



La fundamentación científica es esencial en la formación del ingeniero.

## Introducción

Señalamos que la ingeniería es una profesión y que una de las maneras como se forman los ingenieros es mediante el estudio en las universidades. Los estudiantes que ingresan a estudiar ingeniería deberían tener las siguientes habilidades por encima del promedio.

- Habilidad para pensar con imaginación y visión
- Habilidad para entender principios científicos y aplicar métodos analíticos al estudio de los fenómenos naturales.
- Habilidad para concebir, organizar, y llevar hasta el final investigaciones experimentales apropiadas.
- Habilidad para sintetizar y diseñar.
- Disposición para trabajar en el campo o en las plantas fabriles, según el caso.
- Disposición para estudiar continuamente.

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

# Capítulo 8

## La formación del ingeniero

### Contenido breve

#### 8.1 Introducción

#### 8.2 La formación integral

#### 8.3 El proceso de formación

#### 8.4 La interdisciplinariedad

#### 8.5 La formación sociohumanística del ingeniero

#### 8.6 La investigación en ingeniería

##### 8.6.1 La dinámica de la investigación en la ingeniería

##### 8.6.2 La investigación en ingeniería en Colombia

##### 8.6.3 El ámbito de la investigación en ingeniería

#### 8.7 Otros aspectos de la formación

#### Referencias

técnicas. Por esta razón hemos insistido en que 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 una 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 [1].

Se comprende, entonces, que la fundamentación científica es esencial en la formación del ingeniero. Así lo establece el Decreto 0792 de Mayo 8 de 2001, “Por el cual se establecen estándares de calidad en programas académicos de pregrado en Ingeniería”, el cual fija las áreas que debe cubrir un programa de estudios en esta profesión en Colombia, además de las ciencias básicas [2]. En su artículo 4. Aspectos curriculares básicos, dice así:

El programa debe poseer la fundamentación teórica y metodológica de la Ingeniería que se basa en los conocimientos de las ciencias naturales y matemáticas; en la conceptualización, diseño, experimentación y práctica de las ciencias propias de cada campo, buscando la optimización de los recursos para el crecimiento, desarrollo sostenible y bienestar de la humanidad.

Para la formación integral del estudiante en Ingeniería, el plan de estudios básico comprende, al menos, las siguientes áreas del conocimiento y de prácticas:

- a. Área de las Ciencias Básicas: está integrada por cursos de ciencias naturales y matemáticas.
- b. Área de Ciencias Básicas de Ingeniería: incluye los cursos que estudian las características y aplicaciones de las ciencias básicas para fundamentar el diseño de sistemas y mecanismos en la solución de problemas.
- c. Área de ingeniería aplicada, o conjunto de conocimientos propios de un campo específico de la ingeniería.
- d. Área Sociohumanística: comprende los componentes económicos, administrativo y sociohumanístico.

*En la propuesta del nuevo programa deberá hacerse explícita la estructura y organización de los contenidos, las estrategias pedagógicas, así como los contextos posibles de aprendizaje para el logro de los resultados esperados.*

El origen de este decreto fue el proyecto que, a partir de 1995, emprendió la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, ACOFI, conjuntamente con el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, ICFES, denominado Encuentros por Ramas de la Ingeniería –EPARI–, con el propósito de reflexionar sobre la actualización y modernización de la currícula en ingeniería, pensado en hacer más competitivo al ingeniero colombiano y de cara al inicio del siglo XXI.

Luego de más de 60 reuniones en los niveles regional, nacional e internacional, se abordaron las especializaciones de la ingeniería más dinamizadoras del sector productivo y se llegó a cubrir el 70% de los estudiantes matriculados en Colombia. Las ramas de la ingeniería estudiadas fueron: Civil, Mecánica, Eléctrica, Electrónica,

Industrial, Química, Sistemas, Geológica, Minas y Materiales, Petróleos, Metalúrgica y posteriormente las ingenierías Ambiental, Agrícola, Agroindustrial, Forestal y Alimentos.

Como producto de lo anterior, se establecieron unos lineamientos conceptuales que permitieron orientar la estructura básica de los planes de estudio en los programas de ingeniería, los cuales planteaban cubrir los siguientes aspectos:

- Buscar concordancia entre el perfil del ingeniero y el plan de estudios.
- Facilitar y estimular el desarrollo de la creatividad y la motivación.
- Estimular el trabajo en grupo.
- Mejorar la comunicación oral y escrita de los estudiantes y futuros ingenieros, habilitándolos también en el entendimiento básico de una segunda lengua, fundamentalmente el inglés.
- Desarrollar conciencia ecológica, de la protección del medio ambiente y el manejo sostenible de los recursos naturales.
- Desarrollar el espíritu experimental a través de adecuadas prácticas de laboratorios.
- Propiciar discusiones y análisis abiertos sobre información técnica, códigos, normas internacionales, asuntos de legislación, aseguramiento de la calidad, entre otros.
- Capacitar al estudiante para la autocrítica y permanente cuestionamiento hacia la excelencia.
- Estimular el debate ideológico como preparación a la vida ciudadana, hacia la práctica de la tolerancia y el pluralismo en el marco de la democracia participativa.
- Estimular la disciplina de trabajo mediante la realización de proyectos multidisciplinarios.
- Impartir una formación humanística, ética, estética y con respeto por la dignidad de las personas y sus derechos.

En general se organizó el plan básico de estudios en cinco áreas de formación, así:

- Ciencias Básicas: entendidas como los principios y fundamentos de la matemática, la física, la química y la biología.
- Básicas de Ingeniería: son las aplicaciones de las ciencias básicas, incluyendo expresiones gráficas, orales, escritas, y computación.
- Aplicación profesional: corresponde a la actividad y desarrollo de la formación profesional.
- Económico-Administrativa: es un área que permite integrar los procesos productivos dentro del contexto de la rentabilidad, de la gestión y de la eficiencia de los recursos físicos y humanos.
- Sociohumanística: corresponde a los aspectos del hombre y la sociedad.

<i>Áreas</i>	<i>Porcentaje mínimo con base total horas presenciales</i>
Ciencias Básicas	20 %
Básicas de Ingeniería	20 %
Aplicaciones de Ingeniería	25 %
Económico-Administrativa	5 %
Sociohumanística	10 %

Esto se ve reflejado en el decreto que, en lo relativo a las ciencias básicas, establece taxativamente *“Para la formación integral del estudiante en Ingeniería, el plan de estudios básico comprende, al menos, las siguientes áreas del conocimiento y de prácticas: a) Área de las Ciencias Básicas: está integrado por cursos de ciencias naturales y matemáticas.* Fijémonos bien que se refiere al estudiante de ingeniería –de cualquier especialidad, incluida la de Sistemas– de modo que la componente de ciencias básicas la establece la ley y no debe ser objeto de discusión sino en la profundidad que deba dársele de acuerdo con la especialidad.

En el decreto además se aprecian los componentes del plan de estudios, que además de las ciencias básicas, incluye las ciencias de la ingeniería (como mecánica de materiales, fenómenos de transporte, dibujo, matemáticas para ingenieros, materiales de ingeniería, etc.), ingeniería aplicada es decir los cursos específicos de cada rama de la ingeniería y el área sociohumanística, que infortunadamente en el decreto no se diferencia del área económica–administrativa.

La finalidad de un plan de estudios es formar ingenieros que tengan idoneidad en el abordaje de situaciones problemáticas típicas de la profesión, capacidad creadora para producir innovaciones, capacidad de análisis y reenfoque de los problemas, manejo del pensamiento científico y metodologías de investigación, sentido de contexto en su actividad, visión global del conocimiento, motivación para una actualización permanente, capacidad para integrar, formar y conducir equipos de trabajo, capacidad para tomar decisiones, cuidado con la preservación del ambiente y actitud ética en el ejercicio de la profesión [3].

Esto significa que el programa no debe estar recargado de cursos técnicos sino de los básicos, que se debe fortalecer la formación en diseño, invadir la formación con humanidades y ética e incorporar la enseñanza de gestión.

La estrategia para la formación de ingenieros debe hacer énfasis en lo formativo por sobre lo informativo y además de las capacidades específicas de la profesión debe desarrollar las capacidades generales y las actitudes que se han mencionado ya. Esto implica, además de la fuerte formación básica en la profesión, preparar al alumno para aprender a aprender, la enseñanza activa y los conocimientos justo a tiempo, lo cual demanda una gran flexibilidad curricular. Como señala un estudio reciente «... los currículos deben tener la capacidad de adaptarse a las prácticas sociales en la parte tanto del “hacer” como del “saber”. Para todos los empresarios es muy determinante el desarrollo de lo “práctico” y la capacidad de concreción del conocimiento» [4].

