

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

JORGE DETTMER G.*

Resumen

Desde la segunda mitad del siglo XIX, la ingeniería y los ingenieros han desempeñado un papel fundamental en la configuración de las sociedades industriales modernas. Sus servicios resultan indispensables para el desarrollo industrial, lo cual ha elevado el carácter científico y el prestigio social de la ingeniería a lo largo del siglo XX, pero al mismo tiempo, ha suscitado importantes interrogantes relacionadas con la identidad de la profesión, su reclutamiento, educación y la formación profesional, la diversificación de sus opciones de trabajo, la función de sus asociaciones profesionales y la responsabilidad ética y social que deben asumir frente a los impactos sociales y ambientales provocados por la tecnología. Se establece la relación entre ciencia, tecnología e ingeniería para aclarar en qué consiste la especificidad de la ingeniería y sus implicaciones para una mejor comprensión del ser y el qué hacer de los ingenieros.

Palabras clave: Ingenierías, formación profesional, ciencia, tecnología.

Abstract

Since the second half of the 19th century, engineering and engineers have played a key role in the configuration of modern industrial societies. Services rendered by them are essential for industrial development, therefore stressing the scientific nature and social prestige of engineering all through the 20th century. Nevertheless, at the same time, great questions have arisen regarding the identity of the activity, enrolment, education and professional training, diversification of professional opportunities, role of professional associations and the ethical and social responsibility to be undertaken before social and environmental impact derived from technology. A clear relationship among science, technology and engineering is set in order to better clarify the specificity of engineering and its implication in the better understanding of the work of engineers.

Key words: Engineering, professional training, science, technology.

.....

*Instituto de
Investigaciones
Sociales, UNAM.

Introducción

Desde la segunda mitad del siglo XIX, la Ingeniería y los ingenieros han desempeñado un papel fundamental en la configuración de las sociedades industriales modernas. La creciente vinculación de la tecnología con la ciencia y el reconocimiento de los ingenieros como uno de los grupos profesionales más extensos, cuyos servicios resultan indispensables para el desarrollo industrial, han elevado considerablemente el carácter científico y el prestigio social de la Ingeniería a lo largo del siglo XX, pero también, han suscitado importantes interrogantes relacionadas con la identidad de los ingenieros, el reclutamiento de nuevos miembros, la educación y la formación profesional de los mismos, la diversificación de sus opciones de trabajo, la función de sus asociaciones profesionales y la responsabilidad ética y social que deben asumir frente a los impactos sociales y ambientales provocados por la tecnología.

De este amplio espectro de problemáticas, una que ha atraído la atención en las últimas años es aquella que tiene que ver con la casi simbiótica relación que se ha establecido entre la ciencia, la tecnología y la Ingeniería. El análisis de esta relación es importante por que si bien, a partir de la formulación del Informe Grinter (Grinter Report) a finales de los años cincuenta, la educación en Ingeniería adquirió una orientación cada vez más científica (o académica) y menos pragmática; hoy día parece haber una tendencia contraria.

En las páginas que siguen, discuto las interrelaciones entre los tres campos de conocimiento mencionados, tratando de aclarar en qué consiste la especificidad de la Ingeniería y sus implicaciones para una mejor comprensión del ser y el qué hacer de los ingenieros.

El trabajo se organiza en cinco secciones o apartados. En el primero, busco establecer la distinción entre ciencia y tecnología; en el segundo describo brevemente la historia de la Ingeniería haciendo énfasis en los aspectos sociales de la

profesión. En la tercera, cuarta y quinta secciones, trato de establecer el deslinde entre ciencia e Ingeniería y de distinguir a los ingenieros por sus características socio-profesionales y educativas. Finalmente, en el sexto y último apartado, reflexiono sobre las implicaciones que tendría situar nuevamente el diseño en el centro de la formación de los futuros ingenieros.

Distinguiendo la ciencia de la tecnología

La importancia crucial de las profesiones científicas y tecnológicas parece estar, hoy en día, fuera de toda discusión. El carácter cada vez más científico de la tecnología y las importantes contribuciones de esta última al desarrollo de las ciencias, han afinado notablemente nuestro conocimiento y nuestra capacidad de manipular la naturaleza, pero también, han propiciado una confusión acerca de las interrelaciones que subyacen entre estos campos de conocimiento y sobre las actividades específicas que desarrollan científicos e ingenieros y tecnólogos.

La tecnología, como se sabe, es anterior a la ciencia, pero muchos de los logros alcanzados por una y otra sólo han sido posibles por la existencia de la Ingeniería, aunque ésta no haya existido como tal hasta el advenimiento de la primera Revolución Industrial.

Diversos estudios históricos (Basalla, 1991; Munford, 1987) demuestran que, durante muchos siglos, la tecnología se desarrolló de manera independiente y disociada de la ciencia. Hasta principios del siglo XIX, la mayor parte de los artefactos y dispositivos tecnológicos creados en Occidente, fueron desarrollados por artesanos experimentados (no ingenieros), con escasos conocimientos en ciencias. No obstante, los impresionantes progresos alcanzados en el descubrimiento y la aplicación de nuevas leyes y principios científicos en los dos últimos siglos, han estrechado en tal forma los lazos entre una y otra, que hoy resulta extremadamente difícil distinguir dónde termina la “ciencia pura” y

dónde comienza “la ciencia aplicada”¹. Desde un punto de vista analítico y conceptual, sin embargo, ciencia y tecnología comportan importantes diferencias que es preciso considerar.

