fue comprender cómo los principios de la mecánica de fluidos se integran con procesos alimentarios reales y su conexión con otras disciplinas como la física, la química, la nutrición, la reología y la automatización industrial.

La estrategia didáctica permitió que los estudiantes estructuraran un problema técnico desde una perspectiva compleja y sistémica, integrando variables como la viscosidad, el caudal, la temperatura y la densidad con el diseño de procesos industriales, el análisis energético y las tecnologías de control.

1.1. Integración disciplinaria

Una de las principales fortalezas del proyecto fue su capacidad para integrar múltiples áreas del conocimiento en un solo objeto de estudio: el alimento líquido. La siguiente figura muestra las disciplinas que confluyen en este análisis.

Durante el proceso, los estudiantes produjeron un lenguaje técnico complejo, diverso y vinculado a múltiples áreas. La nube de palabras generada a partir del contenido del proyecto evidencia esta riqueza conceptual.

1.2. Tendencias y retos identificados

El análisis se completó con la elaboración de un radar de tendencias, que permitió posicionar al proyecto frente a cinco como la ecuación de Bernoulli, la ley de Poiseuille, y el número de Reynolds para analizar situaciones de flujo en distintos contextos. Se exploraron conceptos de viscosidad, densidad, presión, tensión superficial y energía desde una perspectiva de dimensiones contemporáneas de la formación en ingeniería.

Los resultados muestran un fuerte vínculo con la automatización, un alto grado de innovación, y una relevante orientación hacia la salud pública. La menor complejidad técnica relativa indica que el proyecto es escalable y adaptable a distintas realidades, lo cual lo convierte en una experiencia de enseñanza transdisciplinaria altamente replicable.

2. Seguridad industrial en el transporte de fluidos

Este proyecto se centró en el análisis de la seguridad industrial aplicada al transporte de fluidos, una problemática compleja y transversal en entornos

industriales. El grupo de estudiantes abordó de manera transdisciplinaria los riesgos asociados al flujo de sustancias peligrosas, integrando saberes de ingeniería, normativa legal, automatización, medio ambiente y gestión del riesgo.

La estrategia de enseñanza permitió a los estudiantes comprender cómo una operación aparentemente técnica - como el transporte de fluidos - se convierte en un sistema multidimensional que involucra personas, tecnologías, normativas y condiciones ambientales. Se discutieron casos de estudio, protocolos de emergencia, simulaciones de fallos y la importancia del monitoreo preventivo a través de sensores y automatización.

2.1. Integración disciplinaria

El proyecto generó un conjunto de conceptos y términos técnicos que reflejan la complejidad del análisis. La siguiente nube de palabras resume el lenguaje utilizado por los estudiantes al abordar este problema desde múltiples enfoques.

2.2. Tendencias y retos identificados

Se evidencia una fuerte presencia de cultura preventiva, cumplimiento normativo y automatización como elementos clave en el abordaje de la seguridad industrial. Estos aspectos no solo mejoran la comprensión técnica, sino

que vinculan el aprendizaje con la ética profesional, la sostenibilidad y la protección del entorno.

3. Agronomía y transporte de fluidos

Este proyecto aborda el análisis transdisciplinario entre la mecánica de fluidos y la agronomía, enfocándose en cómo los principios físicos del transporte de líquidos se integran con prácticas agrícolas modernas. Los estudiantes exploraron múltiples aplicaciones del flujo de fluidos en riego, fertirrigación, sistemas hidropónicos y agroindustria, articulando conocimientos de física, ingeniería agrícola, biotecnología y sostenibilidad ambiental.

Se analizaron propiedades clave como viscosidad, densidad y tensión superficial de fluidos agrícolas, así como los tipos de flujo (laminar, turbulento, transición) en distintas etapas del ciclo agrícola. Desde la infiltración en suelos hasta el transporte vascular en plantas, y desde la automatización del riego hasta el diseño de sistemas hidráulicos, el enfoque permitió una comprensión profunda de cómo la mecánica de fluidos optimiza la producción agrícola sostenible.

