Prof. Edgar Serna M.
Editor

INGENIERÍA:
Realidad de una disciplina

Editorial IAI

Instituto Antioqueño de Investigación
Medellín – Antioquia 2018

Serna, M.E. (Ed.)
Ingeniería: Realidad de una Disciplina
Editorial Instituto Antiqueño de Investigación, 2018
Medellín, Antioquia

Investigación Científica
ISBN: 978-958-59127-8-6

Ingeniería: Realidad de una Disciplina
Serie Ingeniería y Ciencia
© Instituto Antioqueño de Investigación

Edición: Julio 2018
ISBN: 978-958-59127-8-6
Publicación electrónica gratuita

Diseño: Instituto Antioqueño de Investigación
Edición: Editorial IAI

Copyright © 2018 Instituto Antioqueño de Investigación (IAI)™. Except where otherwise noted, content in this publication is licensed under Creative Commons Licence CC BY-NC-SA 4.0.

Global Publisher: Instituto Antioqueño de Investigación (IAI)
Cover Designer: IAI, Medellín, Antioquia.
Editorial Instituto Antioqueño de Investigación is trademarks of *Instituto Antioqueño de Investigación*. All other trademarks are property of their respective owners.

The information, findings, views, and opinions contained in this publication are responsibility of the author and do not necessarily reflect the views of *Instituto Antioqueño de Investigación* (IAI), and does not guarantee the accuracy of any information provided herein.

Diseño, edición y publicación: Editorial IAI
Instituto Antioqueño de Investigación
http://fundacioniai.org
contacto(AT)fundacioniai.org

© 2018 Instituto Antioqueño de Investigación
De Antioquia para el mundo

Prof. Edgar Serna M.
Editor

INGENIERÍA:
Realidad de una disciplina

ISBN: 978-958-59127-8-6

Editorial Instituto Antioqueño de Investigación
Medellín – Antioquia
2018

PRÓLOGO

Este libro es producto del desarrollo del proyecto de investigación *Realidad de la Ingeniería: Un análisis al pasado, el presente y el futuro de la disciplina*, realizado por investigadores de Colombia, Argentina y Chile. El proceso se llevó a cabo entre 2016 y 2017, lapso de tiempo en el que el equipo de investigación aplicó la metodología de investigación que se describe en el Capítulo 1, para realizar una revisión sistemática de la literatura y aportar su experiencia y resultados de otras investigaciones, a la vez que plasmaba sus reflexiones acerca del tema.

El lector podrá encontrar un análisis interesante acerca de la realidad de esta disciplina, venida a menos en muchas partes del mundo, pero que no pierde el protagonismo propio del área de conocimiento que mayor aporte tiene al desarrollo de las naciones y la supervivencia de la humanidad. La idea es clarificar el concepto de ingeniería y reconocer la importancia de que los países, las empresas y las personas se concienticen de que una nación sin ingeniería será siempre un consumidor, no un productor. Pero lo más importante se relaciona con las universidades, donde se ha convertido, desde el siglo pasado, en una simple área de formación a la que se presta poca atención, porque la demanda de los estudiantes disminuyó considerablemente.

En el mundo del siglo XXI, con los desarrollos tecnológicos y las nuevas generaciones, la ingeniería tiene que convertirse en protagonista, de la misma manera que lo fue en los siglos XVIII, XIX y XX. Porque la actualidad es complicada, pero el futuro se visiona complejo, entonces la ingeniería surge como la disciplina que solucionará los problemas de la sociedad. Todo en el marco de un compromiso mundial y de todos los actores, para darle una oportunidad de supervivencia a la humanidad en medio de la aparente oscuridad del futuro cercano.

Los autores esperamos que el contenido de cada capítulo le ofrezca al lector el conocimiento que busca, a la vez que una guía para concientizar a quienes todavía no ha reconocido la importancia de la ingeniería para el planeta y la raza humana.

