Matemáticas en ingeniería: Problema u oportunidad en este siglo

Autor[[1]](#footnote-1)

Autor[[2]](#footnote-2)

Autor[[3]](#footnote-3)

*Institución*

País

De acuerdo con las expectativas de los estudiantes de la Era Digital, las necesidades sociales, el ejercicio profesional y la complejidad de los problemas de este siglo, ¿se podría observar a las matemáticas como un problema o como una oportunidad en la educación de ingenieros? Para encontrar respuestas se realizó una investigación en la que participaron 9397 estudiantes, 956 profesores, 118 empleadores, 5765 profesionales, 218 directivos, 11 organismos de estado y 16 asociaciones profesionales, apoyada en una amplia revisión de la literatura respectiva. Los países con mayor número de participantes fueron México, Argentina, España, Estados Unidos, Perú y Brasil, además de otros con menor participación. Los principales resultados demuestran que se ofrece programas de ingeniería que no lo son; el sistema de educación es obsoleto; sí se necesita matemáticas en ingeniería, pero hay que modificar metodologías y didácticas; hay que integrar los contenidos matemáticos con los demás procesos de aprendizaje; y se debe armonizar lo teórico y lo práctico de las matemáticas para darle mayor pertinencia en la educación ingenieril. La conclusión es que la educación matemática es necesaria e importante en ingeniería, pero que, dado el escenario actual, hay que actualizar contenidos, didácticas y prácticas para que la nueva categoría de estudiantes la asuma más como una oportunidad y menos como un problema.

# INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la ingeniería como profesión las matemáticas han desempeñado un papel central en la formación de estudiantes, ya sea como requisito de ingreso a las universidades o como elemento esencial para el desempeño profesional. Por eso es que las discusiones y análisis acerca de su papel en la ingeniería son un tema de alto perfil para los gobiernos, las instituciones, las empresas, los estudiantes, los profesionales y la sociedad en general. Porque si se acepta su importancia en los procesos formativos, también habrá que exigir que la capacitación de los ingenieros en cada disciplina sea la más adecuada para responder a las necesidades sociales [1].

Si a esto se suma la crisis por la que pasa el mundo por la falta de ingenieros y de estudiantes que quieran tomar estos programas [2], es urgente diseñar estrategias para convocarlos y retenerlos en las facultades de ingeniería. Por lo tanto, y debido a que el mito de las matemáticas en ingeniería siempre es protagonista al momento de seleccionar qué estudiar, es natural que los académicos, los administrativos, la industria y el Estado centren su atención en esta situación.

Sin embargo, el rol de las matemáticas en la práctica profesional ingenieril ha cambiado radicalmente en este siglo, porque la matemática computacional surge como una oportunidad innovadora, exigiendo al límite a profesores y planes de estudios. Además, el trabajo disciplinar pasa a un segundo plano, porque la matemática se integra transdisciplinarmente como labor explícita para los ingenieros, evolucionado como una actividad distribuida a través de equipos de trabajo, pero soportada en computadores [3].

Estos escenarios han creado un dilema para los actores relacionados, porque ahora tienen que resolver las aparentes contradicciones acerca de si la matemática en ingeniería se debe observar como un problema o como una oportunidad. La cuestión es que son y seguirán siendo protagonistas en la capacitación y formación de ingenieros, pero hoy es necesario considerar sus múltiples y diferentes usos en la práctica, a la vez que la denominación de las diferentes disciplinas que se aceptan como ingeniería. La necesidad y cantidad de matemáticas en un plan de estudios debe tener relación directa con las funciones que el profesional deberá ejecutar, por lo que su utilidad para las ingenierías seguirá siendo cuestión de debate:

* ¿Qué tipo de conocimiento matemático necesitan los ingenieros del siglo XXI?
* ¿Debería ser el mismo y la misma cantidad para todos los programas denominados como ingeniería?
* ¿Cómo caracterizar el nivel mínimo esencial para la práctica ingenieril?
* ¿En qué se debe basar ese conocimiento?
* ¿Cómo afecta a la realidad de este escenario el desarrollo de las TI?
* ¿Todos los estudiantes se deben capacitar con los mismos contenidos, didácticas y metodologías?
* ¿Cuándo y cómo se debe enseñar matemáticas?
* Los programas que no son ingeniería, sino profesiones o especializaciones, ¿deben incluir en sus planes de estudios las mismas matemáticas de las *ingenierías verdaderas*?

El asunto es que esta disciplina es un arte en el que es necesario usar la imaginación, el ingenio y el libre albedrío para imaginar, diseñar y construir productos seguros que no atenten contra el medio ambiente. Los encargados de estas labores son los ingenieros, que se han formado para comprender y solucionar los problemas sociales en una amplia variedad de formas. Pero, debido a la creciente complejidad de estos desafíos, hoy se necesita ingenieros con una comprensión transdisciplinar del mundo, y con habilidades y destrezas especializadas. Además, dada la amplia diversidad de disciplinas en las que se ha fraccionado esta área del conocimiento, muchos investigadores y educadores también necesitan comprender profundamente las ciencias que sustentan el arte de la ingeniería y, por lo tanto, desarrollar nuevas capacidades para aplicarlas. La cuestión es que muchas de esas disciplinas se imparten como ingenierías, aunque su núcleo temático y perfil profesional no lo sean [4], por lo que no necesitarían desarrollar estas capacidades al mismo nivel de una *verdadera ingeniería*.

Este tipo de problemas no se debe analizar ni discutir solamente por los llamados *expertos*, porque sería difícil llegar a conclusiones y tomar decisiones que realmente aporten a una solución. Se necesita verdadero liderazgo para estimular y difundir la innovación en la formación matemática en ingeniería, e incluir a representantes de todas las comunidades relacionadas. Pero estos equipos deben ser pequeños y prácticos, para que las conclusiones se logren rápidamente y para aplicarlas objetivamente. En este capítulo se presenta los resultados de una investigación que realizaron investigadores y científicos de Australia, Canadá, Finlandia, Noruega y Colombia, y en la que se consultó acerca de:

1. ¿Qué análisis se puede hacerse al rol de las matemáticas en la formación y el ejercicio profesional de los ingenieros?
2. ¿Cómo influye ese rol en la decisión de los estudiantes por estudiar ingeniería y en su futura empleabilidad?
3. ¿Qué reflexión se puede hacer acerca de las metodologías y didácticas que se utiliza para enseñar matemáticas en ingeniería?
4. ¿Qué apreciación se puede hacer acerca del papel del sistema de educación?