Así pues, se aspira a que la formación del ingeniero sea integral, es decir que el período de escolaridad proporcione las medidas idóneas para un crecimiento interior que reúna valores y saberes, pues la formación de un ingeniero debe conducir a obtener un individuo autónomo moralmente, es decir con una ética, con una capacidad para juzgar y evaluar su papel en cada una de las circunstancias profesionales.

La formación presencial universitaria debe dotar, educar al individuo para que viva unos valores en el sentido de que estos son su mundo. A primera vista esto puede parecer muy abstracto, pero no es así. La universidad desde su inicio histórico ha sido una comunidad del saber, y tiene que marcar el individuo que pasa por ella. El proceso pedagógico es un tránsito por el cual el individuo adquiere la evidencia racional o científica de que el mundo es de esta o de la otra manera, y que debemos

obrar así; es decir, el comportamiento está regido por normas de evidencia racional o científica. Esa es la aspiración de la pedagogía. Claro que no ha sido completamente de esa forma: por eso el estudiante va a la universidad, a estar en comunidad con médicos, artistas, tal vez en un ambiente que sea un poco diferente a la cotidianidad, y debe tener oportunidad de estudiar otras materias que forman parte del mundo científico, basado en un universo científico diferente al sentido común.

Sin embargo, en el caso colombiano, se ha considerado que uno de los problemas más graves es la poca incidencia que parece tener el sistema educativo actual en la formación de actitudes y valores ciudadanos y democráticos en la juventud, aspecto sobre el cual se debe reflexionar y generar alternativas institucionales creativas que permitan sensibilizar y arraigar dichos valores.

De otra parte, el ingeniero debe acceder a los cuadros de poder, presentar sus estudios sobre la tecnología y sus implicaciones en las relaciones con los bloques económicos, mantener la neutralidad de las universidades como defensoras de los intereses públicos. Para ello, se debe fomentar desde la universidad, el liderazgo mediante el roce con los dirigentes del Estado, con personas cercanas a la comunidad y con los empresarios, para que el estudiante en un ambiente altruista se fije metas de responsabilidad social y reconozca que su potencial de servicio a la sociedad es también compatible con sus aportes a la ingeniería.

En realidad, de poco sirve la alta especialización científica, profesional o técnica sin el compromiso de la formación integral, la cual debe propiciar, en los actores comprometidos en el proceso educativo, el desarrollo de aptitudes genéricas, competencias básicas y análisis simbólico, así como la formación en valores éticos y sociales, centrados particularmente en el sentido de ciudadanía. Una institución de educación superior comprometida con la pertinencia buscará formar integralmente científicos, profesionales y técnicos competentes e idóneos, algunos de ellos capaces de correr las fronteras del conocimiento (investigación), que además sean ciudadanos íntegros con capacidad de liderazgo y con conciencia social (docencia) y que se empeñen en buscar alternativas para satisfacer las necesidades específicas de la región y de la sociedad en general (extensión) [5].



## 8.2 La formación integral

Podríamos decir que la formación se refiere, por una parte, al proceso de generación de competencias particulares que producen diferencias de especialización entre los individuos. Por otra parte, se refiere a la inserción del estudiante en formas socialmente aceptables de conducta, carácter y maneras, mediante la legitimación de ciertas prácticas, procedimientos y juicios, que intentan producir un orden interno o subjetivo. En este caso podemos considerar que la formación está cruzada por una dimensión ético-política. Sin embargo, para hablar de la formación en ingeniería, primero se debe establecer que es ésta, como se ido haciendo desde el primer capítulo de este trabajo.

La ingeniería se distingue de las disciplinas en que no es, como éstas, una unidad discursiva discreta y especializada en su propio campo intelectual. Mientras las disciplinas se orientan hacia su propio desarrollo, la Ingeniería se orienta a la aplicación fuera de sí misma. Como hemos insistido, a diferencia del científico, el ingeniero no es libre de seleccionar el problema de su interés para trabajar en el mismo; debe en cambio resolver los problemas como surjan y esa solución satisfará requisitos muchas veces en conflicto. Es precisamente por esa razón que, dentro de la organización del conocimiento, la ingeniería es una profesión. Las profesiones constituyen la recontextualización de las disciplinas que operan tanto en su propio campo en el de las prácticas; son una interfase entre las disciplinas y las tecnologías que ellas hacen posibles [6, 7].

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. Esto las obliga a adoptar en la formación un significado de integración o de articulación entre los conocimientos que las fundamentan.

La ingeniería como un cuerpo especializado de conocimientos y de prácticas es una profesión que puede ser analizada por referencia a sus fundamentos disciplinarios y por referencia al campo de las prácticas tecnológicas en el cual debe intervenir. Desde este punto de vista, son diversos los aspectos que demanda el establecimiento del currículo de la formación del ingeniero. Uno de esos aspectos tiene que ver con el desarrollo de la cultura moderna en sus dimensiones ética, estética, humanística y política; además debe tenerse en cuenta el carácter social de la ciencia y la tecnología, que obliga a adoptar una postura crítica frente a sus múltiples impactos y a articular de una manera racional la ética con la técnica.

Esto implica que “se requiere un ingeniero que integre lo técnico, lo ético, lo ecológico y lo cultural para el pensar, el sentir y el hacer”, por ello el propósito del currículo en ingeniería debe ser formar, en su ámbito científico, tecnológico, ético, estético, humanístico y político a los futuros dirigentes, desarrollando su capacidad para planificar, crear, instaurar, dirigir y controlar proyectos y organizaciones, con sentido abierto, crítico e innovador en el entorno nacional, con calidad mundial, y en el dominio de la especialidad que determina la rama de la ingeniería específica [8]. Esto se soporta en el reconocimiento e identidad de los valores humanos como la única alternativa para que su impacto sea benéfico a todos.

Todo esto no es solamente un discurso académico sobre la integralidad de la formación, no, es también una necesidad práctica pues un estudio indica que: “los empresarios demandan conocimientos que no están dirigidos propiamente a los funda-



mentos científicos de las disciplinas, sino más bien a las prácticas sociales de la empresa...” [9].

La formación integral se ha interpretado unas veces como «más allá de la excelencia académica», otras como una sumatoria de cualidades diversas que deben acompañar el desempeño del científico o del profesional y otras, como una orientación a la formación de individuos capaces de participar, desde su disciplina o profesión, en la construcción de su cultura, de su comunidad y de su entorno.

La formación integral ha sido definida tradicionalmente como aquella «formación humanística, ética y sobre los problemas nacionales», que debe «complementar» la calidad de la dimensión técnica, profesional y disciplinar impartida por la educación superior. Cada día se hace más evidente que el desarrollo y la aplicación de las disciplinas y de las profesiones exige el manejo de una serie de herramientas intelectuales e instrumentales, cuya competencia no se asegura con la formación en el área de especialización. Sin embargo, bajo esta óptica, se establece una falsa identificación de los conceptos de «integralidad» y de «complementariedad» y se trata de ver como «integral» a una sumatoria de contenidos humanísticos, éticos y sociales que acompañan de manera paralela a los contenidos de las disciplinas y las profesiones, puesto que se entiende que el óptimo desempeño del ingeniero exige este tipo de «cualidades diversas».

Para acoplar estos contenidos «complementarios» a los planes de estudio regulares, se utiliza frecuentemente una desviada interpretación del concepto de interdisciplinariedad, a saber, la que yuxtapone distintas miradas disciplinares alrededor de un mismo objeto de conocimiento para contraponerlas o intercalarlas y no para articularlas ante las exigencias de una problemática única.

Vale la pena señalar que, desde este tradicional enfoque, si bien se cubre ampliamente una variedad de temas éticos y humanísticos, así como el desarrollo de algunas destrezas instrumentales, el componente relativo a la formación en valores estéticos se integra al humanístico a través de las «historias del arte», descuidando por completo los programas que inician al estudiante en el campo de la «apreciación estética» [10].

Centrados en una docencia de corte «tradicional», donde se privilegia el monólogo del profesor en un escenario circunscrito al aula de clase, los planes de estudio que favorecen la formación integral descuidan notoriamente otras alternativas pedagógicas distintas a la «cátedra». Los talleres dirigidos, los trabajos de campo, las consejerías académicas, las tutorías, el monitoreo de trabajos individuales, son, entre otras, las modalidades pedagógicas más adecuadas para los propósitos de la formación integral; su escasa utilización para estos fines responde más a una política general de expansión de la cobertura y el consiguiente aumento de cupos, propia de la universidad de ese momento (grupos numerosos de alumnos por salón), que a una decisión pedagógica deliberada.



