

Las ciencias básicas en la formación del ingeniero: el caso del Álgebra Lineal

El siglo XXI se ha caracterizado por profundas transformaciones en la educación superior, producto de los crecientes cambios mundiales en los ámbitos económico, científico, social, cultural y político. Entre esas transformaciones cabe destacar la implementación del enfoque basado en competencias en las carreras de ingeniería, que ha creado gran expectativa y un movimiento renovador en los profesores de las asignaturas del área de las ciencias básicas; lo que ha instado a la comunidad académica del nivel superior a buscar una visión estratégica para el proceso de formación, con el objetivo de prever el panorama en el cual se desempeñarán los ingenieros en el futuro (Arenas y Ramírez, 2010).

Muestra de lo anterior es la investigación sobre la visión 2020 para el progreso en la preparación del ingeniero del futuro, realizada por Lattuca, Terenzini, Knight y Ro (2014), la cual contiene los resultados de estudios de casos realizados en profundidad que permitieron identificar las características curriculares, educativas y organizacionales que apoyan la educación de ingeniería de pregrado alineada con los objetivos del "Ingeniero 2020". Dichos objetivos están

Ángela Mercedes Martín Sánchez

Doctora en Ciencias Pedagógicas, Universidad de Camagüey, Cuba. Maestrías en Ciencias de la Educación, mención Enseñanza de la Matemática Media Superior y en Matemática Pura, en las Universidades de Camagüey y Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), respectivamente. Egresada de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias de la UASD.

Investigadora Titular del Mescyt en el área de Matemática Educativa. Coautora de la investigación que obtuvo el Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba 2009 y 2018. Miembro asociado del Comité Latinoamericano de Matemática Educativa (Clame). Coordinadora de la Cátedra de Álgebra y profesora de Matemática en Unapec.

Olga Lidia Pérez González

Doctora en Ciencias Pedagógicas. Premio Nacional Pablo Miquel de enseñanza de la Matemática, de la Sociedad Cubana de Matemática y Computación; Premio Nacional Academia de Ciencias de Cuba 2009 y 2018. Directora del Grupo de Investigaciones de Matemática Educativa de la UC. Presidente del Comité Latinoamericano de Matemática Educativa (Clame).

sustentados en los cambios tecnológicos y se dirigen al desarrollo de habilidades analíticas, de ingenio práctico, creatividad, comunicación, negocios, gestión, normas éticas, profesionalismo, dinamismo, agilidad y flexibilidad; así como a la formación de estudiantes para toda la vida (Clough, 2004). El presente artículo tiene como objetivo reflexionar sobre la importancia de las ciencias básicas en la formación del ingeniero, de manera particular en el Álgebra Lineal y su formación conceptual.

Desarrollo

Son variados los estudios con relación a esta problemática, como el de King (2012) quien aporta sobre el por qué, cuándo y cómo reestructurar la educación en ingeniería. También el de Froyd, Wankat y Smith (2012) quienes identifican y discuten los cinco cambios más importantes que han modelado gradualmente la educación en ingeniería en los últimos cien años y precisan que: los dos primeros se concretan en el tránsito de los planes de estudio desde la práctica al modelado matemático y a la necesidad del análisis científico; el tercer cambio lo relacionan con el estudio del diseño en los primeros años de las carreras de ingeniería; el cuarto está referido a la investigación sobre el aprendizaje y la educación en ingeniería, y el último cambio está relacionado con las tecnologías y permite predecir qué transformarán en la educación durante más de cincuenta años.

Son amplios los debates sobre la relación entre los cambios cuarto y quinto, en los que se exige la preparación de ingenieros con una sólida formación científico-tecnológica; con un notable

predominio del componente formativo sobre el informativo y que se considere la solidez en la formación en ciencias básicas y la informática con el objetivo de aprender a aprender de por vida (Capote, Rizo, y Bravo, 2016). Lo anterior, de manera que se consideren perfiles diversos en los estudiantes del siglo XXI como consecuencia de la gran influencia de las tecnologías, además de que se han modificado sus parámetros de comportamiento y de desarrollo cognitivo, entre otros aspectos, con notable repercusión en su formación y en la manera en que aprenden.

