

EDUCACION PARA LA PROFESION CONOCIDA COMO INGENIERIA

Luis A. Godoy ¹

En este escrito pretendemos considerar las diferentes tensiones que ocurren en las ingenierías referidas a los atributos y aspiraciones que debe tener un ingeniero y a su interrelación con el enfoque del currículo. Está basado en una conferencia dictada por el autor en la reunión anual de LS-AMP frente a una audiencia mayoritariamente de científicos.

SOBRE LA IDENTIDAD DE LAS INGENIERIAS

Las “Ingenierías” tienen identidad separada de las “Ciencias”

Para considerar la educación en ingeniería en un contexto en el que también se trata la educación en ciencias hay que aclarar en qué medida se diferencian unas de otras como disciplinas. Diferenciar los ingenieros de los científicos no parece difícil. Según dice un biólogo [1],

- El mundo se divide entre cosas que parecen diseñadas (como mariposas y aviones) y cosas que no parecen diseñadas (como montañas y rocas).
- Las cosas que parecen diseñadas se dividen entre aquellas que son realmente diseñadas (como abrelatas y submarinos) y cosas que no lo son (como plantas y peces).

Para avanzar en el tema de nuestra presentación, es necesario comprender a las ingenierías de manera diferente de las ciencias:

- Tradicionalmente, las “ciencias naturales” tratan de comprender el mundo que existe. Sus métodos están orientados a describir el mundo natural.
- Las ingenierías tratan de crear algo que no existe o de modificar alguna cosa. Están ligadas a la acción. Las cosas que se crean no existirían de no ser por la intervención humana.

Entre las diferencias claves entre ciencias e ingenierías resaltamos

- Las actividades distintivas (“diseño” en ingenierías, versus “investigación” en ciencias).
- Las unidades de logro (“solución de problemas” en ingenierías, versus “descubrimiento” en las ciencias).
- La actitud frente al mundo (“observar y comprender” en las ciencias, versus “crear nuevos productos” en las ingenierías).
- La responsabilidad profesional (las ingenierías tienen responsabilidades profesionales y sociales, que no están presentes con la misma intensidad en las ciencias, especialmente en aquellas ramas conocidas como ciencias puras).

¹ lagodoy@yahoo.com

- La relación con la sociedad (“servir a la sociedad” en ingenierías, versus “enriquecer conocimientos” en las ciencias).

El lugar social de las ingenierías versus el de las ciencias es otro tema que requiere mención. En general, existe en la sociedad una visión según la cual los logros de la humanidad se deben a las ciencias, mientras que los problemas y fracasos son causa de las ingenierías. Por ejemplo, la Figura 1 muestra una propaganda en la que se afirma que “Científicos suecos crean la mejor cama del mundo”. Henry Petroski ha resaltado ese sesgo en la prensa cuando alude a ingenieros y científicos.

Theirs...
Fancy on the outside.

Ours...
Miracle on the inside.

It's what's inside that counts...

SWEDISH SCIENTISTS GO UNDERCOVER TO CREATE THE WORLD'S BEST BED!

DEVELOPED FOR NASA...PERFECTED BY TEMPUR-PEDIC...DESIGNED TO FIT YOUR BODY...

Tempur-Pedic's phenomenal, SLEEPER SYSTEM is changing the way Americans sleep. Our amazing bed is the future. Interiors and air beds are the past.

Other mattresses are fancy on the outside. Ours is a miracle on the inside. Trillions of viscoelastic ADJUSTABLE CELLS work as "biological springs" (not cut-away pieces) to conform precisely to your body.

We promise 83% better sleep!
The thick pad that covers other mattresses keeps their steel springs inside, but creates a hammock effect outside. This actually causes pressure points. That's why Tempur-Pedic uses zoning and zoning by 1996.

Adjusts to fit you and your spouse.
Our exclusive Tempur® material uses body mass and temperature to effectively adjust to your exact shape and weight. This sleep matrix gives you total support. Its microscopic structure is self-ventilating for cool, perspiration-free sleep.

Works naturally...automatically.
The Tempur-Pedic bed utilizes no electricity, no air, no pumps, no heated water. Instead, it uses natural principles of physics to give you the everlasting "fit" of weightless sleep. There are no settings or controls to adjust...no heaters, motors, or air pumps to break. You do nothing but lie down on it.

