

<https://doi.org/10.23913/ride.v16i31.2548>

Artículos científicos

Análisis curricular: bases conceptuales atemporales en la enseñanza de la ingeniería

Timeless Conceptual Foundations in Engineering Education

Análise curricular: fundamentos conceituais atemporais no ensino de engenharia

Carlos Ortega-Laurel

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, México

c.ortega@correo.ler.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6072-8480>

Resumen

La formación en ingeniería enfrenta el desafío de equilibrar la enseñanza de conceptos científicos fundamentales con las necesidades prácticas del diseño ingenieril. A menudo, los programas educativos priorizan tendencias tecnológicas efímeras o adoptan enfoques científicos no adaptados al contexto ingenieril, comprometiendo la solidez conceptual y la aplicabilidad práctica del conocimiento. Este estudio se propuso analizar cómo debe estructurarse la enseñanza de la ingeniería para proporcionar bases sólidas y atemporales, y con ello fomentar la capacidad de los estudiantes para abordar desafíos complejos. Así busca responder a preguntas como: ¿cuál es el rol de las ciencias básicas en la educación de la ingeniería? ¿cómo deben diferenciarse los enfoques instrumentales y conceptuales en la enseñanza de la ingeniería?. Se realizó un análisis teórico-crítico del enfoque clásico educativo en ingeniería, sustentado en ciencia básica pura, comparando el método con principios fundamentales de pedagogía, así como revisando ejemplos prácticos y desafíos emergentes en el ámbito profesional. Se identificó que la enseñanza de las ciencias básicas debe enfocarse en su aplicación instrumental en ingeniería, diferenciándola del estudio de las ciencias puras. Este enfoque asegura la aplicabilidad práctica y respeta la naturaleza autónoma de las disciplinas científicas. Además, a través de fomentar la autonomía en el aprendizaje, esto permite preparar a los ingenieros para adaptarse a tecnologías emergentes

sin reestructurar constantemente los programas educativos. Una educación en ingeniería centrada en conceptos atemporales y aplicaciones prácticas mejora la capacidad ingenieril e inventiva, esencial para enfrentar desafíos globales actuales como la cuarta revolución industrial, la sostenibilidad y el cambio climático. El enfoque propuesto asegura estabilidad conceptual, adaptabilidad tecnológica y una contribución significativa al desarrollo social y tecnológico.

Palabras clave: ingeniería, ciencias, enseñanza, conceptos, aplicación.

Abstract

Engineering training faces the challenge of balancing the teaching of fundamental scientific concepts with the practical needs of engineering design. Often, educational programs prioritize ephemeral technological trends or adopt scientific approaches not adapted to the engineering context, compromising the conceptual soundness and practical applicability of knowledge. This study set out to analyze how engineering education should be structured to provide timeless solid foundations and foster students' ability to address complex challenges. Thus, he sought to answer questions such as: what is the role of basic sciences in engineering education? How should their instrumental and conceptual approaches be differentiated? A theoretical-critical analysis of the classic educational approach in engineering was carried out, based on pure basic science, comparing the method with fundamental principles of pedagogy, as well as reviewing practical examples and emerging challenges in the professional field. It was identified that the teaching of basic sciences should be oriented towards their instrumental application in engineering, clearly differentiating them from their study as pure sciences. This approach ensures practical relevance and respects the autonomous nature of scientific disciplines. In addition, by encouraging autonomy in learning, this makes it possible to prepare engineers to adapt to emerging technologies without constantly restructuring educational programs. An engineering education focused on timeless concepts and practical applications enhances engineering and inventive capacity, essential for meeting current global challenges such as the fourth industrial revolution, sustainability, and climate change. The proposed approach ensures conceptual stability, technological adaptability and a significant contribution to social and technological development.

Keywords: engineering, science, teaching, concepts, application.



Resumo

O ensino de engenharia enfrenta o desafio de equilibrar o ensino de conceitos científicos fundamentais com as necessidades práticas do projeto de engenharia. Programas educacionais frequentemente priorizam tendências tecnológicas efêmeras ou adotam abordagens científicas mal adaptadas ao contexto da engenharia, comprometendo a solidez conceitual e a aplicabilidade prática do conhecimento. Este estudo teve como objetivo analisar como o ensino de engenharia deve ser estruturado para fornecer bases sólidas e atemporais, fomentando assim a capacidade dos alunos de enfrentar desafios complexos. Busca responder a perguntas como: Qual é o papel das ciências básicas no ensino de engenharia? Como as abordagens instrumental e conceitual devem ser diferenciadas no ensino de engenharia? Foi realizada uma análise teórico-crítica da abordagem clássica do ensino de engenharia, baseada na ciência básica pura, comparando o método com princípios fundamentais da pedagogia, bem como revisando exemplos práticos e desafios emergentes no campo profissional. Identificou-se que o ensino de ciências básicas deve se concentrar em sua aplicação instrumental na engenharia, diferenciando-o do estudo das ciências puras. Essa abordagem garante a aplicabilidade prática e respeita a natureza autônoma das disciplinas científicas. Além disso, ao promover a autonomia de aprendizagem, prepara engenheiros para se adaptarem a tecnologias emergentes sem a necessidade de reestruturar constantemente os programas educacionais. Uma educação em engenharia focada em conceitos atemporais e aplicações práticas aprimora a capacidade de engenharia e inventividade, essenciais para enfrentar os desafios globais atuais, como a Quarta Revolução Industrial, a sustentabilidade e as mudanças climáticas. A abordagem proposta garante estabilidade conceitual, adaptabilidade tecnológica e uma contribuição significativa para o desenvolvimento social e tecnológico.

Palavras-chave: engenharia, ciência, ensino, conceitos, aplicação.

