

## La relación entre la ingeniería y la ciencia

*Asdrúbal Valencia Giraldo\**

(Recibido el 4 de noviembre de 2003. Aceptado el 4 de diciembre de 2003)

### Resumen

Se hace una introducción a lo que es ciencia, se muestra cómo ésta es fundamento central de la ingeniería moderna, pero es apenas uno de sus componentes, pues antes de que aquélla se incorporara a la ingeniería, ésta ya existía como quehacer del hombre. Se indica como la ingeniería no puede plegarse a los dictados de la ciencia porque los problemas que enfrenta y su método para resolverlos son de naturaleza muy diferente. Finalmente se aboga por que los nuevos ingenieros no pierdan de vista la importancia del conocimiento técnico y empírico en el ejercicio de su profesión.

----- *Palabras clave:* ciencia, ciencias naturales, ingeniería, conocimiento científico, conocimiento técnico, método ingenieril.

## The relation between engineering and science

### Abstract

Starting from the definition of science it is shown how it is a central fundament of modern engineering. However, science is only one of its components, because long before science was incorporated to engineering this profession already existed as a human endeavour. It is indicated that engineering should not bow to science because the problems it faces and its methods to solve them are of a very different nature. Finally, it is stated that young engineers should not forget the importance of technical and empirical knowledge in the practice of their profession.

----- *Key words:* science, natural sciences, engineering, scientific knowledge, technical knowledge, engineering method.

---

\* Profesor. Departamento de Ingeniería de Materiales. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. avalen@udea.edu.co.

## Introducción

Para el común de las gentes muchas veces no hay una distinción clara entre los ingenieros y los científicos, esto debido, tal vez, a la profunda ligazón que actualmente hay entre la ciencia y la tecnología. Que los periodistas o el público general tengan esta confusión no es tan preocupante, pero sí lo es que los mismos ingenieros a veces no tengan conciencia sobre la identidad de su profesión y, sobre todo los jóvenes, piensen que realmente ella consiste en la aplicación de la ciencia a la solución de las necesidades humanas, cuando, según muchos otros, lo específico de la ingeniería es la concepción de ingenios artificiales de los que se pretende alguna forma de utilidad. Tales artefactos pueden requerir o no el concurso de la ciencia y han evolucionado desde los antiguos ingenios de guerra hasta las naves espaciales, el manejo de la información o la optimización de las organizaciones.

Por la razón anterior en este corto ensayo nos proponemos establecer la relación que realmente hay entre la ciencia y la ingeniería, sus alcances y limitaciones. Para ello trataremos de definir lo que es ciencia, tecnología, técnica e ingeniería y mostrar la identidad de esta última como profesión, es decir, como una diferente puesta en escena de las disciplinas científicas.

El poeta Carlos Castro Saavedra escribió lo siguiente:

Ninguna profesión tan terrestre y tan ligada al adelanto de los pueblos como la ingeniería: es como la mano con que los pueblos construyen su propia existencia navegable y transitable, su destino fluyente, una unidad y sus posteriores desbordamientos universales... Mas los ingenieros no son hombres extraños e inalcanzables. Son hombres, simplemente, antes que ingenieros y en ello radica su mayor riqueza. Son sus obras proyecciones de su condición humana y de sus sentimientos de solidaridad. En diversas formas se acercan a sus semejantes y patentizan su presencia y su ánimo de servir a la comunidad [1].

Esta visión poética de lo que son —o deberían ser— los ingenieros, reconoce que aquellos que

dedican su vida a la ingeniería es probable que tengan contacto con casi todas las fases de la actividad humana. No sólo necesitan tomar decisiones importantes sobre los lineamientos mecánicos de las estructuras y las máquinas, sino que, además se ven confrontados con problemas de reacciones humanas ante el universo, y constantemente involucrados en problemas legales, económicos y sociológicos. El trabajo del ingeniero es sintético por naturaleza y consiste en agrupar enfoques de las relaciones humanas, de los oficios, de las artes y de las ciencias para producir nuevos montajes. Es por ello que los ingenieros pueden tener más problemas por carencias en los primeros tres enfoques, que por violar las bien documentadas leyes de la ciencia [2].

Es decir, que en la actualidad la ingeniería no sólo se basa en disciplinas sino que está asociada con otras profesiones, como afirma el ingeniero Hardy Cross en su libro *Los ingenieros y las torres de marfil*.

Existe la costumbre de pensar que la ingeniería es parte de una trilogía: ciencia pura, ciencia aplicada e ingeniería. Se debe hacer énfasis en que esta trilogía es solamente una de la triada de trilogías en cuales encaja la ingeniería. La primera es ciencia pura, ciencia técnica, ingeniería; la segunda es teoría económica, finanzas, ingeniería; y la tercera es relaciones sociales, relaciones industriales, ingeniería. Muchos problemas de ingeniería están tan cercanos a los problemas sociales como a los problemas de la ciencia pura [3].

Se visualiza así el amplio espectro de saberes que atraviesa la ingeniería y se va mostrando cómo ella trasciende al mero marco del conocimiento científico.

## La ciencia

Ciencia es el intento sistemático de producir proposiciones verdaderas sobre el mundo. O sea que es ese creciente cuerpo de ideas, que puede caracterizarse como conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y por consiguiente falible. La ciencia puede ser considerada como

la suma actual de conocimientos científicos, como una actividad de investigación o hasta como un método de adquisición del saber.

Es común dividir las ciencias en formales (o ideales) como la lógica y la matemática y fácticas (o materiales) de acuerdo con el objeto o tema de las respectivas disciplinas. Entre las ciencias fácticas, que a más de la lógica precisan de la observación o la experimentación, la distinción entre las ciencias naturales y las humanidades tiene una larga tradición. Dentro de las ciencias naturales se puede distinguir, además, entre el estudio de la naturaleza inorgánica (o física) y el estudio de la naturaleza orgánica (biología). En las humanidades, tal como se las ha definido tradicionalmente, se ha producido una escisión entre las ciencias sociales (que incluye ramas tan disímiles como la historia, la lingüística o la psicología) y las disciplinas estéticas o artes [4, 5].

En las ciencias naturales la actividad en general está dirigida a producir un conocimiento objetivo de las leyes que rigen el universo. Aquí se entiende por ciencia una forma de saber que proporciona explicaciones causales, dilucidaciones de por qué sucede algo y por qué lo hace de cierta manera. Por ello posee una unidad total que se hace específica de acuerdo con el objeto de cada ciencia particular.

La idea de ciencia brota de las ciencias positivas en cuanto estas son instituciones históricas y culturales relativamente recientes. Desde este punto de vista es innegable que la idea de ciencia no es una idea eterna, que pueda considerarse como contenido permanente del mundo, sino que es ella misma una configuración histórica; tampoco es uniforme, porque hay muy diversos contenidos, normas, instituciones, etc. que tienen que ver con las ciencias positivas, y que pueden todos ellos llamarse *científicos*, pero con un alcance muy distinto. Hay, pues, muy diferentes acepciones o conceptos de ciencia.

Llevando la simplificación al extremo, y de acuerdo con el filósofo español Gustavo Bueno, pode-

mos distinguir cuatro acepciones diferentes de ciencia, a cada una de las cuales corresponde una denotación efectiva de contenidos dados en un mundo cultural determinado: acepciones de ciencia que no son, por lo demás, independientes entre sí [6].

1. La ciencia en cuanto a *saber hacer*. Este concepto mantiene a la ciencia aún muy próxima al *arte*, en su sentido técnico. Así, hablamos de la *ciencia del zapatero*, de la *ciencia del navegante*; también de la *ciencia política* (en el sentido del saber político, pues incluye no sólo *arte* sino *prudencia*); e incluso, como dicen algunos de la *ciencia de la ingeniería*.
2. La ciencia como *sistema ordenado de proposiciones derivadas de principios*. Esta acepción es aproximadamente es el concepto de ciencia de Aristóteles, que luego los escolásticos lo generalizaron a sistemas de proposiciones que se ordenan en torno a principios pero no ya sólo geométricos sino también teológicos o filosóficos.

El ámbito de la primera acepción era preferentemente el taller, en tanto que el escenario de la segunda era la escuela (la Academia). Una escuela que tenderá luego a distanciarse del taller para mantenerse en el éter immaculado de las ideas. Esta segunda acepción es la *escolástica*, asociada a los libros y a las lecciones, a las lecturas: el *libro de la ciencia* se llegará a concebir como una relectura del *libro de la naturaleza*; una acepción hegemónica, con el nombre de episteme o de *scientia*, durante casi veinte siglos (del siglo IV a. C. al siglo XVI d. C.); y aunque hoy día esta acepción ha perdido su hegemonía, sin embargo sigue plenamente vigente.