# MÉTODO

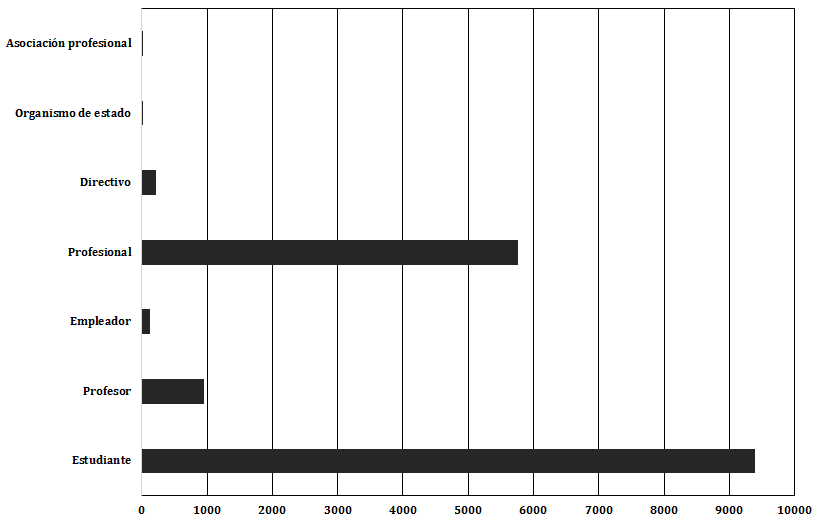
Esta investigación se llevó a cabo utilizando una metodología combinada de entrevistas, consultas y diálogos presenciales con universidades, organismos de estado, asociaciones profesionales y empresas; además, se apoya en una revisión de la literatura y en consultas a estudiantes, profesores, empleadores, directivos y profesionales en ingeniería. La búsqueda se realizó en las bases de datos de ScienceDirect, Scopus y WOS, y entre los criterios de selección se tuvo en cuenta la trayectoria del autor, la cobertura de la investigación, el tipo de investigación realizada y la contrastación de los resultados.

Las herramientas de consulta se aplicaron de forma abierta, el mayor número de participantes provino de México, Argentina, España, Estados Unidos, Perú, Brasil y otros con menor participación. No se realizaron revisiones detalladas a los contenidos en los planes de estudios, ni a las políticas evaluativas y, aunque ambos factores tienen un impacto considerable en los procesos formativos, no se cubren más que tangencialmente y se mantienen como objetivo para una próxima fase de la investigación.

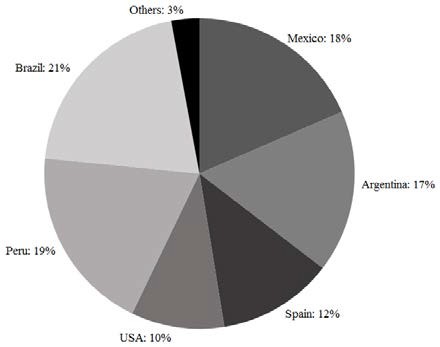
Se aclara que los estudiantes participantes pertenecen a la Era Digital y que se encontraban cursando, como mínimo, tercer año de su carrera. En la Tabla 1 se detalla los participantes de acuerdo con el rol que desempeñan en la ingeniería, y en las Figuras 1 y 2 se aprecia la distribución por actor y por país, respectivamente.

**Tabla 1**. Actores participantes en la investigación

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Actor** | **Cantidad** | **Visión objetiva para la investigación** |
| Estudiante | 9397 | Elección de disciplina; conocimiento matemático; utilidad de la matemática; integración del currículo; modelo de aprendizaje; opción profesores; tecnologías; … |
| Investigador | 38 | Apreciación; prospectiva; contrastación; experimentación; investigación; … |
| Profesor | 956 | Experiencia profesional; profesión; investigación; actualización de conocimientos; tecnologías; métodos, modelos y didácticas; … |
| Empleador | 118 | Necesidades específicas; disciplinas ingenieriles; relación con universidad; relación con estado; prospectiva; equipos de trabajo; … |
| Profesional | 5765 | Tecnologías; aplicación práctica; transdisciplina; relación teoría-práctica; actualización de conocimientos; investigación; … |
| Directivo | 218 | Procesos de selección estudiantes y profesores; seguimiento plan de estudios; práctica académica; estrategias motivacionales; autoevaluación; relación con empresa; relación con estado; prospectiva; nuevas generaciones; … |
| Organismo de estado | 11 | Regulación; seguimiento; actualización normativa; análisis y discusión; integración universidad-empresa-estado; … |
| Asociación profesional | 16 | Regulación; seguimiento; actualización normativa; actualización de conocimientos; integración con universidad; integración con empresa; … |



**Figura 1**. Distribución por tipo de actor en la investigación



**Figura 2**. Participación porcentual por país

# RESULTADOS Y ANÁLISIS

* 1. **Las matemáticas en la formación y el ejercicio profesional de los ingenieros**

La conclusión de un amplio número de participantes es que, con el desarrollo a gran escala de los computadores a finales del siglo XX, la práctica de la ingeniería cambió su rumbo: *dejó de ser un trabajo netamente matemático, realizado por ingenieros individuales, para convertirse en una labor de equipos transdisciplinares, distribuidos globalmente y mediada por aplicaciones software*. Además, que algunos aspectos de las matemáticas deben continuar en la formación de ingenieros, pero que otros deben cambiar considerablemente de forma y fondo, sobre todo en la manera de impartirlos en el aula. En el fondo de estas apreciaciones surge discusiones acerca de las fronteras entre lo *necesario* y lo *irrelevante* de las matemáticas, en las que se aboga por cambios en contenidos, cantidades y didácticas.

En este sentido, empleadores, profesionales y asociaciones profesionales afirman que estas discusiones poco aportan, porque las realizan pedagogos, matemáticos y administrativos de la educación y, como resultado, se ha mantenido una especie de acuerdo en el que las matemáticas se observan como *competencia* esencial de la formación y la profesión ingenieril. La base de sus argumentos es que la matemática desarrolla el pensamiento disciplinado y lógico que necesitan los ingenieros, ya sea para comprender los problemas o para diseñar modelos. Pero, aunque es una apreciación que aceptan parcialmente los estudiantes y profesionales, en el nuevo siglo persiste interrogantes sin resolver: darle un verdadero significado de integración con los demás procesos de aprendizaje y visibilizar su utilización en el ejercicio profesional; incluso, todavía tienen dudas acerca de qué son realmente la ingeniería y la matemática en este siglo.

Los profesionales tienden a considerar a la matemática como una herramienta de ayuda, porque muchos han tenido la necesidad y oportunidad de involucrarla directamente en sus labores, y consideran que les brinda confianza y les ofrece un equilibrio entre sus habilidades ingenieriles y el trabajo en equipo. El asunto es que los empleadores necesitan que los ingenieros desarrollen otras destrezas y habilidades, porque los computadores se encargan de los cálculos y los desarrollos fríos.

Para los estudiantes y los profesionales esto debe hacer parte del cambio, porque si bien los ingenieros antes tenían que aprender matemáticas para responder a los *propósitos prácticos* de su profesión, se esperaba que adquirieran cierto nivel de comprensión de ellas y desarrollaran una *forma lógica de pensar*, que los diferenciara de otras profesiones. Pero, con el desarrollo de la computación y su utilización como herramienta de cálculo, se desvirtúa esa relación entre lo práctico y lo teórico de la formación matemática.

