



# INGENIERÍA Y MATEMÁTICAS: REALIDAD DE UNA RELACIÓN HISTÓRICA<sup>1</sup>

Engineering and mathematics:  
Reality of a historical relationship

---

<sup>1</sup> Edgar Serna M. Instituto Tecnológico Metropolitano; email: [eserna@eserna.com](mailto:eserna@eserna.com)  
Alexei Serna A. Corporación Universitaria Remington Medellín; email: [alexeiserna@gmail.com](mailto:alexeiserna@gmail.com)



## Resumen

La ingeniería es un arte y una ciencia en la que se necesita utilizar la imaginación, el ingenio y la lógica para diseñar y construir productos. Pero en este siglo se requieren ingenieros con un mayor conocimiento transdisciplinar y con mejores habilidades, destrezas y capacidades especializadas para aplicarla. Debido a que se desempeñan en varios campos y a que las empresas solicitan diversos perfiles, no todos demandan la misma profundidad e igualdad de conocimiento en ciencias y matemáticas. Por otro lado, el desarrollo y uso de las áreas de TI han transformado las especialidades y necesidades empresariales en ingeniería, y crearon oportunidades en áreas relacionadas tanto en la forma en que adquieren o desarrollan habilidades sus estudiantes, como en la manera de utilizarlas. En este nuevo escenario se presenta un amplio debate sobre qué habilidades matemáticas deben desarrollar los ingenieros, cómo y cuándo enseñarla y si todas las disciplinas consideradas ingenieriles necesitan el mismo volumen de ellas. Con el objetivo de aportar a este debate, investigadores del MIT y California State University, en los Estados Unidos, y del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) y la Corporación Universitaria Remington (CUR), en Colombia, realizaron una investigación colaborativa para responder algunas inquietudes relacionadas, especialmente para determinar la necesidad de las matemáticas en los programas de ingeniería.

## Palabras clave

Sistema De Educación, Educación Superior, Educación, Formación, Empleabilidad.

## Abstract

Engineering is an art and a science in which it is needed to use the imagination, ingenuity, and logic to design and build products, and in this century engineers with a greater disciplinary knowledge and better skills are required, as well as abilities, and specialized skills to apply it. However, due to the fact that working in different fields, and that companies look for different profiles, not all require a deep and equal knowledge of science and mathematics. The development and use of the areas of IT and computers have transformed specialties and engineering business needs, and created opportunities in related to different areas, both in the way the students acquire or develop skills, and how to apply them. In this new scenario there has been a debate about which math skills should engineers develop, how and when to teach them, and if all disciplines considered engineering need the same development in the process. Aiming to contribute to this debate, researchers from MIT and California State University, in the United States, and the Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) y la Corporación Universitaria Remington (CUR), in Colombia, conducted a collaborative research in order to answer some related concerns, especially to determine the need of mathematics in engineering programs.

## Key words

Education System, Higher Education, Education, Training, Employability.

## I. INTRODUCCIÓN

El mito con las matemáticas es que el futuro de la humanidad depende de privilegiados que tengan habilidades superiores en ellas. Esto se remonta, por lo menos, a la década de los 60, cuando los rusos superaban a los norteamericanos en la carrera espacial, porque eran mejores en matemáticas y ciencias, o cuando los alemanes y los japoneses lo hicieron en los años 80. Hoy la cuestión es con indios y chinos, porque para muchos, son los mejores en matemáticas y ciencias. La realidad es que, es difícil encontrar a alguien que, para ser profesional y eficiente en su trabajo, utilice algo más que una hoja electrónica y las matemáticas de la secundaria: aritmética y un poco de álgebra, estadística y programación.

Una cuestión muy diferente son las habilidades matemáticas que deben poseer quienes trabajan como científicos e ingenieros, y cuánta matemática realmente necesitan. Pero se reduce tanto este número que la gran mayoría de ellos solamente utiliza una hoja electrónica y las matemáticas de la secundaria. Esto sugiere que un amplio porcentaje de los empleos en los que se requieren títulos avanzados, están utilizando este requisito simplemente como un filtro. En el mundo existe una realidad que no se puede ocultar y que ha sido investigada por diversos autores: si se analizan las tareas que actualmente desempeña la mayoría de ingenieros, egresados de las facultades de ingeniería de diversos países del mundo, el porcentaje de los que realmente se ocupa en ingeniería en lugar de hacerlo en gestión, administración, dirección, docencia, o asesoría es inferior al 20%, y al 10% en muchos países [1], [2]. Esto quiere decir que únicamente ellos podrían estar utilizando un poco más de matemáticas que la gran mayoría.

Para los defensores de los extensos currículos de matemáticas en la universidad, esta es una conjetura que necesita resolverse con estadísticas sólidas y demostraciones en profundidad. Por eso es que el contenido que aquí se presenta se basa en numerosos datos recopilados mediante entrevistas a científicos e ingenieros, y a profesores de ciencias, ingeniería y matemáticas, mediante un trabajo compartido con investigadores del MIT y de California State University. La cuestión es que aceptar esta conjetura tendría implicaciones educativas revolucionarias. En particular, se socavaría la legitimidad de exigirles a los estudiantes la aprobación de una cantidad de cursos en matemáticas para el grado, solamente porque estudian ingeniería y así debe ser. Ese volumen de matemáticas realmente lo necesita una pequeña fracción de la fuerza laboral en esta disciplina.

