

La enseñanza de la Ingeniería

Alicia R. W. de Camilloni

La profesión de ingeniero se caracteriza actualmente y así ha ocurrido siempre, por su extremo dinamismo. En el transcurso de la historia es, probablemente, la profesión que produjo mayor número de transformaciones en lo que respecta a la variedad de campos de aplicación, enfoques, problemas y tareas que se enmarcaron en su campo profesional, cada vez más abarcativo de un mayor número de títulos especializados. Los títulos de ingeniero que se fueron incorporando de esta manera, se definieron, diferenciándose de otras profesiones, como carreras de grado, lo cual reveló y sigue revelando lo que podría percibirse como la existencia de una permanente tendencia a la implosión de la profesión y, por tanto, a la consecuente aparición de nuevas orientaciones también en el futuro.

Si bien el trabajo del ingeniero ha consistido siempre, sustancialmente, en el diseño, desarrollo y producción de una variedad de artefactos, a los que hoy se suma el diseño, desarrollo y producción de servicios, la transformación de la profesión en una multiplicidad de profesiones o sub-profesiones diferentes, es un fenómeno que debe ser tenido en cuenta cuando se examinan los procesos de enseñanza y se evalúa su calidad con el propósito de mejorarla. Las nuevas carreras de ingeniería nacen por subdivisión de ramas existentes, por especialización de ingenierías existentes, por la creación de una nueva combinación de ingenierías, por la creación de nuevas tecnologías o por tratamiento ingenieril de nuevos problemas.

Como se ha observado¹, los cambios en la profesión se han producido como respuesta a los cambios sociales y tecnológicos que inducían a la creación de nuevos tipos de desempeño ingenieril y a la consecuente y necesaria introducción de nuevos programas de formación de los recursos humanos capacitados para resolver los problemas que surgían en consecuencia del desarrollo tecnológico. La creación de nuevas ingenierías siguió este ritmo definido por saltos, en procura de adaptarse a las innovaciones que en lapsos variados iban produciéndose. Es preciso señalar, sin embargo, que el ritmo de los cambios sociales y tecnológicos ha sufrido una modificación fundamental en las últimas décadas. De ser intermitente ha pasado a ser continuo. De este modo, los cambios en el campo de la(s) ingeniería(s) obligan a tener en cuenta la necesidad de una metamorfosis constante en lo que respecta a la determinación de los títulos profesionales y sus alcances, los tipos de proyectos a desarrollar, la naturaleza de los problemas a resolver y las modalidades de desempeño laboral así como en lo que se refiere, igualmente, al diseño de los programas destinados a la formación de los profesionales del campo.

Si se trata de capacitar a ingenieros que se graduarán dentro de algunos años y se desempeñarán en puestos de trabajo y tareas que todavía se desconocen, ¿cómo pueden

¹ *The Engineer of 2020. Visions of Engineering in the New Century* (2004) National Academy of Engineering. Washington DC: National Academies Press.

la universidad y las escuelas de ingeniería anticipar los cambios y preparar para un futuro incierto? Este es el desafío que enfrentan hoy las universidades y los profesores universitarios en la formación de profesionales en muchos y diversos campos, entre ellos y, en especial, las ingenierías.

La flexibilidad de los programas de formación y la versatilidad de la formación de los graduados parecen constituirse actualmente en rasgos fundamentales que deben caracterizar la enseñanza de la ingeniería. Flexibilidad y versatilidad que incluyen no sólo la redefinición de contenidos sino también, la permanente reconsideración de los títulos que se otorgan. No se limita el problema a la enseñanza de grado sino que comprende la formación de posgrado, que ha alcanzado en las últimas décadas un gran desarrollo y cuyo diseño plantea problemas propios.

El diseño del currículo universitario de ingeniería requiere la consideración de problemas de nivel macro y micro.

Desde un nivel macro amplio, en atención a que las modificaciones se producen en los planos sociales, económicos y laborales, es menester analizar las relaciones presentes y hacer hipótesis respecto de las relaciones futuras entre

- El sistema productivo nacional
- El sistema económico nacional
- Los procesos económicos mundiales
- Los procesos de internacionalización
- Los procesos de globalización
- Los mercados laborales
- Los campos profesionales de las ingenierías
- La participación de los ingenieros en la definición de políticas públicas
- Los programas de formación de ingenieros
- La relación de la universidad con los cuerpos profesionales
- La vinculación entre los cuerpos académicos de la universidad y las escuela de ingeniería

En cuanto a los problemas de nivel micro, a resolver en el interior de la institución universitaria, algunas de las cuestiones específicas que es necesario considerar en la formación de los ingenieros son las siguientes:

- La articulación con la escuela secundaria
- La sub-representación de las mujeres en la profesión
- La actualización permanente de la formación universitaria de grado y de posgrado por el peligro de rápida obsolescencia de los conocimientos adquiridos por los estudiantes
- La interdisciplinariedad de los problemas ingenieriles
- La vinculación entre las ciencias básicas enseñadas y la formación profesional
- La integración de la formación disciplinaria y la formación profesional
- La multiprofesionalidad de los problemas ingenieriles
- La articulación educación-trabajo
- La articulación teoría-práctica
- La preparación para el desarrollo profesional continuo

Cada uno de estos temas presenta una problemática específica que requiere un cuidadoso tratamiento y apropiada resolución tanto en el plano del diseño curricular cuanto en el del “currículo en acción”, esto es, en el currículo efectivamente enseñado. En este sentido, no se trata sólo de reformular los documentos (planes de estudio, reglamentos) sino de infundir un nuevo espíritu en la enseñanza en aulas y laboratorios, modificar las estrategias de la evaluación de los aprendizajes y transformar hábitos de estudio de los alumnos. Enseñanza, aprendizaje y evaluación deben responder a un mismo enfoque en el que el principio básico es que el conocimiento se construye y que la tarea del profesor es crear las situaciones en las que el estudiante es orientado y estimulado para lograr un aprendizaje consistente en adquirir no sólo información, sino también, y fundamentalmente, capacidad para resolver problemas, tomar decisiones y diseñar, desarrollar e implementar proyectos.

En un informe sobre las nuevas exigencias en la formación de ingenieros mecánicos elaborado hace pocos años en una reunión especializada, se afirmaba que “esta transformación requiere una nueva infraestructura y nuevos métodos de enseñanza, capaces de desarrollar habilidades específicas en estudiantes que presentan diferencias, pero que deben lograr los atributos que debe poseer un graduado: una sólida formación básica, flexibilidad y agilidad, capacidad de innovación y creatividad para beneficiar a la sociedad, tendencia a concentrarse en el todo, capacidad para trabajar en equipo y para ejercer liderazgo y habilidades de comunicación”.²

La calidad de la enseñanza es decisiva para lograr estos propósitos. La buena resolución pedagógica de cada uno de los problemas que antes mencionamos obliga al profesor a trabajar muy rigurosamente la programación didáctica de su curso, la implementación de esta programación y su reformulación sobre la marcha de acuerdo con lo que ocurre en la práctica de la enseñanza y con la evaluación de los resultados que se van obteniendo.

La creciente complejidad de lo que se debe enseñar y el reconocimiento de que los estudiantes universitarios no responden a un estereotipo sino que son realmente diversos entre sí, ha conducido en los últimos veinte años a poner una mayor atención en el tratamiento pedagógico, y no sólo disciplinar, de la docencia universitaria. El caso de las ingenierías es particularmente sensible a este respecto. En una investigación realizada hace diez años, el 98% de los estudiantes de ingeniería que cambiaron a otra carrera manifestaron que la mala enseñanza era la razón principal de ese cambio y el 81 % añadió que no había recibido adecuado apoyo tutorial. (C. Adelman, 1998)³

La calidad de la enseñanza depende de la efectividad con la cual la acción docente crea situaciones de aprendizaje en las que los estudiantes encuentran buenas condiciones y buenas oportunidades para lograr aprendizajes más flexibles, más estables, más profundos, más condicionales y más integrados. Los aprendizajes son más

² Report of *The "5XME" Workshop: Transforming Mechanical Engineering Education and Research in the USA* Edited by A.G. Ulsoy May 10-11 National Science Foundation, Arlington, VA, , 2007

³ Cit. en *Educating the Engineer of 2020. Adapting Engineering Education to the New Century* (2005) National Academy of Engineering. Washington DC, National Academies Press

flexibles cuando se pueden emplear los conocimientos aprendidos en un abanico amplio de situaciones variadas; son más *estables* cuando tienen rasgos que les confieren “robustez”, cuando sus raíces son fuertes y no se desvanecen fácilmente; son más *profundos* cuando forman parte de una red cognitiva en la que se han establecido gran cantidad de relaciones entre lo ya conocido y lo nuevo y entre las distintas dimensiones desde las cuales estos conocimientos pueden ser interpretados, todo lo cual facilita su recuperación en una diversidad de situaciones problemáticas; son *condicionales* cuando no sólo se ha incorporado un conocimiento a la red cognitiva sino que se sabe cuándo, dónde y cómo usarlo y, por último son más *integrados* cuando no presentan rasgos de encapsulamiento sino que se pueden movilizar desde una disciplina a otra, desde un tema a otro, desde un problema a otro problema, desde un caso a otro caso.