Aun cuando existen muchas definiciones de ciencia, dependiendo de diferentes contextos históricos, sociales y culturales², en un sentido general el conocimiento científico alude a un “cuerpo de conocimiento coherente y sistemático de cualquier objeto o materia formal o empírica, natural o cultural, logrado por algún método, con tal que: a) esté basado en un arduo, honesto y serio estudio e investigación no disponible al hombre lego (...) y; b) esté diseñado para propósitos intelectuales o pragmáticos generales, pero no para aplicaciones prácticas inmediatas en un caso o situación concreta” (Machlup, 1980:19 y 69). En otros términos, el conocimiento científico es un tipo de conocimiento diferente al del hombre lego y al conocimiento aplicado de los practicantes.

Por su parte, la tecnología ha sido definida simplemente como “un cuerpo de conocimiento acerca de técnicas”. A menudo, sin embargo, la noción de tecnología se ha extendido para abarcar “tanto el conocimiento mismo como la materialización en diseños y equipo físico utilizado en la producción” (Freeman, 1975: 22). Por consiguiente, como conocimiento, la tecnología comporta un doble aspecto: el conocimiento de cómo hacer las cosas (“*Know How*”), y el por qué tales cosas han sido hechas de cierta forma (“*Know Why*”).

En cuanto a su forma material, puede ser

conceptualizada como tecnología incorporada o desincorporada. La primera se aplica a aquel tipo de conocimiento que viene incorporado o materializado en máquinas, herramientas, o bien en personal dotado de ciertos conocimientos, habilidades y destrezas; la noción de tecnología desincorporada se aplica a aquel conocimiento utilizado o transferido tanto en forma oral y escrita como visual (Bhagaran, 1990).

Si bien en la actualidad la ciencia y la tecnología se encuentran tan estrechamente relacionadas, al punto de que cualquier avance en la primera repercute significativamente en el desarrollo de la segunda y viceversa, en rigor, la tecnología constituye un campo de conocimiento diferente y separado de la ciencia, que posee su propia dinámica interna de cambio y de progreso⁷. (Parayil, 1990: 290).

Según W. Faulkner (1998:430), existen “tres áreas estrechamente relacionadas en las cuales la tecnología se distingue de la ciencia: 1) en su propósito u orientación; 2) en su organización sociotécnica, y 3) en sus características cognoscitivas y epistemológicas”.

Respecto a la primera de estas áreas, la autora señala que mientras la ciencia se aproxima a la comprensión de la naturaleza mediante la producción de conocimiento, la tecnología pretende el control de la naturaleza a través de los artefactos. Como Vincenti (1993:254) destaca al comparar la estructura del conocimiento científico con la del conocimiento tecnológico: “(...) la diferencia esencial es entre entendimiento intelectual y utilidad práctica”.

¹ La tradicional distinción entre ciencias puras y aplicadas fue formulada por Mario Bunge hace más de treinta años. En su clásico artículo “Technology as Applied Science” (1966:329-347), Bunge propuso entender la Ingeniería como una especie de “ciencia aplicada”. Para él, no es la orientación hacia la satisfacción de necesidades lo que hace la diferencia entre ciencia pura y ciencia aplicada, sino el límite entre el investigador que busca nuevas leyes de la naturaleza y el que las aplica al diseño de un objeto útil. Con todo, en este trabajo yo asumo la posición de que la Ingeniería es más que simple “ciencia aplicada”.

² En este sentido David Layton ha señalado: “No deberíamos sorprendernos de tales diferencias. No es difícil aceptar que los conceptos de ciencia y de tecnología están sujetos a cambios históricos y que en épocas diferentes se han manejado significados diferentes para ambas disciplinas. Esta relatividad histórica del significado conceptual está apareada con su dependencia cultural. La “science” inglesa no es exactamente lo mismo que la “wissenschaft” alemana y “technology” no corresponde exactamente a “technik”, y “la educación tecnológica” no significa, necesariamente, “educación politécnica”

En relación con la segunda área, la orientación práctica (“artifactual”) de la tecnología implica que su forma de organización asuma una estructura mucho más jerárquica y heterogénea que la de ciencia, porque se basa en la descomposición del diseño tecnológico en varios problemas y subproblemas de distinto nivel, cuya solución requiere del conocimiento, la interacción y la coordinación entre diversos grupos interdisciplinarios.

Por lo se refiere a sus características cognitivas y epistemológicas, la ciencia y tecnología se diferencian por su forma de relacionarse con la naturaleza y el contenido específico de sus actividades (este aspecto lo desarrollo más adelante, al comparar la ciencia con la ingeniería).

Breve historia de la Ingeniería

Las razones acerca de por qué el conocimiento científico fue considerado –por lo menos hasta principios del siglo XX– en un plano superior al conocimiento del artesano o del hombre práctico son muy complejas para desarrollarlas aquí. En su origen, sin embargo, se encuentra la idea muy arraigada en las sociedades occidentales de que el trabajo intelectual es teórica y socialmente superior al trabajo manual (Haber, 1974:237).

Esta creencia se vio crecientemente reforzada por el sistema cultural y, específicamente, por las universidades, las cuales desde su creación en el siglo XII alentaron la formación de grupos de filósofos naturales, matemáticos, astrónomos, etc., que a partir de sus contribuciones a sus respectivos campos de conocimiento, dispusieron de los recursos, el poder y la influencia indispensables para monopolizar sus disciplinas y legitimar sus modelos y estilos de conocimiento. Lo anterior dio por resultado no sólo la constitución de una jerarquía de establecimientos científicos (Academias y universidades con poder, estatus y prestigio diferentes), sino también, en el interior de ellos, la conformación de disciplinas poderosas, de alto rango, cuyos métodos de investigación, categorías de pensamiento y esquemas de valo-

res, se convirtieron en modelos dominantes de conocimiento (Elias, 1982).