The press is giving us rave reviews!
TV, radio, magazines, newspapers, medical publications...our high-tech bed is winning wide acclaim. Recent NBC told all America about Tempur-Pedic. So did Lou Dobbs on CNN's *Realtime Live!* and CBS's *60 Minutes*. The Wall Street Journal, Associated Press, Discovery Channel, and others have also featured our breakthrough sleep technology.

Try it at our risk for 3 months!
We'll set up a brand new demo bed in your bedroom...even remove the old bedding...and give you 3 full months to sleep on it. If you don't love it, we'll pick it up and take it back...at our expense!

25,000 doctors & sleep clinics say "Yes!"
Our owners love the feeling of *WORTHLESS SLEEP* and the way Tempur-Pedic eases aches, pains, back problems. Over 25,000 doctors, medical professionals, and sleep clinics recommend our Swedish Sleep System.

Our free DEMONSTRATION KIT is yours for the asking. No obligation of any kind. Just call our hotline below. You'll be glad you did!

Officially Recognized by NASA
Our bed is living proof of NASA's contribution of new consumer-benefiting technologies. Swedish scientists, starting where NASA's spacecraft seating research ended, perfected our unique patent pending product.

In May of 1996, Tempur-Pedic was recognized by NASA for technology-transfer achievement.

The miracle is on the inside!

You've got to feel it to believe it!

TEMPUR-PEDIC
FREE SAMPLE / FREE VIDEO / FREE INFO
800-886-6466
For us 800-886-6466 Visit our website at www.tempurpedic.com

Figura 1. En general, los éxitos de las ingenierías con atribuidos a las ciencias.

El mundo de los ingenieros es el mundo de las cosas artificiales (más algunas naturales)

Los productos de la ingeniería pertenecen al mundo de lo artificial. Herbert Simon las denomina “Ciencias de lo Artificial”. En las ingenierías hay objetos, propiedades y fenómenos artificiales. Hay intencionalidad humana: las ingenierías se ocupan de cómo deberían ser las cosas para (a) conseguir determinados fines, y (b) adaptarse a ciertos objetivos [5].

La actividad central de las ingenierías es el diseño y la unidad de logro es la solución de problemas.

Los factores que se relacionan para conseguir los fines o adaptarse a los objetivos son fundamentalmente:

- El propósito o finalidad del producto².
- El carácter del producto.
- El medio en el cual debe actuar el producto.

Observamos que no todo es artificial en las ingenierías. El “mundo natural” entra en dos de esos factores: en el medio y en la estructura del producto. En realidad, se puede pensar que el producto de la ingeniería es una interfaz entre un medio interior (formado por su sustancia y organización) y otro externo (Figura 2). Para poder inventar y diseñar algo hace falta no solamente describir el producto en detalle (su organización y funcionamiento) sino también el medio en el que va a desarrollar su función.

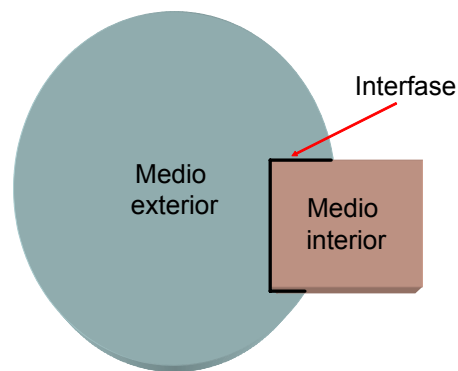


Figura 2. Un producto de la ingeniería puede conceptualizarse como una interfase entre su medio interior y el medio exterior, según Simon [5].

Pero diseñar no es lo mismo que desear, de modo que para plasmar un diseño es necesario llevar a cabo un proceso más o menos estructurado.

Los roles de los ingenieros no son universales ni atemporales

El concepto de ingeniero, en cualquier nivel de profundidad que lo consideremos, depende de la geografía y del tiempo.

Para comprobarlo, basta con observar retrospectivamente de qué manera ese concepto ha evolucionado en el tiempo: originalmente existían dos ingenierías, militar y civil. Esta última se dividió luego en varias ramas, entre ellas civil, mecánica, industrial, eléctrica, química, de computadoras... aeronáutica, naval, nuclear, petrolera, agrícola, minera, oceánica, de sistemas, de materiales... En algunas épocas, la ingeniería civil se dividió en civil y municipal, aunque la tendencia más reciente es entre ingeniería civil y ambiental. Aun así, lo que queda de ingeniería civil reúne en realidad a varias especialidades: estructuras, transportes, ambiental, geotecnia y construcción. A su vez, ambiental reúne a hidráulica e hidrología, calidad y tratamiento; geotecnia reúne a suelos y fundaciones; mientras que transportación se divide en diseño y construcción de carreteras y análisis de sistemas de transporte. Las

² El término producto ingenieril o artificial no está limitado a cosas físicas, sino que incluye programas de computadora, procesos, metodologías.

sucesivas subdivisiones de las carreras son parte de un marco siempre cambiante, con especializaciones orientadas a atender necesidades sociales cada vez más especializadas.