El conocimiento profundo de las ciencias básicas, y específicamente de la matemática, como uno de los rasgos esenciales que deben caracterizar al ingeniero como profesional con una sólida formación teórica y científica general, ha sido objeto de estudio en la actualidad por una gran variedad de autores, entre los que se destacan Toirac, Fernández y Alaiza (2016) y Abate, Bucari y Melgarejo (2016).

Esos autores coinciden en resaltar la importancia de la formación del pensamiento matemático en el ingeniero, de balancear constantemente los aspectos científico y profesional, y cuidar de los sesgos en uno u otro sentido de manera que se entienda la importancia de diferenciar los problemas en cuanto a la forma en que los estudiantes de ingeniería deben saber la matemática, el nivel que tienen que alcanzar, o el formato de la orientación del conocimiento que debe ofrecerse a los estudiantes, a partir del análisis de cuatro aspectos generales: aplicación del problema, conceptos matemáticos relacionados, interrelación de los conceptos matemáticos con el problema en cuestión y la transposición contextualizada (Villalón, Medina y Bravo, 2015).

Sin embargo, el tratamiento didáctico de los conceptos en la matemática sigue siendo un tema necesario para investigar. Aunque se han realizado estudios sobre el perfeccionamiento, generalización y comprensión conceptual, sigue siendo un reto ante los desafíos hacia el 2020 en la formación ingenieril, la formación de un pensamiento sistémico donde, además de comprender los conceptos en su relación parte-todo, el ingeniero pueda comprender la dinámica de las interacciones y transformaciones que se dan entre ellos y caracterizar sus relaciones como un sistema (Capote, Rizo y Bravo, 2016).

Estas nuevas exigencias han dado lugar a políticas educativas, entre las cuales es esencial la de asegurar la comprensión y utilización sistemática de los contenidos con apoyo en la aplicación de éstos en otras áreas, como expresión de la interrelación de las líneas directrices del saber, como: desarrollar la capacidad de los estudiantes para interpretar datos; establecer relaciones y conexiones; poner en juego conceptos matemáticos; analizar regularidades; establecer patrones de cambio; encontrar, elaborar, diseñar y/o construir modelos; y argumentar, justificar, comunicar procedimientos y resultados a través de las relaciones conceptuales (Ramírez, Bueno y Pérez, 2016).

República Dominicana, y en particular sus universidades, no son ajenas a esa situación. Por eso se han propuesto alcanzar los máximos estándares de calidad en la enseñanza de la matemática, como un reto del nuevo milenio. Para lograr ese objetivo han realizado diversas acciones, como la implementación del “Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2008-2018” en el cual se reconoce explícitamente la

necesidad de desarrollar investigaciones para perfeccionar la enseñanza de la matemática, de manera que se sugiera una nueva forma de enfocar esos problemas mediante la búsqueda de soluciones inteligentes y estratégicas que impacten en el funcionamiento de las instituciones de educación superior, los centros de investigación científica y en la divulgación y apropiación social y económica del conocimiento matemático (Matías, Pérez, Rizo y Blanco, 2013).

Sin embargo, aún no se ha logrado la mejora esperada en la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje (PEA) de la matemática para las carreras de ingeniería, ya que se identifican deficiencias relacionadas con el dominio de los procedimientos, la significatividad de los conceptos y la relación entre ellos; así como dificultades en la selección, organización y secuenciación de los contenidos, lo que generalmente limita la comprensión de las relaciones conceptuales y estimula la tendencia a que los estudiantes memoricen los conceptos (Martín, Torres y Pérez, 2013).

Con respecto al establecimiento de las relaciones conceptuales entre los objetos de estudio, se han realizado diversas investigaciones desde la óptica de la matemática, la lingüística, la psicología cognitiva, la neuropsicología clínica, las redes informáticas y la semiótica. Entre esas investigaciones se destacan las de Duval (1993, 1998), Sureda y Otero (2015) y Flores, Caballero y Moreira (2016).

Dichas investigaciones abordan esta temática desde el estudio de los grafos conceptuales y de la conceptualización matemática: en la teoría de los campos conceptuales como indicadores de la calidad del aprendizaje y de las competencias

matemáticas, en la valoración de la integración de conocimientos matemáticos, en el establecimiento de las redes semánticas, en la minería de datos, en los mapas conceptuales, en la representación simbólica de los conceptos, en la comprensión relacional, en la capacidad de relacionar los contenidos y conceptos, en el tratamiento didáctico de los problemas matemáticos y en el uso de tecnologías en la enseñanza de la matemática.