Los argumentos que esgrimen los programas de ingeniería para defender ese volumen de matemáticas son: 1) *las matemáticas son fundamentales para una educación superior seria*. Puede que esto sea cierto, porque para comprender, analizar y resolver

algunos de los problemas ingenieriles se requiere un razonamiento lógico sólido. Por desgracia, ese tipo de profesionales son una fracción de la cantidad de egresados de la educación superior, y aun así, para el sistema educativo es razonable y viable insistir en que todos los estudiantes de ingeniería tienen que recibir el mismo nivel de matemáticas. Por supuesto que debe estar en el currículo, pero para quienes se dedican a la ciencia o para programas ingenieriles que realmente la emplean: civil, mecánica, militar, electrónica, ... No se puede generalizar, porque ya no estamos en la Era Industrial cuando todos los estudiantes tenían que ser competentes en todo. La realidad de hoy es diferente, porque los ingenieros necesitan desarrollar otras destrezas, habilidades y capacidades que dependen de su especialidad. 2) *Las matemáticas ayudan a pensar con claridad.* La valoración de los entrevistados a este respecto es muy baja, y la mayoría lo consideran un desatino. En deportes existe un concepto acerca de las habilidades: *si deseas mejorar tus habilidades en tenis, no practiques béisbol.* Lo mismo puede decirse acerca de lo intelectual, porque en cualquier caso el desarrollo de habilidades matemáticas no es directamente proporcional al volumen de cursos. Por otra parte, las matemáticas son de poca o ninguna utilidad en la mayoría de los problemas de la vida ordinaria [3].

Por todo esto sería más beneficioso, para los profesionales en ingeniería, que la universidad les desarrollara habilidades, destrezas y capacidades para comprender el mundo a través de una visión lógica [4], en vez de atiborrarlos con una cantidad de cursos de matemáticas que: ni le desarrollan su razonamiento lógico, porque están orientados a memorizar fórmulas sin sentido, ni les ayudan a ser verdaderamente lógicos, porque la lógica matemática se imparte sin orientación práctica y camuflada al interior de dichas fórmulas. Las matemáticas son necesarias, pero solamente para quienes las necesitan o las quieren. La realidad es que no todos los estudiantes de ingeniería la requieren en ese volumen [5]. En este artículo se describen los resultados de la investigación que sustentan las afirmaciones anteriores.

## II. METODOLOGÍA

La investigación de la cual surge este artículo se desarrolló entre 2013 y 2014. Se diseñó una encuesta en línea para aplicar a estudiantes, profesionales, administradores educativos, empleadores y órganos de control, relacionados con la ingeniería y ubicados en Estados Unidos, China, Alemania, India, Inglaterra, Japón, Colombia, Noruega y Australia. En total se recibieron respuestas de 2.345 empresarios, 7.650 ingenieros, 9.540 estudiantes, 145 universidades y 43 organizaciones de ingenieros. El 100% de la población está relacionada con alguna actividad ingenieril, y la muestra se seleccionó de una base de datos obtenida con la colaboración de la Asociación de Ingenieros Civiles de los Estados Unidos. La invitación a participar se envió vía correo electrónico.

La información colectada se analizó aplicando cruce de variables y correlación directa entre resultados buscados y obtenidos. Debido a que el volumen de datos superaba la capacidad del grupo de análisis, se decidió estructurarlos mediante una matriz de acercamiento conceptual, es decir, se definió un concepto central y a su alrededor debían orbitar los datos. Al final se seleccionaron los más cercanos al eje de rotación del concepto y con ellos se hicieron los análisis finales que se presentan a continuación.

### III. ¿QUÉ ES INGENIERÍA?

Este es un debate que gira alrededor de definiciones contradictorias acerca de qué es un ingeniero, porque existen diferentes concepciones de esta profesión, no solamente entre países sino también dentro de ellos. En el ámbito académico y profesional, un ingeniero se define como una persona capaz de utilizar el conocimiento científico, especialmente en matemáticas y ciencia, para resolver problemas del mundo real. Sin embargo, esta definición dificulta inventariar la población ingenieril, porque no se tiene claridad acerca de cuántos ingenieros realmente lo hacen. En diversos estudios e informes se utilizan múltiples definiciones para esta profesión: es una persona que trabaja en una ocupación de ingeniería; un individuo cuyo grado más reciente se encuentra en una disciplina ingenieril tradicional; o una persona que trabaja en una posición que requiere conocimientos específicos de ingeniería [6, 7]. Por otro lado, tradicionalmente la ingeniería se ha dividido en especialidades: civil, mecánica, eléctrica, y así sucesivamente. Aunque en las últimas décadas, disciplinas como las Ciencias Computacionales y TI han aumentado su popularidad en todo el mundo, las instituciones académicas en países como Estados Unidos están divididas en cuanto a si estas especialidades deben estar afiliadas a las facultades de ingeniería, y raramente conceden grados en ellas. Pero en la mayoría de países, especialmente en los latinoamericanos, automáticamente se vinculan a estas facultades, al parecer únicamente porque suena muy armonioso el apellido *ingeniería*.