En algunas de las ingenierías los documentos de diseño de un producto se emplean para fabricar cantidades grandes de esos productos (como computadoras o automóviles). Pero el diseño en ingeniería civil son tales que se construye un solo producto como resultado de un diseño (como represas o museos) [6] debido a diferencias en el medio externo y en las finalidades del producto. El costo de diseño en un producto de la ingeniería civil suele ser muy elevado y requiere planificar el mantenimiento durante la vida útil. Estos productos deben satisfacer tanto restricciones de la sociedad como de la naturaleza.

De manera que no podemos aspirar a la misma enseñanza de la ingeniería hoy que hace 50 años, ni aquí que en los países del este europeo de la década del 70, ni en ingeniería civil que en la electrónica.

Nuestras conclusiones son que

- No podemos tener una única visión universal sobre lo que debe ser un ingeniero, que pueda ser impuesta a todos los seres del planeta, sólo porque la economía se encuentre en un proceso de globalización.
- Entendemos que el concepto del ingeniero global es una utopía. La mayor aspiración que podemos alimentar es crear una sensibilidad global en la educación del ingeniero local. En sus fundamentos, la ingeniería es global, pero en su diseño, la ingeniería es local y regional.

¿Quiere esto decir que las ingenierías no tienen una identidad? Por el contrario, creemos que tienen una fuerte identidad, que gira alrededor del diseño y la solución de problemas.

VISIONES EN COMPETENCIA SOBRE LA EDUCACION EN INGENIERIA

La educación para la profesión de ingeniería es mucho más que un bachillerato

Ingeniería es la única de las profesiones (considerando las de la salud y las leyes) que aceptan un bachillerato como grado profesional en la actualidad, pero es probable que esta situación cambie en la próxima década. La educación para la profesión que (actualmente) se conoce como ingeniería se lleva a cabo en varias modalidades y etapas, incluyendo bachillerato universitario, educación graduada, adiestramiento en empresas y educación continua.

La educación universitaria de bachillerato no puede seguir dando todo lo necesario para la práctica profesional que se desarrollará sobre un periodo de unos 30 años. Ya no podemos pensar en una educación recibida de una vez y para siempre, porque las ideas se vuelven obsoletas en un intervalo de tiempo mucho menor que el término de vida de un profesional (como se intenta mostrar en la Figura 3), con ritmos que dependen de las especialidades.

Aún aceptando este postulado, ¿qué educación debemos ofrecer en el nivel de bachillerato en ingeniería? Entendemos que en el mundo desarrollado

industrialmente y en la actualidad, hay varias visiones en competencia que inciden sobre la enseñanza de las ingenierías. Discutiremos algunas de ellas a continuación.

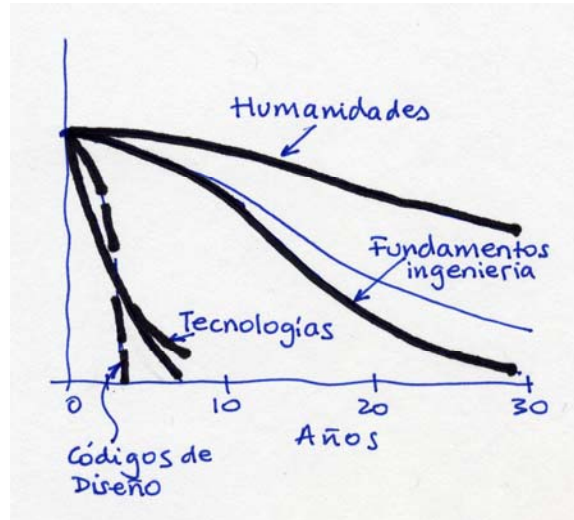


Figura 3. Decaimiento distinto de fundamentos, tecnologías y códigos de diseño en Ingeniería.