Por lo tanto, y de acuerdo con los empleadores y los profesionales, su enseñanza práctica se debe orientar más a la modelización de sistemas, sin disminuir la importancia de lo teórico, es decir, se necesita encontrar un equilibrio correcto. En este mismo sentido los profesores afirman que, desarrollar la forma lógica de pensar debe ser un aspecto formal de educación, aunque, para los profesionales, todavía no se estructura un modelo de enseñanza que permita alcanzarlo. Asimismo, los estudiantes y algunos profesores con edad inferior a 40 años, sostienen que, para desarrollar o potencializar el pensamiento lógico, aún quedan cuestiones sin responder, porque desde las Ciencias Computacionales han surgido alternativas como la lógica de programación.

Los directivos y administrativos sostienen que han tenido que responder a las exigencias de los organismos de Estado, en el sentido de disminuir los procesos de aprendizaje relacionados con las matemáticas en los planes de estudios en ingeniería. A lo que estos organismos responden, extraoficialmente, que se debe a una imposición de colectividades internacionales con base en cálculos financieros, y no en estudios reales de las necesidades profesionales y empresariales. Incluso, en algunos países se ha experimentado con exigir, como requisito de grado, que los estudiantes hallan desarrollado las capacidades matemáticas necesarias para el ejercicio de su profesión (afirmación que confirman estudiantes). Para los profesionales la respuesta no debe ser disminuir procesos de aprendizaje y contenidos, sino armonizarlos con las habilidades y destrezas que posee el estudiante, las requeridas por la disciplina, de acuerdo con las asociaciones profesionales, y las que espera la industria (a lo que se unen los empleadores).

A este respecto, los profesionales y los profesores sostienen que los organismos de Estado y las universidades deberían analizar la brecha entre las expectativas de los empresarios y la realidad del conocimiento matemático que poseen los estudiantes. Por su parte, los directivos afirman que, aunque reconocen que es una realidad, los gobiernos esperan que la educación superior solucione el problema que viene desde la primaria. En este orden de ideas algunos autores de la revisión hacen referencia a esta situación [5, 6] y afirman que la raíz del problema es un *sistema de educación* obsoleto y remendado por cada gobierno de turno. Además, que esta brecha parece no importarles, por lo que la preparación en la educación básica y media continúa sin satisfacer las expectativas de la superior, en cuanto a las habilidades y destrezas matemáticas que deben desarrollar los estudiantes. Por su parte, los empleadores se hacen a un lado en esta discusión, porque no la consideran de su consorte, y porque para ellos lo más importante es que el profesional desarrolle una conciencia holística de las matemáticas, no una especialidad, debido a que sus necesidades laborales son más desde su habilidad analítica y visualización espacial.

Los profesores, con edades superiores a 60 años, sostienen que la solución que han adoptado es acatar las recomendaciones de los *expertos* que participan en los análisis y discusiones de esta situación. Mencionan, por ejemplo, que en los planes de estudios tienen que incluir los contenidos que los estudiantes debieron haber recibido en la escuela. Para los estudiantes y profesores (menores) esto hace que no puedan incluir contenidos universitarios. Entonces, y de acuerdo con los empleadores, los profesionales desarrollan solamente visiones y composiciones teóricas de algo que no saben utilizar mediante tecnología.

Otra arista del problema, y que manifiestan los profesionales y las organizaciones de profesionales, se relaciona con la diversidad de programas de ingeniería que ofrecen las universidades y que aprueban los organismos estatales. Muchos de estos programas no son realmente ingeniería, debido a que están más orientados a entregar titulaciones profesionales o licenciaturas, o podrían ofrecerse como especializaciones. Para los estudiantes y profesionales de estos programas los contenidos matemáticos del plan de estudios no tienen sentido, porque en la vida laboral y debido a su formación no lo van a necesitar para solucionar los problemas.

De acuerdo con estos actores, los organismos de gobierno y las asociaciones profesionales están en la obligación de reevaluar los procesos de calificación y acreditación de programas de ingeniería, además de escucharlos a ellos para analizar los planes de estudios. Los empleadores opinan que, para establecer el dominio de las técnicas matemáticas en diversos contextos y dimensiones, se debería adoptar un enfoque más explícitamente holístico y transdisciplinar, con el uso integrado de software, porque esa es la realidad que los profesionales van a encontrar en la industria.

De acuerdo con otros trabajos de la revisión [1, 7], este debate es amplio y ha generado una lucha entre las facultades relacionadas, porque las de ingeniería no quieren sacar de su oferta a estos programas por el hecho de que entregan *títulos ingenieriles*, mientras que las de artes y profesiones los desean administrar debido a que su objetivo es *formar profesionales* en áreas específicas. Si se considera la necesidad de modificar estos programas, en términos de contenidos matemáticos, para incluir más cursos generales, es aceptable encontrar la resistencia actual, porque la idea del cambio conlleva temor entre quienes han dominado por siempre la formación de ingenieros [8]. Otros investigadores [9, 10] afirman que, dadas las diferencias entre las necesidades empresariales y la formación académica, se debería optar por mantener el *rigor* y las exigencias de grado para los estudiantes de las *ingenierías verdaderas*, pero *flexibilizarla* y *reorientarla* para aquellas ingenierías que no son tal.

A estas voces se suma las de los estudiantes, los profesionales y los empleadores, para solicitar que se incluya el uso de TI como didáctica. Según ellos, la idea no es reemplazar la necesidad y comprensión de los principios básicos, sino de aprovechar las ventajas que ofrecen estas herramientas y revolucionar el uso y logro de las técnicas analíticas en la práctica ingenieril, lo mismo que la manipulación simbólica a través de software especializado. Por su parte, los profesores (mayores) que han *intentado* experimentarlas, sostienen que los resultados no son suficientes como para estructurar nuevos modelos de enseñanza. Pero, para los estudiantes, lo que sucede es que las experimentan con los mismos contenidos, didácticas, prácticas evaluativas y *ejercicios*, que han utilizado durante todo su ejercicio docente.

Asimismo, los directivos se oponen al cambio por los costos que implica y porque todavía no se tiene una base común y sólida de conocimiento matemático, como para abandonar un proceso de enseñanza establecido desde hace años. Por eso es que algunos autores [6, 11] afirman que lo primero y más importante debe ser innovar el sistema sobre el que se sustenta este proceso, es decir, pasar de un *sistema educativo* a un *sistema formativo*. El objetivo es involucrar a todos los actores y componentes del sistema, es decir, a familias, estudiantes, sociedad, pares, escuelas, profesores, universidades y administraciones, pero, sobre todo, al Estado y las políticas de estado, con el objetivo de que los planes de estudios, los contenidos, la internacionalización y la investigación aporten realmente a la formación de personas y a la capacitación de profesionales.

De acuerdo con estas opiniones y afirmaciones se puede decir que, en los diálogos y discusiones acerca de si las matemáticas son un problema o una oportunidad en la formación de los ingenieros de este siglo, se debe incorporar a empleadores, profesionales y profesores, porque las propuestas de cambio no deberían ser presentadas solamente por pedagogos, eruditos y *expertos*. Se requiere que los realmente implicados y conocedores aporten visiones e interpretaciones con base a sus experiencias, necesidades y prácticas. En estos grupos transdisciplinares, además de analizar la pertinencia de los modelos de enseñanza y las didácticas en el aula, hay que incluir temas como la capacitación y la longevidad de profesores y administrativos. Porque el uso cuidadoso de TI puede hacer posible, incluso deseable, aplicar la teoría matemática antes de entender la técnica. Por eso es que cobra relevancia el papel de actores como las asociaciones profesionales y los organismos de gobierno, para que asuman un rol más intervencionista y para que las universidades se atrevan al cambio.