### 8.3 El proceso de formación

Es bastante común que los educadores dividan sus descripciones y evaluaciones de la educación en *contenido* y *proceso*. Suele considerarse que el contenido es el cuerpo de conocimientos y aptitudes que debe adquirir el estudiante. Por proceso se entienden generalmente las actividades en virtud de las cuales los estudiantes

comprenden, asimilan y aplican esos conocimientos y aptitudes, sea por obligación o por una motivación de cualquier tipo.

No es raro encontrar profesores que prestan más atención al contenido que al proceso, tanto que en vez de referirse al contenido con la palabra *programa* utilizan la expresión *currículo*. Sin embargo este último vocablo (derivado indirectamente de una palabra latina que significa correr) se utiliza propiamente para describir la actividad y el esfuerzo, el proceso mediante el cual el programa es percibido por el estudiante.

La idea de que es más importante cultivar el proceso que transferir el contenido es probablemente tan antigua como Sócrates. Esta idea significa que los frutos de la investigación realizada por otros son a veces menos valiosos que la capacidad para investigar por uno mismo; que el aprendizaje activo es preferible al pasivo porque forma hábitos, no depende de la enseñanza formal y, en consecuencia, puede proseguirse durante toda la vida de un modo autodidáctico. Sin embargo, aunque muchos educadores reconocen verbalmente la importancia del proceso, siguen propugnando y describiendo cursos basados exclusivamente en listas de los conocimientos que ellos poseen.

Esto daña la interdisciplinariedad, fundamental en la enseñanza de los ingenieros; hay para ello cuatro razones principales: *a)* la formación integral afecta a gran variedad de disciplinas; *b)* hace falta un alto grado de integración antes de que los conocimientos y la aptitudes adquiridas en esas disciplinas puedan aplicarse útilmente; *c)* es necesario que esa integración sea dinámica y creadora a medida que surgen nuevos conocimientos e ideas de las fuentes especializadas y que aparecen en el mundo real nuevos problemas ingenieriles y nuevas posibilidades de solucionarlos; *d)* muchos estudiantes, e incluso profesores, se resisten a dedicarse a disciplinas que perciben como extrañas. Esto último es sobre todo cierto en el caso del área sociohumanística, como se elaborará más adelante [11].

En todo caso debe entenderse que la formación es el proceso de construcción consciente del ser humano en toda su potencialidad de desarrollo y evolución, sus objetivos principales son:

- Formar personas responsables y libres, que puedan desarrollar toda su capacidad y dignidad personal en la sociedad.
- Hacer del ser humano un ser dispuesto, preparado, motivado, con gusto por la vida; un ser que se sienta y se piense integrado al universo.

En el proceso de formación participa toda la sociedad en la cual se desenvuelve el individuo, pero muy especialmente la familia; las instituciones educativas también cumplen un papel muy importante en este proceso; aquí el maestro y el discípulo establecen objetivos concretos: de mejoramiento personal, de mejoramiento de la capacidad intelectual y afectiva, de mejoramiento de la capacidad de adaptación al medio, de mejoramiento de la personalidad, de mejoramiento de actitudes y aptitudes, de mejoramiento del autoconcepto y la autoestima y de desarrollo de las virtudes. En este continuo y comprometido proceso se construye el ser integral capaz de transformarse y dejar, con todas sus acciones, huella en su cultura.

Ya señalamos cómo en muchas instituciones educativas de nuestra sociedad se puede caer en la tendencia a impartir una educación fraccionada, la cual gira en torno a un saber específico y estático mediante la repetición fría y despersonalizada de un contenido que no toca, que no transforma ni a quien los emite ni a quien lo



recibe. Una educación centrada en la transmisión del contenido, donde la prioridad es acumular y retener datos, más bien entorpece el desarrollo de las facultades síquicas como la atención, la memoria, la imaginación, la creatividad; este tipo de educación lleva al individuo a sentirse disgregado de todo, sin capacidad de comprometerse porque no se siente parte de nada.

Una educación para la formación, en cambio, debe interesarse más por propiciar el desarrollo del conocimiento que por la transmisión de datos que aportan poco o nada a la formación integral del ser.

Si bien el estudiante que ingresa a la universidad debe tener ya bases firmes derivadas de los niveles de educación básica y media, requiere seguir en un proceso de formación permanente durante toda su vida. El estudiante debe fortalecer la capacidad de raciocinio y desarrollar competencias de análisis y reflexión, desarrollar capacidades de innovar, debe prepararse para resolver imprevistos y atender contingencias. Todo lo anterior es necesario para el buen desempeño del ser individual y social tanto en el campo laboral como en su vida personal [12].

En nuestro país, los programas de educación media deben ser reformulados para que además de dotar a los estudiantes de una formación básica que fundamente su cultura, sus valores, su ciudadanía y sus conocimientos en lenguaje, matemáticas y ciencias, acerque a los estudiantes a las nuevas tecnologías mediante la creación de áreas tecnológicas, y mediante el desarrollo de proyectos de aplicación e innovación [13].

En la formación de los ingenieros hay que continuar afianzando la fundamentación anterior, y además de la formación en ciencias básicas y de los conocimientos y destrezas específicos de cada área de Ingeniería, es necesaria una formación en las áreas de humanidades para incentivar la mística por el servicio a la sociedad al igual que el interés por la cultura humanística. Pero ante todo el ingeniero debe saber hacer un uso ético de la tecnología, ser gestor de tolerancia y motor de desarrollo a través de la fuerza del conocimiento para la construcción de la cultura por una vida mejor en un ambiente de respeto, convivencia y paz para bien de la humanidad [14].



## 8.4 La interdisciplinariedad

Decimos que la ingeniería es una profesión que se basa en las disciplinas, es decir es interdisciplinaria por naturaleza. Sin embargo, es conveniente dar una mirada al concepto de interdisciplinariedad en un sentido más amplio en el contexto de la formación de los ingenieros.

Debe recordarse que la misión de la sociedad es resolver sus variados problemas y virtualmente ninguno se puede resolver con la aplicación de una sola disciplina. De otro lado, las universidades en vez de estar “orientadas por la misión” están “orientadas por la disciplina”. Además de esto, el rápido crecimiento del conocimiento tiende a que aumente el grado de fragmentación y especialización, lo cual a su vez lleva a dificultades crecientes en la comunicación y esto con el tiempo puede significar que las universidades pierdan el contacto con la sociedad que las soporta.

Así que la interdisciplinariedad no es simplemente el enfoque fundamental en la educación de los ingenieros sino la clave del cambio en la misión y el estatus social de la universidad. Por esta razón, en la década de 1970 la interdisciplinariedad emergió como un tema principal y sigue siendo objeto de varias reuniones y conferencias internacionales.

En una época se propusieron unos calificativos que es útil recabar acá.

*Disciplina:* Un cuerpo específico de conocimiento enseñable con su propio bagaje de educación, procedimientos de entrenamiento, métodos y áreas de contenido.

*Multidisciplinariedad:* Yuxtaposición de varias disciplinas, algunas veces sin aparente conexión entre ellas, ej.: música + matemáticas + historia.

*Pluridisciplinariedad:* Yuxtaposición de disciplinas que se asumen más o menos relacionadas, p. ej.: matemáticas + física, o francés + latín + griego.

***Interdisciplinariedad:*** Un adjetivo que describe la *interacción* de dos o más disciplinas diferentes. Esta interacción puede ir desde la simple comunicación de ideas hasta la integración mutua de *conceptos, metodología, procedimientos, epistemología, terminología y datos* organizativos, así como la organización de la investigación y la educación en un campo amplio. Un grupo interdisciplinario está constituido por personas entrenadas en diferentes campos del conocimiento (disciplinas) con diferentes conceptos, métodos, datos y términos, organizados en un esfuerzo común sobre un problema común con intercomunicación continua entre los participantes de diferentes disciplinas.

*Transdisciplinariedad:* Establecimiento de un sistema común de axiomas para un conjunto de disciplinas (ej. antropología, considerada como “la ciencia del hombre y sus logros” de acuerdo con una definición).