La visión de la ingeniería como “ciencia aplicada”

Esta visión parte del supuesto que las universidades deben formar ingenieros enfatizando sólo los fundamentos del conocimiento en ingeniería (también llamados “ciencias de las ingenierías”) y que el diseño es algo secuencial (para ser desarrollado en el ejercicio profesional).

Una educación en ingeniería aquí comprende las ciencias básicas (incluyendo las matemáticas), las aplicadas, las ciencias de la ingeniería y diseño al final. La hipótesis central de este enfoque es que la práctica profesional en la industria depende de que el ingeniero comprenda los fundamentos de las ingenierías. En este enfoque el estudiante trabaja mayormente con símbolos y modelos, resolviendo ejercicios en lugar de problemas.

Esta visión prevalece en muchas universidades europeas y ha sido trasladada a comienzos del siglo XX a algunos países de Latinoamérica como Argentina, por ejemplo.

En algunos países del Este de Europa este enfoque ha sido llevado a un extremo tal que muchos profesores hasta consideran indigno que sus investigaciones tengan alguna aplicación práctica. Inclusive, en países a la vanguardia mundial económica y técnica como Alemania, sus Universitäts no tienen programas de ingeniería. Las instituciones de ingeniería se conocen como "Technische Hochschule" y en la opinión pública no tienen el mismo prestigio que las "verdaderas" universidades, aquellas dedicadas a las ciencias y humanidades.

Hay muchos problemas con este enfoque, especialmente porque el diseño requiere del desarrollo de destrezas muy específicas, que no surgen naturalmente como consecuencia de los fundamentos. La visión científica (exagerada) de las universidades de ingeniería ha sido y es objeto de fuertes

críticas por sectores influyentes de la sociedad, como lo prueba un número reciente de la prestigiosa revista "The Economist".

La visión de la “enseñanza para la práctica profesional”

Según esta visión, el ingeniero debe satisfacer las necesidades de la práctica inmediata y su formación debe minimizar los costos de adaptación al mundo profesional. La meta es preparar gente que esté lista para desempeñarse en un empleo.

Explícitamente, las empresas colocan presión sobre las escuelas de ingeniería en favor de este tipo de educación por una de dos alternativas: no contratando los egresados de una escuela y no apoyando económicamente al departamento.

Esta es una reacción a la visión anterior y enfatiza la enseñanza de códigos y estándares de diseño en sus detalles, sin importar demasiado cuáles son sus fundamentos ni el conocimiento universal.

Pero limitarse a enseñar un código suele ser más simple que enseñar los fundamentos en los que se basa el código, de tal manera que muchos profesores prefieren este tipo de enseñanza de diseño o bien no resienten por tener que hacerlo. Después de todo, en la práctica de la ingeniería hay una fuerte tendencia de codificarlo todo. También los propios estudiantes tienen expectativas (y ponen presión a sus profesores) de que les enseñen los códigos, de manera de ser más atractivos a sus empleadores potenciales. En cierto modo, es sorprendente que el diseño de componentes de acuerdo a códigos de diseño aún sea llevado a cabo de manera artesanal. La alternativa es automatizar el cálculo a través de algoritmos computacionales que sustituyan los ábacos de diseño que se usaban hace algún tiempo.

Los problemas de este tipo de enseñanza son múltiples, incluyendo que el estudiante carece de creatividad para reconocer, resolver y diseñar en situaciones que estén fuera del alcance del código. Adicionalmente, un serio problema es que no se menciona el diseño conceptual, que es el que realmente hará diferencia entre una u otra solución ingenieril. También es evidente las dificultades que confronta el estudiante en calificarse y tener éxito en estudios graduados.

Hay un serio problema adicional: los códigos cambian por motivos que no son realmente técnicos, sino debido a presiones de la industria. Oficiales del “International Uniform Building Code” mencionaron recientemente al autor que anteriormente los códigos cambiaban anualmente debido a las presiones de la industria. Actualmente se han movido a cambios cada tres años. En Australia el cuerpo de códigos cambia cada diez años y éste se considera un periodo adecuado para la ingeniería civil; en realidad no es una industria que tenga cambios tan acelerados en sus requerimientos. Las presiones surgen de las industrias que introducen nuevos materiales y productos, pero los requerimientos no deberían cambiar, porque un nuevo producto no implica nuevos requerimientos, de manera que los códigos no deberían estar amoldados al mercado.