Aunque importantes universidades de Estados Unidos ofrecen grados en Ciencias Computacionales, a través de sus facultades de ingeniería, cientos de otras los ofrecen por fuera de ellas, especialmente vinculados a las facultades de Artes y Ciencias. Estas distinciones hacen más difícil poder definir y distinguir a la ingeniería como área de conocimiento científico. Pero en Latinoamérica, China e India estos profesionales se gradúan desde las facultades de ingeniería, y en la mayoría de instituciones representan el más alto porcentaje de egresados. Las razones para estas diferencias es que, en estos países, la educación en áreas relacionadas con los computadores, es mucho más económica que en ingenierías como la civil o la mecánica, porque comparten los llamados cursos comunes, entre ellos los de

matemáticas, sin importar que en su perfil de egreso no la necesiten para el ejercicio profesional.

Además, algunos se enfrentan a una dificultad para determinar qué o quién debe ser considerado como ingeniero. Por ejemplo, en las entrevistas en China para esta investigación, se constató que el modelo de desarrollo soviético les proporcionó asesores, que fijaron el término ingeniería en muchas instituciones y programas relacionados con la ciencia y la tecnología, pero que necesariamente, no tenían contenidos de ingeniería. El legado de este sistema significó que algunos programas de ingeniería no podrán educar o incluso graduar *ingenieros reales*. Después de evaluar cuidadosamente el panorama educativo en estos países, se pudo constatar de manera objetiva que la educación de ingenieros, en disciplinas que para otros no son ingeniería, se imparte y mide con el mismo racero que para las ingenierías tradicionales. Es decir, *ingeniería es ingeniería aunque no sea ingeniería*. Por lo tanto, sus planes de estudios se orientan a desarrollar habilidades, destrezas y capacidades para la resolución de problemas fundamentales, desde una sólida educación matemática. Además, los individuos calificados bajo estas condiciones, están en el centro mismo del actual debate sobre la pertinencia de los programas de ingeniería y la crisis que vive esta área del conocimiento en todo el mundo [8].

#### IV. MATEMÁTICAS E INGENIERÍA

El papel de las matemáticas en la enseñanza de la ingeniería es una cuestión de vieja data. En la Era Industrial se determinó que los obreros se debían acoplar rápidamente a las líneas de producción, asumir su nuevo papel de obreros y olvidarse de la caza y la recolección. Por lo tanto, era necesario que vieran el mundo desde la óptica de la lógica y la abstracción. Esa estrategia funcionó entonces y por muchos años después. Pero con el cambio de Era y el surgimiento de la nueva sociedad y modos de producción, esa estrategia se tiene que replantear. Recientemente ha habido discusiones sobre qué habilidades matemáticas son necesarias para los ingenieros de este siglo, cómo y cuándo enseñarla y cuánta es necesaria. El cambio de siglo y los desarrollos tecnológicos permitieron el surgimiento de la Era Digital, en la que las habilidades, destrezas y capacidades para utilizar esos desarrollos debe ser la punta del iceberg para los programas de ingeniería.

Tradicionalmente se acepta que las matemáticas juegan un papel central en la formación de los ingenieros, tanto como un requisito de entrada, como un elemento fundamentalmente básico de sus planes de estudios. Este papel ha sido un tema de alto perfil durante muchos años, pero últimamente se ha estimulado el debate acerca de, si para los problemas de la Sociedad de la Información, se debe mantener

su actualidad. La imperiosa necesidad de reclutar y retener a los estudiantes en los programas de ingeniería, significa que es natural que los académicos se centren en el problema de las matemáticas, porque es el principal factor de deserción y de atraso de grado para los estudiantes. Sin embargo, en la práctica profesional, el rol de las matemáticas ha cambiado radicalmente. Hoy, la matemática se percibe como necesaria para la ingeniería, pero fundamental y únicamente para cierto tipo de ingenieros, no como una regla general.

Con el fin de resolver las aparentes contradicciones acerca de si las matemáticas son transversales a todas las ingenierías o si por el contrario solamente se deben enfatizar para algunos programas, es necesario tener en cuenta los diferentes usos de ellas en la práctica ingenieril: la utilidad *directa* de técnicas e ideas prácticas para comprender y resolver problemas complejos, y la *indirecta* como un elemento que contribuye al desarrollo de la experiencia y el juicio. En el primer caso, las matemáticas son y seguirán siendo cruciales, pero en el segundo son opcionales, dependiendo del interés y las aptitudes del estudiante. Por eso es necesario conceptualizar acerca de varios interrogantes que enfrenta la formación en ingeniería:

- ¿Qué tipo de conocimiento matemático necesitan los ingenieros?
- ¿Se puede medir el nivel de conocimiento matemático que necesita un ingeniero para su desempeño profesional? ¿En qué se basa esta medición?
- ¿Cómo cambian el panorama de las matemáticas los nuevos desarrollos en TI?
- ¿Cuándo, cómo y cuánta matemática se les debe impartir a los ingenieros?

A este respecto y desde la introducción a gran escala de las áreas de TI en la práctica de la ingeniería, en la década de 1980, la profesión entró en un largo período de transición, en relación con la necesidad y pertinencia de las matemáticas. Claramente, algunos aspectos de ellas siguen siendo más esenciales que otros que han cambiado considerablemente con el modernismo. En el medio se encuentra una amplia zona de transición, donde los límites entre relevante e irrelevante están cambiando, pero no de la misma manera para todas las ingenierías. Existe un consenso generalizado en la profesión sobre lo que se considera una habilidad matemática deseable de un ingeniero: deben inculcar el pensamiento disciplinado y riguroso para el desarrollo de argumentos basados en la suposición y la simplificación, y sobre todo convencer a los estudiantes y a la industria de su valor como herramienta, a la que se puede recurrir cuando se necesitan evidencias cuantitativas para sustentar una afirmación, hipótesis, o intuición física [9]. Si bien son pocos los que disienten de esta descripción, persisten dudas acerca de la contribución real de la matemática a todas las ingenierías, y más aún, acerca de qué es matemáticas.