Medellín, Antioquia 2018

CONTENIDO

	Pág.
CAPÍTULO 1. Metodología de investigación aplicada *Edgar Serna M.*	6
CAPÍTULO 2. Qué es Ingeniería *Luisa M. Jiménez R., Jorge M. Sepúlveda C.*	34
CAPÍTULO 3. Qué significa ser ingeniero *Lina Montoya S., Edgar Serna M.*	51
CAPÍTULO 4. Historia de la ingeniería *Mónica Córdoba C., Javier Ospina M.*	80
CAPÍTULO 5. Ingeniería y ciencia *Edgar Serna M.*	106
CAPÍTULO 6. Ingeniería y desarrollo *Ricardo Botero T., Jorge Díaz Villegas, José Pablo Piccolotto*	140
CAPÍTULO 7. Ingeniería y matemáticas *Edgar Serna M., Alexei Serna A.*	166
CAPÍTULO 8. Formación en Ingeniería *Piedad María Metaute P.*	193
CAPÍTULO 9. La ingeniería en Colombia *Yolfaris Naidit Fuertes A., Roberto Carlos Guevara C.*	211
CAPÍTULO 10. Ingeniería ética *Edgar Serna M., Alexei Serna A.*	229

CAPÍTULO 1

Metodología de investigación aplicada

Edgar Serna M.[1]
Instituto Antioqueño de Investigación IAI
Medellín – Antioquia

Las revisiones de la literatura son importantes y tienen diversos usos, tales como propuestas de financiación, trabajos de grado, tesis, disertaciones, artículos, libros y capítulos de libros resultados de investigación, directrices para la práctica profesional e informes para satisfacer la curiosidad personal, entre otros. Pero la mayoría de las que se publica no son explícitas acerca de las preguntas de investigación, la estrategia de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión, los métodos de extracción de datos, las normas para la evaluación de la calidad del estudio y las técnicas para la síntesis y el análisis de los resultados. Los investigadores eligen fuentes sin justificar por qué las seleccionan y pueden dar la misma credibilidad a estudios sin validación que a los validados. Esto genera resultados subjetivos, inexactos o falsos y, a menudo, basados en una revisión parcial a la literatura disponible. En este capítulo se describe la metodología de investigación que el equipo de trabajo aplicó para generar cada uno de los capítulos; se presenta la estructura general del proceso de revisión de la literatura y las características de aplicación. El objetivo de esta metodología es aplicar un proceso lógico, válido y demostrable, como herramienta para incrementar la calidad y el rigor científico de los resultados de la investigación realizada.

1. INTRODUCCIÓN

Una revisión de la literatura es un análisis objetivo, exhaustivo y crítico de la publicación pertinente, disponible en productos de investigación y de no-investigación, sobre un tema específico [1]. Su objetivo es aportar conocimiento en un área específica, desde una búsqueda, un análisis y un compendio de las publicaciones en la literatura sobre una disciplina, área o temática, y constituye la base para iniciar futuras investigaciones acerca de los resultados que se generan. Una buena revisión de la literatura recoge información desde muchas fuentes sobre un tema en particular; debe estar

[1] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. en Ingeniería, Ph.D. en Pensamiento Complejo, Científico Computacional Teórico. *eserna@eserna.com*

bien escrita y sin sesgos personales y partir desde una estrategia clara de búsqueda y selección [2]. Una buena estructuración es esencial para mejorar el flujo y la legibilidad de la revisión, por lo que es importante hacer uso preciso y adecuado de la terminología y utilizar al mínimo las jergas específicas; además, la citación debe ser precisa en todo el proceso [3].

Este tipo de metodología de investigación es sistemático, explícito y reproducible para identificar, evaluar y sintetizar el cuerpo existente del trabajo ejecutado y difundido, que generan los investigadores, los académicos, los profesionales y las organizaciones [4]. El estudio y la investigación en el que se basa proviene de individuos de diversas profesiones, tales como la salud, la educación, la psicología, los negocios, las finanzas, el derecho, la ingeniería y las Ciencias Computacionales. Además, basa sus conclusiones en el trabajo de investigadores, académicos y especialistas, centrándose en un proceso original de alta calidad más que en la interpretación de los resultados, para garantizar su precisión, independencia e idoneidad. Es decir, es una mirada crítica a los resultados de la investigación existentes y que son importantes para la investigación planteada.