Además, hay ciertas áreas de las ingenierías de punta en donde simplemente no hay códigos de diseño, sino a lo sumo algunas especificaciones generales sobre aspectos de seguridad por parte de agencias reguladoras. Por ejemplo, los ingenieros de Boeing y Airbus no diseñan sus aviones siguiendo códigos. Por consiguiente, al preparar a los futuros ingenieros como usuarios sofisticados de “recetas” les estamos haciendo un disfavor.

Esta visión enfocada en la práctica profesional prevalece en algunas de las universidades de Estados Unidos que no se dedican intensamente a las investigaciones, en especial en universidades donde los colegios profesionales de ingeniería tienen mucha injerencia e influencia en las decisiones académicas.

Enseñanza para la “ingeniería empresarial”

Este es un movimiento de regreso al mercado y a la rentabilidad. Muchos de estos profesionales/educadores desafían la visión de ingeniería como ciencia aplicada y afirman que ellos son los que realmente hacen ingeniería en la medida que pueden diseñar y construir cosas útiles que realmente funcionen bien. Se espera la formación de “agentes de generación de riqueza” y se demanda eficiencia en el diseño. Este es el mundo de las patentes y las ganancias. Hay que ganar, cueste lo que cueste.

Esta visión es favorecida por los gobiernos de estados (o territorios) que tienen cifradas sus esperanzas de incrementar el desarrollo económico de sus estados usando como base sus universidades. Siempre se cita a instituciones como por ejemplo Stanford University o MIT como los modelos a seguir, pero se olvida que estas universidades han logrado la creación de empresas como una consecuencia de otro enfoque, y que no tienen como norte principal la visión empresarial.

Debemos mencionar que la visión empresarial ("entreprenurial" en inglés) no es muy compatible con la visión anterior de la práctica profesional. Muchas veces, la visión estrictamente profesionalista tiende a enterrar lo más importante que nuestros estudiantes de ingeniería traen a la universidad: su imaginación.

La visión “gerencial” de la ingeniería

Los educadores de esta tendencia ocupan un campo multidisciplinario en el que trabajan con otros profesionales, especialmente abogados, gerentes, científicos sociales y economistas. Parte de la ingeniería quizás sea terciarizada (“outsourcing”) y a distancia. Se pone énfasis en los grandes sistemas tecnológicos: aquí hay una visión sistémica de las obras de ingeniería.

Hay una realidad (que no es exclusiva de las profesiones de ingenierías) que (a) hay un espectro de oportunidades laborales a las que se pueden acceder a través de una educación en ingeniería, (b) la educación en ingeniería es de gran valor para desempeños exitosos en trabajos que no son de ingeniería. Un ejemplo muy citado sobre este tema es el éxito que tienen graduados de ingeniería como analistas en el mundo de las finanzas, dada su preparación en

matemáticas, dominio de las computadoras y su habilidad para resolver problemas.

Pero esto no significa que debamos preparar a nuestros estudiantes tanto para los trabajos que son ingenieriles como para los que no los son. Por ejemplo, NAE [3] dice que la práctica de la ingeniería continuará guiada por temas como “propiedad intelectual, gerenciamiento de proyectos, influencias multilingüísticas y diversidad cultural, repercusiones religiosas/morales, impactos globales/internacionales, seguridad nacional y restricciones de costo/beneficio”. Aquí aparece la confusión de identificar la práctica de la profesión de ingeniería con la educación en ingeniería. En gran medida, la capacitación de este profesional evoluciona durante su práctica y desarrollo profesional.

La visión del ingeniero como “agente social”

Esta corriente enfatiza la educación amplia, esperando que los ingenieros se visualicen como ciudadanos globales, que sean líderes en negocios y servidores públicos, educados en apreciación de la historia, filosofía, cultura y artes, además de su formación en investigación, desarrollo y diseño [3]. Un profesional formado según esta visión debería ser un agente de cambio y desarrollo social.