3. La *ciencia positiva*. Corresponde al *estado del Mundo* característico de la época moderna europea, la época de los principios de la revolución industrial. Nuevos contenidos e instituciones comenzaron a

conformarse en esta época y en escenarios que, de algún modo, recuerdan mucho los talleres primitivos y aun a las escuelas posteriores: podría decirse que son talleres convertidos en escuelas, es decir, laboratorios. Es la época de Galileo o de Newton. Ahora aparece la ciencia en su sentido moderno, el que consideraremos sentido fuerte o estricto. En todo caso, la ciencia, en esta nueva acepción fuerte, pasará a primer plano durante los siglos XVII a XIX, y en el siglo XX, será reconocida como un contenido fundamental de nuestro mundo, en su forma de la *gran ciencia*. Y mientras que la ciencia, en su sentido escolástico, pese a sus pretensiones, era una parte del mundo cristiano o musulmán de la Edad Media (del mundo mediterráneo), la ciencia actual es universal y es la columna del mundo que corresponde a nuestra civilización industrial.

4. La cuarta acepción de ciencia, siempre en palabras de Bueno, es una extensión de la anterior a otros campos tradicionalmente reservados a los informes de los anticuarios, de los cronistas, a los relatos de viajes, a las descripciones geográficas o históricas, a la novela psicológica o a las experiencias místicas. Esta extensión requerirá una enérgica reformulación de los materiales tratados por aquellas disciplinas, a fin de transformarlas en campos de lo que llamamos hoy *ciencias humanas*. Hoy hablamos de facultades de ciencias históricas, de ciencias de la información, de ciencias políticas, de ciencias de la educación, de ciencias empresariales, separándolas escrupulosamente de la filosofía. Cualquiera que sea la opinión que esta extensión del concepto de ciencia nos merezca, lo cierto es que se trata de un hecho, ideológico o efectivo, que debe ser analizado y enjuiciado por una teoría de la ciencia.

Se comprende, pues, que en la actualidad hay que recurrir a la expresión *ciencia o científico*

de acuerdo con lo que muchos pensadores han entendido al respecto en los últimos cuatro siglos. A partir de Descartes se introdujo en el mundo occidental un notable retroceso en la comprensión de lo que es ciencia o conocimiento científico, pues para él ya no existen diversas clases de ciencias según diversos grados de evidencia o de verdad. A partir de entonces el único grado de evidencia y por tanto, de conocimiento y ciencia sería el propio de la matemática. Durante un siglo, Occidente pensó mayoritariamente de esta manera, todo lo que no fuera abstracto (matemática, lógica, metafísica) y no fuera puramente deductivo no gozaba del honor de ser considerada ciencia. Luego, durante los siguientes tres siglos, deslumbrados por los experimentos de Galileo, se impuso la idea de afirmar que solamente las ciencias experimentales merecían ese título. Por ello los creadores de ingenios artificiales, los ingenieros, están colonizados culturalmente por los reduccionismos del racionalismo positivista que estuvo antecedido por el racionalismo cartesiano [7].

Sin embargo, en el siglo XX se redescubrió que el conocimiento científico puede ser tal, aunque los grados de evidencia de cada ciencia sean muy diversos. Hoy se va comprendiendo cada vez mejor que la ciencia no se define solamente por el método matemático (abstracto formal y deductivo), ni solo por el método experimental, sino por el *grado de verdad* que posee. Todo conocimiento verdadero es y debe considerarse científico, según el método propio de cada disciplina. Esto permite a la ingeniería revisar su concepción de la ciencia y los lazos que la unen a ella.

Luego de esta digresión sobre la ciencia y su significado es pertinente precisar un poco lo que es el positivismo, porque se ha indicado que la mayoría de los ingenieros son positivistas, sin que sepan en qué consiste esta postura filosófica. El positivismo es un conjunto de doctrinas filosóficas y religiosas elaborado por Augusto Comte (1798-1857) como un método o sistema filosófico. El positivismo niega la validez de las especulaciones metafísicas, y sostiene que los datos de la experiencia de los sentidos son el único objeto

y el criterio supremo del conocimiento humano. En el sentido religioso niega la existencia de un dios personal y toma a la humanidad, el gran ser, como objeto de veneración y culto [8].

El positivismo en la actualidad tiene muchas variantes, entre ellas el positivismo lógico, pero en esencia lo afirmado por Comte es que el mundo social es similar al mundo natural en el sentido de que ambos están gobernados por leyes particulares. Un ejemplo obvio es la ley de causa y efecto. Como en el mundo natural, las leyes que gobiernan el comportamiento humano existen independientemente de las esperanzas, miedos, aspiraciones, etc. de los seres humanos. Así pues, nos guste o no, nuestro comportamiento está gobernado por la acción de las leyes naturales. Por tanto la ciencia positivista toma su inspiración de las ciencias naturales como la física y la química.

### La tecnología

La caracterización del ingeniero tiene sus fuentes en el papel que desempeña en la sociedad moderna. Se trata de una sociedad impregnada de tecnología, en la cual esta última se ha convertido en el instrumento de todas las actividades sociales.

La palabra tecnología es una de las más utilizadas en la sociedad contemporánea, pero esto no significa que se haga de manera correcta, con exactitud y sin dualismo. ¿Qué es realmente la tecnología? ¿La habilidad para resolver cualquier problema? ¿La fuente de todos los males? ¿La manifestación física del genio inventivo de la humanidad? ¿El incremento que se puede obtener de una hora de trabajo o una unidad de capital? ¿El control de la naturaleza por la humanidad? ¿El control de cierta gente sobre otra gente sirviéndose de la naturaleza como instrumento? Todo esto, y mucho más, puede ser la tecnología según el punto de vista que se adopte al definirla. De acuerdo con su etimología es el estudio de los conocimientos incorporados en los objetos, procesos y, por supuesto, en las personas [9, 10].

Usualmente la palabra tecnología designa el conjunto de conocimientos, informaciones ordenadas, recursos y medios utilizados en la producción de los bienes y servicios requeridos por la sociedad. O sea que la tecnología puede definirse como la aplicación sistemática del conocimiento científico a las actividades productivas. En otras palabras es el conjunto de conocimientos utilizados en la producción y comercialización de bienes y servicios, que se materializa en máquinas y equipos, información sobre ellos, sobre los procesos, procedimientos y productos o puede ser poseída por los especialistas. Esta es, por supuesto, una definición limitada, pues en su sentido más general la tecnología incluye aspectos técnicos, organizativos y culturales. Entre los técnicos puede incluirse el conocimiento, la destreza técnica, las herramientas, las máquinas y las sustancias químicas, el personal, los recursos y los desechos. En el aspecto organizacional deben mencionarse las actividades económica e industrial, la actividad profesional, los usuarios y consumidores así como los sindicatos. En cuanto a lo cultural deben considerarse los objetivos, valores y códigos éticos, la creencia en el progreso, la conciencia y la creatividad [11, 12].

Cuando la ciencia explica las causas sobre las que opera técnicamente, se tiene una técnica racional, es decir una tecnología. En este sentido la tecnología es un producto de la modernidad, es el resultado de teorizar científicamente sobre la técnica. La tecnología es entendida hoy como la “ciencia de las artes industriales”. Industria, a su vez, denota inteligencia, creatividad, destreza en el trabajo de producción o útil. Por lo tanto, es común decir y entender, ahora reiterado, que la tecnología es la ciencia de cómo hacer las cosas; la ciencia hecha acción y la acción convertida en ciencia, por eso en ciertos contextos se le denomina tecnociencia. En la actualidad es algo tan complejo que algunos la denominan la máquina tecno-económica [13].

Como lo expresa elegantemente Borrero:

La tecnología es un punto de convergencia entre el conocimiento científico que puede implicar al

gún tipo de práctica (pero no utilitaria) y la práctica utilitaria de la técnica que conlleva algún tipo de conocimiento racional (pero no científico). En la tecnología se entrecruzan los antiguos propósitos de la técnica con las modernas posibilidades de la ciencia. La vieja actitud del *homo faber* y algunos logros de la intención del *homo cogitans* confluyen en el tecnólogo contemporáneo. Deudora por distinta vertiente tanto de la ciencia moderna como de la técnica tradicional, la tecnología contemporánea se distingue, al propio tiempo de ambas [14].