La práctica de los verdaderos ingenieros no tiende a considerarlas como un área problemática, o algo con lo que tienen lidiar porque sí. Muchos académicos consideran que las matemáticas son cruciales para la mayoría de ingenieros, sobre todo porque requieren desarrollar un equilibrio de habilidades a lo largo de su proceso formativo, que les permita ejercer adecuadamente su profesión. Pero de acuerdo con esta investigación, la industria no generaliza de la misma forma, porque los requieren para el desempeño en diferentes cargos y con diferentes roles: consultores, asesores, diseñadores de proyectos, jefes de departamento, analistas, o gerentes, donde solamente requerirán entre el 5% y el 10% del conocimiento matemático recibido.

En la Era industrial, los ingenieros tenían que aprender mucha matemática por fines prácticos. Al mismo tiempo, se esperaba que desarrollaran cierta comprensión matemática, como una forma lógica de pensamiento, y que le dieran importancia como parte de su experiencia práctica. La disponibilidad del computador como herramienta de cálculo rompió la relación entre aspectos teóricos y prácticos. La enseñanza de las matemáticas prácticas, y orientadas y aplicadas se convirtió entonces en el centro de las necesidades de algunos ingenieros, lo que por relación directa debería dar como resultado una variación en la cantidad de cursos de las mismas. Esto no significa que las matemáticas se deban abolir de todos los programas de ingeniería, sino que se debe encontrar un equilibrio adecuado en los planes de estudios. Porque si la ingeniería se especializa y moderniza, también lo deberían hacer los contenidos y las didácticas para impartir matemáticas, como una manera de pensar prospectivamente y para responder a las necesidades profesionales de los ingenieros. Otro asunto complejo en esta discusión es, si las matemáticas son la única herramienta que permite desarrollar el razonamiento lógico. Porque si es así, todas las disciplinas deberían tenerlas en sus planes de estudios, ya que en este siglo no es posible concebir un profesional sin esta capacidad. Además, porque todos la necesitan para comprender y solucionar los problemas complejos que presentan la Sociedad de la Información y la Era Digital.

El problema de la brecha entre las necesidades y la realidad de las matemáticas para los ingenieros del siglo XXI es una preocupación que le debe interesar a todas las disciplinas realmente ingenieriles. De acuerdo con los empresarios que participaron en la investigación, los estudiantes que se forman con los actuales planes de estudios carecen de habilidades y capacidades analíticas para resolver problemas complejos, y no logran una adecuada apreciación de las matemáticas en términos de funciones de precisión y prueba. Por su parte, los ingenieros aceptan el hecho de que esos planes no les ofrecen lo necesario para su desempeño profesional, aunque el volumen de cursos se mantiene inalterable, y claman por medidas importantes

para reformarlos. Por otro lado, al indagar por las percepciones de los empleadores acerca de la importancia de la matemática como característica distintiva para un buen ingeniero, se encontró que para ellos era una cuestión de menor preocupación, porque necesitan ingenieros que comprendan indicaciones y desarrollen tareas conjuntas. Por eso no ven la necesidad de que los egresados tengan una conciencia holística en matemáticas.

Aunque algunas instituciones propician espacios y discusiones para alcanzar una solución a esta situación, en la investigación se encontró que la mayoría sigue dominada por las directrices de las facultades de ciencias y matemáticas. Muchos decanos de ingeniería argumentaron que para sus programas es imposible participar en la estructuración y formulación de los cursos relacionados, porque esas facultades se encargan de diseñarlos y servirlos, con desconocimiento total de las necesidades de los estudiantes y de los mismos programas. La solución aquí, que por ejemplo ya se ha empezado a implementar en el MIT, es que sean los programas de ingeniería los que les indiquen a las facultades de ciencia qué contenido matemático necesitan para cada disciplina que ofrecen. Si esto fuera posible, los ingenieros no recibirían una única preparación matemática, como se hacía en la Era Industrial cuando se preparaban profesionales para una línea única de producción, sino una matemática orientada a su perfil.

Por otro lado, la industria TI ha revolucionado el uso de las técnicas analíticas en la práctica de la ingeniería. Recientemente, se iniciaron cambios profundos en las ofertas laborales de esta industria, porque sus necesidades son diferentes a las de cualquiera otra en la que se requieran ingenieros profesionales. Es más, muchas de sus ofertas de empleo no requieren ingenieros tradicionales, sino un nuevo tipo de profesionales, con habilidades, destrezas y capacidades especiales para desenvolverse en un mundo global inmaterial. Algo en lo que para nada sirven las matemáticas que se imparten en las ingenierías. En este sentido, esta investigación encontró que las universidades y los gobiernos todavía no perciben esta problemática. Al interrogar a los administradores educativos y a los organismos de control acerca de si al momento de diseñar y aprobar la apertura de nuevas ingenierías tenían en cuenta el impacto TI y las nuevas necesidades de esta industria, las respuesta fue unánime: Sí. Pero cuando se consultó la oferta de programas en los diferentes países, especialmente en los latinoamericanos, se descubrió que no es tan cierto: los nombres de los programas confunden; no existe ninguna relación directa entre las denominaciones, los contenidos y los planes de estudios; en términos generales, son una mala copia de las ingenierías tradicionales, con pequeñas variaciones en los nombres de los cursos; son totalmente ajenos a las necesidades globales, y, peor aún, a las propias de cada país; y todas los programas tienen la misma base, la misma

cantidad de cursos, los mismos contenidos y los mismos principios de examinación para las matemáticas. Esto ratifica las afirmaciones de los decanos de las facultades de ingeniería, en el sentido en que las de ciencias son las que dominan este asunto.

