

LAS MATEMÁTICAS Y LOS INGENIEROS

JUAN JORGE HERMOSILLO VILLALOBOS*

La definición clásica de ingeniería, adoptada con variantes menores por diversos organismos académicos y profesionales, es:

La profesión en la que los conocimientos de las matemáticas y las ciencias naturales, adquiridos mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se utilizan con criterio para desarrollar modos de utilizar económicamente los materiales y las fuerzas de la naturaleza para beneficio de la humanidad.¹

En ella está implícito que el ingeniero es un resolvedor de problemas, y no un teórico ni un investigador ni un científico cuyo objetivo es conocer y describir la naturaleza. Es un agente activo cuya razón de ser es proponer y llevar a la práctica soluciones a problemas específicos.

Si dejamos de lado las trayectorias profesionales de indivi-

* Jefe del Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales del ITESO; especialista en aplicaciones de la energía solar.

1. Definición de ingeniería del Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET).

duos particulares y nos concentramos en la definición de la ingeniería y en los perfiles de egreso de los diversos programas de esta carrera, se encuentran diferencias claras entre el científico y el ingeniero, aunque ambos tengan muchos elementos en común. En un esfuerzo analítico —y si se exageran de manera intencional las diferencias— se puede postular que el objetivo de un científico (físico, químico, biólogo o matemático) es conocer y ampliar las fronteras del conocimiento, mientras que el de un ingeniero es resolver problemas con la aplicación de los conocimientos existentes.

Sin embargo, algunos de sus aspectos comunes tienen que ver con la adquisición de los conocimientos existentes acerca de la naturaleza. La investigación aplicada y el desarrollo tecnológico son campos intermedios, ya que conciernen tanto al científico como al ingeniero.

La realidad concreta de una comunidad en la que se inscribe cualquier problema de ingeniería es compleja, con un sinnúmero de aspectos interrelacionados. Lo más habitual es que los problemas sean susceptibles a diversos planteamientos y soluciones, más adecuados unos que otros. No existe una solución única ni perfecta, sino sólo en función de un conjunto de restricciones que con frecuencia son definidas de manera subjetiva. Al respecto, una conocida compañía de ingeniería estadounidense utilizó durante muchos años el lema “No existen soluciones simples; sólo hay alternativas inteligentes”.² Este tipo de problemas de ingeniería es diferente a lo que un científico encuentra en su trabajo, en el que define las fronteras de su problema; asimismo, es muy diferente de la forma en que se enseñan las matemáticas y las ciencias naturales, con un excesivo énfasis en el planteamiento y arreglo de problemas de solución única.

Según la definición clásica, un ingeniero tiene algo que hacer cuando un problema tiene aspectos relacionados con los recursos y las fuerzas de la naturaleza: la materia, la energía, los recursos bióticos, así como su obtención, transformación, traslado y aplicación final.

En este contexto, aparecen las ingenierías aeronáutica, de alimentos, civil, de comunicaciones, electrónica, mecánica, de minas, naval, petrolera y química. Pero, a medida que se desarrollan soluciones más complejas en la interrelación entre los diversos elementos, surge la necesidad de estudiar, cono-

cer y dominar las leyes de la naturaleza en otro nivel menos “material”: el sistema. Este concepto, nacido del estudio del comportamiento de la materia y de la energía, ha cambiado de connotación y escala, constituyendo así un objeto de estudio aparte, lo que ha dado lugar, desde el punto de vista de resolución de problemas “relacionados con la naturaleza”, a ingenierías como la ambiental, industrial y de sistemas.

LA NATURALEZA Y SU DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA

No me detendré en la discusión epistemológica de por qué la naturaleza “se deja” describir y modelar mediante las matemáticas, inventadas por el hombre, o de si las matemáticas se inventan o se descubren. Para los fines de este trabajo basta recordar que, desde la civilización helénica, el conocimiento más profundo de la naturaleza ha estado ligado con la capacidad del ser humano de describirla y modelarla mediante las matemáticas. De manera invariable, cuando conocemos algún aspecto de la naturaleza, ya sea causal o estocásticamente, se formula con algún tipo de matemáticas (lo que no niega la existencia de otros modos de conocer, más descriptivos y cualitativos e igual de importantes); no obstante, si se habla de ciencias naturales, el conocimiento profundo siempre tiene aspectos cuantitativos y matemáticos.