3.1. Integración disciplinaria

El proyecto integró áreas como la agronomía, la ingeniería agrícola, la biotecnología, la automatización y la física. A lo largo del desarrollo del proyecto, emergió un

lenguaje técnico multidisciplinar que evidencia el alcance conceptual del análisis.

3.2. Tendencias y retos identificados

Las tendencias y retos identificados, resaltando cómo el enfoque transdisciplinario, parecen conectar desafíos contemporáneos como la sostenibilidad hídrica y la agricultura de precisión.

El análisis destaca la relevancia de integrar tecnologías de monitoreo, biotecnología y automatización con prácticas agronómicas sostenibles. El nivel de complejidad técnica es moderado, lo que favorece su replicabilidad en contextos reales de enseñanza y práctica agrícola.

4. Naturaleza, ambiente y transporte de fluidos

Este proyecto se propuso analizar cómo el transporte de fluidos ocurre de manera natural en el ambiente, vinculando la mecánica de fluidos con procesos ecológicos, atmosféricos e hídricos. Los estudiantes exploraron fenómenos como el ciclo hidrológico, el tratamiento natural de aguas, el transporte de nutrientes y gases, así como el rol de ríos, acuíferos y atmósfera en el equilibrio ecológico del planeta.

La experiencia permitió comprender cómo la mecánica de fluidos no solo es aplicable a sistemas industriales, sino también a sistemas vivos, naturales y sostenibles. El análisis incluyó también la legislación

ambiental vigente, la interacción entre ecosistemas y tecnologías de tratamiento de aguas, y la forma en que la energía térmica y los fluidos regulan el clima y la biodiversidad.

Se destaca una alta vinculación con sostenibilidad, gestión hídrica y educación ambiental, elementos clave para fomentar una conciencia ecológica en estudiantes de ingeniería. El enfoque permitió integrar ciencias naturales con normativas y sistemas de transporte, fortaleciendo el pensamiento complejo y sistémico.

5. Lo social y demográfico en el transporte de fluidos

Este proyecto analiza la estrecha relación entre los sistemas de transporte de fluidos y las variables sociales y demográficas que condicionan su funcionamiento. Desde el crecimiento urbano hasta la migración, el acceso desigual a recursos, y la planificación territorial, el grupo de estudiantes abordó el tema integrando saberes técnicos, sociales, políticos y legales.

El enfoque permitió evidenciar cómo las decisiones sobre infraestructura no son neutrales, sino que responden a realidades sociales diversas que deben ser entendidas y consideradas. Se abordaron temas como la distribución del agua y el gas en áreas urbanas y rurales, el acceso según clase social, y la influencia de políticas públicas en la equidad del suministro. Se trabajó también con casos

internacionales emblemáticos que evidencian los impactos sociales y ambientales del transporte de fluidos.

Se identificó una fuerte conexión entre el transporte de fluidos y derechos humanos fundamentales, así como con procesos de exclusión, segregación urbana y vulnerabilidad estructural. El enfoque transdisciplinario permitió visibilizar cómo los sistemas de ingeniería están profundamente entrelazados con la justicia social.

6. Ciencias de la salud y transporte de fluidos

Este proyecto permitió explorar cómo los principios de la mecánica de fluidos son fundamentales para entender múltiples procesos fisiológicos en el cuerpo humano. Desde la circulación sanguínea hasta la respiración y la diálisis, los estudiantes aplicaron conceptos de flujo, viscosidad, presión y resistencia hidráulica para analizar sistemas biológicos reales.

La experiencia integró saberes de fisiología, anatomía, bioingeniería y física médica, abordando temas como la función del corazón como bomba, el comportamiento del flujo en arterias, la ventilación pulmonar, y el uso de dispositivos como catéteres, máscaras Venturi y ventiladores mecánicos. Se evidenció cómo las leyes de Bernoulli y Poiseuille permiten explicar fenómenos clínicos como la hipertensión, arteriosclerosis y obstrucción respiratoria.

El análisis permitió conectar teorías físicas con aplicaciones clínicas reales, fomentando una visión integrada de la ingeniería y la medicina. Se fortaleció el pensamiento crítico de los estudiantes y su capacidad para explicar fenómenos vitales desde múltiples enfoques disciplinares.