Algunos piensan que se trata de un resumen, lo que no es cierto, porque, aunque el revisor necesita resumir las investigaciones, también es vital que analice y evalúe cada trabajo para encontrar sus interrelaciones y cómo se relaciona con su idea de trabajo. En otras palabras, no se limita simplemente a presentar una descripción concisa de los resultados de la revisión, sino que debe seleccionar qué partes de esas investigaciones le aportan a la discusión que lleva a cabo. También debe tener en cuenta que, al ver lo que otros han hecho en su área de interés, le proporcionan el contexto para su investigación, por lo que se supone que no es simplemente un resumen del trabajo de otros investigadores. Además, la revisión de la literatura debe responder a:

- Qué es lo que se sabe en el área
- Cuáles son las características de los conceptos clave, o de los factores principales o variables
- Cuáles son las relaciones entre esos conceptos
- Cuáles son las teorías existentes
- Dónde se encuentran las inconsistencias u otras deficiencias en el conocimiento
- Qué puntos de vista se tienen que demostrar aún más
- Por qué se debe estudiar más el tema de la investigación

- Qué evidencia falta, o si es inconclusa, contradictoria o limitada
- Qué contribución se espera del estudio
- Cuáles diseños o métodos de investigación parecen insatisfactorios

En general, una revisión de la literatura debe cumplir con dos elementos clave: 1) resumir concisamente los hallazgos y el conocimiento que han surgido de los esfuerzos de investigación previos, y 2) llegar a una conclusión acerca de la precisión y la completitud del conocimiento. Por eso debe presentar juicios ponderados sobre lo que es correcto, lo que está mal, lo que es concluyente y lo que le falta a la literatura existente. A diferencia de otros tipos de investigación para inspeccionar un cuerpo de conocimiento, tales como la bibliografía comentada, la revisión es un trabajo de análisis crítico y de síntesis. Por esta razón es importante que no se limite simplemente a presentar una lista resumen de lo que contiene cada texto individual, sino que se centre en el cuerpo de trabajo considerándolo en su conjunto.

En esta investigación, cuyo resultado se presenta en este libro, se buscó, analizó y sintetizó lo que se ha publicado sobre el área de la Ingeniería como campo de estudio. Esta búsqueda de conocimiento se realizó en artículos, libros y capítulos de libros resultados de investigación, lo mismo que en las comunidades de práctica y profesionales, y en la industria. Por eso es importante resaltar que la metodología estructurada les permite a los investigadores familiarizarse con una variedad de perspectivas y fuentes, internas o externas, públicas o privadas, que se relacionan de alguna manera con la Ingeniería.

2. TIPOS DE REVISIONES DE LA LITERATURA

En el campo científico se asume que el conocimiento es una construcción de tres capas: 1) los estudios primarios, que realizan y publican los investigadores; 2) las revisiones de estos estudios, que resumen y ofrecen nuevas interpretaciones construidas desde, y con frecuencia extendidas más allá, de ellos; y 3) las percepciones, conclusiones, opiniones e interpretaciones, que se comparten informal o formalmente y que se convierten en parte de la tradición en un área. En la composición de una revisión de la literatura es importante tener en cuenta que, a menudo, la tercera capa es la que se cita como *verdadera*, a pesar de que muchas veces tiene solamente una relación indirecta con las otras dos capas. Ante esto, mientras que las revisiones están diseñadas para proporcionar una visión general y una síntesis de las fuentes

pertinentes que hayan explorado, existe una serie de enfoques que se pueden adoptar en función del tipo de análisis que el revisor quiere realizar.

2.1 Revisión tradicional o narrativa

Esta revisión es crítica y resume un cuerpo de la literatura para sacar conclusiones sobre un tema en cuestión y se compone de los estudios y conocimientos relevantes de los que se ocupa la materia. Típicamente, es selectiva en cuanto al material que utiliza, aunque los criterios para la selección de las fuentes específicas no siempre son evidentes para el lector, además, es útil para reunir conocimiento en un área temática específica, lo mismo que para resumirlo y sintetizarlo. Su objetivo principal es proporcionarle al lector un fondo integral para la comprensión de los conocimientos actuales, destacando la importancia de una nueva investigación; además de inspirar nuevas ideas de investigación mediante la identificación de lagunas o inconsistencias en un cuerpo de conocimientos, lo que le ayuda al investigador a determinar o definir preguntas de pesquisa o hipótesis.