Las situaciones de enseñanza creadas por el profesor, que se encuentran entre las determinantes más importantes de la calidad de los aprendizajes, son tributarias de las estrategias de enseñanza empleadas por los docentes. El empleo de modalidades en las que el estudiante no se limita a escuchar una exposición o a presenciar una demostración o a resolver problemas bien definidos que tienen una única forma de resolución y una única respuesta correcta, sino que se encuentra en situaciones en las que tiene posibilidad de dialogar, preguntar, responder, ensayar respuestas y emitir hipótesis, analizar situaciones e identificar problemas, inventar problemas y buscar soluciones alternativas, diseñar proyectos y desarrollarlos y ponerlos a prueba, son por ejemplo, excelentes oportunidades para desarrollar esas capacidades que antes mencionamos como indispensables para un ingeniero en la actualidad.

Un aspecto fundamental a atender es, por tanto, el que se refiere a las estrategias de enseñanza que se utilizan en la formación.

Otra dimensión del problema se ubica en el nivel de las decisiones de diseño del currículo. Los requerimientos de formación son muchos y deben encontrar resolución adecuada en la selección y la organización de las asignaturas, en sus programas de contenidos y en la apropiada distribución de tiempos entre ellas.

Podemos definir, de este modo, algunos de los componentes fundamentales del diseño curricular que responden a demandas comunes de la formación de los profesionales universitarios y que se deben atender, en consecuencia, en la enseñanza de las ingenierías.

Son estos componentes los que enunciamos a continuación:

- La formación **general**
- La formación **básica**
- La formación para la **integración** de conocimientos científicos, técnicos y profesionales y su aplicación a la resolución de **problemas**
- La formación de competencias para la elaboración de **proyectos**
- La formación en **investigación**
- La formación para la **empleabilidad**
- La formación **ética** en el desempeño profesional
- La formación para la relación con **el cliente**
- La formación para la relación con **la comunidad**

Las decisiones que se adopten para la inserción de cada uno de estos componentes y las relaciones que se establecen entre ellos son las que, finalmente, configuran un diseño que será o no apropiado para lograr el tipo de formación que hoy se requiere en los profesionales que se gradúan en la universidad.

Las exigencias de formación general se han acentuado progresivamente. Encontramos hoy repertorios de competencias relacionadas con las capacidades de comunicación y de manejo de la información, que incluyen una variada panoplia de clases de alfabetización: lingüística, científica, matemática, tecnológica, audiovisual, artística, informacional, digital y de la interacción social.

La alfabetización lingüística abarca no sólo un muy buen nivel de las competencias comunicativas de lectura y producción en la lengua materna sino también un aceptable dominio de por lo menos otra lengua extranjera; la alfabetización científica comprende el conocimiento con buen nivel de comprensión de conceptos fundamentales de las ciencias formales y las ciencias fácticas, naturales y sociales, así como conocimiento acerca de la naturaleza del conocimiento científico y de su construcción; la alfabetización audiovisual consiste en el buen manejo de los lenguajes audiovisuales también lo que se refiere a comprensión de mensajes como a producción de mensajes; la alfabetización artística es la que abre el mundo de la creación humana en las diferentes artes, para su disfrute y ofrece un camino insustituible para el desarrollo del conocimiento y la imaginación; la alfabetización informacional, que ha adquirido creciente importancia, es la que capacita para la búsqueda, la selección y la evaluación de la información en las variadas fuentes que hoy están a disposición de especialistas y no especialistas en todos los campos; la alfabetización de la interacción social se refiere al aprendizaje de las normas y reglas que rigen el comportamiento de las personas en el desempeño de sus diferentes roles y en diversidad de situaciones en las que deben interactuar con otras personas. Las alfabetizaciones matemática, tecnológica y digital, que son imprescindibles para todas las personas, en el caso de los estudiantes de ingeniería conforman una porción sustancial del componente de su formación básica.