Fecha Recepción: Enero 2025

Fecha Aceptación: Agosto 2025

Introducción

En un contexto donde la tecnología avanza rápidamente, es crucial reflexionar sobre el papel de las bases conceptuales en la educación en ingeniería. Esto porque existe la idea de que en la enseñanza de la ingeniería, hay que perseguir continuamente las tendencias tecnológicas, porque esa tendencia es lo que hoy requiere la enseñanza. Así, en esa idea de que, dado que la tecnología avanza rápidamente, la enseñanza de la ingeniería igualmente debe avanzar al mismo paso, se debe cuestionar: ¿se ha de avanzar la enseñanza de la ingeniería sí, pero hacia dónde?, al unísono estudiantes, profesores y la sociedad parece gritan pues hacia la tendencia tecnológica. Entonces, la hipótesis del presente trabajo es que esto no tiene por qué creerse que debe de ser así, es decir, se sostiene que en la enseñanza de la ingeniería no es necesario seguir constantemente las tendencias tecnológicas, sino en lugar de esto hay que apostar a las bases conceptuales de la ingeniería, que son atemporales y sirven como cimientos para abordar las innovaciones tecnológicas: desde las del pasado, hasta las que se han presentado hasta hoy día, y las que se presentarán con el tiempo, siendo este planteamiento el que en este se propone como la verdad esencial de la educación en ingeniería.

Esto se plantea así porque aunque la tecnología avanza rápidamente, las bases de la ingeniería permanecen fundamentales y deben ocupar un lugar central en la enseñanza. Al centrarse en estas bases y en el desarrollo de habilidades para el aprendizaje autónomo, los programas educativos pueden preparar a los ingenieros para adaptarse y sobresalir en un mundo cambiante. Con este enfoque se considera se balancea la estabilidad conceptual con la flexibilidad necesaria para abordar los desafíos del siglo XXI.

Para el enfoque que se plantea se sostiene que las bases fundamentales, como las leyes de la física, las matemáticas y los principios de diseño, no solo son atemporales, sino también esenciales para comprender y adaptarse a las innovaciones tecnológicas. Más que actualizar constantemente los planes de estudio para incorporar cada novedad, se debe priorizar la enseñanza de conceptos fundamentales y el desarrollo de habilidades para aprender lo si acaso nuevo.

Entonces en el debate sobre la actualización de los planes y programas de estudio en las escuelas de ingeniería, es fundamental establecer una premisa central: las bases conceptuales de la ingeniería provienen de la física, las matemáticas, la química y la biología, pero adaptadas a un enfoque instrumental. Estas disciplinas en ingeniería no deben enseñarse

como ciencias básicas en su forma pura, sino como herramientas prácticas aplicables a los problemas técnicos, de diseño e innovación que enfrentan los ingenieros.

Una formación sólida en las bases de estas disciplinas es fundamental para que los ingenieros:

1. Comprendan la técnica, ingeniería y tecnología del pasado y del presente. El estudio de las tecnologías pasadas y modernas, desde los principios de la mecánica clásica hasta los avances en la biotecnología, requiere una sólida base conceptual. Sin este fundamento, es imposible entender cómo y por qué ciertas soluciones fueron diseñadas, lo que limita la capacidad de innovar.
2. Desarrollen habilidades críticas para abordar problemas nuevos. Las tendencias tecnológicas son pasajeras; hoy dominan unas herramientas, pero mañana serán reemplazadas por otras. En lugar de perseguir estas tendencias de manera constante, la enseñanza en ingeniería debe proporcionar a los estudiantes una comprensión profunda de los principios que subyacen a todas las tecnologías, permitiéndoles adaptarse a nuevos contextos y desafíos.
3. Enfocuen su aprendizaje hacia el diseño y la resolución de problemas. La ingeniería, como señala Simon (1996) y coincide Varela (2024), es una disciplina de diseño. Los planes de estudio deben priorizar no solo el uso de herramientas científicas, sino también la capacidad de aplicar estas herramientas en el diseño, la optimización y la implementación de soluciones innovadoras.

Los académicos que buscan actualizar continuamente los planes de estudio para incorporar las últimas tendencias tecnológicas. Y los estudiantes que también lo desean e inclusive demandan, en una especie de obsesión por la actualización constante. Corren el riesgo de desviar el enfoque de la formación de ingenieros hacia una mera capacitación técnica. Esto puede ser perjudicial por varias razones:

- Desactualización rápida: las tecnologías específicas tienen ciclos de vida cortos, y el tiempo invertido en enseñar tendencias pasajeras puede resultar irrelevante en pocos años.
- Superficialidad en el aprendizaje: perseguir tendencias puede llevar a una enseñanza superficial, en la que los estudiantes aprenden cómo usar herramientas específicas sin entender los principios que las sustentan.

- Desviación de los objetivos fundamentales: la obsesión por las tendencias puede distraer de la verdadera misión de las escuelas de ingeniería, que es formar profesionales con bases sólidas que puedan adaptarse y liderar cambios tecnológicos.

Las preguntas que surgen entonces son ¿cuáles son las bases conceptuales de la ingeniería?, ¿cómo son esas bases conceptuales?, ¿cómo debería ser su enseñanza?, además de la necesidad de una crítica de la enseñanza de las ciencias en las escuelas de ingeniería, así como una propuesta de cómo sería un enfoque contextualizado en ingeniería, sin perseguir tendencias tecnológicas, para finalmente concluir. A continuación, se profundiza teóricamente en esto explorando sobre los argumentos ya expuestos.

Cuáles son las bases conceptuales de la ingeniería

La ciencia exacta en su búsqueda del conocimiento está conformada por las ciencias básicas, que son la física, las matemáticas, la química y la biología. Estas ciencias fundamentales tienen como objetivo explorar y comprender la naturaleza del universo. Kuhn (1962) define el avance científico como un proceso acumulativo que, a través de paradigmas, busca explicar fenómenos naturales mediante teorías y experimentos. En este enfoque, las ciencias no se enseñan como herramientas aplicativas, sino como medios para expandir el conocimiento humano y cuestionar las fronteras del entendimiento. Por otro lado están las bases conceptuales de la ingeniería, en las que la física, las matemáticas, la química y la biología se usan como herramientas para desarrollar la técnica y la tecnología.

Así, mientras un físico puede estudiar el comportamiento cuántico de partículas para entender las leyes subyacentes del universo, un ingeniero utilizará ese conocimiento, ya estructurado, para desarrollar tecnologías como semiconductores o láseres.