De esa forma se hacen aportes para el perfeccionamiento de la enseñanza-aprendizaje de la matemática, pero aún no se presta la atención necesaria a la articulación de la representación analítica, geométrica y estructural de los objetos del Álgebra Lineal (AL) y al proceso de razonamiento de los estudiantes para mejorar la comprensión relacional (Martín, Torres y Pérez, 2013).

De manera particular, en el AL se encuentran los trabajos de Hernández (1989), Dubinsky (1997), Parraguez (2011), Montes (2012), Oktaç (2013) y Vasco (2015). Esos trabajos hacen sus aportes a la didáctica del AL a partir de investigaciones acerca de los nodos conceptuales, la combinación lineal como célula generadora del contenido, la comprensión de los objetos algebraicos, el razonamiento analítico y sintético de los conceptos de la dependencia lineal, la visualización de los conceptos, la habilidad del cálculo, la noción de linealidad, los modos de pensamiento en la formación del concepto de dimensión finita de los espacios vectoriales y la construcción del esquema del concepto espacio vectorial, entre otros.

Además aportaron a la presente investigación el reconocimiento del papel de la práctica y la comunicación y comprensión de los conceptos

en la formación del profesional; sin embargo, no llegan a precisar de manera explícita la forma de dirigir didácticamente el proceso de conceptualización en el AL para las carreras de ingeniería, desde la óptica de las relaciones conceptuales, por lo que predomina en la práctica educativa la comprensión instrumental del contenido objeto de estudio. El AL es una de las ramas de la matemática que mayor oportunidad ofrece para el desarrollo de relaciones conceptuales; en ella la teoría de los espacios vectoriales pone al descubierto su naturaleza unificadora, generalizadora, simplificadora y formalizadora, que conduce inevitablemente a múltiples puntos de vista y modos de razonamiento, pero también a unificar los conceptos en una teoría formal.

Es por eso por lo que se requiere del manejo de muchos conceptos abstractos, pero para construirlos y generalizarlos es necesario reconocer semejanzas entre: los objetos, las herramientas, los métodos y la reorganización de viejas capacidades; para relacionarlas con elementos del nuevo conocimiento. Sin embargo, la falta de conceptualización y formalización por parte de los estudiantes, el predominio de la comprensión instrumental, así como el débil desarrollo de las relaciones conceptuales, evidencian insuficiencias en la concepción didáctica del AL desde la práctica educativa y desde las investigaciones pedagógicas (Parraguez y Oktaç, 2010; Oktaç, 2013; y Vasco, 2015).

En ese sentido, de los análisis realizados a partir de los programas y libros de texto y sobre la base de la experiencia de más de treinta años de ejercicio profesional en la enseñanza del AL, se concluye que los métodos y procedimientos empleados en esta asignatura en el tratamiento

didáctico de los contenidos, están estructurados atendiendo más a la complejidad de los conceptos y operaciones que a las peculiaridades del pensamiento lógico de los estudiantes (Oktaç, 2013; Mola, 2013; Vasco, 2015).

El diagnóstico realizado por las autoras de la investigación; la participación en eventos nacionales e internacionales, visitas a clases, encuestas, entrevistas y las comprobaciones realizadas; le han permitido detectar algunas insuficiencias en los estudiantes dominicanos de ingeniería en cuanto a conocer el significado de los objetos del AL. Esos resultados son comprensibles si se tiene en cuenta que:

- En el proceso de enseñanza aprendizaje del AL es pobre el establecimiento de relaciones y conexiones entre los objetos algebraicos, con sobrevaloración de los algoritmos en desmedro de la comprensión de los conceptos de nociones básicas, lo cual conlleva al abuso de la memorización de los procedimientos en detrimento de la relación conceptual y la comprensión.
- Los estudiantes muestran un conocimiento insuficiente de la estructura de cuerpo, en la argumentación del concepto espacio vectorial.
- Con determinada sistematicidad, los estudiantes limitan la representación de los diferentes conceptos a la manipulación mecánica de números, vectores, ecuaciones, coordenadas y conceptos, sin tomar en cuenta sus relaciones y su lógica argumentativa.
- Los estudiantes no siempre pueden realizar las múltiples interpretaciones que pueden hacerse de un objeto del AL.