Durante siglos, la ciencia y la técnica evolucionaron en forma independiente: la ciencia, concentrada en el saber especulativo, que buscaba penetrar la realidad hasta sus principios mismos, pero ajena a las consecuencias prácticas del conocimiento; la técnica, basada en un saber enteramente práctico, que no carecía de racionalidad, sin verdadera justificación teórica, como se ha insistido. La idea de ciencia moderna, que surge con la revolución del conocimiento en los siglos XVI y XVII, cuestiona por completo la concepción de ciencia que separa la teoría y la práctica. Mientras que la ciencia antigua es ante todo contemplación, o sea visión puramente intelectual de las realidades que están más allá del mundo sensible, la ciencia, que se impone a partir de Galileo, Descartes y Newton, se fundamenta en el intercambio entre la experiencia y la razón y no en el descubrimiento que hace la razón de los principios y verdades que no pueden alcanzarse por la experiencia. Precisamente, lo que distingue a la ciencia moderna de la ciencia antigua es, la pretensión de conectar la teoría y la práctica mediante la acción del conocimiento.

Ciencia no es lo mismo que tecnología, pero cuán poco puede lograr la ciencia natural moderna, incluso la más poderosa, cuando es insuficiente el instrumental que le proporciona la tecnología. Pero no hay tecnología, entendida en sentido estricto, sin ciencia. Entre la ciencia y la tecnología no hay una relación de identidad, sino una relación de condicionamiento. La ciencia es, para emplear una expresión de raigambre kantiana, la condición de la posibilidad tecnológica.

Muchísimas son las personas que cumplen funciones especializadas en las distintas áreas de la tecnología, correspondiendo el papel protagónico al ingeniero. Puede afirmarse que el ingeniero es el *artífice* de la tecnología. Como veremos más adelante es esto lo que da identidad a la profesión ingenieril.

### La técnica

Es conveniente establecer la diferencia entre técnica y tecnología, aunque muchas veces los dos términos se usen indistintamente y haya quienes sostengan que es lo mismo. En cualquier caso el deslinde entre ellas lo establece la ciencia.

La técnica se refiere a las habilidades que producen resultados y más concretamente al arte de producción y mantenimiento de instrumentos. Ejemplos de la primera acepción son todos los desarrollos de la prehistoria, porque el hombre prehistórico sabía, por ejemplo, producir fuego mediante la técnica de frotar palos, pero no sabía por qué surgía la llama. No tenía idea de los motivos de ese resultado, es decir obtenía un éxito ciego. Eso mismo sucede hoy, por ejemplo, con muchas técnicas médicas. Sin embargo en ciertos contextos, sobre todo en la filosofía alemana, no se hace real distinción entre técnica y tecnología [15].

### La ingeniería

La ley sobre educación, Ley 30 de 1992, Artículo 36, dice que la

Ingeniería es la profesión que se fundamenta en los conocimientos de las ciencias naturales y matemáticas, en la conceptualización, diseño, experimentación y práctica de las ciencias propias de cada especialidad, buscando la optimización de los materiales y recursos, para el crecimiento, desarrollo sostenible y bienestar de la humanidad.

De acuerdo con un ingeniero colombiano,

Ingeniería es el conjunto de conocimientos teóricos, de conocimientos empíricos y de prácticas, que se aplican profesionalmente para disponer de

las fuerzas y los recursos naturales, y de los objetos, los materiales y los sistemas hechos por el hombre para diseñar, construir, operar equipos, instalaciones, bienes y servicios con fines económicos, dentro de un contexto social dado, y exigiendo un nivel de capacitación científica y técnica ad hoc —particularmente en física, ciencias naturales y economía—, especial y notoriamente superior al del común de los ciudadanos [16].

En resumen, y de acuerdo con un grupo de ingenieros de la Universidad Nacional,

[...] el ingeniero fundamenta su campo ocupacional en la aplicación del conocimiento de las ciencias naturales mediada por la utilización de las herramientas matemáticas; para aprovechar adecuadamente los recursos energéticos; transformar la materia y los materiales; proteger y preservar el ambiente; producir, reproducir y manejar información; gestionar, planear y organizar los talentos humanos y los recursos financieros para el beneficio de la humanidad mediante el diseño de soluciones creativas y la utilización de las herramientas disponibles. Para desarrollar esta labor el ingeniero se acompaña de científicos, tecnólogos, técnicos y artesanos, con el fin de materializar estas realizaciones o concretar soluciones [17].

Estas son definiciones de la ingeniería como profesión, sin embargo el vocablo ingeniería comprende más que eso, no hay que olvidar que la ingeniería era ya milenaria cuando se intentó definirla, nació antes que la ciencia y la tecnología y puede decirse que es casi tan antigua como el hombre mismo. Obviamente esta concepción de lo que es un ingeniero se sale de los estrechos marcos de las conceptualizaciones actuales. No se pretenderá que los ingenieros primigenios fueran científicos y mucho menos que conocieran la tecnología, eran simplemente ingenieros. Por ello ingeniero no es quien tiene título, es quien ejerce la ingeniería, la profesión que concreta los sueños y construye los ingenios de todo tipo, desde la rueda hasta los *cyborgs*, entendiendo como ingenio ya sea una máquina o artificio de guerra o bien una cosa que se fabrica con entendimiento y facilita la labor humana, que de otra manera

demandaría grandes esfuerzos y que puede incluso trascender a lo simbólico y lo organizativo.

Esta caracterización del ingeniero permite definir la ingeniería como la ciencia y el arte de crear, proyectar, desarrollar y construir sistemas físicos y lógicos con las tecnologías disponibles.

Las varias definiciones ya suponen diferencias sensibles entre ingeniero y científico. En palabras del matemático Teodoro von Karman, “el científico explora lo ya existente y el ingeniero crea lo que nunca ha existido” [18]. No dejemos de resaltar que el nombre de nuestra profesión está asociado con una facultad del espíritu: el ingenio, una potencia natural que expresa la capacidad del espíritu de generar, de inventar.

### La evolución de la ingeniería

Los comienzos de la ingeniería se considera que ocurrieron en Asia Menor o África hace unos 8.000 años, cuando el hombre empezó a cultivar plantas, domesticar animales y construir casas en grupos comunitarios.

Tras el afianzamiento de la revolución agrícola, se acumularon innovaciones técnicas que ampliaron progresivamente la eficacia productiva del trabajo humano, se inició así el influjo inicial de la ingeniería, que provocó alteraciones institucionales en los modos de relación entre los hombres para la producción y en las formas de distribución de los productos del trabajo. El cambio más significativo fue el surgimiento de las ciudades que ocurrió hacia el año 3000 a. C. [19].

En las ciudades hubo administración central y comercio y muchos habitantes adoptaron profesiones diferentes a las de agricultor, pastor o pescador; se hicieron gobernantes, administradores, soldados, sacerdotes, escribas o artesanos, a quienes se puede llamar los primeros ingenieros. Es decir se afianzó la técnica. La interacción entre esta nueva sociedad urbana y la ingeniería fue muy fértil, pero de igual importancia fue el desarrollo del conocimiento y las herramientas del conocimiento fundamental para los ingenieros.

Los desarrollos de esta época incluyen los métodos de producir fuego a voluntad, la fusión de ciertos minerales para producir herramientas de cobre y bronce, la invención del eje y la rueda, el desarrollo del sistema de símbolos para la comunicación escrita, las técnicas de cálculo y la aritmética y la normalización de pesas y medidas [20].