Portanto, si los ingenieros son los encargados de la solución de problemas en los que intervienen las fuerzas de la naturaleza, es necesario que conozcan las matemáticas requeridas para su descripción y modelado. Si se tratara de la formación de estos profesionales para la Roma clásica, quizá bastaría con enseñarles la geometría y la trigonometría de sus vecinos los helenos.

Sin embargo, el impresionante desarrollo de la ingeniería en el siglo xx, así como el de las matemáticas desde los dos siglos anteriores, hacen imposible pretender que, en cuatro o cinco años, los alumnos conozcan (mucho menos dominen) todas las ramas de las matemáticas y, además, aprendan lo específico de su profesión. Entonces, es necesario delimitar qué división de esta ciencia, qué grado de profundidad y variantes de exposición y aplicación son pertinentes para cada una de las ingenierías o grupos de ellas.

2. “There are not simple solutions; only intelligent choices” (Caterpillar).

¿QUÉ MATEMÁTICAS REQUIEREN LOS INGENIEROS?

La pertinencia de las matemáticas en los programas de esta disciplina está determinada por:

- ▶ La formación en el alumno de la habilidad de análisis cualitativo y cuantitativo de situaciones o problemas en general.

- ▶ Su capacidad para formular modelos matemáticos (con base en las leyes de la naturaleza), validarlos y calibrarlos, para describir problemas y encontrar sus soluciones, tan aproximadas como sean posibles.

- ▶ La conexión directa con otros temas del plan de estudios, proveyendo las herramientas necesarias para su estudio a profundidad.

Los tres tipos de elementos deben darse —y se dan— en muchas asignaturas de los programas, no sólo en los de matemáticas y física. Debido a la breve duración de las licenciaturas, es necesaria una actitud de colaboración entre los diversos departamentos de la universidad, así como una mayor claridad en los objetivos de cada curso. Por ejemplo, no resulta adecuado incluir cursos de alguna materia si su único objetivo y justificación es el fortalecimiento de la capacidad analítica, la cual es muy importante, e incluso la voz popular se la atribuye a los ingenieros; sin embargo, el espacio de los currículos es mejor aprovechado cuando se incorporan por lo menos dos de los elementos mencionados.

En el ámbito de las matemáticas unos temas tienen como prerrequisito a otros: no es posible aprender geometría analítica sin conocer la elemental, el álgebra y algo del análisis; es difícil aprender el cálculo sin conocer la geometría analítica (y si se logra sin esta, se pierde una oportunidad de interrelacionar y aplicar conceptos útiles en la formación de ingenieros); no se pueden asimilar ecuaciones diferenciales y análisis vectorial sin conocer el cálculo.

Esta naturaleza “seriada” de algunas ramas de las matemáticas permite suponer que hay un cierto conjunto mínimo requerido, que a su vez tiene como prerrequisito unos conocimientos básicos para todas las ingenierías (quizá el álgebra lineal, la geometría analítica y el cálculo diferencial e integral básico, así como la habilidad para interpretar gráficas cuantitativamente y el conocimiento de las propiedades básicas de las funciones más frecuentes).

En el ámbito de lo particular parece necesario que los alumnos de las ingenierías ambiental, mecánica y química

—así como de otras relacionadas con el estudio de las propiedades y el comportamiento de la materia y la energía— conozcan las ecuaciones diferenciales parciales que describen la transferencia de calor, cantidad de movimiento y de masa en por lo menos dos dimensiones: a través del tiempo y en estado estable.

Es necesario también que aprendan a proponer y a resolver problemas de esa índole con métodos numéricos, dada la limitación de las soluciones analíticas disponibles respecto a los problemas reales que con frecuencia se plantean, aun sin acudir a algunos especialmente complejos.

Los ingenieros industriales y los ambientales deberían conocer por lo menos las ecuaciones diferenciales ordinarias y la estadística para establecer y resolver modelos de sistemas, tanto con variables continuas como discretas. En estos casos, los métodos numéricos son también los que constituyen herramientas verdaderas para la solución de problemas reales.

Nótese que se habla de métodos numéricos y no de análisis numérico; los primeros deberían enseñarse junto con sus alcances y limitaciones, lo cual constituye materia del segundo. Sin embargo, es fácil caer en la impartición del análisis desconectado de los problemas reales. Es fundamental encontrar un equilibrio entre los contenidos puramente analíticos —interesantes de por sí para el estudioso de las matemáticas— y los métodos puramente aplicados, convertidos a veces en meros recetarios algorítmicos que, como tales, carecen de sentido didáctico.