## V. SURGE LA PREGUNTA SI TODOS LOS INGENIEROS NECESITAN EL MISMO NIVEL DE MATEMÁTICAS

En este punto surge la cuestión de si todos los ingenieros se deben formar de la misma manera y con los mismos cursos y contenidos. Esto no trata únicamente de las estadísticas, aunque son fundamentales para la discusión, sino de alcanzar la comprensión de un asunto mucho más importante: ¿cuántos graduados, debidamente capacitados como ingenieros, necesitan el volumen de matemáticas que reciben para satisfacer las demandas del mercado nacional y mundial? La respuesta a este interrogante se debe abordar desde varias perspectivas:

1. ¿Cuál es la calidad de los ingenieros que se gradúan actualmente? Definir y medir asuntos de calidad es difícil, tanto por razones conceptuales como empíricas. Actualmente, se presentan discusiones dentro de la profesión de la ingeniería, en las que se trata de redefinir las habilidades que caracterizan una educación de alta calidad, y se discute la mejor forma de inculcarlas a través de una educación, igualmente de calidad. En esta investigación se realizaron entrevistas con analistas de la industria y con académicos para desarrollar una tipología del trabajo que los ingenieros desempeñan. Se identificaron dos tipos ideales de graduados en ingeniería, que representan la materialización de la gama de destrezas, habilidades y capacidades profesionales bajo las que se forman: *emprendedores*, necesarios para el desarrollo, y *de apoyo*, necesarios para la economía.

Los *ingenieros emprendedores* son individuos que desarrollan un razonamiento lógico y un pensamiento abstracto que los capacita para resolver problemas de alto nivel utilizando conocimiento científico, y son más propensos a generar innovación. Trabajan en equipo, tienen fuertes habilidades interpersonales y son capaces de traducir la terminología técnica ingenieril al lenguaje común, para que todas las personas la entiendan. Tienden a ser competitivos a nivel mundial y tienen alta demanda, especialmente en los países desarrollados, independientemente de su ubicación. Por lo tanto, necesitan una sólida formación en matemáticas. Pero, comparativamente, representan un bajo porcentaje de las necesidades reales de la ciencia y la industria. En contraste, los *ingenieros de apoyo* poseen una sólida formación técnica, pero no la experiencia o los conocimientos para aplicar ese conocimiento en grandes dominios. Están capacitados para desarrollar

trabajos repetitivos, que no les exigen un amplio razonamiento lógico, ni un sólido pensamiento abstracto. Representan la masa laboral que más necesita el desarrollo económico, y por tanto se ajustan perfectamente a las ofertas laborales. Entonces, si estos ingenieros realizan estas labores, y si son los más necesitados en la industria, ¿por qué se deben formar de la misma manera que los emprendedores? En los países desarrollados se comprendió hace décadas que hay que diferenciarlos, por lo que las facultades de ingeniería decidieron trasladar estos programas a otras facultades, como a Ciencias Computacionales o arte, en las que los contenidos en ciencias y matemáticas se ajustan mejor a sus realidades y necesidades. De esta forma se obvia la deserción y el estancamiento de grado, a causa de la no-aprobación de los cursos de matemáticas y se ofrecen profesionales calificados y capacitados que la industria y la economía necesitan mayoritariamente.

Empíricamente, a nivel individual es difícil separar a unos de otros, porque en el actual sistema de educación estas distinciones se basan, en gran parte, en las llamadas competencias. Aunque los graduados de universidades de primer nivel, con programas robustos de investigación y con trayectoria innovadora en planes de internacionalización, tienen más probabilidades de ser emprendedores, esto no puede ser una distinción rígida, porque los graduados de estas instituciones pueden ser de uno u otro tipo, dependiendo de sus verdaderas intencionalidades formativas; y los de las otras instituciones pueden desarrollar (o aprender rápidamente) las habilidades necesarias para competir a nivel mundial, lo que también depende de sus intereses y aptitudes. Lo mismo se aplica en el caso de los países, porque ninguno puede decir que tiene el monopolio de las mejores facultades de ingeniería o de la excelencia en cuanto a graduados. Así, mientras que esta tipología no ofrece un desglose estadístico infalible de la calidad de ingenieros o de la empleabilidad relacionada, es útil para demostrar que las matemáticas no se deben impartir por igual en todos los programas en las facultades de ingeniería, porque puede que muchos ni siquiera sean verdaderamente ingenieriles.

