

El aprendizaje de la ingeniería

Roger Díaz de Cossío

Investigador del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Miembro de la Academia de Ingeniería y de la Academia Mexicana de Ciencias.

Nuestras universidades no son realmente universidades donde se cultivan con libertad los campos del conocimiento y las disciplinas del saber. En el nivel de licenciatura, están organizadas por carreras que son como gruesos tubos de acero, donde el alumno entra por un extremo y sólo puede salir por el otro. Si, cuando está a mitad del tubo, un alumno decide estudiar otra cosa, se tiene que salir y pierde casi todo lo estudiado. Los tubos no están interconectados. Son controlados por pequeños cotos de profesores que son los que deciden qué estudiar dentro del tubo y en qué orden. Si el alumno no sigue esas reglas rígidas, es castigado, se tiene que salir. Las carreras se diseñan de punta a punta, desde el primer día del primer semestre hasta el último día de la última asignatura. Los planes se aprueban oficialmente por los consejos o cuerpos directivos y son declarados inmutables durante varios años. No hay elementos en los tubos que puedan estar cambiando continuamente, como lo está la sociedad, no se pueden probar asignaturas y materias, hasta que se vuelve a revisar el tubo, años después.

Pero no sólo esto. Los gruesos tubos están atiborrados de contenidos, muy atiborrados, porque cada profesor cree que la importancia de su materia es proporcional al número de horas que tiene asignadas en el plan de estudios. Desde luego, mientras más horas dé, más le pagan. Por esta razón, cada vez que se intenta una reforma curricular, se dan luchas colosales por las horas-clase.

Los elaboradores de planes de estudio en nuestro país no se tientan el corazón y piensan que es muy normal que un alumno tenga 25, 30, 35 y hasta 40 horas a la semana de clases frente a un profesor. Esto viene de una tradición mexicana de finales del siglo xix, cuando se pensaba que los alumnos no podían estudiar en su casa porque no tenían las condiciones para hacerlo, el profesor tenía que decirlo todo en clase. No existían los libros ni el internet. Ahora ya existen, y seguimos igual.

Cuando se le pide a un profesor que elabore el programa de su materia, siempre pone muchos temas y extensas bibliografías, no vayan a creer que no sabe. La cosa se pone peor cuando es una comisión de profesores la que tiene que elaborar el programa: aumentan los temas y la bibliografía. Nadie es capaz de decir "seguiré este libro", uno sólo. Nos vamos siempre a los máximos, no a los mínimos.

Y los alumnos no aprenden, tienen que galopar viendo un mar de contenidos, todos superficialmente, sin tiempo para digerir y reflexionar.

En la tradición anglosajona, los alumnos, cuando mucho, tienen 12 o 15 horas por semana de clase y, lo más importante, pueden estudiar en varios campos distintos para completar su licenciatura. Al decir distintos quiero decir muy distintos, por ejemplo música y economía, o ingeniería y filosofía. Pero eso sí, trabajan 30 o 40 horas más por semana en su casa haciendo tareas, trabajos e investigaciones personales. Esto jamás ha podido hacerse en México; no se lo permitimos a los alumnos, han de quedarse en su tubo. ¡Cuidado con cualquier desviación!

Estoy convencido, y lo he dicho ya muchas veces sin ningún efecto práctico, que los tres grandes males de la educación mexicana son el autoritarismo, que refleja el de la sociedad, la rigidez y el atiborramiento de contenidos irrelevantes o no básicos.

Sobre el autoritarismo, baste decir que los alumnos siempre tienen que estudiar lo que otros dicen que estudien, los otros son "los expertos", los que elaboraron los programas y los planes. Nunca se le ofrece al alumno universitario una oferta amplia y diversa ni se le pregunta "¿qué quieres estudiar? ¿Cómo lo quieres aprender?" Le ofrecemos carreras, tubos completos, pero nunca áreas, disciplinas, asignaturas para que él, bajo su propia responsabilidad con ayuda de un tutor seleccione lo que quiere estudiar y vaya formándose.

En México, los alumnos no tienen libertad de aprender. Nuestros sufridos alumnos no aprenden porque nunca se ha inducido en ellos un sentido de responsabilidad sobre su propia formación. Sus padres le dijeron a los 17 años, o antes, "tienes que estudiar esto" y obedientes les hacen caso y se meten a un tubo rígido atiborrado de contenidos, donde ni siquiera saben si les va a gustar. Eso explica la mayor parte de los fracasos y de la deserción.