Entonces a pesar de su interdependencia, la ciencia y la ingeniería tienen objetivos y metodologías distintos. Según Simon (1996), la ciencia se ocupa de cómo son las cosas, mientras que la ingeniería se preocupa de cómo deberían ser. Esta diferencia subraya la necesidad de que en la enseñanza de la ingeniería se priorice la instrumentalización del conocimiento científico, presentándolo como un medio para resolver problemas, sin perder de vista que dicho conocimiento proviene de una exploración científica más amplia.

La ingeniería, como disciplina aplicada y orientada a la resolución de problemas, depende intrínsecamente de las ciencias naturales y matemáticas para fundamentar sus metodologías y enfoques. La física proporciona los principios que gobiernan el movimiento, la energía y las interacciones de la materia; las matemáticas ofrecen las herramientas

necesarias para modelar, analizar y resolver problemas; la química permite comprender las transformaciones materiales y energéticas; y la biología aporta conocimientos esenciales para abordar problemas relacionados con sistemas vivos y sostenibilidad.

Sin embargo, tal como señala Vincenti (1990), el conocimiento utilizado en la ingeniería es diferente al conocimiento científico en su naturaleza y propósito. Mientras que el primero es un conocimiento de diseño orientado hacia la creación y la implementación de soluciones prácticas, el segundo se centra en descubrir y explicar fenómenos naturales.

De la convergencia y diferenciación entre ciencia e ingeniería, es identificable el valor esencial de las bases fundamentales de la ingeniería, puesto que las leyes de la física, las matemáticas avanzadas, la química y los principios básicos de diseño han sido la base de la ingeniería durante siglos. Autores como Hestenes (1992) señalan que una comprensión sólida de los conceptos fundamentales permite a los estudiantes y profesionales de la ingeniería aplicar su conocimiento a problemas nuevos e inesperados. Por ejemplo:

- Las leyes de Newton siguen siendo esenciales en la mecánica clásica, incluso cuando se aplican en diseños avanzados como drones o vehículos autónomos.
- Ecuaciones diferenciales y álgebra lineal son herramientas matemáticas necesarias en áreas emergentes como la inteligencia artificial y el modelado computacional.

Priorizar la enseñanza de las aplicaciones palpables producto de la ingeniería con base en los fundamentos conceptuales de la ciencia, como elementos invariantes de los planes de estudios de ingeniería, asegurando que los estudiantes comprendan no solo el fundamento demostrativo del concepto en su campo científico fundamental, sino sus aplicaciones prácticas en ingeniería es la acción propuesta en el presente artículo.

De este entendido las bases fundamentales, el pilar de la comprensión en ingeniería está en comprender la aplicación de conceptos como las leyes de Newton, la termodinámica y el cálculo, y demás bases conceptuales en ingeniería, que son inmutables y universales. Estas bases no solo permiten comprender fenómenos físicos, sino que también forman el lenguaje común necesario para resolver problemas complejos. Según Hestenes (1992), el dominio conceptual es la clave para aplicar el conocimiento a contextos nuevos, incluso en áreas de innovación tecnológica. Un ingeniero con sólidos conocimientos de las aplicaciones en ingeniería que tienen las ecuaciones diferenciales, puede comprender y desarrollar algoritmos avanzados en dinámica de fluidos o inteligencia artificial, más allá de demostrar o justificar la existencia de las herramientas científicamente.

La implicación educativa de esto, es que los programas de estudio de ingeniería deben garantizar una comprensión profundamente aplicada de las bases de la ingeniería, antes de introducir los problemas de la ciencia, o meter aplicaciones tecnológicas específicas para su estudio.

Dado esto, está claro que casi nunca es necesario actualizar los planes de estudio en cuanto a las bases fundamentales, sino únicamente incorporar lo esencial de las nuevas tendencias sin nunca desplazar las bases fundamentales. Crawley et al. (2014) proponen que las actualizaciones deben orientarse a integrar las nuevas aplicaciones, a través de mecanismos como las materias optativas o seminarios, y nunca reemplazar conceptos esenciales. Así evaluar la pertinencia de las actualizaciones curriculares, se simplifica a la ideación y aprobación de contenidos optativos. En este sentido la labor propuesta es establecer módulos electivos que aborden áreas emergentes, permitiendo a los estudiantes interesados profundizar en temas específicos sin afectar los contenidos básicos que han de ser obligatorios.

Esto anterior se ha de gestar guardando un equilibrio entre las bases y la flexibilidad curricular ya indicada, aunque las bases deben ser el núcleo de los programas de ingeniería, es importante nunca se olvide mantener la ya referida flexibilidad para integrar temas emergentes, sobre todo de más aplicaciones de la ciencia que recientemente se hayan estructurado a manera de herramientas, esto como módulos opcionales, porque tampoco se está apostando por el estatismo curricular, hay que siempre visualizar adaptarse a las transformaciones científicas, sociales, culturales, tecnológicas y económicas que demandan nuevas competencias y habilidades en los estudiantes de ingeniería. Biggs, Tang y Kennedy (2022) proponen que los currículos deben ser estructuras vivas que evolucionen de manera estratégica, sin comprometer los fundamentos. Así hoy día un programa podría incluir un curso electivo sobre inteligencia artificial, en que se profundice en la algoritmia y herramientas de las redes neuronales, asegurando que los estudiantes dominen los conceptos aplicados de álgebra lineal y programación que se utilizan instrumentalmente en este campo.

Cómo deben ser las bases conceptuales en la enseñanza de la ingeniería

Para determinar cómo son las bases conceptuales, hay que tener clara la introducida distinción entre ciencias puras e ingeniería, es decir, es crucial evitar la confusión entre el estudio de las ciencias puras y su aplicación en ingeniería. Kuhn (1962) destaca que las ciencias puras buscan ampliar el paradigma del conocimiento humano, construyendo teorías que expliquen los principios fundamentales del universo. Por otro lado, la ingeniería utiliza ese conocimiento como herramienta para diseñar soluciones prácticas, abordando problemas que son esencialmente de naturaleza instrumental. Esta distinción no disminuye la importancia de las ciencias puras, sino que subraya la complementariedad entre ambas, además de dejar claro que no son lo mismo.