* 1. **Influencia de las matemáticas en la decisión de estudiar ingeniería y en la empleabilidad**

La mayoría de participantes sostienen que no se puede desconocer el importante rol que juegan las matemáticas en la formación de ingenieros, tanto en la selección de un programa, como en el desempeño durante los estudios y en el ejercicio profesional. Pero, asimismo, afirman que el nivel de los procesos de aprendizaje, los contenidos y la actitud desmedida de muchos profesores, le añaden un nivel de exigencia que, en muchas ocasiones, desmotiva. Desde finales del siglo XX se experimenta una disminución creciente de interesados en estudiar ingeniería [2], una tendencia en la que está fuertemente implicada la matemática. Entre otras cosas, y de acuerdo con profesores y directivos, porque los estudiantes llegan sin un conocimiento adecuado; por el uso de computadores para el cálculo mecánico (empleadores y organizaciones de profesionales); y la obsolescencia de los planes de estudios y la falta de didácticas que convoquen a la nueva categoría de estudiantes (estudiantes y profesionales).

Aunque este problema hace parte de la agenda en diversas discusiones, las soluciones han sido implementar cambios en los planes de estudios, pero, al parecer, no están logrando ese objetivo [12] y, mientras tanto, el ingreso, la permanencia y la graduación en ingeniería es inferior a la mayoría de otros programas, lo que genera escases de profesionales en gran parte del mundo [13], a la vez que la industria requiere cada día mayor cantidad de profesionales en el área [14]. Para los profesionales esta situación se debe a que los objetivos de capacitación de las instituciones son diferentes a las necesidades del mundo, donde predomina las habilidades prácticas sobre las teóricas.

La cuestión es que los empleadores tienen necesidades y objetivos claros acerca del tipo de profesionales que requieren, los estudiantes manifiestan su concepto negativo sobre las matemáticas, y los profesores (mayores) y directivos mantienen su pensamiento de continuidad en el modelo de enseñanza, aunque el campo de acción del ingeniero es muy diferente del que se dibuja en el aula. Por lo tanto, todavía no se logra identificar la realidad: la mayoría de instituciones y profesores esperan que los profesionales aporten desde la ciencia y la investigación, mientras que la industria necesita ingenieros lógicos, prácticos, de respuesta inmediata y de soluciones efectivas. A su vez, los organismos de estado guardan un silencio cómplice, como esperando a que se solucione mágicamente el problema (estudiantes y profesionales).

Para algunos autores en la revisión de la literatura estos puntos de vista no tienen sentido en la realidad de este siglo [15] porque, mientras la sociedad espera que los ingenieros solucionen sus problemas, los gobiernos no estructuran políticas claras en este sentido y las universidades continúan capacitando con modelos que no responden ni a las expectativas de los estudiantes ni a los desarrollos tecnológicos. Pareciera como que la *comunidad de las matemáticas* no se ha enterado de que los ingenieros de este siglo tienen que pensar y obrar en un contexto totalmente diferente al del siglo pasado [7]. Debido a esto, el debate acerca de la cantidad, el momento y la forma de enseñar matemáticas se polariza cada vez más, mientras la profesión y el ejercicio de la ingeniería pierde importancia social y deteriora su imagen en el desarrollo de las naciones.

Por su parte los profesionales, quienes se sienten los más perjudicados por esta situación, solicitan una solución a la divergencia, porque ambas posiciones conciben al ingeniero desde nociones y necesidades diversas. Los empleadores sostienen que este debate se ha reducido a algo tan simple como encontrar una definición de qué es realmente ingeniería y qué hace un ingeniero. Los investigadores concluyen que todavía no hay claridad ni un sentimiento unánime en relación con las matemáticas y la ingeniería, porque los análisis se tergiversan y las discusiones sobre los procesos formativos no llegan a decisiones claras y concertadas [16]. La opinión de los profesores (menores) y de muchos profesionales, es que se debe definir un lenguaje común para alcanzar este consenso, de tal manera que se facilite el entendimiento de las partes.

Entre tanto, y mientras los empleadores sostienen que en la práctica se considera a la matemática computacional como una oportunidad que ayuda a expandir los límites de la ingeniería, los estudiantes y los profesionales consideran que, en la academia, es un universo problemático que destruye sueños. Los directivos se defienden argumentando con base en la poca preparación que brinda la escuela versus la necesidad de convocar y retener estudiantes en las facultades. Además, que el poco interés por estudiar esta disciplina y la falta de capacidades para ejercer como profesionales, se debe a que no desarrollan habilidades para manipular con fluidez y comodidad los simbolismos y el lenguaje matemático.

Para los empleadores el problema podría tratarse de manera diferente, es decir, la universidad debería reconsiderar la utilidad y necesidad de la matemática académica en la práctica ingenieril, porque desde finales del siglo XX su papel ha sufrido cambios sustanciales. Es decir, las matemáticas dejaron de ser un trabajo propio de ingenieros individuales, para evolucionar a una actividad transdisciplinar y en equipo, apoyada en computadores, y utilizan este argumento para determinar la utilidad o no de conocer las matemáticas teóricas para el desarrollo de la práctica.

Por su parte los profesionales, aunque consideran válido el argumento, exponen que la experiencia les ha demostrado que las matemáticas en la industria tienen muchos y diversos escenarios, lo que le adiciona un alto nivel de complejidad a cada situación. Para los investigadores consultados hay que sopesar no solamente la utilidad directa de la matemática teórica *en la práctica*, sino también la indirecta *para la práctica* [17]. Es decir, encontrar su papel formativo en el desarrollo del ingeniero, a la vez que su contribución al desarrollo profesional del mismo. Este análisis conlleva irremediablemente a determinar los contenidos que aportan en uno u otro sentido, porque, mientras se evidencia fácilmente el cambio en el uso directo de las matemáticas en la práctica, no lo es tanto para sus usos indirectos [18].

Por otro lado, para los profesores (mayores), algunos directivos y la mayoría de organismos de estado, hay que defender el lugar de las matemáticas y el modelo de enseñanza en ingeniería, porque es la manera más directa para desarrollar habilidades y capacidades para ser ingenieros. Mientras que los estudiantes, los profesionales y muchos empleadores cuestionan la eficiencia del modelo de enseñanza y la didáctica que emplean los profesores, porque que esa no es la manera de formar en la Nueva Era y porque no están en sintonía con los desarrollos tecnológicos y las necesidades de la industria en este siglo. Algunas asociaciones profesionales van más allá y opinan que los profesores son continuistas y conservadores, que no se esfuerzan por alinear su modelo de enseñanza y las didácticas con las necesidades de los estudiantes. Por su parte, para los investigadores [10, 14] los organismos de estado y la academia hacen poco por actualizar un sistema educativo obsoleto que no responde a las necesidades del siglo XXI.