En contraste con algunas disciplinas científicas, como la Física y las Matemáticas, o profesiones liberales como el Derecho y la Medicina, surgidos de una cultura de alto estatus y legitimadas por una onerosa educación universitaria, la Ingeniería tuvo un origen modesto.

Históricamente, la profesión de ingeniero se configuró fuera de las universidades y a partir de diversas ocupaciones. En sus comienzos, los antecesores del ingeniero moderno fueron artesanos experimentados que se desempeñaron como constructores de molinos, albañiles, herreros y relojeros. Más tarde, las necesidades derivadas de la defensa militar y la protección del territorio, elevaron un poco la posición social del ingeniero, al integrarlo dentro de los cuerpos del ejército encargados de la fabricación de artefactos de guerra y la construcción de fortificaciones, puentes y caminos.

Durante el Renacimiento, la figura del ingeniero se consolidó todavía más. Sin embargo, a pesar de poseer los conocimientos técnicos para actividades de mayor escala, el ingeniero ocupó una posición social y ocupacional ambigua entre la pequeña aristocracia y el trabajador manual, realizando trabajos en los que combinaba elementos del amo y del sirviente.

Hasta finales del siglo XVIII, la Ingeniería fue más un oficio que una profesión; consistía sobre todo en un conjunto de destrezas manuales y habilidades mecánicas transmitidas de padres a hijos y de maestros a aprendices. Sin embargo, a medida que la Ingeniería se fue convirtiendo en una ocupación permanente, aparecieron escuelas (no vinculadas a las universidades), se fundaron asociaciones gremiales locales y nacionales y, con el tiempo, se fueron introduciendo estudios de Ingeniería en algunas universidades.

La unión de la ciencia con la tecnología que se produjo en Europa y los Estados Unidos a finales del siglo XIX y principios del XX, no sólo aumentó el valor de las técnicas a disposición de los ingenieros, sino que elevó sus aspiraciones

y demandas educativas como un medio para alcanzar el estatus y el prestigio social similar al de otras profesiones como la medicina y la abogacía.

Aunque efectivamente –mediante su incorporación a las universidades y la adopción de los principios básicos provenientes de la Física, la Química y las Matemáticas–, los ingenieros han conseguido elevar el estatus técnico y científico de su disciplina, desde un punto de vista social y ocupacional continúan experimentando una fuerte dualidad: por un lado, dominan las técnicas versátiles del empresario y del administrador y, por el otro, disponen de los conocimientos del trabajador hábil (Collins, 1989). Las dificultades para separar estos componentes internos de su profesión ha propiciado que los ingenieros experimenten una identidad desgarrada (manifiesta en el dualismo *managers-trabajadores* calificados), que les impide realizar plenamente sus aspiraciones profesionales, sus ambiciones económicas y su proyecto profesional. No obstante, existen importantes excepciones, pues mientras en algunos países –como Francia– la ingeniería ha adquirido un alto estatus, en otros –como gran Bretaña y los Estados Unidos– muchos la consideran como una “cuasi profesión”, debido a la incapacidad histórica de este grupo profesional para controlar sus instituciones de enseñanza a nivel superior. Por lo tanto, dependiendo del país y de su tradición cultural, se pueden distinguir diferentes concepciones de lo que es un ingeniero y de los diversos papeles que desempeña en la sociedad.

Deslindando la Ingeniería de la ciencia

Si bien la incorporación de principios básicos provenientes de la Física, la Química y las Matemáticas, han elevado el nivel científico y el potencial técnico de la Ingeniería, también han

conducido a concepciones erróneas acerca de su objeto y de sus fines. Más aún, el hecho de que hoy existan científicos que diseñen e ingenieros que investiguen para encontrar mejores soluciones técnicas, ha conducido a una suerte de extrapolación del concepto de ciencia a la Ingeniería, atribuyéndole a la primera muchos logros de la segunda. No obstante, como ya se mencionó, la Ingeniería proviene de una tradición distinta a la de la ciencia, opera bajo formas de organización, reglas de conducta y objetivos diferentes. Por lo tanto, aunque la Ingeniería se encuentra inextricablemente ligada a la ciencia, entre una y otra subsisten marcadas diferencias³.

Una primera distinción importante entre ciencia e Ingeniería, es que en ésta última el diseño ocupa un lugar central. Aunque algunos autores sostienen que el énfasis retórico sobre el diseño por parte de los ingenieros es principalmente un intento para ganar estatus, es decir, que los ingenieros se han aferrado al el diseño como una forma de asemejar su actividad a la de los científicos para demostrar que ellos también son creativos, los expertos concuerdan en que el diseño constituye la actividad fundamental para el desarrollo de la tecnología. Como Layton (1988:91) señala:

Una de las cosas que distingue a las ciencias de la Ingeniería de las Ciencias Básicas es precisamente su “propósito” de ayudar en el diseño de dispositivos o sistemas artificiales. Las ciencias de la Ingeniería son instrumentos para implementar metas a través del proceso de diseño.

Por su parte, al caracterizar las “ciencias de lo artificial”, Herbert Simon (1994:7) destaca en relación con la Ingeniería que:

Hablamos de la Ingeniería como preocupada

³ En este sentido, Rosenblith (1980) ha destacado que la ambigüedad del término “Ingeniería” –que abarca desde cualquier actividad técnica parecida a ventas y servicio hasta aquellas actividades difíciles de distinguir de las que realizan los científicos– no ha hecho las relaciones interprofesionales más fáciles.

con la “síntesis” [diseño], mientras que la ciencia está preocupada con el “análisis”. Objetos sintéticos o artificiales –y más específicamente objetos artificiales futuros teniendo las propiedades deseadas– son el objetivo central de la actividad y la habilidad de la Ingeniería. El ingeniero, y más generalmente el diseñador, está interesado con cómo las cosas *deben ser* –como deben ser a fin de *alcanzar los objetivos* y funcionar.