7. Biotecnología y mecánica de fluidos

Este proyecto representa una de las articulaciones más complejas y ricas del enfoque transdisciplinario aplicado a la ingeniería, abordando la interacción entre biología, biotecnología, biofísica y mecánica de fluidos. Los estudiantes analizaron procesos fisiológicos, bioquímicos y tecnológicos mediante los cuales los fluidos se comportan en sistemas vivos y en equipos industriales como biorreactores, destacando las particularidades del flujo en medios biológicos y no convencionales.

Se abordaron temas como la ventilación pulmonar, la hemodinámica, la fisiología vegetal, la fermentación microbiana y el diseño de operaciones unitarias aplicadas a bioprocesos. Además, se exploraron fenómenos como la tensión superficial, la transferencia de masa en medios no newtonianos, el uso de surfactantes, la variación de viscosidad en función del tiempo y los efectos del esfuerzo cortante sobre la viabilidad celular. El proyecto también incorporó el análisis de innovaciones recientes en nanobiotecnología y microfluídica.

Permite contemplar la potencia del enfoque transdisciplinario en contextos de alta complejidad, donde las propiedades de los sistemas vivos requieren un pensamiento integrador, adaptable y orientado a la innovación científica y tecnológica.

8. Inteligencia artificial y transporte de fluidos

Este proyecto representa un enfoque prospectivo y tecnológico aplicado al análisis del transporte de fluidos mediante herramientas de inteligencia artificial. Los estudiantes exploraron cómo la IA permite mejorar la eficiencia energética, anticipar fallos mediante mantenimiento predictivo, y optimizar sistemas de transporte complejos en sectores industriales como el petróleo, la química y el tratamiento de aguas.

Se discutieron conceptos clave como aprendizaje automático, monitoreo inteligente, control automático, algoritmos de predicción, y tecnologías emergentes como los gemelos digitales. También se analizó la contribución de la IA a la sostenibilidad, mediante la reducción de consumo energético y emisiones, así como su potencial para transformar la industria en términos de eficiencia operativa y toma de decisiones automatizada.

La propuesta evidencia un dominio conceptual técnico avanzado por parte de los estudiantes y sugiere una gran capacidad de adaptación de la formación universitaria a las demandas de la industria 4.0 y 5.0. El enfoque

transdisciplinario permitirá incorporar herramientas de predicción y control que abren nuevos caminos en la enseñanza de operaciones unitarias.

9. Historia y transporte de fluidos

Este proyecto ofrece un análisis transdisciplinario singular al recorrer los hitos históricos en el transporte de fluidos desde la antigüedad hasta la era moderna. A través de una investigación exhaustiva, los estudiantes conectaron la evolución tecnológica de sistemas de irrigación, acueductos, pozos, bombas y canales con el desarrollo de civilizaciones como Egipto, Mesopotamia, Roma, China y las culturas prehispánicas de América.

La mecánica de fluidos es abordada desde una perspectiva histórica, revelando cómo saberes empíricos, arquitectónicos y científicos se integraron en grandes obras hidráulicas. Se identificaron personajes clave como Arquímedes, Leonardo da Vinci, Pascal, Bernoulli y Newton, cuyas ideas permitieron un salto conceptual entre el empirismo hidráulico y la ingeniería moderna.

El análisis histórico no sólo permitió resignificar los fundamentos de la ingeniería actual, sino que conectó a los estudiantes con el valor cultural y adaptativo de las tecnologías hidráulicas a lo largo del tiempo. Este proyecto demuestra cómo la transdisciplinariedad puede revitalizar la enseñanza técnica al incorporar dimensiones patrimoniales, ambientales y sociales.

10. Ciencias básicas y transporte de fluidos

Con este proyecto se ve cómo se integra las ciencias fundamentales - Matemáticas, Física y Química - en el análisis transdisciplinario del transporte de fluidos. Lejos de considerarse como contenidos aislados o meramente teóricos, estas disciplinas forman la base conceptual sobre la cual se construyen todos los proyectos anteriores. El enfoque transdisciplinario aquí se expresa en la capacidad de aplicar teorías, ecuaciones y modelos a problemas reales, diversos y complejos.