A pesar de todo esto, casi milagrosamente, terminan algunos profesionales excelentes, con la estructura mental adecuada que además han olvidado la mayor parte de los contenidos que aprendieron en la escuela. Se encontraron a unos cuantos profesores, no más de dos o tres, que les movieron la cabeza, que excitaron sus neuronas, que les cambiaron su visión del mundo y de la vida. Este es un proceso misterioso que se da aun en los sistemas más represivos, rígidos y congestionados. Con más libertad tendríamos un mayor número de profesionales excelentes y creativos que los que ahora terminan en nuestras instituciones de educación superior. La rigidez mata la creatividad, la búsqueda de nuevas soluciones.

Las profesiones

Hablemos ahora de las profesiones, las grandes profesiones laicas con historias milenarias: abogados, médicos, contadores, maestros e ingenieros. Las profesiones tienen todas que ver con aspectos prácticos de la sociedad, con problemas específicos. Los abogados estudian las normas, las elaboran y las aplican. En las escuelas de derecho se les forma una manera de ver la realidad y de estudiarla. Los médicos se enfrentan a un enfermo y aplicando lo que aprendieron, tratan de curarlo. Saben que cada enfermo es distinto. Los contadores se especializan en llevar cuentas de personas, empresas, organizaciones, cada una con sus peculiaridades, para muchos fines distintos como calcular impuestos o saber si se gana o se pierde. Los maestros son preparados (o adquieren la habilidad con la práctica) para enseñar a otros lo que saben.

Los ingenieros resuelven problemas específicos mediante la creación, el diseño de sistemas, procesos, objetos útiles, máquinas, herramientas, obras, aplicando lo que saben de ciencia, su imaginación y sentido común al problema en cuestión. Los tipos de problemas a los que se enfrentan no tienen nunca soluciones únicas o perfectas. Una carretera puede tener muchos trazos y una máquina se puede hacer de muchas maneras y con muchos materiales distintos. La función de los ingenieros en la sociedad es saber hacer. La ciencia persigue el saber; la tecnología, el saber hacer.

Lo que une a todas las profesiones es que las acciones de sus practicantes afectan las vidas y haciendas de la sociedad, de las personas. Por esto, casi todos los Estados les fijan requisitos para ejercer su profesión. A lo largo de los siglos, al hacerse las sociedades más grandes y complejas, los practicantes de una profesión se van especializando y se crean nuevos campos de actividad. Las personas saben cada vez más de campos cada vez más

pequeños, pero siempre, en cada profesión se mantiene la manera de enfrentar los problemas. En México ha sido muy difícil ir creando de modo natural las especialidades profesionales por la rigidez de los tubos que son las carreras. A continuación veremos este fenómeno respecto a las de ingeniería.

Las ingenierías en México

En la tabla se muestran, clasificados por especialidades los tipos de ingenieros y los números que obtuvieron su cédula profesional en 2001.

En la última columna de la tabla se muestra el número de carreras de la especialidad que se imparten en el país. Este número es prácticamente igual al número de instituciones que las tienen. Por ejemplo, carreras relacionadas con informática se dan en 75 instituciones, la ingeniería ambiental (antepenúltimo lugar) se imparte en siete. Las carreras aparecen con el mismo nombre o alguno parecido, por ejemplo ingeniero en computación o licenciado en informática y telecomunicaciones, que agrupamos en el mismo rubro.

El número total de registrados con cédula en ingeniería en 2001 fue de 39 862 personas, de las cuales un poco más de una tercera parte fueron mujeres. En ese año egresaron con cédula en todas las carreras 135 868 personas. En otras palabras, 30% de los profesionales titulados en México en 2001 fue ingeniero. Número relativamente elevado, pero engañoso, porque casi todos los ingenieros están concentrados en siete especialidades que suman 95% del total, como se puede observar de la cuarta columna de la tabla que muestra el porcentaje acumulado de los registrados. La especialidad más demandada es la de computación e informática con 27% del total de registrados en ingeniería. Éste es un fenómeno reciente, de los últimos 20 años. La especialidad se empezó a impartir en 1981. La ingeniería electrónica y de telecomunicaciones comenzó en la esime del ipn en 1939. Las otras cinco especialidades, industrial, mecánica-eléctrica, civil, química y agronómica, vienen desde hace más de cien años.