Otro hallazgo importante en esta investigación es una creciente evidencia de que esta dicotomía tiene una relación directa con el hecho de cómo conciben las empresas a estos profesionales, y cómo tratan de formarlos en las universidades. En este tema, se encuestaron 2.345 empresarios de industrias transnacionales e involucradas directamente con alguna disciplina ingenieril. Se les solicitó que compararan la productividad y calidad del trabajo realizado a nivel nacional, con el extranjero, para conocer los puntos fuertes y débiles de su fuerza de trabajo en ingeniería. A partir de sus respuestas se pudo derivar conocimiento sobre las

características de sus ingenieros emprendedores y de los de apoyo. Los primeros tienden a tener una buena formación técnica, además de en campos no-técnicos; a menudo son más creativos y tienen mejores habilidades de negocios, pero a su vez, exigen salarios más altos y buscan nuevos retos para demostrar que son capaces de realizar trabajos de nivel superior. Los segundos, por el contrario, son capaces de dominar los conceptos fundamentales de su disciplina, de la gestión de proyectos y pueden relacionar otras disciplinas funcionales. Sin embargo, son menos propensos a solucionar problemas complejos o a propiciar resultados innovadores. Por otro lado, la baja demanda mundial de ingenieros, que combinen habilidades, destrezas y capacidades, que vayan más allá de la ingeniería tradicional con una buena formación en ciencias, se pone de relieve en diversos estudios [10]. La realidad es que, comparativamente, la industria necesita un número mayor de ingenieros de apoyo.

Por el lado de la oferta, los profesores y administradores de las facultades de ingeniería consultados, también están tratando de graduar nuevos tipos de ingenieros, en un intento por responder a los desafíos de una fuerza de trabajo de ingeniería cada vez más globalizada. Por ejemplo, algunos tratan de integrar campos como la economía y el derecho con los principios básicos de la ingeniería, con el fin de ayudar a fomentar habilidades más avanzadas de innovación, un mejor espíritu empresarial y una gestión de alta tecnología más eficiente [11]. Otros afirman que la preparación de la próxima generación de ingenieros, para que entren en este mundo globalizado con una ventaja competitiva requiere inventiva, recursos y una continua evolución de métodos y didácticas para inculcarles en paralelo la comunicación intercultural, la gestión global de recursos y la formación profesional interpersonal, junto con los temas técnicos relacionados, necesarios y no-negociables de la disciplina [12, 13]. Esto no se debe confundir con la práctica generalizada en universidades y gobiernos latinoamericanos, donde se ofrece y aprueba cualquier programa como ingeniería, únicamente para alcanzar un número de estudiantes que les dé sostenibilidad, pero sin analizar las realidades de sus economías y las tendencias globales. Eso sí, como los consideran ingeniería, la cantidad de cursos, las exigencias de grado y los contenidos en matemáticas, no son negociables.

2. ¿Cuál es el nivel de competitividad de los ingenieros en relación con la economía global? A fin de evaluar este problema, primero es necesario buscar métricas que permitan una comparación equilibrada de los ingenieros en las distintas regiones y países. Sin embargo, no es una tarea simple. Como se ha indicado antes, definir un ingeniero de calidad es un tema de debate en todo el mundo, pero es aún más difícil alcanzar un consenso internacional sobre las características

de la competitividad de alta calidad de un ingeniero. En segundo lugar, el papel de los ingenieros en las economías de los países no se puede estandarizar, debido a los diferentes niveles de desarrollo de cada uno. Las cualidades que harían empleable a un ingeniero en un país en vías de desarrollado, no son suficientes para conseguir un trabajo en uno desarrollado. Todo esto dificulta las comparaciones transnacionales. Pero lo que se descubrió en la investigación es que es mucho más fácil poder equiparar las destrezas, habilidades y capacidades matemáticas que debe poseer para el mundo un ingeniero. La conclusión en este sentido es que no se requiere que sea un genio-científico, sino un ingeniero que realice eficiente y eficazmente la labor para la que se contrata, es decir, para la mayoría de organizaciones consultadas, el nivel matemático es intrascendente.

No obstante, en esta investigación la cuestión de la competitividad se abordó desde un análisis a los resultados de una encuesta realizada a 268 empresas, en la que se buscaba medir la empleabilidad, y por tanto la competitividad en los mercados laborales globales de ingenieros en una variedad de países. Se consultó acerca de la importancia de la procedencia de los profesionales con un grado en una ingeniería reconocida en el mundo. Debido a que se utilizaron criterios similares de empleo, es decir, cada empresa evaluó sus posibilidades de acuerdo con las necesidades propias, se pudo realizar una comparación equitativa entre la competitividad global, y por tanto, en cierto grado, de la calidad de los ingenieros buscados. Los resultados indican que el 40% prefiere a los egresados de Estados Unidos, el 24% a los de la India, el 15% a los de Japón, el 11% a los de China, y el 10% a los latinoamericanos. Las barreras de empleabilidad más destacadas se refieren a la calidad de la educación, los problemas culturales y frecuentemente la falta de accesibilidad a los recursos tecnológicos. El dominio del idioma inglés es una preocupación para todas las empresas, pero al mismo tiempo no es un impedimento para aceptar a un ingeniero graduado. Lo más importante para el 94% de los encuestados es que ese ingeniero posea las habilidades, destrezas y capacidades para desarrollar las tareas de forma eficaz y eficiente. Una pregunta paralela que se incluyó en la encuesta fue si el nivel, la cantidad y las calificaciones en matemáticas era un signo distintivo, y el 100% respondió que no, porque su verdadera necesidad era de profesionales con muy buenas bases en TI.