La segunda distinción se relaciona con el hecho de que la solución de problemas en Ingeniería es (como se destacó más arriba), una actividad más heterogénea y jerárquica que la ciencia. De acuerdo con Sorensen y Levold, la ciencia es “más homogénea en términos de disciplinabilidad, pericia y agrupamiento social, con el resultado de que los conocimientos demandados en la ciencia son bastante menos heterogéneos de lo que son las innovaciones en tecnología” (W. Faulkner, 1994: 431).

La tercera diferencia importante entre ciencia e Ingeniería, tiene que ver con la distinción establecida por Polanyi entre conocimiento local y conocimiento tácito⁴. En este sentido, aunque el conocimiento tácito es igualmente importante en la ciencia y la Ingeniería, las consecuencias económicas y sociales negativas derivadas de la experimentación fallida con dicho conocimiento son más desastrosas en el caso de la Ingeniería, ya que el fracaso de un experimento no se reduce sólo a un debate sobre el conocimiento o las condiciones de su verificación, sino que pueden incidir directamente en el deterioro de la calidad de vida de los seres humanos, producido por el mal funcionamiento de un dispositivo o diseño tecnológico, cuyos efectos negativos son en muchos casos, difíciles de predecir y medir.

Las dos últimas diferencias están relacionadas con el papel de la teoría y el carácter de la metodología en la ciencia y la ingeniería. Frecuentemente se arguye que la ciencia está basada más en la teoría y que la Ingeniería es más “empírica”. Sin embargo, como Vincenti (1993: 214) destaca:

El fin de la Ingeniería esencialmente incluye teoría basada en principios científicos pero motivada por y limitada a una clase tecnológicamente importante de fenómenos o incluso a un dispositivo específico.

Por lo tanto, en Ingeniería el interés en la teoría está más en función de la utilidad del artefacto o del dispositivo al cual se aplica, que en su poder explicativo, como si sucede en la ciencia. Para el ingeniero “no hay necesidad de leyes o teorías verdaderas”, sólo necesita que algunas de ellas sean “suficientes con respecto a los fines” que persigue. Como Poser (1998:86) afirma:

Si un ingeniero no quiere tratar de probar la verdad de lo que él usa como una teoría, ¿qué es entonces lo que quiere? La respuesta es bastante clara: busca medios para obtener una meta.

Finalmente, aunque muchos autores ven pocas diferencias metodológicas entre ciencia e Ingeniería, otros aceptan que la ciencia ha ejercido una influencia “sutil” e “indirecta” sobre la Ingeniería, a través de los métodos teóricos y experimentales empleados por ingenieros y, sobre todo, en la estructura institucional y los valores de la profesión de Ingeniería (Layton, 1998:86). Con todo, la metodología de la Ingeniería que Vincenti describe en su investigación acerca del conocimiento de los ingenieros es caracterizada

⁴ De acuerdo con Savioti, (1998a: 41 y 1998b: 845) “conocimiento tácito es aquél que puede ser usado por individuos y organizaciones para alcanzar algunos propósitos prácticos, pero que no puede ser fácilmente explicado o comunicado”. El conocimiento local es aquel que sólo puede ser entendido en el contexto de un tipo de conocimiento determinado (por ejemplo, conocimiento científico, tecnológico u organizacional). El carácter local del conocimiento esta dado por la extensión o amplitud de una pieza de conocimiento (por ejemplo, teorías generales tienen una más grande amplitud que piezas específicas de conocimiento aplicado).

por él como la “metodología por excelencia para el avance incremental”. La metodología es aparentemente sencilla: se define el problema, se descompone en partes de arriba a bajo y en forma vertical y horizontal, se subdividen las áreas por problema y subespecialidad. Se trata de una metodología basada en la “variación paramétrica”, “la prueba de modelos a escala”, el uso de técnicas interactivas asociadas con la síntesis de diseño”, sistemas totales de conjeturas”, “rigurosas pruebas a gran escala” y “complejos sistemas multinivel”. Todo esto –según este autor–, es lo que contribuye al continuo esfuerzo en Ingeniería por reemplazar los “actos de perspicacia”, (no enseñables), por “actos de habilidad” (capaces de ser enseñados). Vincenti (1993:169) destaca que si bien la metodología de la ingeniería se parece a la metodología científica, vista como un todo es diferente a la de la ciencia.

En contraste con lo anterior, existen tres importantes aspectos en los cuales la ciencia y la Ingeniería son bastante similares: 1) ambas están sometidas a las mismas leyes de la naturaleza; 2) ambas son acumulativas y se difunden extensamente a través de los mismos mecanismos (educación, publicaciones y comunicaciones informales), y 3) ambas se organizan en comunidades profesionales con notable autonomía disciplinaria.