La tabla muestra, con toda claridad lo difícil que ha sido para nuestras universidades cambiar y adaptarse a las transformaciones cada vez más rápidas de la sociedad. Basta un ejemplo notorio. Especialidades tan importantes como ingeniería ambiental tienen una representación casi nula, 42 egresados con el minúsculo 0.11% de representación. Esto se debe a la rigidez de los tubos, hay que crear las carreras de punta a punta, como nuevos tubos. En el caso de ingeniería ambiental, se podría haber derivado de la ingeniería civil o de la mecánica, pero esto no es posible, los tubos no pueden tener

ramales que vayan creciendo.

En resumen, aunque hay aparentemente muchas especialidades, en realidad son unas cuantas importantes las que tienen a la casi totalidad de los egresados. Existen carreras en proceso como ingeniería biológica o mecatrónica que aún no registran egresados.

Los planes de estudio de ingeniería

El conjunto de materias que un alumno debe estudiar para obtener la licenciatura constituye el plan de estudios. Este conjunto de materias ha ido evolucionando lentamente a lo largo de más de cien años. Los programas se inician a partir de lo que se hacía en siglo xix en la escuela de ingenieros en el Palacio de Minería. Siempre se ha tenido la idea de formar un ingeniero impartándole al principio de sus estudios materias como matemáticas, física y química y, después, asignaturas de aplicación a la especialidad.

En un repaso a vuelapluma. El plan se fue alargando hasta llegar a tener cinco años de duración en los años 30 del siglo xx. A partir de ahí tuvo pocas modificaciones más allá de actualizar algunas materias. Las carreras y sus contenidos eran controlados por grupos de ingenieros de la práctica. Las universidades de provincia, pocas durante la primera mitad del siglo pasado, se basaban en los planes de la unam.

El lanzamiento al espacio del Sputnik tuvo un gran efecto en la formación de ingenieros. Dijeron, sobre todo los norteamericanos, que los ingenieros no tenían una base científica suficiente y se empezaron a agregar mayores contenidos de matemáticas y física a los planes de estudio. Se añadieron materias como teoría de probabilidades, ecuaciones diferenciales y también asignaturas teóricas de ciencias de la ingeniería, como ciencia de materiales y mecánica de suelos. A este movimiento llegamos tarde como siempre. Ya los cuerpos internacionales tenían su escala de evaluación para los planes, fijaron porcentajes de materias científicas, de ciencias de la ingeniería y también se dijo que los ingenieros tenían que llevar un cierto porcentaje de materias humanísticas. Y los imitamos sin mucha reflexión, dentro de nuestra brutal rigidez que no permitió abrir los tubos-carreras.

A fines de los años 60 casi todas nuestras universidades empezaron a cambiar los planes académicos anuales a semestres, más concentrados y saturados. Muchos contenidos que se daban en un año, pasaron a darse en un semestre, sobre todo porque los profesores titulares de las materias consideraban

indispensables todos sus temas. Así, los planes con 35 o 40 materias anuales que habían perdurado más de cinco décadas cambiaron en los años 70 a planes en semestres con 60 o 65 cursos.

Las universidades públicas empezaron a tener mayores presupuestos a partir de 1970 y a contratar profesores de tiempo completo, en especial para las materias de ciencias de los primeros semestres y se comenzaron a nombrar funcionarios de carrera. Entre todos ellos sustituyeron a los cotos de ingenieros de la práctica que antes tenían el control, y los tubos se fueron haciendo más gruesos, saturados, largos, más alejados de la práctica profesional. Los cambios se hacían ahora para el servicio de los intereses del propio personal académico de tiempo completo. Las universidades privadas, salvo pocas excepciones tenían que tener incorporados sus planes a las universidades públicas y por lo tanto eran idénticos entre sí. Algunas, dos o tres, pudieron desde el principio tener sus propios planes, como el itesm.