La restricción inevitable es el tiempo, recurso escaso en el plan de estudios.

Una porción importante de los métodos numéricos requiere, a su vez, del álgebra lineal, la cual está en la base del planteamiento y solución de muchos tipos de problemas de la ingeniería.

Su aprendizaje constituye también una excelente oportunidad para aprender a analizar y abstraer; es un reto para los profesores porque, en forma similar a lo mencionado con el análisis numé-

EL CONOCIMIENTO más profundo de la naturaleza está ligado con la capacidad del ser humano de describirla y modelarla mediante las matemáticas

rico, se puede plantear el curso completamente ajeno al objetivo del plan de estudios y argumentar que “se cumplió” con el temario propuesto.

Todas las ingenierías, y quizá todas las carreras, requieren una cierta “dosis” de estadística porque provee al profesional de un conjunto de herramientas para el análisis de situaciones en donde no se conoce con certeza la causalidad de los fenómenos y en donde intervienen variaciones reales o en apariencia aleatorias en las variables involucradas, aun si se conoce su causalidad. Lo anterior es en especial “potente” cuando se trabaja con “poblaciones” (de moléculas, de diversos elementos, de variabilidad de datos experimentales, de control de proceso, y no sólo demográficas).

La estadística resulta ser una herramienta importante para el análisis de situaciones y para la toma de decisiones ilustradas, es decir, si se considera razonadamente las probabilidades de éxito de una u otra solución, en función de la información disponible.

LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS EN LA INGENIERÍA

Los programas de ingeniería están compuestos por diversas líneas, cada una con requerimientos y enfoques diferentes. La enseñanza de los valores humanos, los idiomas, las relaciones personales y su función en la empresa, la habilidad de plantear y administrar proyectos es diferente a otras asignaturas. En cambio, el problema de la enseñanza de las matemáticas o de la física en las ingenierías es similar al de la enseñanza de muchas otras asignaturas técnicas a lo largo de la carrera.

Algunos rasgos comunes en la enseñanza de las materias científicas y técnicas deberían ser: el planteamiento y énfasis en la utilidad y aplicación del conocimiento; destacar los conocimientos (los conceptos) generales por encima de las técnicas, que suelen ser de índole particular, y la importancia en la solución de problemas.

Énfasis en la aplicación del conocimiento

Los alumnos de ingeniería, en su mayoría, tienen una inclinación natural por “hacer cosas”, por la aplicación prác-

tica. Desde un punto de vista didáctico, esto constituye una oportunidad para motivarlos a la adquisición de conocimiento. Sin embargo, los cursos expuestos en una forma estrictamente deductiva y “ordenada” con frecuencia dan por resultado un alejamiento respecto de la “palpabilidad” de lo que se está estudiando. Lo anterior quizá funciona en cursos para científicos, pero no en la formación de ingenieros.

El énfasis en la aplicación del conocimiento se centra en la oportunidad de motivación del alumno, junto con las limitaciones de tiempo dentro del plan de estudios, es decir, no se afirma que lo que no es aplicado o aplicable no configure una oportunidad educativa en la formación de ingenieros. Pero algunos profesores dan énfasis a las deducciones coherentes a partir de postulados hipotéticos o respaldados por hechos conocidos.

Al terminar la deducción hacen un ademán de triunfo, o si es una demostración le agregan *QED*,³ y se olvidan de reflexionar y propiciar el pensamiento del alumno acerca de su significado, implicaciones y aplicaciones.

Ese proceder deductivo-coherente es muy útil en la presentación y organización de muchos de los conocimientos científicos sólidos. En ciertos contextos la coherencia se llega a confundir (erróneamente) como un criterio de verdad. Incluso, cuando se tiene la capacidad de entender una deducción así, se aprecian la belleza y genialidad intelectuales que contiene. El obstáculo, para nuestros fines, es que la mente humana no procede de forma espontánea y mucho menos cuando todavía no conoce o domina los conceptos involucrados. El hacer deducciones coherentes, una tras otra, desconectadas del mundo palpable por el alumno, no es un buen método didáctico.