Una de las causas de la interdisciplinariedad es el *desarrollo de la ciencia*, aunque puede tomar formas casi contradictorias. La primera etapa es aumentando la especialización, lo cual lleva a campos cada vez más restringidos que, sin embargo, corresponden casi todos al punto de reunión de dos disciplinas. Esta intersección ayuda a demarcar el objeto, pero al mismo tiempo impone un enfoque múltiple. Dependiendo del caso, o mejor aún, dependiendo de qué tanto haya avanzado el trabajo, el término usado puede ser interdisciplinariedad o nueva disciplina. Esta tendencia a que la interdisciplinariedad sirva, en realidad, como base para una nueva disciplina ha sido observada por muchos científicos y, en muchos casos, se ha considerado como el propósito y la naturaleza reales de la interdisciplinariedad. A veces, sin embargo, parece pensarse que esta nueva disciplina continuará necesitando expertos entrenados en otros campos. Otras veces, la interdisciplinariedad es tratada simplemente como el símbolo de un estado de crisis y como el medio de fragmentar una disciplina demasiado rígida en un momento dado o la introducción en nuevos campos del saber. Lo que se puede mirar como una variante de este caso es la reunión de una disciplina dada con una aplicación particular que surge del progreso tecnológico (por ejemplo la enseñanza y la investigación de la ingeniería espacial, fruto del desarrollo de la ingeniería y la necesidad de responder a problemas especiales impuestos por los vuelos espaciales) [15].

En una tendencia reversa, esta diversificación del pensamiento científico estuvo acompañada de intentos de definir ciertos elementos comunes. Su primera manifes-

tación fue un esfuerzo de maximizar la ciencia, pero entonces llegó el surgimiento, en una escala más extendida, de un número de conceptos comunes a muchas, sino a todas, disciplinas como estructura, modelo, sistema, etc. En este caso, la interdisciplinariedad se transforma en transdisciplinariedad.

Otra gran causa de la interdisciplinariedad es la *demanda social original*, es decir una cantidad de situaciones donde la sociedad como un todo o la comunidad local, el pueblo, la región o el municipio, proponen a la universidad nuevos temas para estudiar, los cuales, por definición, no se pueden considerar dentro de ningún marco disciplinario existente, un ejemplo es la investigación ambiental.

Un “problema” de la comunidad desencadena un enfoque interdisciplinario porque actúa como un foco que unifica las varias disciplinas incluidas. El empleo, la energía, el ambiente, el transporte, la salud, el planeamiento urbano, etc. son todos problemas propuestos por las comunidades que abren la puerta a la combinación de varias disciplinas, en particular a la ingeniería y las ciencias humanas.

Por consiguiente, cada vez, la realidad se debe enfocar desde diferentes ángulos y se debe acordar un papel a la relación entre ellos. Sea que el problema tenga que ver con el ambiente, la salud, la educación, el desarrollo o la energía, y sea que se aborde desde un punto de vista local, regional, nacional o universal, cada vez encontramos una abundancia de enfoques y áreas del conocimiento cuya aplicación es siempre peligrosa sea para propósitos investigativos o de enseñanza.

Respecto a lo anterior, y referido a la educación en ingeniería en la universidad, se afirma lo siguiente: “Puesto que abre caminos nuevos cada vez, la educación en ingeniería debe reorganizarse en términos del problema presente y las necesidades de la comunidad. Esto llama a la revisión de los currículos, los métodos de enseñanza y las estructuras de la universidad, en relación con los cuales queda mucho por discutir y mucho por hacer” [16].

En resumen la interdisciplinariedad puede ser puramente teórica, puramente artificial, es decir que represente el sueño no realizado, acariciado por todo universitario, sobre una cierta clase de conocimiento universal. Pero la interdisciplinariedad puede ser también algo extremadamente concreto y muy preciso cuando viene de afuera, en otras palabras cuando corresponde a la efectiva complejidad y el carácter “multi-referencial” de todos los problemas reales. Más aún, se puede ver que la comunidad –mediante su creciente demanda de ayuda en el análisis y solución de sus problemas sociales y económicos– puede estar en condiciones de forzar a la universidad a remodelar sus programas curriculares y de investigación y sus estructuras institucionales.



## 8.5 La formación sociohumanística del ingeniero

El Diccionario de la Lengua Española, edición vigésima segunda define el currículo, de la manera más elemental, como plan de estudios. Sin embargo, muchos autores han dado la mayor y mejor elaboración al concepto como es el caso de Jurjo Torres, en su obra *El currículum oculto* cuando diferencia el currículo explícito u oficial del currículo oculto. Sobre el primero afirma que «aparece claramente reflejado en las intenciones que, de una manera directa, indican tanto las normas legales, los contenidos mínimos obligatorios o los programas oficiales, como los proyectos educativos del centro escolar» [17].

Sobre el segundo, el currículum oculto dice que «hace referencia a todos aquellos conocimientos, destrezas, actitudes y valores que se adquieren mediante la participación de procesos de enseñanza y aprendizaje y en general, en todas las interacciones que se suceden día a día en las aulas y centros de enseñanza.»

Todo esto muestra que la formación sociohumanística del ingeniero debería ser tal que le permita tomar elementos críticos para una adecuada formación de valores y para una adecuada toma personal de posturas políticas y sociales.

Entendido el currículo explícito u oficial, se comprende que en él debe haber unos contenidos mínimos obligatorios en el área sociohumanística que no se puede dejar al azar en la formación integral de los ingenieros.

Ya hemos visto la ingeniería como una gran empresa humana e interdisciplinaria y anotado razones para que el ingeniero reciba una verdadera formación sociohumanística distinta de la actual, que en la mayoría de los casos es un barniz opaco y rudimentario construido como se hacen las colchas de retazos que se caracteriza por la parcelación, desintegración, poca comunicación, cuando la realidad de los sistemas sociales en los que todos actuamos y vivimos es que ellos son o deberían ser sistemas abiertos por esencia comunicacionales. Se pregunta si la universidad a pesar de sus grandes esfuerzos en investigación, extensión y relaciones internacionales sigue siendo, en muchos aspectos, poco inteligente, bastante inmóvil, cuando la realidad es móvil y cambiante. Se acepta la afirmación de Orozco Silva de que «es fundamental que la educación superior promueva la formación general apta para moverse en la multidimensionalidad de los problemas y en lo específico de un modo de conocimiento determinado» ello es un reto curricular [18].

Se deben llenar los vacíos percibidos por los ingenieros mismos en lo que ellos denominan carencias en la formación sociohumanística, por su no coherencia, su no pertinencia, falta de motivación, porque se les considera como relleno, la actitud de los profesores que imparten las asignaturas básicas, profesionales o humanísticas, y que los ingenieros reclaman ya insertos en el mundo laboral.

Es por esto, que después de muchos años de formación académica, en los centros de educación superior de nuestro país, y de aplicar un modelo pedagógico y metodológico que no permitía que el estudiante fuera un actor activo y propositivo, generador de propuestas transformadoras, y desconocedor de la realidad social de la que hace parte y desconectado con el entorno social, económico, político y cultural, las universidades se encuentran haciendo cambios para solucionar este problema

La investigación sobre el cómo aplicar la formación sociohumanística en las Facultades de Ingeniería de las universidades del país tiene una historia que surge a partir de 1995 cuando la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) realizó un proyecto con el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES), denominado «Encuentros por Ramas de la Ingeniería», con el propósito de reflexionar sobre la actualización y modernización de los currículos en ingeniería. El estudio cubrió aproximadamente el 70% de los estudiantes matriculados en Colombia en las diferentes Facultades de Ingeniería.

Los resultados concluyeron: «Si se considera que la ingeniería tiene que ver con todo lo que concierne al ser humano, en su condición de raza que genera cultura, procesos sociales y económicos, y que por lo tanto, los ingenieros tienen un compromiso moral y ético en la generación de alternativas que busquen mejorar la

calidad de vida de sus comunidades, entonces, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia tiene un compromiso con la sociedad y es «educar no sólo en el saber y en el saber hacer (profesionalizar y preparar para el trabajo), sino que deben desarrollar el ser» [19].

Metodológicamente, la formación sociohumanística debe ser concebida como uno de los ejes de la formación integral del futuro ingeniero, que se imparte durante toda su carrera y que impacta, positivamente, en la formación del estudiante, como ser para el saber hacer. Además esta no debe estar por fuera del alcance de la misión y la visión institucional, es esta «... no debe estar limitada únicamente a las clases sino que debe estar integrada en todo el programa curricular, particularizando en los métodos de enseñanza ya que de éstos, y de los profesores, depende en alto grado la formación del estudiante» [20].

Pedagógicamente la sociohumanística debe incluir «... ética, estética, investigación, medio ambiente, español, inglés, política, antropología, filosofía y en conjunto un modelo formativo que incentive la creatividad... Con el área sociohumanística se busca que el ingeniero madure y elabore sus conceptos sobre el hombre en general y la sociedad en particular. Debe permitirle inscribir su experiencia personal dentro del contexto histórico, socio económico, político, cultural y técnico-científico. Una formación de este tipo debe fomentar el debate ideológico, la autoformación, la autonomía y el respeto por las ideas ajenas. Debe permitirle al estudiante asumir posiciones de liderazgo social, político y a la vez estar en capacidad de identificar los problemas de la sociedad en la cual se desenvuelve. La formación humanística supone un fuerte arraigamiento con los valores culturales, con los usos y costumbres. Se trata de enseñar todas las asignaturas y desarrollar todas las actividades ofreciendo al mismo tiempo la oportunidad de pensar las cosas, estimulando e incluso forzando a los alumnos a formular preguntas y cuestionamientos, animando la controversia y valorando la capacidad de contradicción» [21].