En estudios efectuados sobre las condiciones de empleabilidad de los graduados universitarios⁴ se ha observado que no es suficiente ya poseer un diploma que habilite para el ejercicio profesional especializado sino que en el mercado de trabajo se demandan competencias que integran lo que estamos denominando formación general. Estas observaciones surgen tanto de los estudios que elaborados sobre la base de las respuestas de los graduados que se desempeñan en el campo laboral como de los empleadores, para los que es tanto o más importante la posesión de estas competencias que el conocimiento profesional del graduado. Es posible concluir, entonces, que el componente de formación para la empleabilidad no está vinculado sólo con la formación profesional sino que está fuertemente relacionado con el de formación general. Se trata, por lo tanto de incorporar estos tipos de alfabetización en el diseño

⁴ Mantz Yorke: "Employability in the Undergraduate Curriculum" *European Journal of Education*. Vol.39, N° 4, 2004; "What are Graduates? Clarifying The Attributes of "Graduateness". (1995) *The Higher Education Quality Council (HEQC) Quality Enhancement Group*

curricular universitario, partiendo de los niveles de competencia que los estudiantes traen de su formación previa en la escuela secundaria.

¿Se deben incluir como asignaturas especiales de formación general? Podríamos responder que sí, en parte, porque requieren enseñanza sistemática y tiempo de aprendizaje pero que también deben desarrollarse intencionalmente y de manera programada en todas las asignaturas del plan de estudios.

La formación general debe constituir un primer ciclo en el currículo? En mi opinión no debe ser así. Debe recorrer todo el proceso de formación, desde el primero hasta el último año de la carrera.

El componente de formación básica es propio de cada carrera o, más precisamente, de cada familia de carreras, de acuerdo con los criterios que se empleen para definir cuáles son los miembros de la familia. Es relativo al aprendizaje que el estudiante debe desarrollar en su formación profesional. En el caso de las ingenierías comprende lo que suelen denominarse las ciencias básicas de la ingeniería.

El principal problema que plantea este componente es el logro de una verdadera articulación con las materias de formación profesional. En los currículos en los que hay una división en ciclos, de formación básica y de formación profesional, la principal queja de los profesores del ciclo profesional es el “insuficiente conocimiento” de las materias de formación básica que poseen los estudiantes. Sin embargo, los alumnos han aprobado esas asignaturas y lo hicieron porque demostraron poseer conocimientos suficientes. Habría que examinar, entonces, qué es lo que obstaculiza el establecimiento de relaciones entre el conocimiento básico y el aplicado. Si algo caracteriza, precisamente, los problemas y proyectos de la ingeniería moderna es que su resolución requiere conocimientos articulados de diversas ciencias básicas, matemática, tecnología e ingeniería. Desde el punto de vista de la orientación y elección de carrera así como en atención a la desarticulación de la formación básica y profesional, parece aconsejable iniciar tempranamente la formación profesional. La mejor solución no parece ser el tradicional diseño curricular en capas, primero de formación general, luego de formación básica, para concluir con la formación profesional. El diseño debería pensarse más bien como una formación profesional que se inicia ya en primer año y que es acompañada y apoyada por una formación básica en ciencias de la ingeniería que se va desplegando con grados de profundización creciente a lo largo de la carrera en tanto la formación profesional se va precisando y complejizando progresivamente al compás de los problemas y proyectos con los que los alumnos deben trabajar para desarrollar sus conocimientos.

De este modo, se podría resolver, igualmente, la aplicación del principio de integración de los conocimientos que caracteriza a la ingeniería como profesión dado que se iría facilitando como resultado de un trabajo articulado, superador de la formación fragmentada que suele hallarse en los procesos formativos en las universidades.

La enseñanza y la evaluación de los aprendizajes de disciplinas integradas a través de la resolución de problemas y el diseño y desarrollo de proyectos constituye un principio organizador del currículo que apunta a dar solución apropiada a un delicado problema pedagógico.

En las conferencias que pronunció en el MIT cuando fue invitado en ocasión de los estudios que se hacían para crear un nuevo currículo para las carreras de ingeniería, Herbert Simon⁵ definía a la ingeniería como una de las Ciencias de lo Artificial, como una ciencia de hacer proyectos, de crear lo que todavía no existe. Siendo así, el componente de diseño, desarrollo, implementación y evaluación de proyectos ingenieriles debe recibir un lugar preponderante en los procesos de formación con asignaturas dedicadas sustantivamente a esta tarea y estrategias de enseñanza en diversas asignaturas que tomen a su cargo estos aprendizajes profesionales a partir de una gran diversidad de proyectos pertenecientes a campos de aplicación diferentes y con distintas escalas de magnitud.