Por eso se necesita que todos los actores lleguen a un entendimiento acerca de si las matemáticas son un desafío o una oportunidad para la ingeniería, y acerca de las estrategias que se debe implementar para cerrar las brechas: 1) entre las capacidades matemáticas que desarrolla la escuela y las necesidades en la universidad, 2) entre las metodologías académicas y las expectativas de los estudiantes, 3) entre el sistema educativo y la sociedad de la información, 4) entre el desarrollo tecnológico y los contenidos curriculares, y 5) entre la teoría y la práctica en ingeniería. Además, se debe responder a:

* ¿Qué tipo de conocimiento matemático necesitan los ingenieros de este siglo?
* ¿Cómo caracterizar el nivel mínimo de conocimiento que se puede considerar esencial para la ingeniería en este siglo?
* ¿Con base en qué se selecciona este conocimiento?
* ¿Cuál es el efecto del desarrollo tecnológico?
* ¿Qué, cuándo y cómo se deben enseñar matemáticas?
* ¿Cómo responder a las necesidades actuales en relación con metodologías y didácticas para enseñar matemáticas?
  1. **Reflexiones acerca de las metodologías y didácticas para enseñar matemáticas en ingeniería**

Para la mayoría de estudiantes y profesionales la educación en ingeniería pasa hoy por una especie de transición, en la que se discute acerca de la enseñanza de las matemáticas para esta disciplina y la aplicación que hacen los ingenieros. Para estos actores la mayoría de profesores, matemáticos y pedagogos que participan en las discusiones, se capacitaron en una época en la que no existían las herramientas actuales y los computadores no se habían popularizado en la práctica educativa e ingenieril. Actualmente, estos desarrollos son comunes y ofrecen nuevos y mejores servicios para el trabajo de los ingenieros [19]; por lo tanto, surgen cuestionamientos sobre el valor, la actualidad y la necesidad de las metodologías y didácticas que estos profesores emplean. De acuerdo con Nethercot [20], los ingenieros no necesitan dominar técnicas arcaicas ni realizar análisis en papel, porque para eso se inventaron los computadores. Pero, aunque necesitan saber cómo validar los resultados de la máquina, no se justifica la consulta de libros antiguos, ni didácticas de lápiz y papel sin utilidad práctica en el mundo real.

El asunto es que todavía se necesita que los ingenieros desarrollen habilidades matemáticas fundamentales para el ejercicio profesional, tales como el sentido de los números, la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva, el uso de escalas y órdenes de magnitud, los cálculos mentales y los principios de ingeniería basados en ideas matemáticas [21]. Pero otras han cambiado o han desaparecido, como lo afirman estudiantes, profesionales y algunos empleadores, tales como el cálculo manual, la memorización de fórmulas y ecuaciones, el análisis en papel y el trabajo solitario y disciplinar. Por otro lado, diferentes tipos de contenidos pueden ser relevantes en diferentes momentos de la ingeniería, por ejemplo, el cálculo es importante para apreciar principios básicos, pero, según los profesionales, en la práctica rara vez se necesita. Aun así, todavía hace parte de todos los planes de estudios de la disciplina, con el argumento de los profesores (mayores) de que desarrolla la apreciación analítica. En este punto los estudiantes y profesionales creen que puede ser cierto, pero, con el método de enseñanza y la didáctica que utiliza el profesor, no se alcanza ese objetivo y, por el contrario, desmotivan su estudio.

Al analizar las respuestas de los ingenieros en ejercicio se aprecia una valoración positiva del poder de las matemáticas, pero llaman la atención acerca de las limitaciones en la práctica. Entre otras cosas, la describen como una herramienta para modelar, calcular, predecir y diseñar, y le asocian características como fiabilidad y utilidad. Pero si no se utiliza las matemáticas computacionales los modelos pueden ser costosos debido al tiempo de los cálculos manuales, o a que el problema tenga un nivel de complejidad que dificulte resolverlo en el papel. En este punto surgen controversias, porque mientras los profesores (mayores) argumentan que fueron capacitados para hacerlo de esa manera, los estudiantes y profesionales sostienen que era otra época y que, si hoy existen los desarrollos tecnológicos, entonces por qué no utilizarlos. Para los investigadores [22, 23] este choque de épocas en el que cada bando esgrime ideas y puntos de vista diferentes, surge, entre otras cosas, a raíz de la obsolescencia del sistema educativo, la falta de actualización y un poco de comprensión de parte y parte.

En medio de todo se vislumbra un acuerdo: las matemáticas son necesarias en la capacitación de los ingenieros. El problema surge debido a que todavía no se define con claridad qué es ingeniería y cuáles, de los programas que se ofrece hoy como ingenierías, son realmente disciplinares, especializaciones o profesiones [24]. Para estudiantes y profesionales el asunto es que la matemática debe dejar de comunicar solamente conceptos, ideas e información desde el texto y en un dominio de procesos y conceptos abstractos con poca o ninguna aplicación real.

Para ellos, si se utilizara modelos de enseñanza y didácticas adecuadas, los estudiantes podrían desarrollar o potencializar el razonamiento disciplinado, de tal manera que se demuestre su potencialidad, tanto teórica como práctica. En esto parecen estar de acuerdo la mayoría de actores en la investigación, aunque para las asociaciones profesionales los significados concretos a cada término se convierten en otra arista de no-acuerdo. Por ejemplo, sostienen que no hay consenso sobre qué es ingeniería, matemáticas, enseñar, formar y evaluar, y que mientras no se resuelva estas *simplezas* los universos teórico-prácticos de las matemáticas serán tema central de debate.

De acuerdo con los ingenieros, las matemáticas no son un área problemática en la ingeniería, pero tampoco sienten la necesidad de tanto conocimiento teórico en la práctica. Entre otras cosas, porque la industria espera que tengan habilidades y capacidades para comprender y utilizar la tecnología que requieren, pero, además de esta falencia, encuentran deficiencias en su comunicación verbal y escrita. Por su parte, los empleadores no entienden por qué la academia continúa enseñando matemáticas que el profesional no necesita. Sostienen que el ingeniero de este siglo debe ser más social, más humano y más filósofo que *autómata* y *programado*, porque lo que ellos más necesitan es capacidad para comunicar lo que piensan, para gestionar el conocimiento, para trabajar en equipos transdisciplinares y para buscar soluciones multidimensionales de cuenta propia. Porque los computadores se encargan de todos los cálculos y modelos que requieran, y lo que necesitan es ingenieros capacitados para utilizar el software, entender los algoritmos y formular soluciones sensatas e interpretaciones sensibles.

Otra percepción que tienen los profesionales es que deben tener confianza en los cálculos de las máquinas, y para eso necesitan cierto nivel de matemática teórica, pero los contenidos son casi completamente teóricos, las metodologías y las didácticas son obsoletas, las aplicaciones se llevan a cabo en ejercicios, no en problemas o proyectos, y los profesores no se actualizan a las necesidades de este siglo. Estas apreciaciones confirman otras investigaciones en las que, para los empresarios, la necesidad de conocimiento matemático para resolver la gran mayoría de retos en la industria se reduce a aritmética y estadística [23], porque los computadores se encargan de lo demás.