De todo lo dicho se desprende que el conocimiento del científico no es superior al conocimiento del tecnólogo o el ingeniero, sino que se trata, más bien, de dos tipos distintos de conocimiento caracterizados por lógicas internas de desarrollo, criterios de validación y fines diversos. Desde otro punto de vista, sin embargo, se puede

afirmar que no existen diferencias substanciales en el papel que desempeña la creatividad en la ciencia y en la innovación tecnológica, ya que ambas son producto del *ingenio* y del ordenamiento y selección de ideas a través de las cuales científicos e ingenieros codifican la realidad. Como Poser (1998:84) señala:

Un pretexto muy emocional para diferenciar entre ciencia e Ingeniería apunta al genio, el ingenio, que un ingeniero necesita tener o, más precisamente, a la *creatividad* de los ingenieros, su capacidad para hacer invenciones a fin de traer nuevos artefactos. En los tiempos del Renacimiento uno admiró a inventores tales como Leonardo o Miguel Ángel, y la bien conocida caracterización de los seres humanos como *homo faber* reflejó esta visión. Aún si esto es de gran importancia para una filosofía cultural de la tecnología –dado que va mano a mano con la idea de progreso en contraste a la idea de sociedad estática– la creatividad como una cualidad no puede ser usada para distinguir a las ciencias de la Ingeniería (...) Además, no hay diferencia en la creatividad si uno compara un científico y un ingeniero, para encontrar nuevas hipótesis (que son mejor que estúpidas generalizaciones inductivas) o encontrar nuevas soluciones tecnológicas (que son mejor que estúpidas combinaciones de reglas bien conocidas), no hace diferencia del todo. Por eso la creatividad como tal no distingue la cualidad entre ciencia e Ingeniería.

Definiendo la Ingeniería y a los ingenieros

⁵ Así, por ejemplo, C. R. Young (1946) la ha definido como: “(...) el arte, basado principalmente en el adiestramiento en las ciencias matemáticas, y físicas de utilizar económicamente las fuerza y los materiales de la naturaleza en beneficio del hombre.” Por su parte, H. Cross la ha definido como “(...) el arte que trata sobre la aplicación de los materiales y de las fuerzas materiales. El uso de la ciencia es un medio para ese fin. El objeto de la ingeniería es dar servicio a la humanidad”.

⁶ Por ejemplo, El Consejo de Acreditación para Ingeniería y Tecnología de los Estados Unidos (ABET), define a la Ingeniería como “(...) la profesión en la que el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales, obtenido por el estudio, la experiencia y la práctica, se aplica con buen juicio al desarrollo de medios para utilizar en forma económica los materiales y las fuerzas de la naturaleza para beneficio del hombre”.

La palabra ingeniería ha sido definida de múltiples formas. Así, mientras que algunos autores la han concebido como un arte⁵, otros⁶ la definen como una “profesión”, basada en el dominio y la aplicación de las ciencias físicas y matemáticas, a los recursos naturales, económicos, materiales y humanos, para beneficio del hombre y de la sociedad.

Como arte, la Ingeniería se caracteriza por su instinto creador, por su manera flexible de combinar métodos y teorías y (sin importar el estado de desarrollo en el que encuentren), y por su orientación hacia la belleza o la producción de bienes y servicios útiles para el hombre.

Como profesión, se caracteriza, entre otros aspectos, por poseer: a) un cuerpo de conocimientos especializados que guían la práctica profesional; b) una orientación de servicio a la sociedad; c) una autonomía en la prestación de servicios profesionales, y d) la sanción social del ejercicio profesional⁷.

Como disciplina académica, la Ingeniería está basada y validada por la llamada “ciencia de la ingeniería”. De acuerdo con Layton (1988),

Las ciencias de la Ingeniería consisten principalmente de exposiciones acerca de artefactos humanos. Ellas son confeccionadas para satisfacer las necesidades de los diseñadores prácticos, y la forma que sigue funciona aquí como en Biología.

En otras palabras, las ciencias de la Ingeniería pueden ser entendidas como un modo intermedio de conocimiento entre el conocimiento científico y el conocimiento puramente práctico. Ellas operan como una especie de “traductor” entre el nuevo conocimiento y/o información generado por la ciencia y su aplicación a un dispositivo o diseño (Channell, 1998:102).

Cabe precisar que las ciencias de la ingeniería

no se confunden con las ciencias básicas, pues como Layton (1988) sostiene:

Una de las cosas que distingue a las ciencias de la Ingeniería de las ciencias básicas es precisamente su “propósito” de ayudar en el diseño de dispositivos o sistemas artificiales. Las ciencias de la Ingeniería son instrumentos para implementar metas a través de procesos de diseño. En particular, las preguntas de propósito y metas son una parte integral de las discusiones de ciencias de la Ingeniería y de tecnología, generalmente. Friedrich Rapp ha argumentado que “las ciencias de la Ingeniería poseen un carácter *prescriptivo*, y “las ciencias de la ingeniería suministran meros imperativos hipotéticos; ellos explican cómo proceder hacia el logro de ciertas metas. Sin embargo, por su propia naturaleza, ellos no pueden suministrar ninguna información como para que debiera ser alcanzado. Hacer el paso de la teoría a la práctica es proceder de un bajo entendimiento de las consecuencias previstas... Este paso es racional sólo si, además del conocimiento teórico, la meta que se busca alcanzar está también estipulada.

En cuanto a la Ingeniería, una definición particularmente interesante es aquella formulada por G. F. Rogers y complementada por Vincenti (1993), quien afirma:

Ingeniería se refiere a la práctica de organizar el diseño y la construcción [y yo debería añadir operación] de cualquier artificio que transforme el mundo físico a nuestro alrededor para satisfacer alguna necesidad reconocida.

Dos aspectos sobresalen de esta definición. Por una parte, su caracterización de la Ingeniería como una actividad práctica destinada -al igual que la ciencia- a alcanzar objetivos específicos.

⁷ No obstante, como ya se mencionó, desde el punto de vista sociológico la caracterización de la ingeniería como una profesión resulta sumamente problemática, ya que no sólo depende de la extensión y profundidad del concepto sino también del contexto histórico, geográfico y socio-cultural al cual se aplica.