Beecroft, Booth y Rees [5] argumentan que antes de emprender una revisión de la literatura de este tipo se debe tener una pregunta de investigación suficientemente enfocada; sin embargo, una pregunta amplia también ayuda a refinarla o enfocarla, lo que es útil tanto para la selección de temas como para su refinamiento y se puede utilizar para desarrollar marcos conceptuales o teóricos [6]. Por otro lado, estas revisiones también se realizan independientemente de si el estudio es o no de investigación [7]:

- Como una sesión para un curso académico
- Para actualizar conocimiento personal y prácticas actuales sobre un tema
- Para evaluar las prácticas actuales
- Para desarrollar y actualizar directrices para la práctica
- Para desarrollar políticas relacionadas con el trabajo

2.2 Revisión sistemática

Este tipo de revisión aplica un enfoque más riguroso y mejor definido para consultar en un área temática específica y se utiliza para responder a preguntas bien enfocadas acerca de una práctica determinada. Parahoo [8] sugiere que deben detallar el lapso de tiempo en el que se seleccionará las fuentes, así como los métodos utilizados para evaluar y sintetizar los hallazgos de los estudios primarios.

A diferencia de las tradicionales, el propósito de las sistemáticas es proporcionar una lista lo más completa posible de todos los estudios publicados y no-publicados, relacionados con un campo particular, a los que se les aplica un análisis estructurado. Mientras que las primeras intentan resumir los resultados de una serie de estudios, las segundas utilizan criterios explícitos y rigurosos para identificar, evaluar y sintetizar críticamente toda la literatura sobre el tema de interés. Para que el lector pueda evaluar la fiabilidad y validez de la revisión el autor deberá:

- Formular la(s) pregunta(s) de investigación
- Establecer criterios de inclusión y exclusión
- Seleccionar y acceder a la literatura
- Evaluar la calidad de la información incluida
- Analizar, sintetizar y difundir los resultados

2.3 Estudio de mapeo sistemático

Si durante el examen inicial de un dominio y antes de poner en marcha una revisión sistemática, se descubre que es probable que existan muy pocas pruebas o que el tema es muy amplio, entonces es más apropiado realizar un estudio de mapeo sistemático que una revisión como tal. En este tipo de estudios se recoge las evidencias en un dominio para representarlas gráficamente con un alto nivel de granularidad. Esto permite identificar grupos o desiertos de evidencias, para focalizar futuras revisiones sistemáticas e identificar áreas para estudios primarios posteriores.

2.4 Revisión terciaria

En un dominio en el que ya existe una serie de revisiones sistemáticas es posible llevar a cabo una revisión terciaria, que es una revisión sistemática de las revisiones sistemáticas y cuyo objetivo es responder a preguntas de investigación más amplias. Estas revisiones aplican exactamente la misma metodología estándar de una sistemática, pero necesitan potencialmente menos recursos y dependen de que estén disponibles suficientes revisiones sistemáticas de alta calidad.

2.5 Revisión meta-analítica

Es el proceso de tomar una gran cantidad de resultados cuantitativos y realizar un análisis estadístico, con el fin de integrarlos y mejorar su comprensión. Los meta-análisis son vistos como una forma de revisión sistemática y son, en gran

medida, una técnica estadística. Tratan de adoptar las conclusiones de varios estudios sobre el mismo tema y analizarlos utilizando procedimientos estadísticos estandarizados. Esto ayuda a sacar conclusiones y a detectar patrones y relaciones entre los hallazgos [7].

2.6 Revisión meta-sintética

Es una técnica no-estadística utilizada para integrar, evaluar e interpretar los resultados de varios estudios cualitativos de investigación, los cuales se combinan para identificar sus elementos y temas básicos comunes, lo mismo que para integrar y utilizar hallazgos fenomenológicos, teorías fundamentadas o estudios etnográficos. A diferencia de los meta-análisis, donde la intención final es reducir los hallazgos, la meta-síntesis implica analizar y sintetizar los elementos clave de cada estudio, con el objetivo de transformar los resultados individuales en nuevas conceptualizaciones e interpretaciones [7].