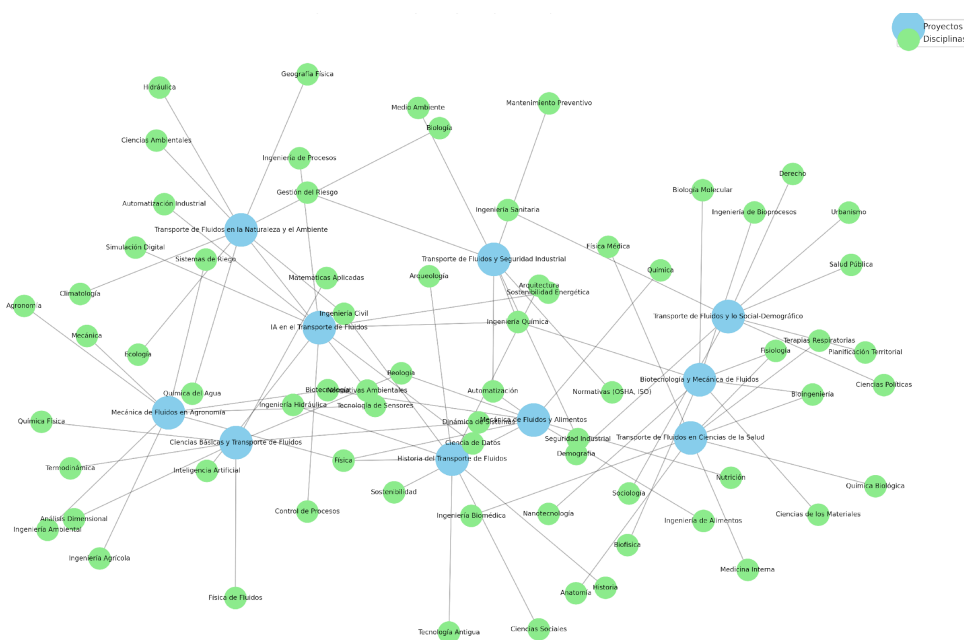
Los estudiantes aplicaron herramientas integradoras, en combinación con fenómenos térmicos, químicos y estructurales de la materia.

Podemos ver que las ciencias básicas, cuando se enseñan con sentido y propósito, se convierten en motores de aprendizaje profundo, integrador y con impacto duradero en la formación de futuros profesionales.

Síntesis visual totalizada

La visualización transdisciplinaria de la red de proyectos y disciplinas se muestran en el siguiente grafo transdisciplinario entre proyectos y disciplinas:

Figura 1. Relaciones transdisciplinarias entre los proyectos.



Fuente: Elaboración propia.

Esta figura de relaciones transdisciplinarias se ha generado a partir de los diez proyectos estudiantiles desarrollados en la asignatura Operaciones Unitarias I. En él, se visualizan los proyectos como nodos centrales azules y las disciplinas vinculadas como nodos verdes, con líneas que indican la interacción entre ellos.

Podemos ver que:

1. Se logra visualizar el alcance disciplinar de cada proyecto, donde algunos proyectos están conectados con una alta diversidad de disciplinas, lo que sugiere una aproximación más rica, integradora y compleja. Por ejemplo, los proyectos relacionados con salud, historia e inteligencia artificial muestran múltiples vínculos.

2. También podemos identificar disciplinas transversales, algunas disciplinas aparecen conectadas a varios proyectos, como la ingeniería química, la reología, la automatización, la física, la biotecnología o la sostenibilidad. Nos está mostrando que pueden jugar un papel estructurante y eventualmente llegar a ser pivotes integradores del conocimiento.

3. Podemos observar una especie de convergencia entre saberes, donde cada proyecto surge con una temática distinta, confluyendo en una red relacional que forma un ecosistema de aprendizaje transdisciplinario. Esto refuerza la idea de que el conocimiento técnico no debe enseñarse de manera aislada, sino en diálogo con otros campos, realidades y propósitos.