Por lo anterior, se evidencia claramente la necesidad de crear y generar en los estudiantes de ingeniería, una formación sociohumanística, integral y holística, ya que es una exigencia no sólo del ámbito nacional, sino también de los modelos internacionales que consideran ésta como una prioridad formativa, para que le permitan al profesional enfrentar y generar procesos de cambio, de mejoramiento de la calidad de vida de su comunidad y que estén acordes con la realidad social de la cual hacen parte.

En cuanto a la ética, en algunas facultades de ingeniería se dice que ésta no se enseña con un curso formal sino que se inculca y se pone de presente en todos los cursos y en todas las acciones de los profesores. Hay quienes afirmamos que deben hacerse las dos cosas: enseñarla formalmente y practicarla.

En la ingeniería sin duda todas las acciones tienen componentes éticos dominantes, aunque es difícil entender por qué esos componentes no se pueden distinguir de los aspectos pragmáticos del cuidado de la aplicación de la profesión. Cuando se hace un proyecto, la relación ingeniero-cliente está fuertemente cargada con consideraciones de valor, pero cuando realmente se realiza el proyecto, la excelencia técnica será la responsable de todo, porque los aspectos éticos –competencia, precisión, compromiso, evitar la maleficencia– se presuponen como constantes subyacentes de cada acción que incluya el interés de otros.

Tal consideración de los componentes éticos de las acciones y la extensión en la cual el agente está incluyendo los intereses y valores de los otros afectados los separamos, de hecho, de los aspectos éticos y pragmáticos. El análisis ético no separa artificialmente la moral de los aspectos prácticos de las acciones. En vez de ello, hace evidente que los componentes científicos, técnicos y pragmáticos de la ingeniería se pueden mirar separadamente y distinguirlos de las consideraciones sobre valores.

Debe considerarse que, en los escritos hasta principios del siglo XX, el cuidado de la naturaleza y sus recursos no era una preocupación central. Solamente desde el decenio de 1950 se ha vuelto central la cuestión ético-ingenieril de cómo se cuida el ambiente; la relevancia de estudiar la posición de los ecologistas respecto a las acciones de la tecnología es aún más reciente. Todos estos ejemplos muestran marcados sesgos en las preocupaciones éticas. De otro lado, ciertos ingenieros han querido adaptar su práctica a las consideraciones éticas autogeneradas y a menudo altamente arbitrarias, como se ilustran en el campo de la informática. Todas estas, y muchas otras situaciones donde las instancias éticas se usaron para justificar intervenciones y proyectos depredadores y abusivos son ejemplos de relaciones turbulentas entre la práctica y la ética y el ejercicio de la ingeniería, una relación que varía a través de la historia, en el despertar del cambio social y en el análisis corriente.

Si estamos de acuerdo con que la ingeniería es una actividad fuertemente cargada de valores donde las materias prácticas y éticas están entrelazadas podemos insistir en que la práctica y la ética se pueden distinguir una de otra y se pueden reevaluar sus mutuas relaciones. En los últimos 30 años se ha visto crecer una disciplina especialmente armonizada en conocer tanto la tecnología como la ética filosófica para desarrollar una cierta experticia llamada ética de la tecnología que, como cualquier otra experticia, se puede cultivar y comunicar a otros.

Hay acuerdo general en que la ética ingenieril debe enseñarse, aunque existen vastas discrepancias sobre cómo debe hacerse esta enseñanza. Contra este argumento, parece muy apropiado que los estudiantes de ingeniería sean enseñados por gente que sepa de qué está hablando porque ha dedicado tiempo y esfuerzos a elegir la literatura y las reflexiones sobre la ética ingenieril, en su búsqueda de alguna claridad en este campo. Tener especialistas bien entrenados que enseñen ética ingenieril debe distinguirse del error de generar “expertos en ética”. Los ingenieros no deben convertirse en generalistas ni en especialistas morales, sino llegar a ser practicantes que son conscientes de los aspectos éticos de su trabajo y permanecen lo suficientemente receptivos como para aceptar nuevos puntos de vista a medida que evolucionan la práctica y el análisis ético [22].

Debemos recordar que la educación ingenieril puede producir profesionales adptos solamente a un campo especializado, aun cuando la mayoría trabajarán como ingenieros rasos, como líderes en pequeña escala que deben tomar decisiones efectivas y sensibles sobre cuestiones tanto ingenieriles como no técnicas.

Podríamos entender que el párrafo anterior propone que los ingenieros alcancen tan elevados grados de visión y sensibilidad, que estarán en peligro de convertirse a una suerte de paternalismo que toma decisiones en nombre de la sociedad. Al menos en el texto citado, no hay mención a que la ética ingenieril le enseñará a los técnicos a hacer énfasis en el consejo más que en la toma de decisiones, aprendiendo a respetar los deseos de las comunidades autónomas aun hasta el punto de aceptar ocasionalmente que una mala decisión técnica tomada por ellas puede ser, para su situación, la forma más adecuada de quehacer ingenieril.



Lo que queremos decir es que reconocer que la ética ingenieril puede enseñarse servirá para enriquecer el currículo y lograr los propósitos de la formación sociohumanística.



## 8.6 La investigación en ingeniería

Todo lo dicho hasta acá se refiere a la formación de los ingenieros básicos, pero no debe olvidarse que los ingenieros deben formarse continuamente y que la estrategia de desarrollo de nuestro país requiere ingenieros de cuatro niveles:

### Nivel 1

Investigación técnico-científica sobre nuevos procedimientos de cálculo de sistemas ingenieriles; descubrimientos y análisis de nuevos hechos que lleven a desarrollos tecnológicos; creación de innovaciones en la producción y en invenciones industriales y tecnológicas; innovaciones ingenieriles que deriven de los últimos progresos de las ciencias básicas.

### Nivel 2

Creación de nuevos proyectos en trabajos y obras de ingeniería mediante una clara comprensión y una eficiente capacitación para la utilización de nuevas circunstancias, de las ciencias básicas; aptitud para buscar y utilizar, no para retener de memoria, la información más adecuada para enfrentar un nuevo problema técnico; imaginación para encarar los problemas rutinarios de la ingeniería con espíritu innovador.

### Nivel 3

Dirección y ejecución de obras proyectadas por ingenieros del nivel 2 o de mantenimiento de industrias establecidas; realización de proyectos de obras o industrias tradicionales que utilizan principios y técnicas establecidas.

### Nivel 4

Realización de tareas de ensayos, mediciones, controles, análisis, etc [23].

El nivel 1 corresponde al doctorado y habría más ingenieros creadores si hubiera más doctores en las facultades, se investigara en los principales campos de la ingeniería que interesan al desarrollo nacional y si se tratara de orientar a los alumnos con más talento y vocación por el estudio, hacia la investigación en la tecnología y en las ciencias del ingeniero.

El nivel 2, que correspondería a la Maestría, es también insuficiente en muchas facultades de ingeniería. Además los otros niveles requieren mantenimiento y actualización, por lo cual –aunque deberían privilegiarse las maestrías y doctorados– deben ofrecerse cursos y diplomados de buena calidad, así como programas de especialización modernos y exigentes.

Debemos ahora indicar que el ingeniero después de graduado debe seguir estudiando toda la vida. Puede asistir a eventos, puede tomar cursos cortos o puede tomar cursos más largos, que se denominan *diplomados*, pero que no hacen parte de la educación formal de postgrado, pues no exigen asistencia ni hacen evaluaciones.

En la educación formal de postgrado el ingeniero puede hacer una *especialización*, que normalmente se toma de dos a tres semestres y su objetivo es actualizar un tema especial de la profesión o profundizar sobre él por medio de cursos y, eventualmente, con la realización de una monografía.

El siguiente postgrado es la *maestría*, *magíster* o *máster* que es un programa de mayor profundización que dura entre dos y tres años y donde se aprende a investigar porque a más de los cursos hay que realizar un Trabajo de Grado investigativo. Así pues la maestría forma investigadores.

Por su parte el *doctorado* forma líderes de la investigación, es un programa que se toma entre tres y cinco años y además de los cursos debe llevarse a cabo una investigación que aporte conocimiento nuevo, original.