Luego, pasando por la ingeniería egipcia, mesopotámica, griega, romana y de la Edad Media, se llega a la Revolución científica del siglo XVII y después a la época de la Revolución industrial con todas las consecuencias que ello tuvo para esta profesión. De modo pues que el perfil del ingeniero ha variado desde el Neolítico hasta el siglo XXI [21]. La consecuencia de todo este proceso es la existencia actual de una ingeniería compleja y diversificada cuyas características, de acuerdo con Rapp, empezaron a perfilarse por tres razones:

1. La aparición de la tecnología, porque al unirse la ciencia moderna y la técnica se aumentó considerablemente la eficiencia. Esto porque a diferencia del saber y la capacidad artesanales -la técnica empírica- que se basan esencialmente en la transmisión oral y en el aprendizaje manual, están unidos a la persona como portadora y transmisora, se vuelven accesibles e independientes de las personas, gracias a la formulación escrita de los conocimientos técnicos, que es una característica del método sistemático de la tecnología.
2. El manejo independiente de las cuestiones tecnológicas, separadas de los demás objetos de la investigación, lo que constituye un presupuesto esencial para el desarrollo de la ingeniería. De esta manera, toda la atención se concentra exclusivamente en la estructura de los procedimientos aplicados, que es lo que constituye el único objeto de la investigación. Con ello, es posible considerar los problemas técnicos específicos y encontrar la solución más conveniente en cada caso. Esto significó la consolidación del

método ingenieril, que se analizará más en este contexto.

3. A la consolidación del método ingenieril, es decir, a la aplicación del método de la ciencia positiva que se basa, en primer lugar, en experimentos, es decir, en la intervención, previamente planeada, en el acontecer natural.

Para crear las necesarias (y constantes) condiciones de experimentación y poder constatar de la manera más precisa posible los acontecimientos que se producen, se requieren siempre determinados aparatos e instrumentos [22]. Así las investigaciones científicas actuales dependen de los correspondientes soportes técnicos. Como en nuestra época se han vuelto objeto de investigación dimensiones cósmicas y microscópicas, que sólo pueden aprehenderse mediante costosos aparatos, es cada vez más patente la en sí siempre existente *tecnificación de las ciencias naturales* [23].

De otro lado, y es una insistencia, la tarea del ingeniero consiste precisamente en *hacer realidad* los principios descubiertos por la ciencia, que inicialmente sólo se conocen en su estructura general, y debe hacerlo de una forma prácticamente evaluable en las herramientas, artefactos u operadores tecnológicos; que deben ajustarse a condiciones bien determinadas, como seguridad en el funcionamiento, facilidad de mantenimiento o rendimiento constante, con el costo más reducido posible. Además, por razones económicas, no todos los resultados de la investigación científica interesan para las aplicaciones técnicas porque o bien no existe la correspondiente necesidad o el procedimiento en cuestión es antieconómico. Sin embargo, en la actualidad la tendencia es a utilizar técnicamente, en el lapso más reducido posible, todos los resultados importantes de la investigación científica. Tal hallazgo es llevado a la madurez de aplicación económicamente utilizable, es decir a la innovación tecnológica, mediante el trabajo sistemático de desarrollo del método ingenieril.



En este contexto podemos comprender mejor la diferencia entre ingeniería y tecnología. La tarea de ésta sería *explicar* teóricamente un determinado estado de cosas y codificar los procedimientos de su aplicación, en tanto que la ingeniería debe *fabricar* una estructura técnica concreta capaz de funcionar. Etimológicamente, la tecnología se puede definir como la reflexión sobre las técnicas; ella comprende la descripción, la historia, la filosofía de las técnicas, la conceptualización y la formalización, la transmisión y el perfeccionamiento de las actividades técnicas. Como ya hemos señalado, la tecnología se opone a la técnica, que se puede definir como una práctica que se apoya en reglas no sistemáticas, procedente más de los tanteos y el contacto inmediato con la realidad que de una experiencia reflexiva. La tecnología es, entonces, el conocimiento organizado, formalizado, de las técnicas: inquirir, describir, codificar, aplicar, combinar, inventar, tales son, diversamente mezclados, los elementos constitutivos de una tecnología.

Es decir que, como señala Mumford, la técnica en sus formas tradicionales no proporcionaba medios de continuar su propio crecimiento. La ciencia, al unirse a la técnica, elevó por así decirlo el techo de la realización técnica y amplió su alcance. Apareció la tecnología y en la interpretación y la aplicación de la ciencia apareció un nuevo grupo de hombres, o, más bien, una antigua profesión cobró nueva importancia. Entre el industrial, el simple obrero y el investigador científico, apareció el ingeniero moderno [24]. Ocurrió la *cientificación* de la técnica. Desde el punto de vista de su contenido, consistió en la utilización técnica de los resultados concretos de la investigación científica. Desde el punto de vista formal, se trató de la aplicación de métodos matemáticos cuantitativos y de la formulación de teorías amplias a partir de las cuales, mediante la correspondiente especificación, pueden derivarse las características especiales del respectivo caso particular.

## El quehacer de la ingeniería

La ingeniería cubre un amplio campo de estudio y actividades, desde la agricultura hasta la construcción de barcos, de la microelectrónica al transporte, de la civil a la bioingeniería, muchas aplicaciones de la vida diaria están relacionadas con la ingeniería o dentro de su alcance. Cada entidad física y artificial usada por los humanos es producto de alguna de las ramas de la ingeniería. La ingeniería está tan entrelazada en el tejido de la sociedad moderna, que encontramos a los ingenieros empeñados en un amplio espectro de ocupaciones, sin embargo ellas tienen un núcleo que es el diseño.

Recalquemos que, a pesar de su cercanía, la ingeniería, como profesión, no puede confundirse con la tecnología y todo lo que ella implica. La ingeniería se basa en principios científicos pero aplica la tecnología e incluso la técnica empírica. Se dice que la ingeniería es arte y ciencia. La ingeniería tampoco es ciencia.

Ya se anotó que precisamente, lo que distingue a la ciencia moderna de la ciencia antigua es la pretensión de conectar la teoría y la práctica mediante la acción del conocimiento y, como señalamos atrás, esta convergencia es el origen de la tecnología y de la ingeniería moderna.

Los cuatro grandes campos básicos de la ingeniería son la civil, la mecánica, la eléctrica y la química. A partir de estas, se han desarrollado tantas ramas, que ante la proliferación de denominaciones para la ingeniería en nuestro país y por el trabajo de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, ACOFI, el presidente de la república dictó el decreto 0792 del 8 de mayo de 2001 “por el cual se establecen estándares de calidad en programas académicos de pregrado en Ingeniería” [25]. Dicho decreto reglamenta que las denominaciones básicas para la ingeniería en Colombia son las siguientes:

1. Ingeniería Agrícola
2. Ingeniería Civil

3. Ingeniería Eléctrica
4. Ingeniería Electrónica
5. Ingeniería Química
6. Ingeniería Industrial
7. Ingeniería de Sistemas o Informática
8. Ingeniería Mecánica
9. Ingeniería de Materiales (incluye Metalurgia)
10. Ingeniería de Telecomunicaciones
11. Ingeniería Ambiental (incluye Sanitaria)
12. Ingeniería Geológica
13. Ingeniería de Minas
14. Ingeniería de Alimentos

Como se ve, a más de las cuatro ramas básicas, hay otras diez reconocidas por el gobierno, sin embargo, también se ha anotado que la ingeniería es una profesión antes que todo y que tiene su método de trabajo como se verá más adelante. Para un mejor entendimiento general del quehacer de la ingeniería se puede hablar de lo que hacen los ingenieros en la actualidad, es decir trabajar en sistemas cuyas soluciones son de inte-

rés para la sociedad. Tales sistemas se pueden agrupar convenientemente en:

- a. Sistemas para el manejo de los materiales, incluyendo la transformación y conservación de materias primas y materiales procesados.
- b. Sistemas para el manejo de la energía, incluyendo su transformación, transmisión y control.
- c. Sistemas para el manejo de la información, incluyendo su adquisición, transmisión y procesamiento.
- d. Sistemas para el manejo de las organizaciones, incluyendo su administración, gestión y mejoramiento.

En la realización de este trabajo los ingenieros se ven envueltos en variadas actividades que van desde la investigación en ingeniería, diseño y desarrollo, construcción, operación y administración de todo tipo de sistemas, ventas, administración, hasta la docencia y la reflexión sobre su actividad [26].

En la figura 1 vemos cómo se aplican los principios científicos y las cuestiones técnicas y financieras en las distintas actividades del ingeniero.