Si bien existe una relación simbólica entre ciencia e ingeniería, autores como Petroski (1996) argumentan que la ingeniería no solo aplica las ciencias, sino que también genera nuevo conocimiento en forma de innovaciones tecnológicas y técnicas. Este conocimiento, aunque esté basado en principios científicos, está orientado hacia la acción y no hacia la explicación. Por lo tanto, las ciencias puras y la ingeniería pueden considerarse disciplinas interdependientes, cada una contribuyendo desde su perspectiva única al progreso humano.

Entonces para la relación entre las bases y el aprendizaje continuo que debe tener en su esencia un ingeniero, se dilucida que: la capacidad de aprender lo nuevo dependerá directamente de una base sólida. Knowles (1975) enfatiza que el aprendizaje autodirigido es esencial en contextos donde el conocimiento evoluciona rápidamente. Con bases sólidas, los estudiantes y profesionales de la ingeniería pueden explorar nuevas herramientas y tecnologías con toda confianza.

Siendo toral tener madurez en cuanto a las bases conceptuales, bien se puede plantear como estrategias para alcanzar dicha madurez, el diseñar cursos que enseñen a aprender, enfocándose en habilidades de investigación, análisis crítico y resolución de problemas. Además proveer de recursos educativos que permitan a los estudiantes explorar de manera autónoma áreas emergentes, y que apliquen, maduren y confirmen sus sólidas bases. Propiamente un estudiante que domina el álgebra lineal y los fundamentos de programación, y conozca de Basic ((Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code), Cobol (Common Business-Oriented Language) o Fortran (Formula Translation) puede aprender cualquier nuevo lenguaje tecnológico como Python o R para aplicaciones en big data o inteligencia artificial, sin necesidad de rehacer toda su formación.

Esto se debe, en gran medida, a la inmutabilidad de los conceptos fundamentales frente a la innovación, porque aunque las herramientas y aplicaciones evolucionan, los principios subyacentes permanecen constantes. Crawley et al. (2014) en el modelo Concebir, Diseñar, Implementar, Operar (CDIO), basado en los fundamentos de la profesión, destacan que el aprendizaje de los fundamentos permite que los ingenieros trabajen de manera efectiva en problemas que aún no existen. Un buen ejemplo de esto es, el diseño de estructuras modernas como rascacielos inteligentes, que sigue basándose en principios clásicos de resistencia de materiales y análisis estructural.

La implicación de todo esto es que bien cimentadas las bases conceptuales no es necesario rediseñar constantemente la currícula en ingeniería, para incluir cada nueva herramienta tecnológica, en su lugar, se debe enseñar cómo las herramientas actuales derivan de principios básicos.

Además, dentro de las bases conceptuales se ha de tener en consideración la perspectiva ética y social de los usos que se da a la ingeniería. Más allá de las bases técnicas, los ingenieros deben comprender el impacto ético y social de la técnica, la ingeniería y las innovaciones tecnológicas. Meadowcroft (2007) señala que la sostenibilidad y la responsabilidad social son competencias esenciales en la formación de los profesionales modernos, sin ser la excepción los profesionales de la ingeniería. Para esto igualmente es posible integrar módulos interdisciplinarios, como lo piensa Jiménez (2019), que relacionen los fundamentos de la ingeniería y la tecnología, con competencias como la solución de problemas, la creatividad y la innovación, además de incorporar temas éticos y sociales, como el diseño sostenible.

Cómo debería ser la enseñanza de las bases conceptuales en ingeniería

Cuando los docentes egresados de facultades de ciencias enseñan física, matemáticas, química y biología en las escuelas de ingeniería, sin considerar que los problemas de la ingeniería son esencialmente distintos de los problemas de la ciencia, se corre el riesgo de generar una percepción errónea y perjudicial en los estudiantes y profesionales de la ingeniería: la falacia de la desconexión entre ciencia e ingeniería en la enseñanza y el aprendizaje de la ingeniería. Este enfoque desvinculado, puede llevar a los alumnos a creer que estas disciplinas no tienen relevancia práctica en su formación como ingenieros, considerándolas conocimientos abstractos, difíciles de comprender, atormentadores e incluso innecesarios dentro de los planes y programas de estudio de la ingeniería.

Pero esto no debe ser así, en realidad estas disciplinas no solo son fundamentales, sino que constituyen las bases conceptuales de la ingeniería, son la instrumentalidad de las ciencias a través del ingenio, eso es la ingeniería. Como señala Petroski (1996), los ingenieros construyen sobre las leyes de la naturaleza, pero lo hacen con un propósito: resolver problemas y mejorar la calidad de vida. Esto implica que la física, las matemáticas, la química y la biología no deben ser vistas como conocimientos de relleno, sino como las herramientas esenciales que permiten a los ingenieros:

1. Comprender los principios fundamentales que rigen los sistemas y procesos.
2. Diseñar soluciones innovadoras basadas en esos principios.
3. Explorar y adoptar nuevas tecnologías con confianza y rigor técnico.

El problema radica en que cuando estas ciencias se enseñan desde un enfoque puramente científico, sin conexión explícita con su utilidad práctica, los estudiantes pierden la oportunidad de desarrollar un gusto y amor por las herramientas, que constituyen el núcleo de la disciplina de la ingeniería. En cambio, terminan percibiendo estos conocimientos como barreras conceptuales más que como facilitadores de la ideación, el diseño, la implementación y la innovación.

Entonces, la enseñanza de las ciencias en las escuelas de ingeniería debe ir más allá de la transmisión de teorías abstractas, debe integrar ejemplos prácticos y problemas reales que ilustren cómo los principios científicos se aplican en la ingeniería, es decir, debe hacerse realmente notable la importancia de la enseñanza contextualizada. “Según Felder y Brent (2016)”, los estudiantes aprenden mejor cuando pueden ver la conexión entre lo que están aprendiendo y el trabajo que desean realizar, sin que necesariamente la educación sea únicamente profesionalizante, sino sí instrumental en el contexto más amplio posible. En este sentido:

- La física no es solo una disciplina que describe las leyes del movimiento y la energía, sino una base para entender fenómenos como la transferencia de calor, el diseño estructural o el comportamiento de materiales.
- Las matemáticas no son meros cálculos abstractos, sino herramientas esenciales para modelar, analizar y optimizar sistemas complejos.
- La química no se limita al estudio de reacciones, sino que fundamenta la ingeniería de materiales, la producción de energía y la síntesis industrial.
- La biología no es únicamente el estudio de los organismos vivos, sino que habilita campos como la bioingeniería y la biotecnología.