Respecto a la investigación en ingeniería, en 1971 B. E. Noltingk, un físico de los Laboratorios de la Central de Investigación Eléctrica de Leatherhead, Surrey, Inglaterra, en su libro *El arte de aprender a investigar*, escribía "... Se observa que la investigación en ingeniería es necesariamente menos fundamental. Sin embargo, un título de ingeniero abre, a quien lo posee, las puertas de una gran variedad de ocupaciones, desde actividades rigurosamente prácticas y a corto plazo, guiando obras públicas al día, pasando por muchos cargos administrativos, hasta investigaciones muy amplias, a largo plazo. Tal vez será obrar noblemente si se dice que en un mundo ideal los ingenieros se concentrarían más en la dirección de las dos primeras actividades, dejando la investigación cada vez más para los científicos básicos" [24].

Estos conceptos, vertidos hace más de treinta años no son compartidos por la mayoría de los científicos actuales, pues la línea divisoria entre la ciencia y la tecnología es cada vez más difusa. Si embargo, en ellos están presentes la mayoría de los prejuicios que se tienen sobre los ingenieros, y su espíritu sigue vigente en nuestro país, debido sobre todo a circunstancias históricas y así ha sido reconocido explícitamente, prueba de ello es el carácter profesionalizante que exhiben la mayoría de escuelas de ingeniería nacionales, los escasos programas de maestría y doctorado en ingeniería existentes en Colombia y la participación limitada de la ingeniería nacional en los sistemas de Ciencia y Tecnología y de Innovación [25, 26, 27].

Por todo lo anterior es pertinente hacer algunas anotaciones sobre por qué se debe investigar en ingeniería y cuáles son los ámbitos de esa investigación.

### 8.6.1 La dinámica de la investigación en la ingeniería

La investigación científica se puede definir como una serie de etapas a través de las cuales se busca el conocimiento mediante la aplicación de ciertos métodos y principios [28].

Las diferencias entre la investigación empírica y la científica son el método y las técnicas que se utilizan. La investigación en ingeniería es, necesariamente, una

mezcla de las dos, puesto que ella es arte y es ciencia, se nutre por igual de ésta, de la tecnología y de la técnica empírica. La investigación tecnológica es el proceso de apropiación, construcción y creación autónoma de conocimiento, que se realiza con el propósito de avanzar en la solución de problemas definidos, lo cual genera resultados visibles y comunicables que son susceptibles de contratación académica y de validez social [29].

En cierta medida es verdad lo que afirma Noltingk, la investigación en ingeniería es aplicada, pero, en su proceso, muchas veces es necesario dilucidar cuestiones que llevan a indagaciones sobre temas básicos, así no se pierda de vista que los resultados deben llevar a la innovación tecnológica. En este contexto al resultado de la investigación se le llama invento o desarrollo, según el caso. En ello hay que subrayar la importancia de cuatro factores principales, el progreso científico, la invención, la innovación y el crecimiento o progreso económico, pues la convergencia de éstos constituye la convergencia final entre el progreso tecnológico y el progreso económico.

Pueden repartirse estas vinculaciones en dos grupos:

progreso científico - invención - innovación

invención - innovación - crecimiento

Si el invento es el término intermedio, ello equivale a decir que no puede realizarse sin, por un lado, una presión, y, por otro, un punto de convergencia. Es decir, en la medida en que el progreso científico ha llegado a un nivel tal que posibilita un invento, puede haber presión de la ciencia sobre la técnica. Pero el invento no será realizable concretamente más que en la medida en que concuerde con una necesidad, económica, social o de cualquier otro orden, es decir, en tanto sea deseable la invención. Y, a la inversa, la presión de una necesidad cualquiera, es decir, la necesidad de una innovación, solamente puede conducir a la invención si hay convergencia entre la técnica y la ciencia.

Lo anterior permite comprender la dinámica de la investigación en ingeniería en nuestro país, en ella faltan (o son incipientes) elementos de los mencionados, o no se dan las convergencias necesarias. Ello permite también comprender los esfuerzos de Colciencias y su sistema nacional de innovación. Queda claro, entonces, que una cosa es hablar de investigación en ingeniería en los países del primer mundo y otra cosa muy distinta en una sociedad como la colombiana. En el primer caso la naturaleza de los sistemas productivos, de servicios, académico y de ciencia y tecnología, permiten todas las interacciones posibles. En el segundo caso las múltiples carencias dificultan las relaciones y la investigación en ingeniería es un reflejo de la sociedad donde se da.

## 8.6.2 La investigación en ingeniería en Colombia

Señala Eugenio Betancourt, en un documento de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería: “Al contemplar el panorama de la investigación en la ingeniería nacional se encuentran muchos tipos, categorías, niveles de profundidad y compromiso. Para caracterizar la investigación que se realiza en Colombia, se definen dos categorías mayores en las cuales se puede incluir toda la experiencia investigativa de las instituciones nacionales, a saber:

“1. Investigación general, entendida en un sentido muy amplio y es aquella que contiene alguna creatividad, alguna iniciativa, algún aporte académico o de laboratorio, alguna nueva idea.”

“2. Investigación especializada, cuyo objeto es la generación de nuevos conocimientos, de nuevos materiales, de nuevos modelos” [30].

Esta propuesta de categorización, completa o no, es un buen principio para agrupar la incipiente investigación que lleva a cabo la ingeniería nacional.

### **La investigación general**

Lo que Betacourt denomina investigación general o de amplio espectro, sin duda tendrá contradictores, muchos puristas no la considerarán siquiera investigación. En ella se incluyen, de manera amplia, a) los ensayos y seminarios de estudiantes y profesores, de tipo académico y experimental, etc.; b) los trabajos de grado, cada vez con mayores elementos creativos y el apropiado uso del *hardware* y el *software*; c) las asesorías, estudios técnicos e investigaciones que realizan las facultades de ingeniería, que incluyen no sólo destrezas y ensayos rutinarios sino también sistematización del conocimiento y obtención de resultados nuevos; d) las innovaciones y desarrollos que, en sus procesos, logran las empresas y que van desde pequeñas mejoras hasta grandes innovaciones tecnológicas, mercadeables en el mundo.

Como afirma el mencionado autor, en todo esto hay alguna chispa creativa, alguna investigación, así sea elemental, alguna innovación rescatable. Esta etapa incipiente de la investigación es necesaria en el medio, porque es el caldo de cultivo a partir del cual se pueda desarrollar una investigación de mayor profundidad y compromiso.

A pesar de todas las críticas, este nivel de investigación no es despreciable en absoluto y los currículos deben buscar la manera de potenciarlo, porque es de esta manera como los estudiantes de pregrado pueden aproximarse a la investigación ligada al conocimiento y la realidad, pueden interactuar con las empresas, además es el camino como los ingenieros sin entrenamiento en investigación, pueden encarar los problemas de la investigación, la innovación y la gestión tecnológica.

El problema radica en que muchas instituciones apenas llegan hasta este nivel, sin que el proceso genere ni los investigadores ni las investigaciones que les permitan pasar al otro tipo de investigación, la llamada investigación especializada.

### **La investigación especializada**

Este tipo de investigación se da en el país en casi todos los temas que se trabajan en el mundo: ingeniería básica, materiales, biotecnología, procesos, energía, informática, electrónica, reconversión industrial, gestión tecnológica, etc. Sin embargo, como se anotó atrás, debido a la dislocación de nuestra sociedad las consecuencias rescatables de estas investigaciones son contadas, son escasas las que se traducen en patentes internacionales o en innovaciones tecnológicas nacionales. Esto es así porque la innovación tecnológica va más allá de la investigación y el desarrollo y consiste en la transformación de una idea en un producto vendible nuevo o mejorado, o en un proceso operativo en la industria o en los servicios.

La innovación tecnológica comprende, por lo tanto, todas aquellas etapas científicas, técnicas, comerciales y financieras, necesarias para la comercialización con éxito de productos nuevos o con mejores características, la utilización comercial de nuevos o mejores procesos y equipos, o la introducción de un nuevo servicio [8]. Las últimas etapas son la gran falla en nuestro proceso investigativo, de ahí el énfasis de Colciencias por instaurar el Sistema Nacional de Innovación, dentro del cual debería inscribirse la investigación en ingeniería.

### **El sistema nacional de innovación en Colombia**

El SNIC, institucionalizado por una decisión del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en junio de 1995, se concibe como “un modelo colectivo o interactivo de aprendizaje, acumulación y apropiación del conocimiento, en el que intervienen los diferentes agentes ligados con el desarrollo tecnológico y con la producción y comercialización de bienes y servicios, dentro de un proceso de búsqueda permanente de la competitividad sostenible y de mejoramiento de la calidad de vida de la población” [31].