En una reunión reciente de LACCEI en Cartagena, Colombia, unos 20 decanos de ingeniería de universidades de América Latina, España y Estados Unidos expresaron sus puntos de vista sobre que debe incluir la formación de los ingenieros. Resumiendo, las posturas incluían una sólida formación social y económica, con competencias empresariales, de liderato; con capacidad de entender las tendencias a nivel mundial, proyectarse fuera de las fronteras de su país, comprender diferencias culturales y geográficas; también poder trabajar en su comunidad con responsabilidad social, con pleno conocimiento de su identidad y de su entorno, capaz de fomentar la identidad nacional; con un pensamiento sistémico, crítico, autocrítico; con formación en comportamiento ético y gran cultura tecnológica. Todo esto, por cierto, en adición a destrezas en ciencias básicas, informática avanzada, habilidades de comunicación (verbal, escrita y gráfica), de trabajo en grupo (disciplinar e interdisciplinar), con capacidad de innovación en su campo y de originalidad en el diseño. En otras palabras, los ingenieros deben ser (o parecer) superhombres y supermujeres.

Esta visión es mucho más fácil de implementar en países en donde la educación preuniversitaria es abarcadora y exigente. De esta manera, las universidades pueden dedicarse a mejorar las destrezas en las áreas sociales, humanísticas y de comunicación, a desarrollar el pensamiento crítico de los estudiantes, además de proveerles información técnica. Lamentablemente, en casos que las escuelas desde el nivel elemental al superior no adquieran un nivel adecuado, las universidades locales tendrán que seguir “parchando situaciones”.

Tensiones en la enseñanza de las ingenierías

Esas visiones pueden parecer complementarias, pero puestas en conjunto demandan educaciones que van mucho más allá de las que podemos ofrecer en la actualidad, que se acercan a los cuatro años de una educación universitaria.³ De manera que existen tensiones sobre puntos de vista que intentan imponerse y que inciden en la educación universitaria, con intereses específicos por detrás.

La enseñanza de la ingeniería debe enfrentarse con una multiplicidad de demandas y presiones que aparecen sin coordinación. Esto se esquematiza en la Figura 4. Corremos el riesgo inminente que la enseñanza de las ingenierías sea un barril sin fondo de la profesión del “Todo”. En realidad, el motivo de este peligro es el propio éxito de la ingeniería, dado que la tecnología juega un papel central en nuestra sociedad.⁴

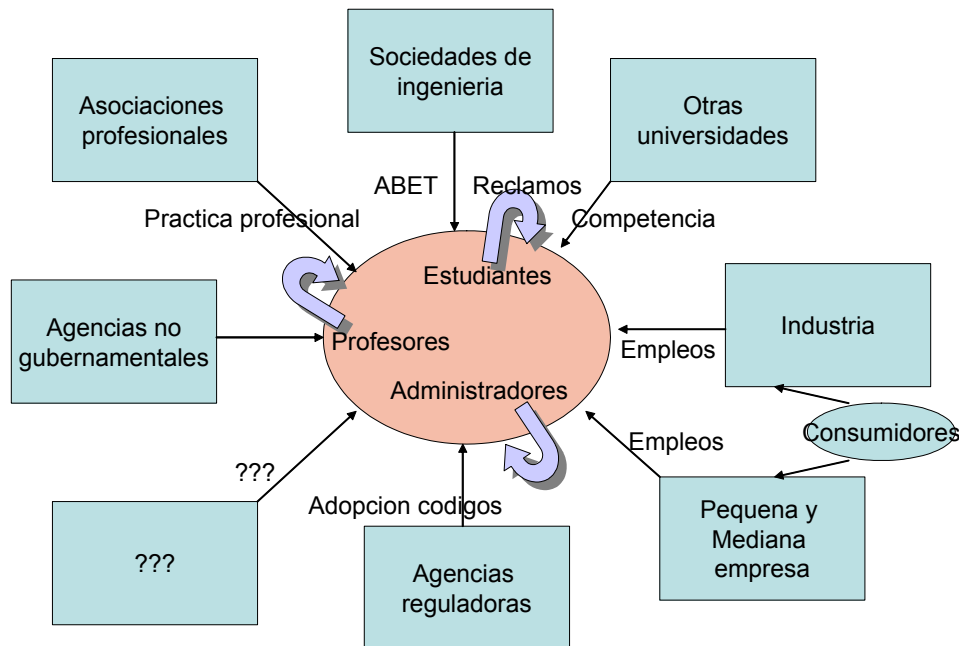


Figura 4. Presiones sobre la enseñanza de las ingenierías.

Hay quienes sostienen que la ingeniería es una profesión que se está desintegrando [7, 8]; no compartimos esa visión, dado que eso responde a una agenda específica de reorganización de nuestra profesión de una manera diferente, más orientada a las visiones empresarial o gerencial.