El diagnóstico causal apuntó a que una de las causas fundamentales de tales insuficiencias consiste en que el PEA no contribuye a la correcta conceptualización del AL, esto debido a que en la práctica existe un uso limitado de las relaciones y conexiones conceptuales para comprender los conceptos del AL. El análisis anterior permitió precisar que las insuficiencias actuales en el tratamiento didáctico de los conceptos del AL en las carreras de ingeniería limitan el desempeño de los estudiantes en la solución de tareas algebraicas.

Conclusiones

La experiencia dice que no todos los aspectos de la asignatura Matemática tienen la misma importancia para el futuro ingeniero; por tanto, es necesario, analizar convenientemente la cuestión del ordenamiento racional de la información conceptual que éste necesita; lamentablemente, falta la integración de los contenidos. Además, por lo general el proceso está orientado al aprendizaje de cada uno de los conceptos por separado, al desarrollo de habilidades de generalización y a la comprensión desde la relación parte/todo; de manera que se limita el trabajo independiente y la creatividad de los estudiantes.

Para dar solución a esta problemática, Gutiérrez (2003) demuestra que la función de las ciencias básicas en las carreras de ingeniería es contribuir al desarrollo del ejercicio de la profesión, y que ellas develen las interrelaciones entre los diferentes ciclos del plan de estudio –básico, básico específico y de ejercicios de la profesión– sin detrimento de la fundamentalización.

Además, esa autora precisa que su tratamiento didáctico debe hacerse teniendo como principal premisa que sea explícita para los estudiantes la contribución científica que hace la asignatura Matemática al Ciclo Básico específico de su profesión.

Con relación a lo anterior, actualmente se aboga por una formación sólida en las ciencias básicas en los primeros años de las carreras de ingeniería, entre las que se incluye el AL, sobre cuya base se deben desplegar las especialidades ingenieriles en los años superiores para formar al ingeniero 2020 (Clough, 2004). Se han realizado varias propuestas, una de ellas es la utilización del concepto "perfil amplio" para la formación de ingenieros, que generalmente se analiza desde el ángulo del ejercicio de la profesión y no desde la óptica del Ciclo Básico, con el objetivo de que el estudiante tenga una sólida formación en las ciencias básicas. Ese perfil de formación está concebido para que el estudiante se caracterice por un conocimiento de amplio espectro que, unido a su creatividad y flexibilidad, le permita de forma consciente integrarse a las disímiles condiciones de trabajo que le pueden corresponder en un país en vías de desarrollo (Fernández, 2000).

Esto, traducido a la enseñanza de las ciencias básicas y de manera específica del AL, puede favorecer la flexibilidad de los estudiantes al aplicar los conocimientos de un ciclo a otro de forma consciente, a través de la dialéctica de lo general y lo particular, y de la parte y el todo; lo que compulsará su actividad cognitiva, flexible, creativa e independiente (Gutiérrez, 2003). En ese sentido se requiere que el tratamiento didáctico de los conceptos matemáticos se

oriente a que los estudiantes develen la interrelación entre ellos y las relaciones que los conforman, para que así tengan un conocimiento de amplio espectro al cursar las asignaturas de las ciencias básicas.

Referencias

- Abate, S.; Bucari, N.; y Melgarejo, A. (2016). Algunas reflexiones sobre la enseñanza de las ciencias básicas en carreras de ingeniería, *Revista Tecnología y Sociedad*, 1(4), 57-63.
- Arenas, A. y Ramírez, C. (2010). Visión prospectiva de la formación en ingeniería, Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Arequipa, Perú.
- Capote, G.; Rizo, N. y Bravo, G. (2016). La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria, *Revista Universidad y Sociedad*, 8 (1), 21-28.
- Clough, G. (2004). "Attributes of Engineers in 2020", en G. Clough, *The engineer of 2020: Visions of engineering in the new century* (págs. 53-58), Washington, D.C., National Academy of Engineering.
- Dubinsky, E. (1997). Some Thoughts on a First Course in Linear Algebra at the College Level, *MAA NOTES*, 42, 85-106.
- Duval, R. (1993). *Registros de representación semiótica y funcionamiento cognitivo del pensamiento*, México, Grupo Editorial Iberoamérica.
- -----(1998). "Signe et Objet (I). Trois Grandes Etapes dans la Problematique des Rapports

entre Representations et Objet”, *Annales de Didactique et de Science Cognitives*, 6, 139-163.