Es así como cuando en ingeniería se comprenden profundamente estas disciplinas y se valoran como herramientas, se pueden abordar problemas complejos con mayor seguridad y creatividad. Además, se desarrolla una mentalidad crítica y exploratoria que permite no solo usar las herramientas existentes, sino también innovar y crear nuevas, en el camino a la ideación de la técnica y las tecnologías. Este es el potencial impacto de una comprensión sólida, con un enfoque positivo.

De ser así la enseñanza, se estará fomentando un aprendizaje activo y generará en los estudiantes de ingeniería confianza y motivación para enfrentar los desafíos del campo profesional, la investigación y de la preservación y difusión de la cultura. Este entonces es el punto clave, la distinción entre el enfoque científico y el ingenieril.

Mientras que las disciplinas como la física, las matemáticas, la química y la biología cuando se enseñan en las escuelas de ciencias, tienen como propósito primario la construcción de conocimiento en sus respectivos campos, las mismas cuando se enseñan en ingeniería se han de enseñar y utilizar como herramientas fundamentales para la resolución de problemas prácticos.

Esto implica que, en el contexto de la enseñanza de ingeniería, el énfasis debe estar en la aplicación instrumental del conocimiento. Es decir:

1. Enfoque práctico: las leyes y principios deben presentarse no solo como teorías abstractas, sino como bases para diseñar, analizar y optimizar sistemas o procesos en la ingeniería.
2. Orientación hacia la resolución de problemas: el objetivo es formar profesionales capaces de aplicar este conocimiento para solucionar desafíos específicos del mundo real.
3. Distinción conceptual: es importante que los estudiantes comprendan que estas disciplinas, cuando se abordan desde la perspectiva científica, tienen un objetivo diferente, que es el de desarrollar y profundizar en el conocimiento teórico y experimental propio de cada área.

Por todo lo dicho, claramente la enseñanza en ingeniería debería ser instrumental, manteniendo el enfoque en la utilidad práctica del conocimiento científico, como un medio para alcanzar objetivos técnicos y de diseño. Al mismo tiempo, reconocer esta distinción ayuda a valorar las ciencias en su papel fundamental de expandir nuestra comprensión del universo, sin confundir su propósito con el de la ingeniería.

Clarificando lo instrumental de la ingeniería, debe ser despejado que la enseñanza instrumental en ingeniería, en el contexto educativo, implica la instrucción de las multirreferidas disciplinas como artefactos, es decir, orientada a formar competencias que permitan a los futuros ingenieros aplicar los conceptos científicos a situaciones concretas y multidimensionales. Esto involucra una pedagogía que no se enfoque exclusivamente en la profundización teórica, sino en la integración de conocimientos para la solución de problemas prácticos. Como subraya Felder (1988), los estudiantes de ingeniería aprenden mejor cuando el material se presenta de manera contextualizada, mostrando cómo se aplica a problemas reales.

Así las disciplinas proporcionan el marco conceptual y las herramientas necesarias para resolver problemas prácticos, diseñar sistemas complejos y mejorar procesos tecnológicos.

Para la ingeniería solo es de real valor la naturaleza instrumental del conocimiento científico, no es de utilidad el formalismo en la enseñanza de la ingeniería, se debe velar y abogar por la enseñanza de tales de manera instrumental en la ingeniería.

Definitivamente hay que decir que en el contexto de la ingeniería, las ciencias fundamentales se presentan como medios para alcanzar fines prácticos. Como señala Petroski (1996), la ingeniería no busca comprender el mundo, sino modificarlo. En este sentido, las leyes de la física, las fórmulas matemáticas y los principios químicos y biológicos se convierten en herramientas que permiten al ingeniero diseñar soluciones para problemas concretos. Por ejemplo, la segunda ley de la termodinámica en la física se aplica en la ingeniería para optimizar sistemas térmicos, mientras que en la química, el conocimiento sobre reacciones químicas se utiliza para diseñar procesos industriales más eficientes.

Crítica: la desconsolada enseñanza de las ciencias en las escuelas de ingeniería

La forma en que las disciplinas científicas fundamentales —física, matemáticas, química y biología— son enseñadas hasta hoy día en las escuelas de ingeniería, presenta una desconexión entre el propósito original de estas ciencias y su utilidad en el contexto ingenieril. Cuando estas disciplinas se enseñan como ciencias autónomas, con un enfoque en la construcción de conocimiento puro sobre el universo, se tiende a desviar la formación del

ingeniero de su objetivo principal: la aplicación práctica del conocimiento para resolver problemas técnicos y tecnológicos.

Casi al unísono, contadas las excepciones, los docentes que provienen de facultades y escuelas de ciencias adoptan una pedagogía orientada hacia la exploración científica, transmitiendo conceptos y teorías desde una perspectiva que prioriza la comprensión profunda y abstracta del universo, como si lo fundamental fuera la transferencia del paradigma científico a la ingeniería.

Este enfoque, aunque valioso en el contexto científico, se aprecia inadecuado en el ámbito ingenieril, dada la amplia experiencia en ingeniería del de la voz, porque se reitera que el objetivo no es la construcción teórica del conocimiento, sino su aplicación instrumental. “Como señala Simon (1996)”, la ingeniería no se ocupa de lo que es, sino de lo que podría ser, lo que subraya que los problemas ingenieriles requieren una orientación hacia la resolución práctica y no hacia la especulación o el descubrimiento puro.

En este sentido, la enseñanza de las ciencias en las escuelas de ingeniería debe adaptarse a la naturaleza de los paradigmas y el trabajo ingenieril, que no centrarse en entender el universo como un fin en sí mismo, sino en modificarlo para crear soluciones útiles, de esto que, por propios y extraños, a la ingeniería se le perciba la falta de pertinencia del enfoque científico, por no enfocar a través de los paradigmas en ingeniería.