Por la otra, el énfasis que (como ya vimos), se hace en el diseño –concebido como proceso–, como uno de los rasgos característicos del que-hacer del ingeniero. El diseño, según Vincenti (1993):

(...) denota el contenido de un conjunto de planes (como en “el diseño para un nuevo aeroplano”) y el proceso por el cual aquellos planes son producidos. En el último sentido él típicamente implica disposición (o disposiciones) tentativas de los arreglos y dimensiones del artificio, verificando el dispositivo candidato mediante análisis matemático o prueba experimental para ver si hace el trabajo requerido, y modificación cuando (como comúnmente sucede al principio) no lo hace.

Al igual que sucede con el término Ingeniería, los ingenieros han sido definidos de muchas maneras, dependiendo de las características educativas, ocupacionales y tecnológicas de la sociedad en la que lleva a cabo su actividad⁸. Con todo, una definición particularmente interesante, es aquella formulada por la Conferencia de Sociedades de Ingeniería de Europa del Oeste y los Estados Unidos de América en los años sesenta. Según esta definición:

Un ingeniero profesional es competente por virtud de su educación fundamental y entrenamiento para aplicar los métodos científicos y perspectivas para el análisis y solución de los problemas de Ingeniería. Él está capacitado para asumir la responsabilidad personal por el desarrollo y aplicación de la ciencia de la Ingeniería y el conocimiento, notablemente

en la investigación, diseño, construcción, manufactura, supervisión, gestión y en la educación de los ingenieros. Su trabajo es predominantemente intelectual y variado y no de rutina mental o de carácter físico. Este requiere del ejercicio de un pensamiento original, juicio y habilidad para supervisar el trabajo técnico y administrativo de otros. (...) Su educación y adiestramiento debería haber sido tal que él habrá adquirido una extensa y general apreciación de las ciencias de la Ingeniería así como también a través de una reflexión dentro de las características especiales de su propia rama. A su debido tiempo, él será capaz de dar consejo técnico autorizado para asumir la responsabilidad por la dirección de importantes tareas de su rama (Venables, 1959:60).

No obstante el alto grado de generalidad de esta definición, muchos sociólogos han observado que mientras en algunos países los ingenieros reúnen una buena parte de estos atributos y características ocupacionales, en otros, los ingenieros tienen serias dificultades para satisfacerlos, calificando por ello a la Ingeniería como una “cuasi profesión”. Lo anterior ha abierto, al menos en ámbito de la Sociología, una fuerte discusión acerca de hasta qué punto, la Ingeniería debe ser considerada como una profesión.

Más allá de los problemas derivados de la aplicación del término sociológico de “profesión”, los ingenieros son poseedores de un saber técnico-profesional especializado (vale decir, *expertise*), diferente al de los científicos, adquirido a través de un largo y honeroso proceso de educación en instituciones (universitarias o no) de enseñanza superior.

⁸ Si bien a nivel internacional el ingeniero es considerado como el personal técnico de mayor calificación intelectual, con formación universitaria en la que predomina la formación teórica sobre la práctica, un análisis más detallado demuestra que existen grandes variaciones en cuanto a la educación, la posición ocupacional y el estatus social de los ingenieros en los diferentes países. Así, mientras que en Alemania el término ingeniero está protegido por la ley, en Gran Bretaña cubre una extensa gama de ocupaciones que abarcan desde la de un plomero hasta la de miembro de una asociación profesional reconocida por carta real. En el origen de estas diferencias se encuentra un conjunto de factores históricos, sociales, culturales y aún políticos, que van más allá de meras equivalencias lingüísticas o académicas. Para un análisis más detallado de esta problemática véase (Meiksins, *et. al.*, 1996).

Educación de científicos e ingenieros

Los ingenieros no sólo difieren de los científicos en su actividad profesional, sino que sus procesos educativos son bastante diferentes. Por ejemplo, al contrastar los valores y las orientaciones de carrera de los estudiantes (no graduados) de las carreras de ciencias e Ingeniería, Krule y Nadler³⁴ han encontrado que:

[Los estudiantes] que escogen ciencia tienen objetivos adicionales que los distinguen de aquellos que se preparan para carreras de Ingeniería y Administración. Los estudiantes de ciencia ponen un valor más alto sobre la independencia y sobre el conocimiento por el conocimiento mismo, mientras que en contraste, muchos estudiantes en otros curricula están preocupados con el éxito y la preparación profesional. Muchos estudiantes de Ingeniería y Administración esperan que sus familias sean más importantes que sus carreras como mayor fuente de satisfacción, pero el patrón inverso es más típico para los estudiantes de ciencia. Más aún, hay un sentido en el cual los estudiantes de ciencia tienden a valorar la educación como un fin en sí mismo, mientras que otros la valoran como un medio para un fin.

En cambio, según los mismos autores:

Los estudiantes de Ingeniería están menos preocupados que aquellos en ciencias con lo que uno hace en una posición determinada y más interesados con la certeza de las recompensas a ser obtenidas. Es significativo que ellos pongan menos énfasis en la independencia, la satisfacción de la carrera y los intereses inherentes a su especialidad, y ponen más valor sobre el éxito, la vida familiar y evitando trabajos de bajo nivel. En el fondo, uno sospecha que estos estudiantes desean por encima de todo para ellos mismos y sus familias algún estatus mínimo y un grado razonable de éxito económico. Ellos están

preparados para sacrificar algo de su independencia y oportunidades por innovación a fin de realizar sus objetivos principales. Están más dispuestos a aceptar posiciones que los involucren en complejas responsabilidades organizacionales y asumen que el éxito en tales posiciones dependerá del conocimiento práctico, la capacidad administrativa y la habilidad para las relaciones humanas (Allen, 1985:36-37).