Se inventó el sistema de créditos para medir los planes, que no sirvió para su objetivo original -lograr que los alumnos pasaran con sus créditos ganados de un plan a otro-, porque no se podía salir del tubo. Igual, cada materia puede valer un punto. Ni siquiera pueden pasar con sus créditos completos de un semestre de una carrera de ingeniería a otra de la misma escuela. Siempre hay que revalidar materia por materia.

Puntos a debate

Nos alejamos de la realidad. En todo este proceso, que duró más de dos décadas, se perdió el tiempo de reflexión y contemplación que daban las materias anuales y, aún más importante, se fueron perdiendo muchas materias de aplicación práctica. Los ingenieros nunca se han formado, como los médicos que pasan cerca de la mitad de su carrera en hospitales, frente a enfermos, lo que es una lástima.

Efectos de la telemática. La revolución de las telecomunicaciones y la informática poco ha influido en los planes de estudio de los ingenieros, excepto que ahora la carrera más popular, y también la más nueva, es la de ingeniería en computación por una razón muy clara: el egresado de esta carrera puede ahora trabajar en cualquier tipo de organización, desde una miscelánea hasta una empresa transnacional, en el sector público y en el privado. Ya tiene un campo de trabajo tan amplio como el de los abogados, los contadores y los administradores. Y esto se refleja con mucha claridad en los números de profesionales que producimos, más de 40% se concentra en esas

carreras.

¿Qué pasa entonces con las ingenierías tradicionales -mecánica, eléctrica, civil, química- que desarrollan infraestructura e industria? Se han quedado atrás. Se introdujeron en los tubos unas cuantas materias de programación y nada más. Los profesores de las demás materias no han introducido el uso de la computación como parte integral de sus explicaciones. Quizá el ejemplo más notorio de esto sean los cursos de cálculo. Seguimos mostrándoles a los alumnos todos los grandes ingenios o genialidades de los matemáticos de los siglos xvii y xviii, que tuvieron que resolver polinomios o integrales, cuando ahora cualquiera se puede resolver rápidamente por iteraciones en una computadora. No se usa la computadora para hacer modelos y ver el efecto de cambio en las variables en los cursos de diseño, que es una habilidad fundamental que los ingenieros adquieren con la práctica. Aun así no debemos engolosinarnos con las computadoras que producen resmas y resmas de números. La ingeniería es un arte aproximado, que sobre todo requiere criterio y sentido de los órdenes de magnitud de las cosas que estamos diseñando.

Por otra parte, la rigidez de los tubos impide a los alumnos tomar cursos a distancia a través de internet, de los cuales hay decenas de miles, porque no están en el plan de estudios. Están los alumnos como avestruces, con la cabeza en la arena.

Los contenidos matemáticos en las carreras de ingeniería. Cuando un alumno inquieto le pregunta a su maestro por qué tantas matemáticas, si no se aplican en los cursos superiores, la respuesta es porque las matemáticas enseñan a pensar. Cierto, pero también otras cosas enseñan a pensar, como diseñar y resolver problemas reales.

En matemáticas se han propuesto otras opciones: a) la que hasta ahora se aplica en México. Dar muchos cursos de matemáticas y física, aunque sus contenidos no se apliquen plenamente a las materias de los últimos semestres de la carrera; b) fuera de los cursos muy básicos, como cálculo, álgebra y probabilidades, dejar que los profesores de cursos superiores den las matemáticas que necesiten para sus materias, y c) pedir a los alumnos que estudien por su cuenta las matemáticas necesarias para seguir adelante.

Me gustan más las opciones b) y c) que la actual. Pienso que seguimos ciegamente una tendencia originada por el espanto que causó el Sputnik y saturamos sin pensar mucho. Es hora de recapacitar.

No se ha demostrado que los viejos ingenieros, sin tantas matemáticas, hayan sido peores que los nuevos.

La ingeniería es el diseño. La ingeniería es un arte, no es una ciencia. Usa de la ciencia para resolver un problema concreto, siempre imperfectamente definido y con muchas soluciones posibles. La esencia de la ingeniería es el diseño, entendido en su sentido más amplio, de creación de sistemas y objetos que cumplan una función específica, cruzar un río, subir agua con una máquina, construir un sistema de distribución de electricidad, hacer un programa de cómputo.