NUESTRA VISIÓN: DISEÑO COMO GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

³ La visión de NAE [3] dice que muchos de los atributos claves de los ingenieros en 2020 serán similares a los de hoy, pero van a ser más complejos debido al impacto de la tecnología.

⁴ Quizás en esto nos asemejemos al papel central que cumplía la religión en el medioevo.

Nuestra visión personal (compartida por muchos educadores de ingeniería [2]) puede resumirse diciendo que el eje de la ingeniería radica en el diseño. Sin embargo, el diseño es una actividad poco estudiada y menos comprendida. Uno de los problemas que tenemos en las ingenierías es que todos estamos de acuerdo en que el diseño es lo central de nuestra profesión, pero no nos ponemos de acuerdo sobre qué (y cómo) debemos enseñar de ese diseño. Sólo recientemente se han comenzado a estudiar aspectos cognitivos del diseño, incluyendo las diferencias entre expertos y novatos llevando a cabo diseños en ingeniería.

Enfatizamos que el diseño no es la aplicación ciega de un código sino un proceso creativo mucho más profundo. En nuestra opinión, el diseño es la conceptualización de la solución de problemas y la selección de alternativas. Una buena definición al respecto es la siguiente:

“El diseño en ingeniería es un proceso sistemático e inteligente en el cual los diseñadores generan, evalúan y especifican conceptos para artefactos, sistemas o procesos cuya forma y función alcanza los objetivos de los clientes o la necesidades de los usuarios además de satisfacer una serie de restricciones” [2].

El diseño en ingeniería es un proceso, y generalmente se lo conceptualiza en varios momentos⁵.

Las grandes decisiones de diseño se toman al inicio, como establecer el proceso creativo para visualizar e identificar el tipo de solución en el que se va a enfocar y de qué manera se va a cumplir una función para la cual se diseña (Figura 5). Este es el diseño conceptual. Se llevan a cabo tareas creativas y cualitativas, como la conceptualización y la toma de decisiones. Aquí es donde la creatividad y la imaginación del ingeniero son importantes [4]. Quizás basta con conocer órdenes de magnitud, pero interesa la sensibilidad de una alternativa (los cambios en la respuesta frente a cambios en los parámetros de diseño).

⁵ Generalmente se acepta que los elementos básicos del diseño son: (1) Definición del problema. Se definen las necesidades, se identifican los recursos disponibles (materiales, obreros, tiempos, fondos, equipos,...), se establecen las restricciones del problema, los criterios que deben emplearse para poder establecer méritos entre las alternativas. Esta parte se expresa en lenguaje natural. (2) Síntesis. Torbellino de ideas, conceptualización. Se requiere creatividad, conocer soluciones a problemas similares, conocer el estado del arte, valores estéticos y sociales, ... (3) Análisis. Verificación y optimización. (4) Toma de decisiones. Los criterios pueden ser de mínimo peso, menor costo, mayor seguridad, estético, impacto social o combinación de varios de ellos. Hay análisis de costo beneficio si el costo es importante. Hay que dar peso a cada criterio. Hay elementos subjetivos. El costo final de un artefacto o proyecto depende de la toma de decisiones en las etapas preliminares. (5) Documentación. Hay que documentar el diseño para que otra persona, con capacidades y conocimientos diferentes de quien diseña, pueda construir.

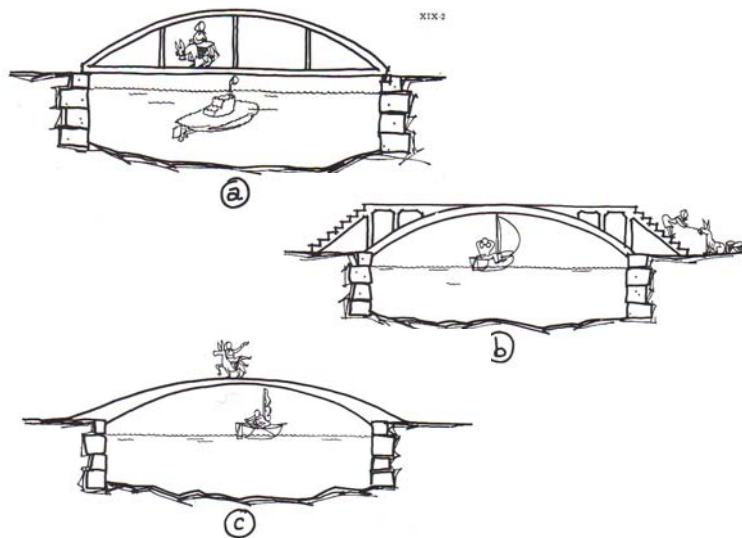


Figura 5. Diseño no es uso de códigos sino generación y selección de alternativas. Aquí el gran ingeniero español Torrojas muestra alternativas conceptuales para cumplir una función mediante un puente.