El espectro empieza con la investigación, que está tan próxima a la vida académica y continúa hasta

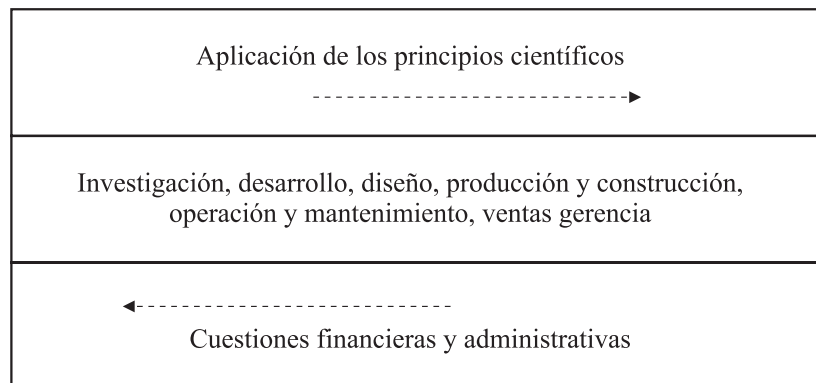


Figura 1 Espectro de las funciones ingenieriles [27]

la gerencia, tan lejana ya de los temas científicos y tan cercana a otras disciplinas y profesiones. Por esta razón los ingenieros en una corporación industrial normalmente se agrupan así:

1. Organización funcional
2. Organización por proyectos
3. Organización por funciones y proyectos

Las funciones de los ingenieros son similares para cualquier rama de la ingeniería y es posible agruparlas en nueve principales como se ve en la tabla 1.

Como se anotó arriba, la investigación y la administración son los dos extremos en las funciones de los ingenieros. Las actividades de investigación requieren conocimiento detallado en un campo muy estrecho mientras que un administrador conoce un poco de todos los campos. En los extremos un investigador lo sabe todo acerca de nada y un administrador sabe

nada sobre todo. Primero, la investigación y el desarrollo, y segundo el diseño y la producción requieren la actualización continua del conocimiento ingenieril. De otra manera las primeras funciones sería imposible realizarlas y las segundas no podrían llevarse a cabo como se requiere. A medida que los ingenieros no actualicen su conocimiento ingenieril, se mueven a las funciones de las filas inferiores de la tabla 1 (exceptuando la educación).

El ingeniero independiente tiene su propia empresa, sea productiva o de servicios y en este último caso es común que actúe como consultor, asesor, dando asistencia técnica o como inventor.

Así pues, a partir de la definición general de lo que es la ingeniería, se comprende que la misión de un ingeniero es entender, aprovechar y transformar la información, las fuerzas y los recursos naturales para producir bienes y servicios. Enfrentado a recursos escasos y a una demanda

**Tabla 1** Funciones de los ingenieros [27]

<i>Función</i>	<i>Contenido</i>
Investigación	Reconocimiento y definición de las necesidades reales. Búsqueda experimental de conocimiento. Suministro de información ingenieril a las otras funciones. Principios científicos y datos sobre los eventos ingenieriles recién descubiertos
Desarrollo	Aplicación tecnológica del conocimiento básico de la ingeniería. Determinación de problemas de aplicaciones y sus soluciones
Diseño	Reconocimiento y definición de necesidades tecnológicas y establecimiento de alternativas de solución. Selección de alternativas y presentación de la solución propuesta
Construcción y producción	Materialización y realización física de los diseños, control de calidad y el análisis de costos
Operación y ensayo	Planeación, selección, instalación, operación y ensayo de plantas, sistemas y máquinas. Determinación de la duración de máquinas y equipos y su rendimiento
Mantenimiento y servicio	Mantenimiento y reparación de las plantas, sistemas, máquinas y productos. Recolección y evaluación de datos sobre los productos consumidos
Mercadeo	Mercadeo del producto. Empaque y almacenamiento. Propaganda. Posicionamiento de los productos
Administración	Decisiones finales en el trabajo general de la ingeniería y parcialmente asesoría
Educación	Enseñanza y publicaciones generales y especializadas

creciente debe actuar con base en conceptos técnico-económicos que le permitan maximizar el rendimiento a un costo mínimo, respetando siempre el ambiente. El ingeniero es, ante todo, un creador, interpreta y asimila el progreso de las ciencias (física, química, biología, matemática), desarrolla proyectos, diseños y las técnicas de ejecución. Además al operar la tecnología que crea, el ingeniero resulta ser un técnico, un constructor, un productor y fundamentalmente un *hacedor*.

### El método ingenieril

Se ha establecido que el ingeniero soluciona problemas para beneficio de la humanidad. Sin embargo, a diferencia del científico el ingeniero no es libre para seleccionar el problema que le interesa, debe resolver los problemas como resulten y su solución debe satisfacer requerimientos que muchas veces están en conflicto. Generalmente la eficiencia cuesta dinero; la seguridad aumenta la complejidad; la mejora del rendimiento incrementa el peso. La solución ingenieril es la solución óptima, el resultado final, que teniendo en cuenta todos los factores es la más deseable. Puede ser la más confiable dentro de un límite de peso permisible, la más simple que satisfaga ciertos requerimientos, o la más eficiente para un costo dado. Además, en muchos problemas de ingeniería el costo social es significativo [28].

Sabemos del avance que significó la incorporación de la ciencia a la ingeniería en el siglo XVIII, lo cual llevó al desarrollo del método ingenieril para resolver los problemas y que, aunque tiene una relación con el método científico, difiere de él. El llamado método científico, en general, parte de la proposición de hipótesis, las cuales se comprueban mediante observación, experimentación y otros procesos, seguida por análisis de resultados y la formulación de teorías o leyes. Por su lado el método ingenieril se fundamenta en el aprendizaje y el pensamiento creativo y se basa en la detección de necesidades, diseño de productos, implantación del diseño y evaluación de resultados; considerando una definición amplia de los conceptos *diseño y producto* que pue-

de incluir por ejemplo “diseño de la planeación estratégica” o de “la política de talento humano”.

Desglosando este método de una manera más amplia, un ingeniero usa el siguiente esquema de trabajo:

- a. Parte de una necesidad e identifica el problema.
- b. Determina especificaciones.
- c. Hace un estudio de factibilidad.
- d. Realiza una búsqueda de información.
- e. Desarrolla conceptos alternos de diseño.
- f. Selecciona el diseño más promisorio.
- g. Implementa un modelo matemático o físico.
- h. Determina la relación entre las dimensiones y los materiales del producto.
- i. Optimiza el diseño.
- j. Evalúa el diseño optimizado, mediante análisis minuciosos del modelo matemático o por ensayo de los modelos físicos.
- k. Comunica las decisiones de diseño al personal de producción.
- l. Controla la producción.
- m. Interviene en las ventas y el servicio.
- n. Analiza las fallas y retroalimenta el diseño y la fabricación.

Para comprender el alcance del método ingenieril, cuya esencia es el diseño, hagamos una comparación de lo que significa ingeniería, lo que se entiende por diseño y cómo de estos dos conceptos contrapuestos surge ese resultado sinérgico que es el diseño de ingeniería, como se resume en la tabla 2 [29].

El diseño ingenieril actual requiere del conocimiento científico y en su trabajo el ingeniero debe trabajar con técnicos, obreros, administradores

**Tabla 2** Las actividades de la ingeniería y del diseño se mezclan perfectamente en el diseño ingenieril

<i>Ingeniería</i>	<i>Diseño</i>	<i>Diseño ingenieril</i>
Actividad que demanda tiempo	Actividad mental	Actividad iniciadamentalmente que consume tiempo
Físico	Conceptual	Productos físicos desarrollados conceptualmente
Cercano a la ciencia	Cercano al arte	Trabajo creativo basado en principios científicos
Metodológico	Intuitivo	Metodología empezada intuitivamente
Resuelve problemas	Crea problemas	Las cadenas Solución-problema y Problema-solución son irrompibles

y científicos, por eso debe valorar el trabajo de todos y, debe comprender los intereses del científico, una persona que es feliz haciendo nuevos descubrimientos en cuya persecución está dispuesto a ser paciente, estudiar largas horas sobre el tema de su interés, comprobar sus ideas con experimentos y enfrentar los resultados descorazonadores. El científico debe ser académico, porque solamente con el estudio de los descubrimientos pasados y las investigaciones actuales puede esperar el éxito.

El ingeniero debe estar atento a los resultados del trabajo de la ciencia, puesto que es él quien debe buscar su aplicación ya que el científico no tiene esta actividad como objeto. Por ejemplo, Carothers descubrió el nailon en 1.937, sin embargo, después de ello continuó estudiando los secretos de la materia. Más allá de las aplicaciones de esta fibra estaba su determinación de develar nuevo conocimiento sobre cómo estaban hechas las cosas naturales. Fueron los ingenieros de la Du Pont los que encontraron los múltiples usos que el nailon llegó a tener.