Los empleadores dicen que se necesita un equilibrio entre la formación del ingeniero y las necesidades empresariales, es decir, no todos requieren ingenieros con amplias habilidades analíticas, porque la mayoría de problemas exigen una combinación de éstas y otras. Esto es un llamado de atención a la academia para que no intente formar como en una línea de producción, desconociendo que el nivel de capacidades teórico-prácticas se inclina de diversas maneras en el mundo real [25].

Otro aspecto positivo para los participantes en esta investigación se relaciona con las iniciativas en algunas instituciones para desarrollar habilidades de gestión del conocimiento en los ingenieros. De acuerdo con los directivos, más allá del conocimiento matemático o científico, que poco utilizan, los profesionales necesitan acceder, compilar, analizar y gestionar el conocimiento que potencialmente sea más relevante para su ejercicio.

Esta preocupación va de la mano con el incremento del conocimiento, por ejemplo, el en siglo XIX se podía estudiar toda la tecnología existente en un proceso de aprendizaje convencional, pero hoy se necesitan varios y, muchas veces, ni así se logra abarcar el conocimiento existente. Para los estudiantes y algunos profesionales no todo es positivo, porque este argumento lo utilizan las universidades para estructurar programas en áreas específicas de ingeniería, aunque muchas son especializaciones que un ingeniero puede tomar cuando necesite de ese conocimiento.

Por su parte, los directivos argumentan que, debido a esta situación, no saben qué enseñar, porque la industria solicita profesionales especializados y, por supuesto, eso es algo que no se puede lograr en un programa tradicional. Pero, de acuerdo con los profesionales, ellos no necesitan cinco o seis años de educación para graduarse en una *sub-área* ingenieril, porque lo pueden lograr de cuenta propia. La cuestión es que la universidad se debería preocupar por capacitar profesionales y formar personas, en lugar de educar, entrenar o desarrollar competencias, porque en este siglo se necesita más profesionales capacitados para gestionar la cantidad de conocimiento que tienen a su disposición, y capaces de ponerlo en producción en su trabajo [26].

* 1. **El rol del sistema de educación**

En la Revolución Industrial se esperaba que los estudiantes aprendieran mucha matemática y desarrollaran habilidades para aplicarla en las fábricas [1], además de utilizarla como forma lógica de pensar, adquirir habilidades de pensamiento, comprender el mundo físico, aplicar intuición, codificar información, y otras tantas. En esa época la ciencia había convencido a la sociedad de que la matemática era el *músculo intelectual* de la revolución y que por eso los profesionales requerían muchos cursos teóricos para utilizarlo. Es decir, en ese momento eran más importantes los aspectos teóricos que los prácticos y los estudiantes debían recibir muchos cursos en el aula entes de llegar a la práctica.

De acuerdo con los empleadores y los profesionales en esta investigación, aunque actualmente la teoría es importante, los desarrollos tecnológicos demuestran que esa relación es directa, por lo que sería mejor abordarlos conjuntamente. Para ellos la realidad de la ingeniería no es que los profesionales naveguen por textos en busca de ecuaciones para realizar pruebas en papel, porque los computadores realizan este trabajo. Lo que se necesita es que desarrollen la capacidad para interpretar el significado de las matemáticas, no que la memoricen y apliquen cual autómatas, y ahí es donde se debe concentrar el sistema de educación. Los investigadores sostienen que esto no significa acabar el trabajo manual, sino de alcanzar el equilibrio entre teoría y práctica para administrar y gestionar, autónomamente, el conocimiento necesario [4], y eso se lograría con un cambio sustancial en el sistema, es decir, acabar con el *sistema de educación* e implementar un *sistema de formación* [6]. Además, que los ingenieros interpreten el significado de las matemáticas para comunicar su trabajo no ha disminuido con la tecnología, lo que sucede es que no requieren lápiz y papel para hacerlo, porque se hacen comprender hasta desde una hoja de cálculo [17].

Otro consenso muy generalizado entre los entrevistados en la investigación es que los ingenieros deben recibir una educación matemática, no porque la necesiten o utilicen en su ejercicio profesional, sino porque les desarrolla un modo de pensar diferenciador: ingenio, lógica, abstracción, dimensionalidad y capacidad de integrar y des-integrar lo que necesiten, pero que se necesita un manejo más estructurado de la tecnología en el proceso.

En este sentido, la apreciación de los profesionales y estudiantes es que los profesores (mayores) no se apartan de algunos procesos de aprendizaje, como geometría euclidiana, porque fueron de utilidad en su época, aunque actualmente la tecnología podría suplirlos. Opinan que sería mejor desarrollar otras habilidades y destrezas que demanda la sociedad, y dejar los cálculos mecánicos para los computadores. Para los empleadores, en las discusiones actuales sobre el sistema educativo todavía no se llega a un acuerdo, porque las posturas son intransigentes y porque los gobiernos no han querido intervenir como deberían.

En este sentido, la mayoría de estudiantes y profesionales proponen, por ejemplo, que se les demuestre el potencial teórico de las matemáticas a través de problemas prácticos (no de ejercicios); que se integre con otros procesos de aprendizaje; que los profesores tengan experiencia en la industria, que valoren y potencialicen el conocimiento que tienen los estudiantes y que innoven las didácticas y la evaluación; y otras más. Además, que esta área se debe *practicar* para aprenderla, que requiere tiempo y que se necesita de pausas para asimilarla y comprenderla, y que hay considerar si la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva solamente se adquiere o desarrolla estudiando matemáticas.

Algunos comentan que esa capacidad la lograron con la programación de computadores, por lo que sugieren una adecuada integración entre cursos tradicionales y procesos de aprendizaje nuevos para estructurar un plan de estudios que llame la atención de los estudiantes. La solución no es fácil, en parte porque los profesores parecen no tener voluntad de cambio y continúan con métodos y didácticas tradicionales, y porque los organismos de estado no intervienen, o *remiendan* el sistema de educación con reformas ajustadas a los planes del gobierno de turno [12].

Ante este panorama los investigadores se preguntan qué hacer, porque motivar a los estudiantes para que ingresen, incentivarlos para que no dejen los programas y brindarles una adecuada capacitación no es suficiente [11]. También hay que atender cuestiones como las que mencionan estudiantes, profesionales y empleadores: que los organismos de regulación y control incorporen nuevas condiciones para aprobar y acreditar programas. De acuerdo con los directivos, las exigencias en investigación, educación y servicios crean un escenario en el que no saben a qué dar prioridad, cómo contratar o qué tipo de profesor es mejor para responder a sus funciones. Mencionan, por ejemplo, que los organismos de estado incentivan (obligan) la contratación de profesores con Doctorado que hablen inglés para mejorar la calidad de la educación y, aunque se alude como una sugerencia, los empleadores, estudiantes y profesionales lo cuestionan, porque nadie puede demostrar que así se alcanza mejores niveles educativos. Además, la mayoría de estos profesores tienen una orientación hacia la investigación, por lo que su experiencia en la industria es casi nula y la dedicación a la docencia no es su prioridad.