3. ¿Existe una relación entre la calidad de la educación y la cantidad de matemáticas en ella? En ingeniería, calidad y cantidad están estrechamente vinculadas en muchas cuestiones. De hecho, querer mejorar la calidad de la educación para incrementar la empleabilidad, a menudo son estrategias divergentes. Mejorar la calidad significa dedicar más recursos por estudiante, o mejorar la eficiencia de esos recursos, mientras que incrementar la cantidad significa que existe un

número mayor de estudiantes. Esto, en virtud de los recursos fijos, significa una disminución de los mismos por cada estudiante. El grado de calidad no puede mantenerse fácilmente cuando el objetivo es expandir la población estudiantil, a menos que el personal académico, las instalaciones y los recursos crezcan en consecuencia. En muchos países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo, las instituciones privadas están llamadas a llenar este vacío. Desafortunadamente, las variaciones en la infraestructura, el financiamiento y el resultado de la calidad docente en el sistema de educación, es incompatible en muchas de ellas [14].

Además, en la mayoría de países, la calidad de las instituciones privadas varía significativamente. El financiamiento, las instalaciones, los profesores y el reclutamiento de estudiantes de calidad, son sus principales preocupaciones. Por ejemplo, algunas se esfuerzan por conservar el número de estudiantes, pero debido a las dificultades económicas la deserción es muy alta como para lograrlo. En las respuestas de los funcionarios educativos se encontró que, debido a esa deserción, algunas instituciones terminan un semestre académico con menos profesores de los que comenzaron. En consecuencia, la calidad de la educación sufre, porque los cursos los asumen profesores que no están capacitados para asesorarlos. En los países en vías de desarrollo, muy pocas instituciones privadas tienen ingresos económicos diferentes a las matrículas, por lo que deben sacrificar criterios de calidad educativa para tener un número de estudiantes que les permita seguir en el *negocio*. Como se encontró en esta investigación, muchos estudiantes las perciben como *facilistas*, porque no se esfuerzan mucho en mantener estándares de calidad y para ellos es relativamente fácil lograr el título. Otro tanto las aprecia como universidades pasarela, porque los estudiantes parecen modelos que desfilan por sus pasillos en busca del grado. Argumentan que es necesario limitar el incremento de matriculados y mantener solamente a los que pueden atender con programas de calidad mundial. Por otra parte, la calidad de la educación en las universidades de primer nivel es probablemente el factor decisivo para la empleabilidad, porque las empresas buscan contratar a graduados de ingeniería egresados de ellas.

Otro asunto es la percepción acerca de la relación entre la calidad de la educación y la cantidad de matemáticas en los programas de ingeniería. Para los empresarios esta es una cuestión sin trascendencia para la empleabilidad, pero para los laboratorios y centros de investigación es el factor predominante. Los encuestados de la industria reprochan el hecho de que para disciplinas en TI, que no clasifican como ingeniería, los planes de estudios sean los mismos que para las ingenierías tradicionales y reconocidas a nivel mundial. Para ellos es preferible que ese tiempo se dedique a cursos en los que se desarrolle en

el estudiante las habilidades relacionadas con su carrera, lo cual mejora su competitividad y empleabilidad. Algunos consideran absurdo que un estudiante retrase uno o dos años su grado, porque no puede aprobar un curso de matemáticas, que no le servirá para nada como profesional. Por el contrario, para los laboratorios y centros de investigación, lo más importante es una sólida formación en matemáticas y ciencias, porque para solucionar sus problemas necesitan ingenieros emprendedores.

## VI. CONCLUSIONES

Los estudiantes de los programas de ingeniería manifiestan que no necesitan ciertos cursos de matemáticas y mucho menos la cantidad actual, porque su objetivo no es ser científicos ni matemáticos. No solicitan la eliminación de esta área del conocimiento, pero sí están de acuerdo en que necesitan una matemática orientada a su disciplina, que les permita desarrollar habilidades, destrezas y capacidades para ser profesionales de éxito. En la investigación que origina este artículo se les indagó si estaban conformes con la matemática recibida en sus carreras, y solamente el 10% respondió afirmativamente. Pero cuando a éstos se les preguntó acerca de su futuro como profesionales, informaron que se veían como científicos investigadores e innovadores. Por el contrario, el 90% que dijo que no, porque se ven como ingenieros que atienden las necesidades sociales mediante la resolución de problemas cotidianos.

La realidad que se demuestra en los resultados de la investigación es que todos los programas de ingeniería no necesitan el mismo volumen, ni los mismos contenidos en matemáticas. Las especialidades generadas por el desarrollo de la industria TI, la necesidad en todo el mundo de ingenieros de apoyo para el desarrollo económico y la imperante insuficiencia de razonamiento lógico, son elementos esenciales para solicitar una matemática orientada, y que los planes de estudios involucren solamente la cantidad requerida para cada especialidad. Además, si no es posible, entonces quiere decir que ese programa que se está analizando, no es ingeniería, y se debe trasladar a una facultad donde las exigencias en matemáticas sean menores. Los contenidos de los cursos de matemáticas se deben centrar en solucionar problemas de la vida real, exponiendo a los estudiantes a las herramientas abstractas, especialmente a la manipulación de cantidades desconocidas. Pero hay un mundo de diferencia entre la enseñanza de matemáticas puras, sin contexto, y la orientada a problemas pertinentes que conduzcan a apreciar modelos y fórmulas matemáticas para aclarar situaciones del mundo real. Los empresarios encuestados concuerdan en que los profesionales llegan a sus puestos de trabajo con un universo de conocimientos, pero que no saben cómo utilizarlos para responder a las necesidades