4. También nos permite observar algo que podemos considerar como oportunidades pedagógicas, en el diseño de herramienta curricular. Por ejemplo, los docentes pueden identificar disciplinas poco abordadas o buscar conexiones no exploradas entre ciertos proyectos. Asimismo, puede inspirar nuevas formas de evaluación, reflexión crítica y co-creación del conocimiento.

Creemos ver en este gráfico no solo un mapa visual, sino una representación simbólica del cambio de paradigma en la enseñanza de la ingeniería, del enfoque disciplinar y aislado hacia una visión compleja, contextual y colaborativa del saber técnico, dispersándolo a lo largo de las disciplinas consideradas.

También podemos apreciar que entre los términos utilizados estrictamente en el transporte de fluidos aparecen

muchos otros llevandonos a creer en una emergencia de variados conceptos transdisciplinarios.

Estas visualizaciones permiten fomentar la reflexión crítica, el análisis de relaciones conceptuales y la reconstrucción de los enfoques disciplinares implicados. Pueden ser usadas como herramientas pedagógicas en el aula universitaria para promover pensamiento complejo y evaluación contextual.

En conjunto, esta visualización ofrece una puerta de entrada a la comprensión cualitativa del proceso transdisciplinario. No solo evidencia los conocimientos aplicados, sino también los imaginarios, lenguajes y prioridades de los estudiantes en torno al saber técnico en ingeniería.

Metodologías de uso en aula como emergencia de la práctica total

A continuación, se presentan algunas metodologías que han emergido en la experiencia pedagógica desarrollada.

Proyectos integradores con enfoque situacional:

- Los estudiantes abordan problemas reales o posibles que vinculan las operaciones unitarias con otras dimensiones: salud, medio ambiente, historia, cultura, biotecnología, entre otras.
- Cartografías transdisciplinarias, se utilizaron mapas visuales para representar la red de saberes, relaciones,

actores, impactos y disciplinas que convergen en torno a una operación unitaria específica.

- Laboratorios imaginarios ampliados, complementando a los laboratorios tradicionales con análisis de caso, reflexión ética, observación contextual.
- Debates interdisciplinarios, promoviendo espacios de debate entre estudiantes que asumen roles diversos en torno a un fenómeno o problema técnico.
- Uso de portafolios transversales, donde los estudiantes han documentado su recorrido a lo largo del semestre integrando conceptos técnicos con reflexiones personales.
- Simulaciones contextualizadas, donde se prevé utilizar softwares como **COCO, Aspen, MatLab** o **DWSIM** para modelar procesos, pero los escenarios simulados se contextualizan con problemas reales.
- Narrativas de ciencia y vida, donde se invita a los estudiantes a narrar historias o situaciones donde los conceptos de operaciones unitarias se cruzan con la vida cotidiana o su experiencia de visitas de campo a fábricas.

Estas metodologías no buscan suplantar la rigurosidad técnica, sino ampliar el campo de sentido de la enseñanza, reubicando al estudiante como sujeto activo, situado y creativo, donde el docente se incorpora como parte activa y no solo como observador.

Conclusiones y recomendaciones

El desarrollo de esta investigación ha mostrado que la transdisciplinariedad no es una negación del conocimiento técnico, sino su ampliación crítica y contextual, que nos lleva a una experiencia de proceso enseñanza aprendizaje más amena y creativa. Se concluye que:

- La transdisciplinariedad favorece un aprendizaje más profundo, significativo y comprometido con el entorno.
- El enfoque complejo potencia el desarrollo de habilidades blandas como la comunicación, el pensamiento crítico, la colaboración y la creatividad.
- Los estudiantes logran resignificar conceptos técnicos al conectarlos con realidades concretas, emergentes o históricas.
- Se fortalece el vínculo entre la formación académica y las problemáticas sociales, culturales, ambientales y tecnológicas actuales.
- La transdisciplinariedad permite transformar el aula en un laboratorio vivo de integración continua del conocimiento.