Énfasis en los conocimientos generales

Es mucho más importante que el alumno adquiera el concepto que está estudiando, conozca sus alcances y limitaciones y sepa aplicarlo, a que aprenda técnicas particulares.

Con frecuencia hay alumnos que dominan las técnicas de integración sin poder explicar qué es integrar; expertos en balancear ecuaciones químicas sin poder dar razón de la estequiometría que está detrás; que aprueban de manera satisfac-

3. *Quod erat demonstrandum*, expresión latina comúnmente usada en matemáticas para expresar “lo que se trataba de demostrar”.

LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS Y LAS CIENCIAS CONSTITUYEN VERDADERAS OPORTUNIDADES PARA ENTRENAR AL ALUMNO EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

toria el curso de ecuaciones diferenciales sin tener la capacidad de ver los fenómenos físicos en términos de esta rama de las matemáticas; que calculan el número de moles de alguna sustancia sin entender qué es una mol ni qué sentido tiene.

Con frecuencia encontramos alumnos que prefieren exámenes “de problemas” que “de conceptos”, ya que es más fácil trabajar con los primeros porque mediante algunos datos, ecuaciones y manipulaciones siempre se llega a un resultado. En cambio, describir *a priori* un resultado esperado, una tendencia o un orden de magnitud estimados a partir de los conceptos involucrados en el problema, requiere un mayor nivel de intelección. Dentro de esta idea se puede incluir también el dominio de los órdenes de magnitud de las propiedades físicas relacionadas con los conceptos.

Es imposible lograr una formación cabal sin la familiarización y comprensión de las magnitudes de los fenómenos. Los conocimientos generales, junto con las magnitudes, permiten instalar en la mente un modo de entender la naturaleza y de intuir de forma razonable por dónde se puede plantear una solución factible a un problema.

Esta intuición educada, en conexión con el conocimiento de la realidad, es fundamental para la habilidad de resolver problemas.

Énfasis en la solución de problemas

La enseñanza de las matemáticas y las ciencias constituyen verdaderas oportunidades para entrenar al alumno en la solución de problemas en sentido general, no sólo en el específico de la asignatura que se estudia. Sin embargo, es frecuente que esto no suceda.

Es necesario entrenar al alumno a distinguir la complejidad de un problema real, de las simplificaciones que se requieren para resolverlo; a no confundir la realidad con la solución encontrada en ese contexto simplificado; a tener claridad de las hipótesis requeridas para la solución, así como de las posibles implicaciones de estas en el caso real.

La solución de problemas invita a incorporar pedagógicamente un método, un modo de proceder ante ellos.⁴ En su aprendizaje está la clave de la trasferibilidad del conocimiento,

que tanta falta hace a los alumnos para transitar de unas asignaturas a otras e ir construyendo en su mente un conjunto articulado de conocimientos útiles en su profesión.

Es indispensable no inculcar ideas de simplicidad si queremos educarlos para un mundo complejo. La visión de simplicidad está en la base de muchos de nuestros problemas sociales.

Los tres rasgos anteriores deberían tenerse presentes en la enseñanza de las matemáticas y ciencias con el uso del *software*. Los paquetes de cómputo para resolver problemas, ya sean didácticos o profesionales, constituyen verdaderos retos pedagógicos.

En muchas ocasiones el binomio profesor-alumno se centra en el entrenamiento del uso del *software* con énfasis en el poder de la caja negra que está detrás de cada icono, lo cual exagera todavía más la capacidad para producir resultados sin entender sus implicaciones.