del contexto en el que laboran. Muchos le atribuyen esto a que los sistemas de educación han adoptado una formación por competencias, como se hacía en la Era Industrial, lo que está deteriorando las habilidades, destrezas y capacidades que los ingenieros necesitan para desempeñarse con éxito en la vida real. Porque son competentes, pero no razonan. Es decir, fueron *educados* para desempeñarse en una línea de producción, para responder a labores estáticas, pero no fueron *formados* para actuar en los escenarios multidimensionales, transdisciplinarios, dinámicos y complejos de este siglo.

Entonces, ¿cuánta matemática necesitan los ingenieros del siglo XXI? En el siglo XX y durante décadas, los líderes empresariales, los educadores y los políticos, argumentaron que a los estudiantes de ingeniería se les debían enseñar los niveles más avanzados de matemáticas. Todos se sentían preocupados por las competencias y estaban alarmados por la escasez de profesionales capacitados para ejercer la ingeniería y otros campos de alta tecnología. Su argumento era que en una economía como la de entonces, aún los empleos de menor rango requerían buenos niveles de competencias matemáticas. Estaban convencidos que todos los programas de ingeniería, por ser tal, necesitaban la misma cantidad de matemáticas para lograr las competencias que la industria esperaba de ellos.

Esa situación no se diferencia mucho de lo que manifiestan los conservadores de la esencia de las matemáticas para la ingeniería actual. Pero esto tiene que cambiar, porque el asunto es que actualmente alguien está equivocado: *o muchos de los programas que se ofrecen como ingeniería no son ingeniería, o las matemáticas ya no son la piedra filosofal para educar ingenieros*. Porque, como lo manifiestan los administradores de las empresas transnacionales que participaron en esta investigación, el mito de que la ingeniería es nada sin matemáticas es un asunto que ya no convence a nadie. Hoy se necesitan ingenieros profesionales, que piensen antes de actuar en la vida real, no que leviten en medio de fórmulas matemáticas y se tele-transporten a otro universo para encontrar alguna solución a los problemas que se les plantea. El desarrollo y la economía del mundo actual necesitan mayoritariamente ingenieros prácticos, hábiles, rápidos de respuesta, y que apoyen con ingenio el trabajo en equipo. Aquellos ingenieros, que en todo ven ciencia y matemática pura, buscan emplearse en laboratorios y centros de investigación, donde el trabajo es mayoritariamente individual e interdisciplinario. Por todo esto es necesario replantear las matemáticas en la ingeniería del siglo XXI.

## REFERENCIAS

- [1] Christensen, R. et al., “Student perceptions of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) content and careers”. *Computers in Human Behavior* vol. 34, pp. 173-186, 2014.
- [2] Vigo, J., Cordero, A. and Ramos, H., “Recent trends on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering (CMMSE)”. *Journal of Computational and Applied Mathematics* vol. 275, pp. 213-215, 2015.
- [3] Serna, M.E. (2013). *Manifiesto por la profesionalización del desarrollo de software*. Medellín: Instituto Antioqueño de Investigación, 2013.
- [4] Järvinen, A. et al., “Philosophy of Computer Science”. *Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (RACCIS)* vol. 4, no. 1, pp. 34-41, 2014.
- [5] Longrew, J., Huelles, M. and Xionak, C., “The art and science of Systems Engineering”. *Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (RACCIS)* vol. 4, no. 2, pp. 27-34, 2014.
- [6] Pollak, M., *Counting the S&E workforce - It's not that easy*. Technical report NSF 99-344. USA: National Science Foundation, 1999.
- [7] NSF, *Science and engineering indicators. Chapter 3: Science and engineering labor force*. USA: National Science Board, 2006.
- [8] Serna, M.E. and Serna, A.A., Is it in crisis engineering in the world? A literature review. *Revista Facultad de Ingeniería* 66, 199-208.
- [9] Nethercot, D. and Lloyd, D., *Attracting the best and brightest: Broadening the appeal of engineering education*. London: The Ove Arup Foundation, 2001.
- [10] Lynn, L. and Salzman, H., “The real global technology challenge”. *Change* vol. 39, no. 4, pp. 8-13, 2007.
- [11] Taraban, R., Suar, D. and Oliver, K., Information literacy of U.S. and Indian engineering undergraduates. *Springerplus* vol. 2, pp. 244-266, 2013.



- [12] Lee, J. and Dion, A., *The difference between engineering education at public and private institutions*. USA: University of Michigan, 2006.
- [13] Mossbrucker, J. et al., Creating a ‘global algorithm’ for engineering education. In *Proceedings at the 2006 American Society for Engineering Education Annual Conference*. Chicago, USA, June 18-21, 2006.
- [14] Appelbaum, R. et al., from cheap labor to high-tech leadership: Will China’s investment in nanotechnology pay off? In *Proceedings at the Society for the Advancement of Socio-Economics 2006 Conference*. Trier, Germany, June 30–July 2, 2006.