La experimentación y los ensayos científicos, así como las matemáticas, han llegado a ser importantes herramientas para el ingeniero. Sin embargo, el ensayo no debe usarse como sustituto

del pensamiento, aunque un experimento apropiado se sabe que puede coadyuvar al análisis.

Hemos hecho un rápido recorrido por los sistemas y procesos con que trabaja el ingeniero y hemos apreciado las ventajas del tratamiento sistémico de los problemas. Sin embargo, hay que precaverse, pues esta aproximación técnica y reglamentada y donde las soluciones se estiman como certidumbres matemáticas, en realidad requiere mucha imaginación. Las soluciones pueden ser múltiples y por tanto los sistemas y procesos [30].

La línea de montaje nunca puede sustituir a la mente que lo ha creado. Una vez establecido un sistema, sus partidarios más entusiastas pretenden hacer de él una panacea, y lo que inicialmente es un remedio pasa a ser una enfermedad. En este aspecto, la ingeniería no es una excepción y ha sufrido varias enfermedades crónicas, en un tiempo fue la calculitis aguda. Después vino la ensayitis o laboratoritis galopante. Ahora hay una peste de computadoritis. Todos estos males son abusos de métodos y procedimientos muy útiles mientras se aprovechen con autonomía. Las máquinas, los métodos y los sistemas jamás podrán tomar el lugar de los hombres; algunas veces es necesario cambiar técnicas an-

tiguas, y otras abandonarlas y elaborar procedimientos originales.

La ingeniería en la mayor parte de sus ramas, ha estado pensando de nuevo en sus problemas. No es un indicio de que las leyes de la geometría o de la física hayan cambiado, o de que se hayan descubierto principios sobre química desconocidos hasta hace poco tiempo. Sin embargo, se desarrollan y aplican nuevos materiales, se dan usos originales a los antiguos; se han inventado métodos recientes para usar principios conocidos. En casi todas las ramas de la ingeniería hay una agitada actividad para el desarrollo de la inventiva, la investigación y su revisión. Se requieren ingenieros autónomos de pensamiento que orienten esas actividades a nuevos desarrollos útiles. Las necesidades de la humanidad son enormes y el ingeniero debe anticiparse, pues cuando se resuelve un problema y la respuesta se conoce en forma definida en una rama de la ingeniería, ya es tiempo de investigarlo de nuevo, porque probablemente lo que se conoce del problema corresponda ya a situaciones que deben superarse. Pero la novedad no debe seguirse por sí misma. Algunas veces lo novedoso consiste sólo en hacer otra cosa casi en la misma forma que se había hecho antes [31].

### Ingeniería y ciencia

Hemos insistido sobre la complejidad de la ingeniería y sus múltiples ramas, lo cual se traduce en la enorme diversidad de aplicaciones y su multiplicación espectacular. Sin embargo, ya vimos que su método es universal y común a todas sus variedades y esto ha sido posibilitado por un hecho, si se quiere paradójico y que permite visualizar tan abrumador cúmulo de información: a medida que se ha logrado profundizar en el estudio de los fenómenos aparentemente sin relación alguna, se han encontrado semejanzas tan asombrosas en su comportamiento, que se han podido establecer leyes generales, de aplicabilidad universal y que constituyen herramientas inapreciables para resolver los problemas cotidianos, a saber: las leyes de conservación, las leyes de

equilibrio y las leyes que determinan los fenómenos de transporte [32].

Haciendo resaltar la importancia de esas leyes y su aplicación a casos específicos, se logran borrar las barreras artificiales que se han creado entre los diversos enfoques y aplicaciones de las distintas especialidades de la ingeniería.

Es por lo anterior que, en general, los programas de ingeniería proporcionan una educación básica que no está alineada con ningún *estado del arte*. Esto es así porque el conocimiento tecnológico cambia de una manera exponencial y por tanto es más apropiado aprender las leyes básicas de la naturaleza y ciertos hechos esenciales que contribuyen a entender el problema que se quiera solucionar. El énfasis debe estar en desarrollar mentes maduras y educar ingenieros que puedan pensar. Un método para condensar y concentrar el material que debe aprenderse es de importancia fundamental. Por esta razón un medio muy poderoso para lograrlo es el uso de las técnicas matemáticas que puedan describir situaciones técnicas. Por esta razón la matemática es la herramienta más poderosa para el ingeniero y su dominio desde los principios de su carrera le permitirá un más rápido progreso en temas como mecánica, física y análisis de circuitos. De manera similar, si un estudiante aprende los principios de la física, este conocimiento aglutinará desarrollos ingenieriles tan diversos como los materiales magnéticos, las descargas de gases, los semiconductores, los sistemas termodinámicos y la estructura de los materiales. Se entiende así que no hay un sustituto para el dominio de los principios fundamentales de otras ciencias como la química y la biología [33].

Así pues, la aplicación de los conocimientos científicos a la resolución de problemas prácticos, y el propio empleo del método racional de los científicos para esa resolución, ocupan un lugar primordial en la metodología de la ingeniería. Sin embargo, ese modo de concebir la ingeniería, además de sus indudables ventajas, entraña un peligro evidente. Si se lleva a sus extremos, se olvida la esencia de la ingeniería, que es concep-

ción de un mundo artificial y no mera aplicación de lo que ya se sabe a determinados problemas prácticos. Esto último es ciencia aplicada, algo bien distinto de la ingeniería, aunque en determinados casos puedan confundirse. Pero la ingeniería, en lo que tiene de concepción, no presupone ningún conocimiento teórico del cual se derive aquello que se concibe. Es decir, la ingeniería debe apoyarse en la ciencia, pero no debe dejarse imponer su discurso positivista y neutro y cuestiones como el significado y el impacto social no pueden rechazarse ni ignorarse en el contexto del quehacer ingenieril. Esta es la línea de pensamiento que se quiere resaltar en este trabajo; a pesar de los peligros filosóficos que ello implica, creemos que la ingeniería y la tecnología deben tener valores. El trabajo del ingeniero es para el beneficio tangible e inmediato de la humanidad y no para el mero avance del conocimiento humano [34].

Como en el caso de la ciencia, los conocimientos de la ingeniería se han organizado en disciplinas básicas con una estructura lógica semejante a la de aquellas teorías. Por ejemplo, la mecánica de los medios continuos, la teoría de circuitos eléctricos, la teoría de sistemas de control automático o la informática se exponen en libros que, en principio, en nada desmerecen de los que un científico consideraría aceptables y dignos de consideración. Algunas de ellas, como las dos primeras, podrían figurar como capítulos de un libro de física general; y las dos segundas, de uno de matemáticas. No se olvide que la propia termodinámica está a caballo entre la física y la ingeniería; y aunque los físicos la reclaman como parte de su patrimonio, algunos la consideran una teoría fenomenológica —consideración en la que está implícita una calificación como de segunda fila—. Por ello, en ciertos ámbitos, se habla de ciencias de la ingeniería.

### La identidad de la ingeniería

De acuerdo con las definiciones, antes que todo, la ingeniería es una profesión y, como lo señala Mario Díaz Villa, a diferencia de las disciplinas

no es una unidad discursiva discreta y especializada con su propio campo intelectual. Mientras las disciplinas -como la física o la filosofía- se orientan hacia su propio desarrollo, la ingeniería se aplica hacia la orientación fuera de sí misma. Dentro de la organización moderna del conocimiento la ingeniería es una profesión, y una profesión es una recontextualización de las disciplinas que operan tanto en el campo de ellas mismas como en el campo de las prácticas. Las profesiones son una interfase entre las disciplinas y las tecnologías que ellas hacen posibles [35].

De hecho, en las profesiones prima el principio de interdisciplinariedad dado que su origen o fundamento no está en una sola sino en diversas disciplinas. En esto se ha insistido pues la ingeniería generalmente se reconoce como una profesión, junto con la medicina, la odontología, el derecho, la arquitectura, y la educación. Tres atributos hacen que una ocupación sea una profesión:

1. El esfuerzo intelectual
2. El pensamiento creativo
3. La motivación por el deseo de servir

Los dos primeros atributos son casi inherentes a la condición de ingeniero, pero -como señala Cross- en ningún momento debe olvidarse el tercero, pues un profesional es una persona que ejerce una profesión, y en sentido lato es todo aquel que tiene encomendada, de manera habitual, una misión que cumplir en beneficio de los demás, con la contrapartida a su favor del derecho a la justa compensación de su trabajo [36].