En el SNIC se identifican cinco componentes básicos; a) Los actores y los usuarios de la innovación, b) las redes de innovación para el aprendizaje, c) los Programas Estratégicos aplicados en áreas y sectores sociales o productivos prioritarios, d) la infraestructura institucional para la investigación y la prestación de los servicios tecnológicos, y e) los instrumentos de financiamiento de la innovación [32].

Las líneas de acción prioritarias del SNIC son:

- a. El fomento de cadenas productivas con alto impacto social, como la innovación en educación, la innovación en servicios de salud para la población y la innovación para la recreación y el deporte.
- b. La defensa de los actuales sectores productivos amenazados por la competencia externa, como son textiles y confecciones, siderurgia, metalmecánica y automotriz, industria papelera y artes gráficas, cuero, calzado, fabricación de maquinaria no eléctrica y productos químicos, principalmente.
- c. Impulso a la creación y consolidación de empresas de nuevas tecnologías, generadoras de empleo altamente calificado, en especial, en biotecnología, informática y software, microelectrónica, nuevos materiales, química fina, telecomunicaciones, energía y bienes de capital.
- d. Industrialización de los recursos naturales con tecnologías limpias, como es la industrialización del agua, la industrialización de la biodiversidad, la industrialización de los recursos marinos, la industrialización de los recursos forestales y la cadena productiva del ecoturismo.

Esta agenda indica, de manera precisa, cuáles son los temas que el estado considera pertinentes en cuanto a la innovación, e indica a quienes investigan en ingeniería, las grandes líneas en que debería inscribirse su quehacer.

### 8.6.3 El ámbito de la investigación en ingeniería

Como se ha anotado, en tantas veces en este libro, existe un problema no resuelto en la ingeniería –que tiene fundamentación, científica, tecnológica, técnica y sociohumanística– y es que la tecnología no puede reducirse ni a la capacidad inventora ni a la mera aplicación de los conocimientos científicos. Ella se produce a través de la cooperación coordinadora de los ingenieros (y en ciertos casos también de los científicos) quienes, en virtud de su conocimiento y capacidad especializados, logran que un producto tecnológico llegue a la madurez de su producción a través de un continuado proceso de construcción y desarrollo [33].

Como bien lo anotan Bernal y Morales: “La ingeniería es una actividad creativa, que integra elementos del conocimiento científico y tecnológico con aspectos gerenciales y empresariales, a fin de adoptar soluciones novedosas a problemas existentes o de aprovechar oportunidades que mejoren la productividad de la sociedad, en un marco de globalización... En este nuevo escenario mundial de interacción de las sociedades y las comunidades, la ingeniería ha sufrido también, una transformación fundamental... a una concepción centrada en las habilidades y actitudes para la innovación a partir del dominio de tecnologías genéricas y métodos de apropiación y generación de conocimiento, que establecen capacidades en los grupos de ingeniería para modelar y simular la realidad de los procesos productivos, de una manera creativa y novedosa. Este enfoque de la ingeniería requiere de habilidades individuales pero, sobre todo, de altas capacidades de trabajo y de pensamiento de equipo interdisciplinario” [34].

La anterior premisa deja claro que el campo de acción de la ingeniería está tan cercano a la ciencia pura como a las ciencias sociales y que el trabajo de investigación ya no es de personajes sino de grupos. Éstos, realizan todo tipo de investigaciones en los países desarrollados, en los más variados campos, bastaría recordar que el Proyecto Manhattan (para producir la bomba atómica) fue, por sobre todo, un proyecto de ingeniería y que más que los físicos, son los ingenieros los que tratan de resolver los actuales problemas prácticos que plantea la fusión nuclear. Lo mismo puede decirse en la robótica, la genética, los nuevos materiales, la química fina, la astronáutica, etc. Hoy en día es casi indescriptible el amplio espectro de las investigaciones que acomete la ingeniería en unión con otras disciplinas.

De otro lado, ya mencionamos los campos prioritarios para la investigación en ingeniería en Colombia, fijados por el SNIC; pues una de la tareas de la ingeniería es lograr la inserción, sin demasiados traumatismos, de la revolución científica y tecnológica en un país del tercer mundo como éste. Sin embargo, aparte de la competitividad, la investigación en ingeniería no puede olvidar las necesidades apremiantes de los moradores de Colombia y lo imperativa que es la participación en la generación y apropiación del conocimiento para ser aplicados en el sector público, sobre todo al nivel regional.

Un ejemplo de lo anterior es el presentado por el doctor Rafael Bras en relación con el Tren Urbano de San Juan de Puerto Rico, que es un sistema de subterráneo o “metro”. Su primera fase son 17.2 km 16 estaciones, con un costo superior a mil millones de dólares. El sistema empezó operaciones en el año 2001.... En una relación contractual única, la compañía que sirve de administradora general, incluye a la Universidad de Puerto Rico y al MIT como subcontratistas. Las dos universidades en conjunto, y en estrecha colaboración con los administradores del proyecto, están obligadas a educar todos los años a un grupo de estudiantes de cada univer-



sidad en todos los aspectos del proyecto: desde la tecnología de control de trenes, hasta el financiamiento del proyecto y el urbanismo [35].

Entre los propósitos, de esta aproximación, está el de promover investigación en todas las temas relacionados con el desarrollo del Tren Urbano... Para el 2001, al comienzo de las operaciones, más de ochenta estudiantes de la Universidad de Puerto Rico tenían un conocimiento total del sistema. Así la productividad de este grupo, en beneficio del país, probablemente excederá los beneficios directos del propio sistema de transporte. Nótese la diferencia con el Metro de Medellín, que fue construido a espaldas de la ingeniería nacional. Piénsese que si esta experiencia y estos conocimientos e iniciativas de los participantes se lograran en todas las grandes obras que se contratan llave en mano, se daría un gran paso en la investigación, apropiación e innovación tecnológica, tan caras al país.

Además de lo relacionado con el sector productivo, los ingenieros nacionales deben investigar en temas como el de la sismicidad, desde la geología hasta los materiales y los sistemas de construcción. En este mismo orden de ideas hay temas tan centrales como los del agua, la patología de las ciudades, los sistemas viales, la conservación de los recursos, etc., que no necesariamente son prioritarios en el SINC, pero que deben dar respuesta a las necesidades apremiantes de los colombianos más desprotegidos.

En resumen no sólo hay muchas tareas investigativas para los ingenieros, sino que la ingeniería nacional está en la obligación de realizarlas. Todas ellas caen en el ámbito de la investigación ingenieril por el método con que deben llevarse a cabo.

Sin embargo, cualquiera que sea el modelo o esquema que se vaya a utilizar en un proyecto de investigación en ingeniería, existen varias fases comunes al proceso de investigación, que pueden ser resumidas de la siguiente forma:

- a. Planteamiento del problema. Es la definición del objeto de estudio, sus alcances y limitaciones.
- b. Marco teórico. Con base en la búsqueda de información y los antecedentes, se fundamenta la teoría que sustentará la investigación.
- c. Formulación de hipótesis y definición de variables. Establece la respuesta tentativa al problema y las relaciones causales entre el fenómeno y las partes, con la consecuente operatividad de las variables.
- d. Comprobación de la hipótesis. Se aplican técnicas evaluación matemática o fisicoquímica de los resultados experimentales, revisión de información e investigaciones de campo, con el fin de verificar la hipótesis.
- e. Análisis e informe de los resultados. Es el estudio de la información mediante procedimientos estadísticos e interpretación de resultados. Se elaboran conclusiones y se redacta el informe [36].

Este esquema, que puede ser más o menos completo, muestra los derroteros que sigue el proceso investigativo en ingeniería, el cual, como ya se indicó puede ser parte de un proyecto de ingeniería o sus resultados se pueden convertir en él. En ese caso el proyecto se convierte realmente en un instrumento de desarrollo y comprende otras etapas como:

- a. Estudio de mercado
- b. Localización del proyecto
- c. Elementos del estudio técnico

- d. Determinación de costos y análisis de la sensibilidad económica
- e. La estructura financiera del proyecto
- f. Estructura legal y administrativa del proyecto
- g. La evaluación financiera [37]

Todo esto da una visión del ámbito en que se mueve la investigación en ingeniería, siempre ligada a la eficacia, a los condicionamientos socioeconómicos y al logro de impactos cada vez más exigentes, presiones muy diferentes a las que se ejercen sobre la investigación pura, pues la ciencia busca explicar el mundo, en tanto que la ingeniería busca modelarlo.