Por tanto, las recomendaciones son:

- Incorporar proyectos integradores en el diseño curricular de asignaturas técnicas.
- Formar a los docentes en enfoques transdisciplinarios y pensamiento complejo.

- Promover una cultura pedagógica que valore tanto el contenido técnico como la dimensión ética, cultural, ambiental y humana del conocimiento.
- Fomentar la producción estudiantil significativa, incluyendo portafolios, ensayos, mapas de saberes, modelos visuales y narrativas integradoras.
- Fortalecer el vínculo entre las universidades, las comunidades y el territorio.
- Documentar y sistematizar experiencias pedagógicas transdisciplinarias.
- Aprovechar herramientas digitales, simuladores y recursos creativos.

Referencias

GIBBONS, M., LIMOGES, C., NOWOTNY, H., SCHWARTZMAN, S., SCOTT, P., & TROW, M. **LA NUEVA PRODUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO: LA DINÁMICA DE LA CIENCIA Y LA INVESTIGACIÓN EN LAS SOCIEDADES CONTEMPORÁNEAS.** BARCELONA: EDICIONES POMARES, 1994.

LE MOIGNE, J. L. **LA TEORÍA DEL SISTEMA GENERAL: TEORÍA DE LA MODELIZACIÓN.** EDICIONES CÁTEDRA, 1990.

MATURANA, H., & VARELA, F. **EL ÁRBOL DEL CONOCIMIENTO: LAS BASES BIOLÓGICAS DEL ENTENDIMIENTO HUMANO.** SANTIAGO DE CHILE: EDITORIAL UNIVERSITARIA, 1994.

MORIN, E. **INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO COMPLEJO.** BARCELONA: GEDISA, 1999.

MORIN, E. **LOS SIETE SABERES NECESARIOS PARA LA EDUCACIÓN DEL FUTURO.** PARIS: UNESCO, 2001.

NICOLESCU, BASARAB. **TRANSDISCIPLINARIEDAD: MANIFIESTO.** MEXICO. EDICIONES CÁTEDRA CTS+I, UNESCO-UNAM, 2008.

PÉREZ GÓMEZ, A. **EDUCARSE EN LA ERA DIGITAL: LA ESCUELA EDUCATIVE.** MADRID: MORATA, 2012.

PRIGOGINE, I., & STENGERS, I. **LA NUEVA ALIANZA: METAMORFOSIS DE LA CIENCIA.** MADRID: ALIANZA EDITORIAL, 1983.

SUANNO, MARILZA VANESSA ROSA. PARA ALÉM DOS TERRITÓRIOS DISCIPLINARES: TRANSDISCIPLINARIDADE COMO PRINCÍPIO-ESTRATÉGIA DE REORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO. **DEBATES EM EDUCAÇÃO, [S. L.]**, v. 14, n. 36, p. 270–280, 2022. DOI: 10.28998/2175-6600.2022v14n36p270-280. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.SEER.UFAL.BR/INDEX.PHP/DEBATESEDUCACAO/ARTICLE/VIEW/14778](https://www.seer.ufal.br/index.php/debateseducacao/article/view/14778). ACESSO EM: 13 MAIO. 2025.

TOBÓN, S. **EPISTEMOLOGÍA Y DESARROLLO DEL PENSAMIENTO COMPLEJO**. BOGOTÁ: ECOE EDICIONES, 2013.

UNESCO. **REIMAGINAR JUNTOS NUESTROS FUTUROS: UN NUEVO CONTRATO SOCIAL PARA LA EDUCACIÓN**. INFORME DE LA COMISIÓN INTERNACIONAL SOBRE LOS FUTUROS DE LA EDUCACIÓN. PARIS: UNESCO, 2021.

VARELA, F. **CONOCER: LAS CIENCIAS COGNITIVAS. TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS**. BARCELONA: GEDISA, 1990.

ZABALA, ANTONI; ARNAU, LAIA. **CÓMO APRENDER Y ENSEÑAR COMPETENCIAS: UN ENFOQUE CONSTRUCTIVISTA**. BARCELONA: EDITORIAL GRAÓ, 2007.