En 1.825 Augusto Comte dijo que:

Es fácil reconocer en el cuerpo científico tal y como existe ahora un cierto número de *ingenieros* distintos de los hombres de ciencia propiamente dichos. Esta importante clase nació necesariamente cuando la Teoría y la Práctica, que salieron de puntos distantes, se acercaron lo suficiente para darse la mano. Esto es lo que hace que su *status* propio esté aún poco definido. En cuanto a las

doctrinas características adecuadas para establecer la existencia especial de la clase de los ingenieros, su verdadera naturaleza no puede indicarse fácilmente porque sólo existen sus fundamentos... El establecimiento de la clase de los ingenieros con sus propias características es de la mayor importancia porque esta clase constituirá, sin duda, el instrumento de coalición directo y necesario entre los hombres de ciencia y los industriales por medio de los cuales solamente puede empezar el nuevo orden social [37].

Esta situación que previó Comte hace casi doscientos años no se hizo posible hasta la tercera era de la ingeniería, si estas se agrupan arbitrariamente en cuatro. La primera desde la antigüedad hasta más o menos 1750, la segunda de 1750 a 1850, la tercera de 1850 a 1950 y la última desde la II Guerra Mundial hasta ahora, cuando posiblemente se está iniciando una quinta. Esta tercera que se menciona estuvo marcada por la conquista de la electricidad y la puesta a punto del motor de combustión interna. En ella se incrementó la construcción, diseño y mantenimiento de barcos, puentes, edificios, máquinas, etc., más grandes; y los científicos empezaron a responder ciertas preguntas propuestas por los ingenieros. En esta era se construyó el puente de Brooklyn (1883), se extendieron los cables submarinos en el Atlántico y se construyeron grandes sistemas de transporte, generación de energía, y distribución. Nació la aviación y el cine se hizo un medio común de educación y entretenimiento, que fue pronto seguido por la radio y la televisión [38].

La tardanza en establecerse lo que Comte llama “la clase de los ingenieros” se debió, según lo afirma Sprague, a que desde sus inicios la ingeniería estuvo unida a los poderes político, religioso y militar, los capaces de promover las grandes obras que los ingenieros llevaron a cabo y de acuerdo con Mitcham, a que, a pesar de esa directa conexión con el poder, su responsabilidad ha tenido que ver con la subordinación de los ingenieros a las organizaciones sociales, cuyo poder político y económico excede ampliamente todo poder tecnológico que puedan tener éstos en forma individual [39]. Además, como señala

Mitcham, subsiste el problema de la identidad de la ingeniería, una profesión que a diferencia de la medicina —que se orienta a la salud— o el derecho —cuyo fin es la justicia—, no estaba claro que la ingeniería poseyera algún ideal intrínseco, sustantivo. Los ingenieros se denominaron así —*ingeniators*— porque construían y operaban ingenios de guerra; hasta finales del siglo XVIII la ingeniería fue fundamentalmente una actividad militar. La importancia de la *École Polytechnique* francesa, fundada bajo la dirección del Ministerio de las Fuerzas Armadas, es un testimonio del carácter esencialmente militar que tenía la ingeniería tradicional. Por esta razón, el poder tecnológico de los ingenieros, sin importar su alcance, era muy inferior al poder organizado del ejército al cual pertenecían. Como todos los miembros de las fuerzas armadas, la conducta del ingeniero estaba regulada, principalmente, por la obediencia; su obligación terminante era acatar órdenes [40].

De acuerdo con el mismo autor, cuando surgió la ingeniería civil en el siglo XVIII y se orientó al diseño y construcción de obras públicas, no se alteró, inicialmente, esta situación. La ingeniería civil no era más que una ingeniería militar de tiempo de paz y seguía sujeta por entero a la dirección del Estado, la entidad que podía hacer las inversiones necesarias. El desarrollo posterior de la ingeniería mecánica, química y eléctrica, tampoco afectó apreciablemente esta situación ya que estas ramas florecieron dentro de estructuras de grandes empresas productoras y comerciales establecidas. Lo que la ingeniería no militar promovió fue la búsqueda de un ideal sustantivo que pudiera servir como punto central independiente para la ingeniería, de la forma en que la medicina y el derecho se centran en la salud y la justicia respectivamente. No obstante, hemos visto que las definiciones de ingeniería continúan exhibiendo lo que podría ser interpretado como una influencia militar, es decir que la profesión de ingeniero es un mero medio, sin ningún otro ideal intrínseco que no sea la eficiencia y supone así una subordinación a las estructuras sociales externas [41, 42].



En buena parte esto continúa siendo así, en la universidad la cultura y el discurso de la ciencia han impuesto su propio rigor a las disciplinas académicas de la ingeniería y cuando ésta lo adopta, tal autoridad es casi absoluta. Fuera de la universidad los ingenieros se creen inmunes a la influencia de las teorías filosóficas, pero la ingeniería permanece cautiva, en gran medida, a esta clase de ideas desarrolladas dentro del positivismo, debido al aplastante dominio ejercido por éste en el desarrollo del pensamiento científico durante el siglo XX. La ironía de esta situación es que la mayoría de los ingenieros probablemente nunca han oído hablar del positivismo lógico. Como lo anotó Keynes, en 1936, en un contexto paralelo: “Los hombre prácticos, que se creen exentos de cualquier influencia intelectual, generalmente son esclavos de algún economista difunto” [43]. Tales influencias, a veces ejercidas subliminalmente, pueden configurar una esclavitud cultural real de la que los ingenieros ni se percatan ni se quieren percatar [44, 45].

Sin embargo, el ingeniero español Javier Aracil acentúa la diferencia entre ciencia e ingeniería y señala lúcidamente que la concepción de un producto de esta última —un puente o un robo— no es algo que se deduzca —en el sentido, por ejemplo, que se deduce la existencia de agujeros negros de la teoría de la relatividad— de la teoría correspondiente (la mecánica de los medios continuos o la teoría del control automático). Y aunque esas teorías suministran el conocimiento necesario —o al menos disponible— para poder plasmar lo que se ha concebido (e, incluso, para decirnos si aquello que pretendemos hacer puede o no hacerse con la tecnología disponible), ya indicamos antes que la tarea del ingeniero consiste precisamente en *hacer realidad* esos principios descubiertos por la ciencia. Los casos de un robot, o de un avión, son especialmente interesantes en este sentido ya que en ellos confluyen múltiples tecnologías [46].

El ingeniero, cuando actúa como tal, es decir, cuando concibe, diseña o proyecta algo, realiza un acto de creación mediante el cual relaciona

elementos de diversa naturaleza en la síntesis que es el objeto artificial producto de su labor. Ello requiere el conocimiento de las propiedades de los elementos que integra en su proyecto, conocimiento que a veces lo suministra la ciencia, pero al desarrollar su actividad profesional, tiene que concebir, casi cotidianamente, soluciones a los problemas específicos que le presenta la puesta en práctica del mundo artificial que le es propio; en el científico, sin embargo, los actos de creación son más esporádicos [47].

Un descubrimiento científico es algo de una universalidad y trascendencia que se produce muy ocasionalmente. Un proyecto de ingeniería tiene un carácter mucho más concreto y frecuente, casi ordinario.

Ya señalamos que el método ingenieril es diferente al método científico y que el ingeniero se desenvuelve en el ámbito del mundo real y concreto. Su propósito es resolver tal o cual problema mediante algún artefacto o procedimiento que sirva precisamente para eso. Su objetivo es que aquello que concibe y realiza sirva a los propósitos que lo han originado. Su ámbito de trabajo es radicalmente distinto al del científico, en el caso concreto que debe solucionar no puede prescindir de nada, no puede aislarse en un laboratorio y ocuparse exclusivamente de aquellos aspectos generales que son tan interesantes al científico. Antes bien, ha de concentrarse en el problema específico que tiene que resolver y, al hacerlo, tiene que tener en cuenta todos los aspectos de la escurridiza e inasible realidad. Y, además, tiene que asumir riesgos y tener en cuenta el ambiente, la sociedad y la cultura en los que actúa [48, 49].

El mundo del ingeniero es el real, no el del laboratorio ni el de las especulaciones y, por tanto, debe estar provisto de una formación humanística que lo proteja del excesivo tecnicismo y de la soberbia que puede producir su poder demiúrgico. Por ello la profesión de ingeniero hay que ennoblecirla, rescatarla de la oscuridad en que yace, recordarle al mundo que casi todo lo que hace está mediado por el trabajo de los ingenieros y

que su profesión merece todo el respeto de la sociedad [50, 51].