La incapacidad de los involucrados en la enseñanza de la ingeniería, para realizar esta transición pedagógica representa un obstáculo significativo, como lo ejemplifica para el caso de las matemáticas Arias y Vergara (2024). Esto no solo dificulta que los estudiantes y profesionales visualicen la aplicación de los conceptos científicos en problemas reales de ingeniería, sino que también genera una brutal desconexión entre el aprendizaje teórico y las habilidades prácticas necesarias en el campo laboral.

Comprender la diferencia entre los problemas científicos y los ingenieriles es fundamental. Los problemas científicos buscan responder preguntas sobre la naturaleza y el funcionamiento del universo, mientras que los problemas ingenieriles se enfocan en diseñar, optimizar y operar sistemas, productos y procesos que satisfagan necesidades humanas o sociales, en casos diversos inclusive transformando el universo. Un químico, por ejemplo, puede estudiar la estructura molecular de un compuesto para entender sus propiedades fundamentales, mientras que un ingeniero químico utilizará ese conocimiento para diseñar una planta industrial que produzca dicho compuesto de manera eficiente y segura. Esto con claridad es la diferenciación de los problemas entre ciencia e ingeniería.

Propuesta: un enfoque contextualizado en ingeniería, sin perseguir tendencias tecnológicas.

Dada la presumida desconexión de lo que se enseña en las escuelas de ingeniería, con lo que realmente representa ser un ingeniero, como lo apuntan estudiantes y egresados, se asienta y enfatiza la adquisición de conceptos fundamentales de ingeniería, no los de las ciencias, además del desarrollo de habilidades fundamentales, y metacognitivas, en lugar de perseguir continuamente las tendencias tecnológicas transitorias.

Entonces para abordar esta desconexión y dar una propuesta, se estima esencial que los planes de estudio en ingeniería prioricen una enseñanza instrumental de las ciencias, donde los conceptos fundamentales se presenten en el contexto de su aplicación práctica en ingeniería. Esto requiere docentes que comprendan la naturaleza distintiva de la ingeniería y que adapten su enseñanza para mostrar cómo los principios científicos se transforman en herramientas ingenieriles. “Como sugieren Felder y Brent (2016)”, los estudiantes de ingeniería necesitan ver cómo el conocimiento que adquieren se conecta con el diseño y la resolución de problemas en el mundo real. Lo que no necesariamente es visto así por los profesores que comparten su conocimiento en las escuelas y facultades de ingeniería, sobre todo cuando ellos fueron estudiantes y en muchos casos son egresados de las facultades y escuelas de ciencias, por lo que para impartir ciencia en las escuelas de ingeniería hay que alinearse a la ingeniería.

Además, con miras a robustecer el enfoque hacia la aplicabilidad y el diseño, con los conceptos fundamentales sólidos, en lugar de perseguir tendencias tecnológicas -por lo ya externado arriba-, los programas de ingeniería deben apostar por un enfoque dual, así la propuesta es:

1. Fortalecer las bases conceptuales: proveer a los estudiantes de una comprensión profunda de las herramientas de la física, las matemáticas, la química y la biología, siempre desde una perspectiva aplicada. Esto incluye conectar cada principio científico con problemas prácticos y casos reales en ingeniería, hay que evitar los formalismos innecesarios y las demostraciones de los conceptos en el contexto puro de la ciencia.
2. Promover el diseño como eje central: enseñar a los estudiantes a abordar problemas desde el diseño, integrando creatividad, análisis crítico y una visión sistémica. Según Petroski (1996), el diseño es: el corazón de la ingeniería, y su enseñanza debe ser una prioridad.

Asimismo, reiterando: con los conceptos fundamentales sólidos, más que perseguir cada avance tecnológico, los ingenieros deben aprender a adquirir y aplicar nuevos conocimientos de forma autónoma. Según Knowles (1975), el aprendizaje autodirigido es clave para adaptarse a contextos cambiantes, entonces el valor de la enseñanza de la ingeniería está en enseñar a aprender lo nuevo de manera autodirigida, autodidacta, en una enseñanza continua y propiamente permanente. En este sentido es de valía la ideación de estrategias para:

- Incorporar cursos o módulos sobre metodologías de investigación y aprendizaje autónomo.
- Fomentar la curiosidad intelectual mediante proyectos abiertos, donde los estudiantes deban explorar nuevas tecnologías y documentar cómo las han integrado.
- Introducir herramientas de aprendizaje continuo, para complementar la enseñanza como sugieren Laseinde y Dada (2024), como Massive Open Online Courses (MOOC) y recursos digitales especializados.

Además, una consistente formación en fundamentos proporciona las herramientas necesarias para resolver problemas complejos. El modelo del aprendizaje basado en problemas (ABP) y proyectos (ABPr), desarrollado por Barrows (1986), demuestra que los estudiantes aprenden mejor al enfrentar desafíos reales donde aplican conceptos básicos a contextos desconocidos, es decir, permite a los estudiantes aplicar conceptos fundamentales en situaciones reales. Según el mismo Barrows (1986), esta metodología fomenta el pensamiento crítico y la adaptación a nuevos contextos, como refuerzan Flores, González, y Vences, (2024) en su trabajo de revisión sistemática de metodologías activas.

Aquí, como estrategia didáctica se ha de plantear problemas que requieran una aplicación profunda de conceptos básicos, permitiendo que los estudiantes busquen información adicional si es necesario. Por ejemplo, un proyecto que involucre el diseño de un sistema de energía renovable podría requerir el uso de principios de termodinámica y transferencia de calor, mientras los estudiantes exploran tecnologías específicas como celdas solares, que tienen aparejadas normativas locales, nacionales e internacionales que hay que cumplir.

Justo a través del enfoque en la resolución de problemas, la acción propuesta es impulsar el diseño de proyectos interdisciplinarios, que involucren problemas reales, obligando a los estudiantes a usar sus bases conceptuales y buscar información complementaria de forma autónoma.