3. PLANIFICAR UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Antes de iniciar una revisión de la literatura es necesario confirmar la necesidad de realizarla. En algunos casos son encargadas, por lo que se requiere un documento de puesta en marcha por escrito. Sin embargo, las actividades de pre-revisión más importantes definen las preguntas de investigación que abordará la revisión, lo mismo que la estructuración de un protocolo (plan) de revisión en el que se definen los procedimientos básicos. Este protocolo debe estar sujeto a un proceso de evaluación independiente y es particularmente importante para los estudios encargados.

La necesidad de una revisión surge de los requerimientos de los investigadores para resumir la información existente acerca de alguna temática de manera exhaustiva e imparcial, para extraer conclusiones más generales sobre algún tema a partir de los estudios individuales, o como preludio a otras actividades de investigación. Antes de emprenderla se debe asegurar de que realmente es necesaria, e identificar y analizar cualquier revisión existente del asunto de interés en función de criterios de evaluación adecuados [9]:

- Objetivos de la revisión
- Fuentes que se investigaron y si hubo alguna restricción
- Criterios de inclusión/exclusión y cómo se aplicaron
- Criterios que se utilizaron para evaluar la calidad de los estudios
- Cómo se aplicaron los criterios de calidad

- Cómo se extrajeron los datos de los estudios primarios
- Cómo se sintetizaron los datos
- Cómo se investigaron las diferencias entre los estudios
- Cómo se combinaron los datos
- Fue razonable combinar los estudios
- Si las conclusiones surgieron de la evidencia

Por otro lado, los criterios de Database of Abstracts of Reviews of Effects (DARE) son aún más simples y se basan en cuatro cuestiones:

1. Los criterios de inclusión/exclusión se describen y son apropiados
2. La búsqueda cubrió todos los estudios relevantes probables
3. Los investigadores evaluaron la calidad/validez de los estudios incluidos
4. Se describe adecuadamente los datos/estudios básicos

Desde un punto de vista más general, Greenlaugh [10] sugiere los siguientes:

- La revisión aborda una pregunta temática importante
- Se hizo una búsqueda minuciosa en las bases de datos correspondientes y se exploraron otras fuentes potencialmente importantes
- Se evaluó la calidad metodológica y se ponderaron los juicios
- Qué tan sensibles son los resultados a la forma como se hizo la revisión
- Los resultados numéricos se interpretan con sentido común y se ha prestado la debida atención a los aspectos más generales del problema

3.1 El protocolo de la revisión

En él se especifican los métodos que se utilizarán para llevarla a cabo y, definirlo adecuadamente, reduce la posibilidad de sesgo del investigador. Pero, sin un protocolo, es posible que la selección de los estudios individuales o el análisis puedan ser impulsados únicamente por las expectativas de la investigación. Sus componentes incluyen a todos los elementos de la revisión, más algo de información de planificación adicional:

- *Antecedentes*. La justificación del estudio.
- *Las preguntas de investigación* que la revisión intenta responder.
- *La estrategia* que se utilizará para buscar los estudios primarios, incluyendo los términos y las fuentes de búsqueda. Las fuentes incluyen bibliotecas digitales, revistas, actas de congresos y otras, por lo que un estudio de mapeo inicial ayudará a determinar una estrategia.
- *Estrategia de difusión*.

- *Calendario*. En el que se definen los tiempos de la revisión.
- *Estudio de los procedimientos de selección*. Describir cómo se aplicarán los criterios, por ejemplo, cuántos asesores evaluarán cada estudio primario prospectivo, y cómo se van a resolver los desacuerdos.
- *Síntesis de los datos extraídos*. Donde se define la estrategia de síntesis, y si se pretende aplicar un meta-análisis formal, debe explicar las técnicas que se utilizarán.
- *Listas de verificación y procedimientos de evaluación* de la calidad del estudio. Los investigadores elaboran listas de verificación de calidad para evaluar los estudios individuales. El propósito de la evaluación de la calidad guiará el desarrollo de listas de comprobación.
- *Estudio de los criterios de selección*. Estos criterios se utilizan para determinar qué estudios se incluirán o excluirán de la revisión. Por lo general es útil probarlos en un subconjunto de estudios primarios.
- *Estrategias para la extracción de datos*. Que definen cómo se obtendrá la información requerida de cada estudio primario. El protocolo debe especificar un proceso de validación correspondiente si los datos requieren realizar manipulación, o suposiciones e inferencias.