Otro argumento de los directivos es que las universidades se reestructuran para reducir costos en el sentido de compartir recursos y fusionar departamentos. Esto les suma un nuevo desafío, porque decidir quién será el responsable de, por ejemplo, atender los procesos de aprendizaje en matemáticas, se convierte en tema de discusión. Entonces, deben elegir entre aprovechar los matemáticos vinculados o contratar ingenieros, lo que incrementa costos. Los profesionales sostienen que no lo pueden ver una como una imposición, porque al parecer los directivos solamente tiene disposición y sentido económico, y no le dan verdadera importancia al perfil de quien enseña matemáticas en ingeniería. Este interés disminuye aún más porque con el número de estudiantes que ingresan este asunto no es rentable. Para los profesionales, este escenario lleva a que los matemáticos tomen estos procesos de aprendizaje con una visión teórica, porque no tienen la formación ni la experiencia en la labor ingenieril, y los estudiantes no reciben una adecuada orientación sobre la importancia de la práctica matemática.

Los autores consultados adicionan que el sistema de educación asume que la enseñanza de las matemáticas es asunto de la educación superior [6, 15], donde los estudiantes culminan su preparación para el trabajo. El asunto es que no se puede ubicar solamente en una fase de la educación, porque es responsabilidad de todas, es decir, es tan responsable la primaria, como la secundaria y la terciaria. Los profesores consultados afirman que la universidad se encuentra en una encrucijada debido al nivel de comprensión matemática de los estudiantes que ingresan: no han desarrolla fluidez ni precisión para realizar cálculos, su capacidad de análisis es deficiente, no tienen una concepción estructurada sobre qué es matemática y cuál es su utilidad, y la mayoría llega esperando que la exigencia sea la misma a la que están acostumbrados. Por eso es que los directivos se defienden argumentado que, en su necesidad de retenerlos, la universidad ha tenido que recurrir a diversas estrategias para *nivelar* su conocimiento matemático, tales como asesorías personalizadas, oficinas de orientación y acompañamiento, en las que también deben realizar inversión.

Otro tema que tratan los profesionales y varios de los autores en la revisión es que, al parecer, no todos los problemas de la ingeniería se le pueden atribuir a la enseñanza de las matemáticas. Mencionan, por ejemplo, la baja popularidad de la ingeniería en las últimas décadas, poco apoyo estatal, un sistema educativo obsoleto, falta de experiencia profesional de los profesores, didácticas desactualizadas y creer que todos los estudiantes poseen el mismo nivel de conocimiento, entre otras. En lo que la mayoría está de acuerdo es que las matemáticas que se enseñan hoy no son adecuadas para todos los programas de ingeniería, y que se necesita diferenciarlas para que el estudiante le encuentre utilidad en el plan de estudios.

Para los autores este problema no es nuevo, porque en investigaciones previas [1, 5] se llegó a las mismas conclusiones. Lo que preocupa es que este problema crece con la nueva categoría de estudiantes, porque su forma de ver el mundo y de priorizar las cosas en su proyecto de vida es muy diferente a las de otros. Además, se percibe irregularidades entre lo que se espera de estos estudiantes y lo que realmente desarrollan, porque, entre otras cosas, su modelo de aprendizaje es diferente, debido a que tienen a su alcance desarrollos tecnológicos revolucionarios. Estos cambios generacionales son lentos, pero ni el Estado, ni la universidad, ni la escuela, ni la sociedad y, lo más grave, ni el sistema de educación se dieron cuenta a tiempo para realizar las actualizaciones necesarias. Por su parte, los profesores de matemáticas necesitan tiempo para estructurar los modelos de enseñanza y las didácticas para cada grupo y, si omiten estos cambios en el sistema van a complicar más los problemas que se evidencian.

Además, los investigadores relacionan el mito que tienen los estudiantes sobre las matemáticas, porque la escuela y la sociedad los ha convencido de que son lo más importante de su educación, pero que son muy difíciles [22]. Los directivos se refieren a esto como algo que la universidad debe enfrentar, pero que el proceso de solución toma tiempo y consume recursos y, por lo tanto, no se pueden hacer responsables por el éxito que puedan lograr. La solución no son planes de choque de último momento, con procesos de aprendizaje relámpago o charlas motivacionales, ya que el problema lo debe atender el sistema de educación desde la escuela, porque eliminar el mito no se logra en un periodo educativo.

Los estudiantes y los profesionales reiteradamente se refieren a las diferencias generacionales entre profesores y estudiantes, en el sentido de que generan distanciamientos entre ellos porque, para los primeros, la matemática es lo más importante, mientras que los otros las asumen como un proceso de aprendizaje más. En cuanto a la integración curricular con otros procesos de aprendizaje, los profesores afirman que son responsables de lo que *enseñan* y no tienen tiempo para responder por otras obligaciones. Los estudiantes sostienen que viven en un mundo digital en el que se integra todo lo que necesitan, pero que en la universidad asisten a procesos de aprendizaje como *islas* a las que solamente tienen que asistir, ganar los *exámenes* y nada más. Pero su mismo espíritu inquieto les indica que falta algo: ¿dónde se puede aprovechar la matemática? A esto los profesionales opinan que los profesores son responsables de asesorarlos y acompañarlos para transformar la información en conocimiento, que pueden utilizar para resolver los problemas.

Estos dos universos generacionales necesitan un punto común en el que se conjuguen intereses, intenciones y capacidades, porque los nuevos simbolismos y necesidades en ingeniería y matemática los están desbordando. Los empleadores y profesionales sostienen que este asunto debe ser revisado en la educación ingenieril desde contenidos, metodologías, métodos y didácticas, porque los problemas complejos de este siglo requieren profesionales con una visión global, transdisciplinar y multidimensional. Por su parte, los investigadores se interrogan por: 1) dado el desarrollo tecnológico de este siglo, ¿en qué medida se debe continuar utilizando el lápiz y el papel como didáctica principal para desarrollar habilidades matemáticas? [26]; 2) con respecto a las habilidades y capacidades de la actual categoría de estudiantes, ¿se debe continuar exigiendo la memorización de la matemática como indicador de aprendizaje? [12]; 3) teniendo en cuenta la diversidad de estudiantes en el aula, ¿se deben tratar como si fuera un grupo homogéneo y con iguales capacidades e intenciones por la ingeniería? [11]; y 4) ¿cuál es la realidad de las diferencias generacionales entre profesores y estudiantes con respecto al grado de valor de las matemáticas en ingeniería? [15].

# CONCLUSIONES

Se necesita llegar a un acuerdo en el sentido de determinar con claridad qué es ingeniería, para organizar la oferta de programas y estructurar contenidos adecuados en matemáticas para ellos.

Existe un acuerdo generalizado en que los estudiantes de ingeniería necesitan desarrollar capacidades matemáticas, la preocupación es sobre qué tipo de matemáticas requieren y cuándo.