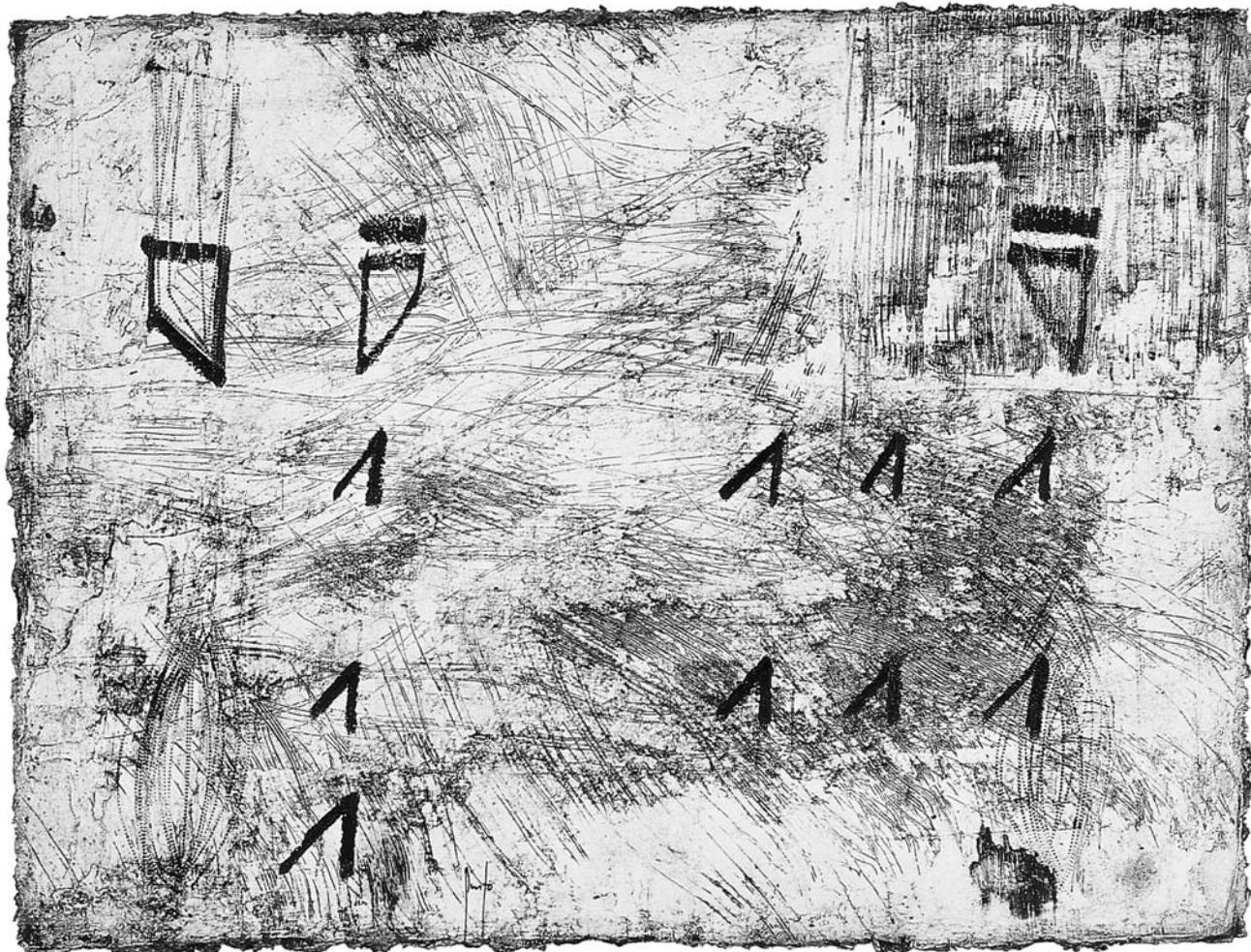
Es necesario aprender a utilizar estas herramientas novedosas, con su gran capacidad para resolver problemas antes impensables en la escala docente, pero sin perder la esencia de lo educativo.

CONCLUSIÓN

Las matemáticas son pieza clave en la formación y educación de los ingenieros, pero se requiere una buena dosis de discernimiento para clarificar qué matemáticas son pertinentes y con qué métodos de enseñanza resultan más adecuadas para los estudiantes de las ingenierías.

El entrenamiento en la solución de problemas en sentido amplio (no sólo de la asignatura en cuestión) es parte inherente en la formación de algunas de las características que distinguen a un buen ingeniero profesional: su propensión a obtener mediciones confiables; a incorporarlas en modelos cuantitativos para la toma de decisiones de toda índole (técnicas, administrativas, financieras); la identificación verificable o al menos hipotética de causas, orígenes y consecuencias, así como la formulación de objetivos y el diseño de rutas para lograrlos. ■

4. **Hermosillo Villalobos, Juan Jorge.** “Ideas para la enseñanza de las ciencias aplicadas en ingenierías”, ponencia presentada en el II Foro para la Innovación Educativa, ITESO, 2002.



SIN TÍTULO. ENCAUSTO Y ÓLEO SOBRE PAPEL, 60 x 80 cm, 2002.