También es de especial valor hacer conexiones entre lo antiguo y lo nuevo, la enseñanza debe enfatizar cómo las innovaciones tecnológicas se construyen sobre principios clásicos. Por ejemplo, el diseño de estructuras modernas utiliza las mismas leyes de equilibrio estático que los puentes romanos; la programación de redes neuronales se basa en matemáticas como el cálculo vectorial y las matrices, existentes en el antiguo lenguaje C o el en moderno Python. Así un estudiante con bases sólidas en programación puede aprender de lenguajes de programación, cualquiera que este sea, tanto del acaecido entorno de programación de algunos bits, como lo es el lenguaje C, así como lenguajes del presente como Python que ponen en uso las poderosas arquitecturas actuales, esto para aplicarlos en inteligencia artificial, de sistemas legados y actuales, todo sin necesidad de cursos adicionales, sino todo motivado por el proyecto.

Aquí la labor debe estar en implementar actividades donde los estudiantes identifiquen cómo un avance moderno se deriva de conceptos tradicionales, y así también se refuerza la importancia de las bases.

Igualmente deseable es para un enfoque contextualizado en ingeniería la metacognición, o la capacidad de reflexionar sobre el propio aprendizaje, lo que es fundamental para transferir conocimiento a nuevos dominios. Según Flavell (1979), las habilidades metacognitivas permiten a los estudiantes evaluar sus propios procesos de aprendizaje y adaptarlos a nuevas exigencias, además sostiene que los estudiantes que comprenden cómo aprenden están mejor preparados para adaptarse a nuevas tecnologías o campos emergentes, porque son capaces de buscar su aprendizaje a su propio estilo. Con esto se señala apostar por el desarrollo de la capacidad de aprender a aprender, que es crucial en un entorno cambiante.

Entonces es de valía enseñar a los estudiantes a identificar y fortalecer sus estrategias de aprendizaje, lo que sin lugar a duda puede ser más beneficioso a largo plazo, que enseñar herramientas o técnicas o tecnologías específicas que podrían quedar obsoletas en un momento dado.

La proposición es incluir actividades que promuevan la reflexión, inclusive sobre el propio aprendizaje, como portafolios académicos o autoevaluaciones. De poco sirve que el estudiante recite lo que el profesor, el texto o la teoría dicen, sino se interioriza, sino se entiende la utilidad práctica del concepto, lo que se consigue a través de la reflexión. La meditación de todo, ayudará a los estudiantes a identificar sus fortalezas y áreas de mejora al enfrentar desafíos desconocidos a través de los conocidos o inclusive dominados.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio subrayan la necesidad de una transformación profunda en el enfoque pedagógico de la formación en ingeniería. En particular, se enfatiza que la enseñanza debe priorizar las bases conceptuales atemporales sobre la persecución de tendencias tecnológicas efímeras. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas (Dym et al., 2005; Felder, 1988), que también destacan la importancia de la estabilidad conceptual como un cimiento esencial del aprendizaje autónomo y la resolución de problemas innovadores en ingeniería.

Por otro lado, sin embargo, este enfoque aporta una perspectiva diferenciada al integrar la noción de enseñanza instrumental de las ciencias básicas como un puente entre el conocimiento puro y su aplicación práctica en ingeniería. Esto amplía los hallazgos previos al enfatizar que no basta con enseñar los conceptos fundamentales, sino que también es necesario contextualizarlos en escenarios de resolución de problemas específicos de la ingeniería.

Además, al discutir las similitudes con otros estudios, se puede hacer mención que diversas investigaciones han resaltado que el aprendizaje profundo de conceptos básicos fomenta la adaptabilidad profesional. Por ejemplo, Crawley et al. (2014) proponen que el modelo CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar, Operar) integra esta perspectiva al combinar fundamentos conceptuales y habilidades prácticas. Además, “Felder y Brent (2016) señalan” que la capacidad de aplicar herramientas científicas fundamentales de manera instrumental es clave para que los ingenieros enfrenten problemas complejos.

Sin embargo, a diferencia de enfoques que abogan por la enseñanza estandarizada de ciencias puras en las escuelas de ingeniería, este estudio argumenta que esta transferencia directa es inadecuada. En contraste con autores como Biggs, Tang y Kennedy (2022), quienes promueven la transferencia lineal del conocimiento científico, destacan que las ciencias fundamentales deben ser adaptadas pedagógicamente para resolver problemas ingenieriles.

Entre las limitaciones más notables de este trabajo se encuentra la ausencia de datos empíricos directos que respalden las propuestas pedagógicas. Aunque las conclusiones se basan en análisis teóricos sólidos, será crucial validar estas ideas mediante estudios experimentales que midan el impacto de un enfoque pedagógico contextualizado en el desempeño profesional de los ingenieros.

Además, aunque el trabajo aborda la enseñanza instrumental de las ciencias fundamentales, no explora a profundidad cómo las tecnologías emergentes, como la

inteligencia artificial, podrían integrarse en este marco sin comprometer el enfoque conceptual.

Hablando de los avances logrados, el estudio establece un marco teórico sólido para valorar y redefinir el rol de las ciencias básicas en la enseñanza de ingeniería. Este avance es crucial, ya que conecta la enseñanza de estas disciplinas con los desafíos globales, como la sostenibilidad y el cambio climático. Al proporcionar un enfoque que equilibra estabilidad conceptual con adaptabilidad, se propone un camino para preparar ingenieros que no solo sean competentes técnicamente, sino también capaces de contribuir al desarrollo tecnológico y social.

Conclusiones

Se puede concluir que la formación en ingeniería debe centrarse en proporcionar bases sólidas, en enseñar las bases conceptuales atemporales de la ingeniería, no en la persecución de tendencias tecnológicas efímeras. Una comprensión profunda de las herramientas científicas, junto con una orientación hacia el diseño, capacitará a los ingenieros para abordar los desafíos del presente y del futuro con confianza y creatividad. Los académicos y estudiantes debemos comprender que, más allá de las modas, el verdadero valor de la enseñanza de la ingeniería reside en la solidez conceptual y en la capacidad de aplicar dicho conocimiento al diseño de soluciones innovadoras.