Al tener organizada la enseñanza de la ingeniería en pedacitos que se llaman asignaturas, a pesar que muchas de ellas hablan de diseños de tal o cual cosa, se piensa que esta idea global de creación es difícil de implantar en los cerebros de los estudiantes. Así, algunas universidades norteamericanas, con organización departamental, han intentado cambiar por completo la manera de producir un ingeniero. Lo que han hecho es proponer a grupos de estudiantes que a lo largo de dos o cuatro años desarrollen un diseño complejo (una nueva plataforma espacial, un avión supersónico, un sistema de transmisión inalámbrica) para el cual tienen que saber ciertas nociones de matemáticas, física, química o biología que deben ir aprendiendo durante el desarrollo del diseño, lo que los obligará a acudir a los departamentos correspondientes a informarse, aprender por su cuenta, o tomar algunas materias.

El sistema es muy atractivo, pero costoso en términos de profesores preparados y un líder que organice los proyectos y supervise a los alumnos. Entre este extremo y lo que hacemos en México para formar ingenieros hay innumerables variaciones. El argumento central es que debemos pensar en la mejoría de la formación de ingenieros, no sólo modificando unas cuantas materias del plan de estudios, sino pensando en cambios más drásticos.

Los ingenieros se hacen en la práctica. Al salir de la escuela y empezar a trabajar nos damos cuenta de lo poco que sabemos, de lo poco que se parece la realidad a lo que vimos en las aulas. Los ingenieros no tenemos la suerte de los médicos que a los dos o tres años de carrera tienen que trabajar en hospitales y clínicas donde conocen la realidad.

Se ha propuesto que una parte de la formación de los ingenieros sea trabajando en empresas de ingeniería, que este trabajo fuera parte de su

formación, como lo es con los médicos. Nunca se ha podido organizar bien el proceso, ni siquiera se han hecho experiencias piloto adecuadas. Una de las razones que se aducen para esto es que no hay suficientes trabajos de ingeniería donde los estudiantes pudieran ser aprendices por ciertos periodos. De cualquier manera, estamos muy casados con las formas tradicionales de enseñar la ingeniería en pedacitos, con la esperanza que la esencia se vaya integrando en el cerebro de los alumnos y terminen siendo ingenieros en algún tiempo futuro.

Recomendaciones para flexibilizar

Decretar que 30% de los créditos de cualquier licenciatura en ingeniería sean libres para el estudiante, que los podrá cubrir en la misma escuela, en la misma universidad, en otra universidad del país o del extranjero, con un curso a distancia por internet, o trabajando un tiempo prefijado en una empresa de ingeniería bajo la supervisión de un profesional con experiencia. Si el estudiante con sus créditos libres quiere asomarse a otro campo distinto al suyo, mejor. Aquí la decisión será ver cuáles de los créditos serán obligatorios para el estudiante. Aunque se tome la decisión de liberar los créditos, esta opción no será tomada por la mayoría de los estudiantes, pero sí por los más inquietos y creativos.

Establecer de antemano exámenes para todas las materias y ofrecerlos como se ofrecen ahora los exámenes a título de suficiencia. Cualquier estudiante que los apruebe, tiene los créditos correspondientes y no necesita ir a clase. Esta medida premia la excelencia.

Aceptar alumnos libres, que no tengan prefijada una carrera específica, que vayan tomando las materias en cualquier orden, bajo la supervisión de un tutor. Al final se le pondría el apellido a su licenciatura.

Autorizar que se prueben nuevas materias y especialidades de ingeniería dentro de las mismas carreras, para ir evolucionando de modo natural. Algunas materias tendrán éxito y demanda y otras no. Pero no pensar que un plan de estudios es inmutable e ineluctable.

Si algún estudiante quiere cambiarse de carrera, aceptarlo con los créditos que lleva en la nueva y no exigir que se cubran nuevas materias que debería haber cursado anteriormente en ella.

Suprimir el trabajo de tesis como requisito recepcional. A cambio de esto

pedir proyectos o trabajos concretos en todas las materias, tal como se hace, por ejemplo, en diseño industrial.

Pasar algunas materias prácticas de los últimos semestres a la primera mitad y otorgar automáticamente el título de profesional asociado a los que cumplan con 50% de los créditos.

Más allá de los cursos de posgrado, abrir todas las materias de la universidad para que puedan ser tomadas por cualquier persona, en cualquier época, sin mayores restricciones.