Una segunda etapa permite seleccionar alternativas de “ambiente interior del producto o artefacto”, como los materiales con los que se construirá el proyecto o el número de varillas de una viga. Hay búsqueda de óptimos y compromisos entre criterios. Se procede con actividades estructuradas y cuantitativas, como análisis y dibujo⁶. En el diseño detallado ya se han limitado las alternativas y se debe especificar detalles. Es en esta etapa que los códigos de diseño pueden ayudar.

Creemos que es necesario formar ingenieros que sepan llevar a cabo diseño conceptual, generar alternativas que permitan tomar decisiones basadas en las restricciones de cada caso y en el impacto que estas decisiones pueden tener en el entorno y en la calidad de vida.

Aquí es importante el trabajo en equipo, porque el diseño conceptual no sólo requiere de aspectos técnicos, sino también de aspectos sociales, culturales, éticos y políticos.

Para ello es necesario comprender el comportamiento de diferentes sistemas de ingeniería, que es parte de la educación en las carreras de ingeniería, mientras que las reglas de la profesión son parte del entrenamiento de un ingeniero, llevado a cabo en empresas con intereses específicos o en programas graduados orientados al ejercicio profesional en un ámbito determinado.

COLOFÓN

Es totalmente cierto que los ingenieros no trabajan en un espacio envasado y separado de la sociedad. En ese mundo real convergen aspectos tecnológicos, científicos, sociales, humanos,... en una red compleja. Pero el eje debe seguir siendo la solución de problemas tecnológicos para servir a la sociedad.

⁶ En algunos contextos es común confundir diseñar con dibujar.

Ninguna de las cinco visiones de la ingeniería anteriormente citadas es satisfactoria por sí sola. El problema está en encontrar un equilibrio que garantice satisfacer los objetivos y las necesidades del país o de la comunidad en la que la universidad está inserta. Cada escuela de ingeniería debe tomar decisiones sobre dónde espera posicionarse y definirlo claramente, para atender estudiantes que sepan en qué dirección serán educados.

Para construir un currículum de ingeniería que se adapte a los retos, amenazas, oportunidades, presiones que impone el mundo actual nadie mejor que aquellos preparados para resolver problemas y escoger alternativas: los mismos ingenieros.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Carlos A. Bartó (Universidad Nacional de Córdoba), quien llamó su atención hacia los escritos de Simon, a los Profesores Luis E. Suárez e Ismael Pagán-Trinidad (UPRM) por sus detallados aportes al manuscrito y los comentarios amistosos de Carlos Santamarina (Georgia Tech), Diego Celentano (Universidad de Santiago, Chile), Miguel A. Pando (UPRM), Carlos A. Prato y Jorge Galarraga (Universidad Nacional de Córdoba) y Pedro Arduino (Universidad de Washington).

REFERENCIAS

- [1] Dawkins, R. (2005), *Evolution*, *New Scientist*, September 17, pp. 33.
- [2] Dymm, C. et al. (2005), *Engineering design thinking, teaching, and learning*, *ASEE Journal of Engineering Education*, vol. 9(1), pp. 103-120.
- [3] NAE (2004), *The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century*, National Academy of Engineering, Washington, DC.
- [4] Santamarina, J. C. (2003), *Creativity and Engineering: Education strategies*, *Proc. Int. Conf. Engineering. Education in honor of J.T.P. Yao*, Texas A&M, pp. 99-117.
- [5] Simon, H. (1996), *The Sciences of the Artificial*, Third Edition, MIT Press, Cambridge, MA.
- [6] Utku, S. (2002), *Civil Engineering*, Fifth Int. Conf. on *Advances in Civil Engineering*, Istanbul, Turkey, September 25-27. Reproducido en *Mechanics*, vol. 31(11-12), 2002.
- [7] Williams, R. (2002), *Education for the profession formerly known as engineering*, *The Chronicle Review*, vol. 49(20), pp. B20.
- [8] Williams, R. (2002), *Retooling: A historian confronts technological change*, MIT Press, Cambridge, MA.