Otro estudio realizado por Ritti (en *Ibid*: 38-39) sobre ingenieros graduados destaca, como una de sus principales conclusiones, que por encima de todo, la diferencia fundamental entre científicos e ingenieros radica en su nivel de educación. Los ingenieros se caracterizan generalmente por situarse al nivel de licenciatura, aunque algunos obtienen grados de maestro en ciencias y otros no obtiene el grado de licenciatura, en tanto que los científicos requieren casi siempre poseer un doctorado. Más aún, el largo y complejo proceso de socialización académica involucrado en la formación de científicos e ingenieros hace que trate de personas que difieren considerablemente, incluso en su visión de la vida.

Tanto el estudio de Krule y Nadler, (en *ibid*) como el de Ritti arrojan suficiente evidencia de que muchos estudiantes de ingeniería –a diferencia de los de ciencias–, tienden a valorar más sus realizaciones prácticas y ven su carrera como una etapa de transición que conduce a los niveles altos de gestión. También demuestran que los ingenieros son exitosos para conseguir sus objetivos de carrera a largo plazo, aunque ello implique perder un poco de su autonomía profesional a cambio de un mayor éxito económico dentro de una empresa.

Aunque algunos de éstos planteamiento pueden ser discutibles y estar sujetos a ciertos cuestionamientos, es un hecho que la formación académica y las pautas de socialización dentro de las comunidades de científicos e ingenieros es ciertamente diferente.

Implicaciones de la distinción para el *curriculum* de Ingeniería

Muchos y de diverso tipo fueron los factores que influyeron para asimilar la Ingeniería a la ciencia durante el pasado siglo XX. Entre ellos se puede mencionar, en primer término, el influjo que ejerció el positivismo lógico sobre las ciencias básicas (particularmente sobre las Matemáticas y la Física), presentándolas como ajenas o inmutables al pensamiento filosófico, moral o religioso, trasladando también su discurso sobre el rigor, la objetividad y la neutralidad científica y valorativa a la Ingeniería.

En segundo lugar destaca la creación, a principios del siglo XX, de las nuevas industrias basadas en el conocimiento (Química, Eléctrica, y posteriormente, Electrónica), cuyos departamentos y laboratorios de investigación y desarrollo (R&D), absorbieron a un número cada vez mayor de científicos e ingenieros trabajando estrechamente en la generación de nuevos conocimientos, sistemas y dispositivos aplicables a la industria.

En tercer término sobresale la influencia que, en el contexto de la “Guerra Fría” y el “shock del Sputnik”, ejerció el Informe Grinter (*Grinter Report*) en los Estados Unidos de Norteamérica a finales de los años cincuenta, el cual recomendó hacer un mayor énfasis en las ciencias básicas dentro el *curriculo* de ingeniería y acelerar la preparación graduados para la investigación. Este hecho, aunado a un sustancial incremento de los fondos federales destinados a investigación básica en ese país, propició que muchas escuelas de Ingeniería compitieran con las facultades de ciencias por dichos fondos.

Finalmente, cabe mencionar la indeclinable aspiración de los ingenieros por alcanzar un estatus y un prestigio social similar al de otras profesiones científicas, lo que ha contribuido a asemejar la ingeniería con la ciencia.

Estos y otros factores parecen haber propiciado lo que Goldman (citado por Johnson, 1996) denomina la “cautividad social” del dis-

curso de ingeniería, tanto intelectual como prácticamente. Según este autor, intelectualmente la ingeniería es vista como la simple “aplicación de la ciencia”, esto es, como una actividad que ha asumido todos los principios (éticos, normativos y valorativos de la ciencia). Prácticamente, la ingeniería es vista como enmarcada y gobernada por jerarquías administrativas más que profesionales, influyendo así en la forma como ingenieros definen y resuelven los problemas.

Lo anterior ha impedido que los ingenieros asimilen la naturaleza de su trabajo en sus propios términos, y que ellos y los educadores en Ingeniería sean capaces de situar el diseño adecuadamente dentro de su discurso y de desarrollar esta habilidad fundamental. Sin embargo, tal habilidad se ha vuelto fundamentales en nuestros días, en virtud de la mayor diversidad, complejidad y creatividad tecnológica y social que demanda el trabajo del ingeniero. Por esta razón, en los últimos lustros muchos educadores han planteado la necesidad de superar la concepción de la ingeniería como una simple “ciencia aplicada” y de fortalecer las actividades prácticas, la comunicación y, sobre todo, el diseño, como la tarea propia y específica del ingeniero. Como Kimbell y Perry (2001) señalan en un Informe reciente:

La ciencia suministra explicaciones de cómo el mundo trabaja, las matemáticas nos dan números y procedimientos a través de los cuales explorarlo; y los idiomas nos capacitan para comunicarlo. Pero únicamente el diseño y la tecnología nos dan poder para cambiar la hechura del mundo.

En consecuencia, no es extraño que en numerosas propuestas para modificar el currículo en muchas escuelas y facultades de Ingeniería, el diseño aparezca al lado del análisis y la comunicación, como una de las habilidades fundamentales que deberá fortalecerse en la educación de los futuros ingenieros.

Conclusiones

A lo largo de este trabajo, he intentado analizar las estrechas relaciones que subyacen entre ciencia, tecnología e Ingeniería, aportando diversos argumentos que permitan esclarecer en qué consiste la especificidad de ésta última como disciplina y de los ingenieros como grupo socio-profesional.

Se destacó que aun cuando la ingeniería se encuentra indisolublemente ligada a la ciencia y a la tecnología, ella no debe ser considerada simplemente como “ciencia aplicada”. La discusión sobre las semejanzas y diferencias entre ciencia e ingeniería, pone de manifiesto que lo que caracteriza a ésta (y la deslinda claramente de la ciencia), es la actividad del *diseño*, entendido como un proceso en el cual el ingeniero, apoyándose en las llamadas ciencias de la Ingeniería y una metodología iterativa, además de su intuición y creatividad, desarrolla nuevos dispositivos, estructuras y sistemas que funcionan para beneficio de la sociedad. Así, pues, el diseño no es simplemente una tarea más de qué hacer del ingeniero, es su actividad fundamental.