- Fernández, N. (2000). Panorama del sistema de formación en Cuba. Desafíos del profesional de la información. *Bibliodoc: Anuario de biblioteconomía, documentación e información*, 201-218.

- Flores, J.; Caballero, M. C. y Moreira, M. A. (2016). Los mapas conceptuales como instrumentos evaluativos del nivel de construcción integrativa de significados en el laboratorio de bioquímica bajo un enfoque constructivista. *Investigações em Ensino de Ciências*, 19(3), 611-624.

- Froyd, J.; Wankat, P. & Smith, K. (2012). “Five major shifts in 100 years of engineering education”, *Proceedings of the IEEE*, 100 (Special Centennial Issue), 1344-1360.

- Gutiérrez, A. (2003). “Metodología del diseño curricular desarrollador del ciclo básico de las carreras de ingeniería”, *Disertación doctoral no publicada*, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Centro de Estudios de Ciencias de la Educación Enrique José Varona, Camagüey, Cuba.

- Hernández, H. (1989). “El perfeccionamiento de la enseñanza de la matemática superior cubana. Experiencias en el Álgebra Lineal”, *disertación doctoral no publicada*, Ministerio de Educación Superior, Ciudad de La Habana.

- King, C. (2012). *Restructuring engineering education: Why, how and when?* *Journal of Engineering Education*, 101(1), 1-5.

- Lattuca, L.; Terenzini, P.; Knight, D. & Ro, H. K. (2014). 2020 Vision: Progress in Preparing the Engineer of the Future. The Pennsylvania State University, Center for the Study of Higher and Postsecondary Education, School of Education, Virginia Tech.

- Martín, A.; Torres, D. y Pérez, O. (2013). Criterios valorativos y de medida de la enseñanza de la matemática, en las asignaturas básicas en la Universidad Autónoma de Santo Domingo, *Anuario de Investigaciones Científicas de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, Volumen 2*; 96-105.

- Matías, C.; Pérez, O.; Rizo, C. y Blanco, R. (2013). Capacitación en contexto para la preparación de los maestros que imparten la matemática. Experiencia de República Dominicana, México, DF: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa.

- Montes, N. (2012). “Estrategia docente para favorecer el aprendizaje del Álgebra Lineal en el contexto de la Ingeniería Mecánica”, ponencia presentada en Universidad 2012, Camagüey, Cuba.

- Oktaç, A. (2010). ¿Cómo se aprenden los conceptos de Álgebra Lineal?, *Relime*, 13, 4-11.

- ----- (2013). “Coordinación de registros semióticos y las transformaciones lineales en el plano”, ponencia presentada en Congreso de Educación Matemática de América Central y el Caribe, Santo Domingo.

- Parraguez, M. (2011). Comprensión del concepto combinación lineal de vectores desde el

punto de vista de la teoría APOE. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, 24, 102-10.

- Parraguez, M. y Oktaç, A. (2010). Construcción del esquema del concepto espacio vectorial, *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, 23, 45.

- Ramírez, R., Bueno, L. y Pérez, D. (2016). El aprendizaje de la matemática en los estudiantes de Ingeniería Mecánica, *Revista Maestro y Sociedad*, 13(3), 462-472.

- Sureda, P. y Otero, M. R. (2015). Nociones fundamentales de la Teoría de los Campos Conceptuales, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 6(1), 21-36.

- Toirac, M.; Fernández, B. y Alaiza, G. D. (2016). La articulación interdisciplinaria de las matemáticas en ingeniería geofísica, *Revista Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 6(4), 11-22.

- Vasco, D. (2015). "Conocimiento especializado del profesor de Álgebra Lineal: un estudio de casos en el nivel universitario", disertación doctoral no publicada, Universidad de Huelva, España.

- Villalón, M.; Medina, M. y Bravo, M. (2015). Importancia de las competencias matemáticas en el contexto de las carreras de ingeniería, *ANFEI Digital*, 1(2), 20-36.