La enseñanza de las ciencias básicas en ingeniería debe centrarse en su aplicación como herramientas instrumentales, constituyendo una base sólida para los ingenieros, reconociendo su rol fundamental en la comprensión y solución de problemas prácticos. Al mismo tiempo, es necesario mantener una clara distinción entre el objetivo de estas disciplinas cuando se estudian como ciencias puras y cuando se emplean en el campo de la ingeniería. Esta diferenciación no solo enriquecerá la formación de los ingenieros, sino que también subrayará la importancia de las ciencias puras en la expansión del conocimiento humano.

Reconocer la distinción entre la enseñanza instrumental del conocimiento científico en ingeniería y su estudio en las ciencias es fundamental para una formación adecuada de los ingenieros. Esto no solo facilitará la comprensión de conceptos aplicados, sino que también fomenta un respeto por las ciencias como disciplinas que construyen el conocimiento humano del universo. Así, se evita confundir el propósito de cada enfoque y se promueve una visión integral de la relación entre ciencia y tecnología.

La enseñanza de las ciencias como disciplinas autónomas en las escuelas de ingeniería resulta inadecuada y poco pertinente cuando se traslada sin ajustes al contexto ingenieril. Para garantizar una formación eficaz, es fundamental que los programas de estudio de ingeniería, indiquen a los docentes adapten su enfoque pedagógico, considerando que los problemas de la ingeniería son esencialmente distintos de los problemas de la ciencia. Esto permitirá a los futuros ingenieros utilizar el conocimiento científico como herramienta práctica para enfrentar los desafíos del campo profesional de la ingeniería.

A pesar de la acelerada evolución tecnológica, las bases en la ciencia para la comprensión y el aprendizaje de la ingeniería continúan siendo el pilar fundamental de la educación ingenieril. El centrarse en conceptos atemporales y enseñar a los estudiantes a aprender lo nuevo con autonomía, hará que los programas educativos no deban actualizarse cada que una tecnología disruptiva emerge, para preparar a los futuros ingenieros con miras a enfrentar los desafíos complejos, en un mundo cambiante. Este enfoque equilibra estabilidad conceptual con adaptabilidad, garantizando la relevancia a largo plazo de la formación en ingeniería.

Es imperioso que las escuelas de ingeniería valoren cómo es que se enseñan las ciencias fundamentales, asegurándose de que los docentes comprendan las diferencias entre los problemas de la ciencia y los problemas de la ingeniería. Solo así se puede evitar la falacia de percibir estas disciplinas como irrelevantes o desconectadas. Al promover una enseñanza contextualizada y orientada a la aplicación práctica, se puede cultivar en los futuros ingenieros un aprecio profundo por estas herramientas, permitiéndoles avanzar con confianza en la profesión de la ingeniería y potencializar la capacidad ingenieril e inventiva para contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías y más, ya que esta capacidad es fundamental no solo para la creación de nuevas tecnologías, sino también para afrontar los grandes desafíos globales, como el cambio climático, la sostenibilidad y las necesidades de infraestructura en crecimiento. Este conjunto de habilidades es indispensable para mejorar la calidad de vida y transformar la sociedad a través de la enseñanza de la ingeniería.

Futuras líneas de Investigación

A medida que se avanza en la investigación sobre el enfoque instrumental en la enseñanza de ingeniería, se plantean varias áreas de estudio que podrían contribuir a validar y expandir este modelo pedagógico.

Así como trabajo futuro, es imprescindible realizar estudios longitudinales que analicen el impacto de programas educativos centrados en las bases conceptuales y el diseño. Las siguientes áreas podrían ser exploradas en investigaciones futuras:

- Evaluación empírica. Comparar el desempeño profesional de ingenieros formados bajo un modelo de enseñanza instrumental con aquellos formados bajo modelos educativos tradicionales;
- Impacto de la enseñanza contextualizada. Determinar cómo una pedagogía orientada a problemas específicos de ingeniería influye en la creatividad y la resolución de problemas complejos;
- Adaptación tecnológica. Estudiar la incorporación de tendencias disruptivas en la enseñanza sin comprometer los fundamentos conceptuales.

Referencias

- Arias, I. A., y Vergara-Ibarra, J. L. (2024). Metodología STEM para mejorar el aprendizaje de las matemáticas en la Educación Básica Superior. *Journal Scientific MQRInvestigar*, 8(4), 5845-5867.
- Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical education*, 20(6), 481-486.
- Biggs, J., Tang, C., y Kennedy, G. (2022). *Teaching for quality learning at university* (5a ed.). United Kingdom: McGraw-hill education.
- Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., Brodeur, D., y Edstrom, K. (2014). *Rethinking engineering education*. Springer Cham.
- Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103-120.
- Felder, R. M., y Brent, R. (2016). *Teaching and learning STEM: A practical guide*. John Wiley y Sons.
- Felder, R. M. (1988). Learning and teaching styles. *Engineering education*, 78(7), 674-681.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911.
- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of physics*, 60(8), 732-748.
- Jiménez, Y. I. (2019). ¿Cómo desarrollar competencias de creatividad e innovación en la educación superior? Caso: carreras de ingeniería del Instituto Politécnico

- Nacional. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 9(18), 356 - 376.
- Knowles, M. S. (1975). *Self-Directed Learning: A Guide for Learners and Teachers*. Cambridge: The Adult Education Company.
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.
- Laseinde, O. T., y Dada, D. (2024). Enhancing teaching and learning in STEM Labs: The development of an android-based virtual reality platform. *Materials Today: Proceedings*, 105, 240-246.
- Meadowcroft, J. (2007). Who is in charge here? Governance for sustainable development in a complex world. *Journal of Environmental Policy y Planning*. 9 (3-4), 299-314.
- Petroski, H. (1996). *Invention by design: How engineers get from thought to thing*. Harvard University Press.
- Simon, H. A. (1996). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge: MIT Press.
- Varela, J. A. P. (2024). La E de ingeniería en el enfoque STEM. *Academia y Virtualidad*, 17(2), 137-147.
- Vincenti, W. G. (1990). *What engineers know and how they know it: Analytical studies from aeronautical history*. Johns Hopkins University Press.
- Flores, Z. M., González, M. L. B., y Vences, E. A. (2024). La educación STEM y las metodologías activas: una revisión sistemática. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 12.