En resumen, en la actualidad, la ingeniería es una profesión con identidad, objetivos y características muy propias. Desde el punto de vista filosófico es posible elucubrar largamente sobre la ingeniería, sin embargo acá hemos señalado dos aspectos que son centrales a la ingeniería, el método ingenieril y el diseño en ingeniería —que en esencia son lo mismo— y por último hemos reflexionado sobre la ingeniería como una profesión con identidad, que no puede confundirse con la ciencia ni con la tecnología. Si el lector se apropió de estos conceptos, cumplimos nuestro objetivo [52].

## Referencias

1. Castro Saavedra, Carlos. *Caminos y Montañas*. Elogio de la ingeniería. Medellín. Sociedad Antioqueña de Ingenieros. 1966. p. 14.
2. King, W.J. *Las leyes no escritas de la ingeniería*. Traducción de Javier Chamorro. Medellín. The American Society of Mechanical Engineers. 1981.
3. Cross, Hardy. *Engineers and Ivory Towers*. Stanford. Stanford University Press. 1953. p. 158.
4. Bunge, Mario. *La ciencia. su método y su filosofía*. Buenos Aires. Editorial Siglo XXI. 1980.
5. Thuillier, Pierre. *De Arquímedes a Einstein*. Madrid. Alianza Editorial. 1990.
6. Bueno, Gustavo. *¿Qué es la ciencia? Respuesta de la teoría del cierre categorial*. Ciencia y Filosofía. Oviedo. Pentalfa Ediciones. 1995.
7. Etervic Garrett, Danilo. “La educación del ingeniero”. *Boletín de la Academia Nacional de Educación*. No. 49. Buenos Aires. Octubre de 2001. p. 11.
8. Ferrarter Mora, José. *Diccionario de Filosofía abreviado*. Barcelona. Edhasa. 1978.
9. Cardwell, Donald. *Historia de la Tecnología*. Madrid. Alianza Editorial. 1996.
10. Cózar Escalante de, José Manuel. “Para la construcción y para la destrucción. El impulso dual de nuestra civilización tecnológica”. José Manuel de Cózar (Ed.). *Tecnología, civilización y barbarie*. Barcelona. Anthopos. 2002. p. 11
11. Martínez, Eduardo. “Progreso tecnológico: la economía clásica y la economía neoclásica tradicional”. Eduardo Martínez (Ed.). *Ciencia. tecnología y desarrollo: interrelaciones teóricas y metodológicas*. Caracas. UNESCO. 1994. p. 221.
12. Martínez, Eduardo. “Progreso tecnológico: la economía clásica y la economía neoclásica tradicional”. Eduardo Martínez (Ed.). *Ciencia. tecnología y desarrollo: interrelaciones teóricas y metodológicas*. Caracas. UNESCO. 1994. p. 221.
13. Valencia, Asdrúbal. *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Medellín. CESET, Universidad de Antioquia. 1996.
14. Borrero, Alfonso. *Ciencia, tecnología y desarrollo*. Bogotá. ASCÚN. 1987.
15. Martínez Sanmartín, Luis Pablo. “Historia de la Técnica”. J. Sanmartín. S. H. Cutcliffe. S. L. Goldman y M. Medina (Eds.). *Estudios sobre sociedad y tecnología*. Barcelona. Anthopos. p. 17. 1992.
16. Poveda Ramos, Gabriel. *Ingeniería e historia de las técnicas*. Vol. I. Bogotá. Colciencias. 1993. p. 13.
17. Facultad de Minas, Universidad Nacional, Sede de Medellín. Documento de trabajo. Medellín. 2.000.
18. Lauria, Eitel H. “Filosofía de la educación del ingeniero”. *Boletín de la Academia Nacional de Educación*. No 49. Buenos Aires. Octubre de 2001. p. 11.
19. Sprague de Camp, Lyon. *The Ancient Engineers*. New York. Branes & Noble. 1993.
20. Valencia, Asdrúbal. “Breve historia de la ingeniería”. *Revista Facultad de Ingeniería*. Universidad de Antioquia. No. 20. Medellín. Junio de 2000. p. 121.
21. Kirby, Richard Shelton *et al.* *Engineering in History*. New York. Dover. 1990.
22. Rapp, Friedrich. *Filosofía analítica de la técnica*. Buenos Aires. Editorial Alfa. 1981.
23. Valencia, Asdrúbal. *De la técnica a la modernidad*. Medellín. Editorial Universidad de Antioquia. 2004, p. xx.
24. Mumford, L. *Técnica y Civilización*. Madrid. Alianza Editorial. 1982. p. 239.
25. Ministerio de Educación Nacional de Colombia. Decreto número 792 de mayo 8 de 2001.
26. Beakley, George C. and H. W. Leach. *Engineering. An Introduction to a Creative Profession*. New York. The McMillan Company. 1967.

27. Dieter, George Ellwood. *Engineering design: a materials and processing approach*. New York. McGraw-Hill. 1991.
28. Erden, Abdülkadir. *Engineering Design*. Ankara. University of Ankara Press. 1998.
29. Wright, Paul H. *Introducción a la ingeniería*. Addison Wesley. Wilmington, Del. 1994.
30. Sussman, M. V. "Engineering Schools train social revolutionaries". *Chemical Engineering Education*. Vol. 21. No. 2. Spring. 1987. p. 78.
31. Cross, Hardy. *Los ingenieros y las torres de marfil*. México. McGraw-Hill. 1998.
32. Puron de la Borbolla, Alejandro. *Principios de los procesos de ingeniería*. México. Limusa. 1974.
33. Ferguson, Eugene S. *Engineering and the Minds Eye*. Boston. MIT Press. 1993.
34. Aracil, Javier. "Elogio de la ingeniería". *Memorias de la Real Academia Sevillana de Ciencias*. Vol. 4. 1999. p. 121
35. Díaz Villa, Mario. "La formación y los componentes del currículo". *Educación para la ingeniería del siglo XXI*. Memorias de la XIV Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería, ACOFI. Cali. 1994. p. 19.
36. Spalding, Albert. "The engineer, a professional". George A. Hawkins (editor). *Student's engineering manual*. New York. McGraw-Hill. 1968. p. 537.
37. Comte, A. "Cuarto Ensayo". (1825). *Ensayos*. Barcelona. Editorial Crítica. p. 53.
38. Beakley, George C. and H. W. Leach. *Engineering. An introduction to a creative profession*. New York. The Macmillan Company. 1967. p. 32.
39. Sprague de Camp, L. *The Ancient Engineers*. New York. Barnes & Noble Books. 1993.
40. Mitcham, Carl. *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona. Anthropos. 1989. p. 152.
41. Mitcham, Carl. *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona. Anthropos. 1989.
42. O'Dea, William T. *The Meaning of Engineering*. 3<sup>rd</sup> ed. Museum Press. London. 1991.
43. Keynes, J. M. *La teoría general del empleo. el interés y el dinero*. México. Fondo de Cultura Económica. 1951.
44. Goldman, Steven L. "The Social Captivity of Engineering". Durbin, Paul T. (ed.). *Critical Perspectives on Nonacademic Science and Engineering*. Bethlehem. Lehigh University Press. 1991. pp. 121-45.
45. Aracil, Javier. "¿Es menester que los ingenieros filosofen?". *Argumentos de razón técnica*. No. 2. 1999. p. 29.
46. Middendorf, William. *What Every Engineer Should Know About Inventing*. New York. Marcel Dekker. 1996.
47. Koen, Billy Vaughn. *El Método de la Ingeniería*. Bogotá. ACOFI. 2.000.
48. Krick, Edward V.. *Fundamentos de Ingeniería*. México. Limusa- Noriega Editores. 1999.
49. Florman, Samuel C. *The Civilized Engineer*. New York. St Martin's Griffin. 1987.
50. Valencia, Asdrúbal. *Una aproximación a la ingeniería*. Medellín. Universidad de Antioquia. 2.003.
51. Florman, Samuel C. *The Existential Pleasures of Engineering*. New York. St Martin's Griffin. 1994.
52. Valencia G., Asdrúbal. "El futuro de la ingeniería". *Revista Facultad de Ingeniería*. Universidad de Antioquia. No. 19. Diciembre de 1999. Medellín. p. 85.