## 8.7 Otros aspectos de la formación

Como hemos señalado, la educación de un ingeniero no termina con el grado. El ritmo del avance tecnológico es tan grande que sólo el estudio continuo le permitirá mantenerse actualizado en el dominio expansivo de la ciencia y la tecnología. Por consiguiente, además de aprender los principios fundamentales de la ciencia y la ingeniería en la universidad, el estudiante debe desarrollar una curiosidad técnica e intelectual que lo anime a continuar estudiando después de graduado.

Los objetivos generales hacia los cuales debe dirigir sus metas educativas un ingeniero son:

- Habilidad para comunicarse con sus colegas.
- Facilidad para aplicar los principios de la matemática a sus alrededores.
- Conciencia de las implicaciones sociales y políticas de sus logros tecnológicos.
- Dominio de las leyes fundamentales de la naturaleza como las explica la ciencia.
- Capacidad para reconocer y definir problemas y luego aplicar el conocimiento disponible y las destrezas a la solución económica de ellos.

El ingeniero debe poseer al menos tres características:

- Tener visión sistemática, o sea comprender cómo se correlacionan los sistemas y subsistemas, ya sean electrónicos, eléctricos, mecánicos, térmicos, fluidicos u ópticos. Esto requiere conocimiento de materiales.
- Tener un bagaje interdisciplinario y una combinación de conocimientos diversos, en varias áreas.
- Estar preparado para aceptar y aprender nuevas especialidades a medida que la tecnología cambia.

El sentido de equipo y cooperación son fundamentales en un ingeniero que debe poder interactuar con sus colegas y con los profesionales de disciplinas adyacentes. Esto lo capacita para captar el ambiente de los negocios y enfrentar los problemas sociales, legales y éticos en el ejercicio de su profesión. Para ello requiere un claro discernimiento que lo habilite para separar la paja del grano en el torrente de información que lo apabulla a diario. Esto señala la necesidad de tener destreza en el uso de los computadores para la administración de la información.

Debemos tener en cuenta que es difícil imaginar una obra de ingeniería que esté basada por completo en los principios científicos, además son necesarias la experiencia y la inventiva [38]. Por ello en los cursos específicos también se incluyen conocimientos empíricos codificados o sea ese cúmulo de ideas, prácticas y obser-

vaciones que, aunque no se fundan en principios científicos, han demostrado ser buenas y generalmente útiles, es *el saber cómo*, que en parte se ha registrado y perpetuado. Hay otro conocimiento empírico no escrito, que está en la tradición de ingenieros, técnicos, artesanos y operarios y al cual el ingeniero debe prestar mucha atención, *la experiencia no se improvisa* y muchas veces ese conocimiento es valiosísimo, sobre todo para los ingenieros jóvenes, que deben saber apropiarlo con humildad y respeto. Es por eso que el ingeniero debe ser un hombre pragmático y aterrizado, capaz de utilizar los limitados recursos disponibles en la solución de los problemas de una sociedad como la que le toca vivir.

El problema grave es que la estructura de los currículos cambia muy lentamente. Los enfoques pedagógicos establecidos hace cincuenta años todavía controlan los procesos educativos y forman el currículo. No se tiene idea de los tremendos cambios mentales y estructurales que deben realizarse para lograr la formación cabal de los ingenieros.

# Referencias

1. Beakley, George C. and H. W. Leach, Engineering. An Introduction to a Creative Profession, The McMillan Company, New York, 1967.
2. Decreto 0792 de Mayo 8 de 2001, “Por el cual se establecen estándares de calidad en programas académicos de pregrado en Ingeniería.”
3. Morales M., Roberto, “Formación del ingeniero para el tercer milenio”, 1er Encuentro peruano de la enseñanza de la ingeniería, Lima, Abril de 1999. Memorias reproducidas por ACOFI.
4. Salazar, Mónica, Hacia un marco de desarrollo de la universidad estatal. Visión y acción desde la pertinencia, ICFES – Corporación Calidad, Bogotá, 1998.
5. Iriarte. Genoveva, Hacia un marco de desarrollo de la universidad estatal –Visión y acción desde la pertinencia–. ICFES- Corporación Calidad, Bogotá, Noviembre de 1998, p.2.
6. 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.
7. Cambas Vásquez, Andrés, “Ingeniería y desafíos del futuro”, Memorias II Encuentro de la Ingeniería Antioqueña, Medellín, Agosto de 1983, p. 56.
8. Gaviria Ortiz, Álvaro et al., “El ingeniero que Colombia necesita”, Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, No 9, 1984, p.1.
9. Salazar, Mónica, Op. Cit.
10. Iriarte. Genoveva, Op. Cit.
11. Brancher, David, “La organización del proceso: algunas nociones y modelos”, El medio ambiente y la enseñanza de la ingeniería, UNESCO, París, 1983, p. 109.
12. Zapata, Marta “El papel de la educación en la ingeniería”, [http://jaibana.udea.edu.co/producciones/martha\\_z/papel\\_educ\\_formacion.html](http://jaibana.udea.edu.co/producciones/martha_z/papel_educ_formacion.html)
13. Valencia, Asdrúbal. «Sobre la ruptura entre el aprestamiento científico y sociohumanístico y los conocimientos específicos, en la formación de los ingenieros», La enseñanza de las ciencias básicas en ingeniería. Memorias XVII reunión de ACOFI, Cartagena, 1997, 9. 92.
14. <http://www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/galeano/index.htm> Montevideo, 1998.
15. Montoya y Montoya, Mario, La interdisciplinariedad, ICESI, Cali, 1998.
16. Torres, Jurjo. El currículum oculto. Edición Morata. Madrid, 1996, p.198.
17. El-Baroudi, Hassan et al., “La ingeniería ambiental en la enseñanza y en la práctica”, El medio ambiente y la enseñanza de la ingeniería, UNESCO, París, 1983, p. 88.
18. Orozco Silva, Enrique, “El currículo”, Revista Debates. Universidad de Antioquia, Nº 31, 2002.
19. Salazar Contreras, Jaime. “Formación socio humanística del Ingeniero en Iberoamérica. Caso: Colombia”, XXVII Conferencia Nacional de Ingeniería, México, 2000, p. 2.

20. Salazar Contreras, Jaime, Op. Cit., p. 3.
21. Salazar Contreras, Jaime, Idem, p. 4.
22. Valencia, Asdrúbal, “En defensa de la ética ingenieril”, Curso de Ética, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, 2000.
23. Valencia, Asdrúbal y Restrepo Guillermo, “El ejercicio de la ingeniería en Colombia y el mundo”, XXXX Reunión de ACOFI, Cartagena, 199, p. .
24. Noltingk B. E., El arte de aprender a investigar, Barcelona, Editorial Iberia, 1971, p. 22.
25. Valencia, Asdrúbal, “Sobre la investigación en ingeniería”, Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, No. 21, Diciembre, 2000, p. 186.
26. Vélez, J. y J. Salazar C., “La ingeniería colombiana y la educación”. Memorias Seminario Ingeniería, Investigación y Sociedad, Quirama, 1998, p. 65.
27. Bernal P., Campo E. y Alvaro Morales T., “La ingeniería colombiana y su papel en la inversión y la tecnología”, Memorias Seminario Ingeniería, Investigación y Sociedad, Quirama, 1998, p. 95.
28. Tecla, Alberto y Garza, Alberto, Teoría, métodos y técnicas de la investigación, México, Ediciones de Cultura Popular, 1979.
29. Torres, Sánchez, Horacio, “La investigación en ingeniería”, Ingeniería e Investigación, No. 47, diciembre, 2001, p. 145.
30. Betancourt, Eugenio E., “La investigación en ingeniería”, Memorias XIV Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería, Cali, ACOFI, 1994, p. 147.
31. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Política Nacional de Desarrollo e Innovación Tecnológica, Bogotá, CNYCT, junio, de 1995.
32. Chaparro, Fernando, Sistema Nacional de Innovación : Nuevo Escenario de la Competitividad, Bogotá, Colciencias, 1998.
33. Valencia, Asdrúbal, “¿Está la ingeniería en una encrucijada?”, Memorias Seminario Ingeniería, Investigación y Sociedad, Quirama, 1998, p. 15.
34. Bernal P., Campo E. y Alvaro Morales T., Op. Cit. , p. 102.
35. Bras, Rafael, “Observaciones sobre las relación gobierno, academia e industria”, Memorias Seminario Ingeniería, Investigación y Sociedad, Quirama, 1998, p. 27.
36. Münch, L. y Ernesto Ángeles, Métodos y Técnicas de investigación para administración e ingeniería, México, Trillas, 1988, p. 31.
37. Erossa M. Victoria E., Proyectos de Inversión en Ingeniería, México, Limusa, 1998.
38. Krick, Edward V., Fundamentos de Ingeniería, Limusa – Noriega, México, 1999.