El sistema de educación necesita una profunda restructuración, al punto que la mayoría de participantes está de acuerdo en que es mejor conformar un nuevo *sistema de formación*, que se desempeñe realmente como sistema, que involucre y exija responsabilidades para cada uno de sus sub-sistemas.

Se debe definir claramente la educación matemática, la regulación, los marcos de ingreso y egreso, la actualización en el ejercicio profesoral y profesional, su articulación con los otros procesos de aprendizaje en ingeniería, y un marco de evaluación para determinar el logro de los resultados de aprendizaje.

Los contenidos teóricos y prácticos son prioridad, porque la valoración que hace la academia y la industria está lejos de llegar a un punto de acuerdo: para los primeros es importante que los ingenieros dominen la conceptualización matemática, para los segundos lo que se necesita es que desarrollen una capacidad lógico-interpretativa y abstractiva para analizar, comprender y utilizar los resultados de los cálculos computacionales.

Hay que evaluar las metodologías y las didácticas para enseñar matemáticas, porque los estudiantes de hoy tienen expectativas diferentes a los de antes y hay que motivarlos a estudiar ingeniería. Esto incluye un cambio de mentalidad en los profesores, una amplia reestructuración a los planes de estudios e internacionalizar los contenidos, además de mejorar la apreciación social de la ingeniería, la regulación del ejercicio profesional y el nivel salarial.

Luego de la revolución tecnológica del siglo XX el Nuevo Orden Mundial impactó todas las áreas del desarrollo social, entre ellas la educación. Hoy hay que considerar a la tecnología como un aliado para enseñar y potencializar las matemáticas, tanto en la escuela como en la industria, es decir, hay que pasar del cálculo de lápiz y papel al computacional, porque es una herramienta cotidiana para los ingenieros.

La ingeniería debe volver a ser una profesión con alto valor y reconocimiento social y empresarial, que se ha perdido por la oferta desmedida de programas, muchos sin clasificación ingenieril, y por la falta de liderazgo y políticas de estado. Además, las asociaciones profesionales no asumen su responsabilidad y se alinean con organismos de estado y universidades para darle continuidad y apadrinar sus iniciativas.

Si los profesores continúan trabajando con *ejercicios* y no con *problemas* para capacitar en matemáticas, no les permitirán a los estudiantes potencializar e innovar su conocimiento en TI. Una alternativa, un poco más atractiva, es la utilizar el Aprendizaje Basado en Retos y en Proyectos,

porque se crearían desafíos para que los estudiantes integren las matemáticas con los otros procesos de aprendizaje que reciben.

La percepción generalizada, que demuestran los estudiantes en esta investigación acerca de las matemáticas en los planes de estudios de ingeniería, es que son una imposición y no una necesidad. Esto se debe en parte a la cantidad de programas ofrecidos como ingeniería, cuando no lo son, y que el núcleo de matemáticas se estructure alrededor de los planes de estudios de programas que sí son ingeniería.

La ingeniería es un área del conocimiento que tiene diversas interrelaciones con otras áreas, por lo tanto, se debería capacitar a sus profesionales aprovechando principios del Pensamiento Complejo, tales como Transdisciplina y Multidimensionalidad [25].

# REFERENCIAS

1. Kent P. y Noss R. (2003). Mathematics in the University Education of Engineers - A Report to The Ove Arup Foundation. The Ove Arup Foundation.
2. Serna E. y Serna A. (2013). Is it in crisis engineering in the world? A literature review. Revista Facultad de Ingeniería 66, 199-208.
3. Järvinen et al. (2014). Philosophy of Computer Science. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software 4(1), 34-41.
4. Selvakumar S. y Rajaram K. (2015). Achieving Excellence in Engineering Education through Improved Teaching- Learning Process. En International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering. Zhuhai, China.
5. Lee J. y Dion A. (2006). The difference between engineering education at public and private institutions. University of Michigan.
6. Serna E. (2015). Por qué falla el sistema de educación. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
7. Bassett P. (2005). Reengineering Schools for the 21st Century. Phi Delta Kappan 87(1), 76-83.
8. Serna E. y Serna A. (2015). Crisis of Engineering in Colombia - State of the art. Revista Ingeniería y Competitividad 17(1), 63-74.
9. The Royal Academy of Engineering. (2007). Educating Engineers for the 21st Century. The Royal Academy of Engineering.
10. Rüütmann T. y Vanaveski J. (2009). Effective strategies and models for teaching thinking skills and capitalizing deep understanding in engineering education. Problems of education in the 21st century 17, 176-187.
11. Lynn L. y Salzman H. (2007). The real global technology challenge. Change 39(4), 8-13.
12. Christensen R. et al. (2014). Student perceptions of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) content and careers. Computers in Human Behavior 34, 173-186.
13. Metaute P. y Serna A. (2015). Software metrics, tools quantifiable support to implement of decisions. Revista Actas de Ingeniería 1, 208-213.
14. Serna E. y Serna A. (2015). Engineering and mathematics: Reality of historical relationship. En Murcia E. y Henao J. (eds.), Las ciencias básicas como eje articulador del conocimiento. Universidad Católica de Pereira.
15. Serna E. (2011). Problems, processes and institutional mechanisms to promote innovation in training and learning. En Becerra F. (ed.), La innovación como fundamento del desarrollo empresarial y regional. Universidad Nacional de Colombia.
16. Serna A. (2013). Systems Engineering Analysis. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software 3(1), 6-11.
17. Vigo J. et al. (2015). Recent trends on computational and mathematical methods in science and engineering.
18. Journal of Computational and Applied Mathematics 275, 213-215.
19. Longrew J. et al. (2014). The art and science of Systems Engineering. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software 4(2), 27-34.
20. Mossbrucker J. et al. (2006). Creating a ‘global algorithm’ for engineering education. En American Society for Engineering Education Annual Conference. Chicago, USA.
21. Nethercot D. (2000). On the teaching of structural engineering. En Conference on Civil and Structural Engineering Education in the 21st Century. University of Southampton, UK.
22. Serna E. y Serna A. (2015). Knowledge in engineering: A view from the Logical Reasoning. International Journal of Computer Theory and Engineering 7(4), 325-331.
23. Barba L. et al. (2016). Guest Editorial: Flipped Classrooms in STEM. Advances in Engineering Education 5(3), 1-6.
24. Serna E. y Serna A. (2016). La internacionalización como prospectiva de formación. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
25. Morell L. (2010). Engineering Education in the 21st Century: Roles, Opportunities and Challenges. Recuperado: https://luenymorell.files.wordpress.com/2010/12/morell-eng-edu-in-21st-cent-roles-opport-and-challenges.pdf
26. Serna E. (2015). Ciencia y Pensamiento Complejo: Desarrollo Transdisciplinar de un Paradigma. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
27. Serna E. (2014). Educar o formar en el Siglo XXI: He ahí el dilema. En TEDx: El valor de las ideas. Bogotá, Colombia.

1. Títulos obtenidos. Contacto: *correo* [↑](#footnote-ref-1)
2. Títulos obtenidos. Contacto: *correo* [↑](#footnote-ref-2)
3. Títulos obtenidos. Contacto: *correo* [↑](#footnote-ref-3)