La formación en investigación es actualmente una dimensión que es necesario desarrollar sistemáticamente. El ingeniero, porque es propio de su profesión, produce conocimiento a través de la resolución de problemas científicos y tecnológicos. Hemos dicho que debe poseer conocimientos acerca de la naturaleza de las teorías científicas. Ideas como, por ejemplo, pensar que el mundo es comprensible, aunque lo sea de manera limitada, que las ideas científicas están sujetas al cambio, que el conocimiento científico tiene alguna estabilidad en el tiempo, que la ciencia no puede proveer respuestas completas para todas las preguntas, que la investigación requiere evidencia y, finalmente, que la ciencia no es autoritaria. Es necesario que tenga ideas acerca de las relaciones existentes entre la ciencia y la tecnología y que no vea a esta última como una simple aplicación o derivación de las ideas científicas. La resolución de problemas tecnológicos requiere especial capacidad para construir modelos, cambiarlos, adaptarlos, transferirlos a nuevas situaciones y problemas y para conceptualizar la acción. Investigar en ciencia e investigar en tecnología no son actividades totalmente similares. Tienen aspectos en común y otros diferenciales. La experiencia en el trabajo en ambos es indispensable en el proceso de formación de un ingeniero.

El ingeniero es un profesional con responsabilidad individual y social. Su actividad exige compromiso en el logro de los mejores resultados de su trabajo, seriedad en la consideración de los diversos factores que debe tomar en cuenta antes de tomar una decisión, autonomía de juicio, conciencia del impacto de sus acciones y precaución antes de realizarlas. Principios como el de conservación del ambiente y de sustentabilidad deben estar siempre presentes. Por ese motivo, la formación ética también necesita un tiempo curricular. No es suficiente estudiar las leyes que rigen el desempeño profesional. Es imprescindible trabajar en profundidad problemas que planteen alternativas éticas, sopesar y priorizar intereses y estudiar casos en los que buenas y malas decisiones han producido consecuencias que afectan la vida presente y futura de las poblaciones.

El ingeniero es un profesional que debe saber relacionarse con los clientes (individuos, organizaciones públicas y privadas) y con comunidades. Debe aprender a escuchar y a interpretar sus demandas. Debe actuar en beneficio de los clientes y no en su propio interés. Es este otro componente que hay que trabajar durante la formación. El estudiante debe aprender a insertarse en diferentes lugares, situaciones y organizaciones, a encarar su trabajo con rigurosidad y compromiso, con equilibrio y capacidad de reflexión. Un componente de educación experiencial incluido en el diseño curricular facilita el logro de estos aprendizajes.

5 Herbert Simon (1979) Las ciencias de lo artificial, Barcelona, AYTE.

Nos hemos referido hasta acá a algunas cuestiones relacionadas con la enseñanza y las estrategias de enseñanza que conviene emplear en la formación de ingenieros y a la necesidad de incorporar en el currículo de manera muy reflexiva y cuidadosa, y también creativa, algunos de los componentes principales de formación.

Mencionaremos a continuación a otro problema que se deben tomar también en consideración.

Uno de ellos es la preparación y la conciencia de la necesidad de un desarrollo profesional continuo. El graduado debe saber que su formación deberá proseguir durante todo el transcurso de su vida profesional y debe estar preparado para afrontar esa obligación.

Una adecuada formación, que responda a los principios que hemos ido enunciando exige la intervención de profesores con distinto perfil profesional: científicos básicos con sensibilidad ante los hallazgos de otras disciplinas y conocimiento de problemas tecnológicos, ingenieros académicos que investigan en los campo de desarrollo del conocimiento ingenieril e ingenieros prácticos con conocimiento de desarrollo tecnológicos actuales y experiencia en el ejercicio de la profesión.

La clave del éxito se encontrará en la efectividad de la coordinación de los esfuerzos que ellos y la institución hagan para lograr un alto nivel de formación de los graduados y en la capacidad pedagógica que tengan los profesores para llevar a la práctica los principios que hemos enumerado, de manera de inspirar en sus estudiantes conocimientos disciplinares y profesionales, desarrollar estrategias cognitivas de orden superior, creatividad y valores sociales.

Walter W. Laity identifica el cambio de la ingeniería mecánica como profesión, partiendo de una vieja definición que dice que “es la rama de la ingeniería que acompaña la generación y aplicación del calor y la energía mecánica y la producción, diseño y uso de máquinas y herramientas” (Webster, II *New College Dictionary*, 2001) y llega a la definición actual que, según Adnan Akay (2003) “orienta las preocupaciones sociales por medio del análisis, diseño y manufactura de sistemas en todas las escalas”.⁶

Las ingenierías cambian y los graduados deben prepararse para los cambios y para no limitarse a ser usuarios de innovaciones sino productores de cambios responsables.

⁶ Walter W. Laity (2004): “Body of Knowledge – Mechanical Engineering”. *The following plenary topics at the 2004 ASME Mechanical Engineering Education*