Otro aspecto de la discusión giró en torno a las dificultades que plantea el tratar de definir a la Ingeniería y a los ingenieros sin tener en cuenta el contexto histórico, social, geográfico y cultural, en el cual tales definiciones tiene lugar.

El problema no es ni académica ni sociológicamente irrelevante, porque mientras que en algunos países (por ejemplo, Gran Bretaña), un ingeniero es un técnico altamente calificado, en otros (como Francia) forma parte de la elite del Estado. Más aún, en el caso de los Estados Unidos, un ingeniero con doctorado está muy cerca de confundirse con un científico. Sin embargo, como se expone en el trabajo, tanto el proceso de socialización académica como las expectativas ocupacionales y aspiraciones personales son bastante diferentes entre ingenieros y científicos.

Lo anterior remite directamente al último punto de trabajo, relacionado con las implicaciones que esta reflexión/precisiones teórica, conceptual y sociológica sobre el currículo de Ingeniería. En este punto me parece conveniente señalar que si bien, por distintos factores, durante la segunda mitad del siglo XX predominó una orientación cada vez más científica de la Ingeniería, las transformaciones económicas, sociales y tecnológicas experimentadas en las últimas décadas, han planteado la necesidad de formular un currículo que establezca un mayor equilibrio entre los aspectos teóricos, prácticos y sociales de la Ingeniería y situé al diseño como un de los ejes centrales de la formación de los futuros ingenieros.

Referencias

- BASALLA, Georges, (1991). *La evolución de la tecnología*, México, Ed. CONACULTA, (Colección Los Noventa, No. 83),
- MUNFORD, Lewis (1987). *Técnica y civilización*, Madrid, Alianza Universidad.
- BUNGE, Mario (1966). “Technology as Applied Science”, en *Technology and Culture*, vol. 7.
- LAYTON, David (1988). *Innovaciones en la educación científica y tecnológica*, París, UNESCO, Vol. I.
- MACHLUP, Fritz (1988). *Knowledge: it's Creation, Distribution, and Economic Significance*. vol. I. *Knowledge and Knowledge Production*, Princeton, University Press.
- FREEMAN, Christopher (1975). *La teoría económica de la innovación industrial*, Madrid, Alianza Editorial.

- BHAGAVAN, M. R. (1990). *Technological advances in the third world: strategies and prospects*, London, Zed.
- PARAYIL, Govindan (1991) “Technological Knowledge and Technological Change”, en *Technology and Society*, vol. 13.
- FAULKNER, Wendy (1994). “Conceptualizing knowledge used in innovation. A second look at the science-technology. Distinction and industrial innovations”, en *Science, Technology and Human Values*, Vol. 19, No. 4.
- VINCENTI, Walter, (1993). *What engineers know y how they know it, Analytical, Studies from Aeronautical History*, Baltimore, The John Hopkins University Press.
- HABER, Samuel (1974). “The professions and higher education in America: A history view”, en Margaret S. Gordon (ed.), *Higher Education and the Labor Market*, The Carnegie Foundation, McGraw Hill.
- ELIAS, Norbert (1982). “Scientific establishments”, en Norbert Elias, Herminio Martins y Richard Whitley, *Scientific Establishments and Hierarchies, Sociology of the Sciences a Year Book*, vol, VI, London, Publishing Co.
- COLLINS, Randall (1989). *La sociedad credencialista*, Madrid, Ed. Akal.
- ROSENBLITH, Walter (1980). “A note on Engineering and the other professions”, en *Daedalus*, vol. 109, winter.
- LAYTON, Edwin T. (1988). “Science as form of action: The role of Engineering Sciences”, en *Technology and Culture*, vol. 29, No. 1, january.
- SIMON, Herbert A. (1994). *The science of the artificial*, The MIT Press, Cambridge, Mass, London, England.
- SAVIOTI, Pier Paolo (1998a). “On the economics of the expertise”, en Robin Williams, Wendy Faulkner y James Fleck (Editors), *Exploring Expertise*, MacMillan Press, London - (1998b). “On the dynamics of apropiability, of tacit and codified Knowledge”, en *Research Policy*, No. 26.
- VINCENTI, Walter G. (1993). *What engineers know y how they know it, Analytical Studies from Aeronautical History*, Baltimore, The John Hopkins University Press.
- POSER, Hans, (1998). “On structural differences between science and engineering”, en *Society for Philosophy & Technology*, vol. 4, number 2, Winter.
- YOUNG, C. R. (1946). *Engineering and Society*, Toronto (Ontario).
- KEMPER, John D. (1987). *Engineers and their profession*, New York, Oxford University Press.
- CHANNELL, David (1988). “Engineering science as theory and practice”, en *Technology and Culture*, vol. 29, No. 1, january.
- MEIKSINS, James y Smith, Cris. (1996). *Engineering Labour. Technical workerse in comparative perspective*, London, Verso.
- VENABLES, Percy, F. (1959). *Sandwich courses for training technologists and technicians*, London, Max Parrish.
- ALLEN, Thomas J. (1985). *Managing the flow of technology: Technology transfer and the dissemination of technological information within the R&D organization*, Cambridge, The MIT Press.
- JOHNSTON, Steven, Alison Lee y Helen McGregor (1996). “Engineering as captive discourse”, en *Society for Philosophy & Technology*, vol. 1, number 3-4, Spring.
- KIMBELL, Richard y Perry, David (2001). *Desig & technology in a knowledge economy*, Technology Education Research Unit, Goldsmiths University of London.