4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN APLICADA

4.1 Seleccionar el tema de la revisión

Seleccionar un tema para realizar una revisión puede ser una tarea desalentadora para investigadores principiantes [11], porque un error común es seleccionar un título de revisión que lo abarca todo, tales como *Ciencias Computacionales* o *Matemáticas*. Aunque es una estrategia inicial útil para determinar la cantidad de literatura disponible, estas búsquedas generan un conjunto considerable de datos que hacen inviable la revisión. Por lo tanto, es aconsejable refinarla de forma que el reporte final sea manejable.

Por ejemplo, para focalizar el tema de interés se recomienda considerar qué aspectos de las Ciencias Computacionales o de las Matemáticas son de particular importancia. ¿Existe un elemento específico en el tema que sea de interés, tales como las metodologías o la gestión? Identificar qué es exactamente lo que interesa y por qué, ayudará a refinar el tema [12]. Hablar con personas experimentadas en el área o realizar lecturas seleccionadas en torno al tema, también ayuda a identificar las áreas que le interesan al revisor, o para indicar la cantidad de información que existe sobre el tema [13].

Tener suficiente literatura también es importante, sobre todo cuando la revisión es un trabajo académico. Estos ejercicios suelen tener plazos cortos, por lo que tener suficiente literatura es clave desde la perspectiva de que facilita la revisión y su presentación a tiempo. Intentar cambiar el tema cerca de la fecha límite de entrega suele ser una receta para el fracaso, por lo que se recomienda seleccionar un área que mantenga el interés del investigador, además de asegurarse de que haya datos suficientes para satisfacer sus necesidades.

Las revisiones de la literatura que hacen parte de los cursos académicos suelen tener estrictos límites en el número de palabras y es importante respetarlos. Los temas demasiado amplios dan lugar a opiniones extensas o muy superficiales. Como regla general, es mejor empezar con un tema reducido y focalizado y, si es necesario, ampliar el alcance de la revisión a medida que se avanza. Es mucho más difícil recortar contenido con éxito, especialmente si el tiempo es corto.

4.2 Formular la pregunta de investigación

Esta es la parte más importante de cualquier revisión de la literatura, porque las preguntas conducen toda la metodología en sí misma. Además, porque:

1. El proceso de búsqueda debe identificar los estudios primarios de los que se ocupan las preguntas de investigación
2. El proceso de extracción de datos debe brindar la información necesaria para responder a esas preguntas
3. El proceso de análisis de datos debe sintetizarlos de tal manera que las preguntas puedan ser contestadas

La cuestión esencial en cualquier revisión de la literatura es hacer las preguntas correctas y, en este contexto, una pregunta correcta es aquella que:

- Es significativa e importante para los objetivos de los investigadores. Por ejemplo, podrían estar interesados en saber si una técnica de análisis específica conduce a una estimación mucho más precisa de los defectos remanentes en el software, después de aplicar una metodología de prueba determinada. Sin embargo, un ingeniero de software podría querer saber si la adopción de una técnica de análisis específico para predecir errores remanentes, es más eficaz que la opinión de los expertos identificada en los documentos de diseño que describen una re-inspección.

- Dará lugar a cambios en las prácticas actuales o incrementará la confianza en el valor de las mismas. Por ejemplo, a los investigadores les gustaría saber bajo qué condiciones un proyecto software adopta de forma segura las metodologías ágiles y bajo cuáles no.
- Identificará discrepancias entre las creencias y la realidad aceptadas.

No obstante, existen revisiones en las que se hacen preguntas que, en esencia, son de interés particular para los investigadores. Tales preguntas identifican y/o extienden futuras actividades de investigación. Por ejemplo, una revisión en una tesis doctoral podría identificar la base existente para el trabajo de investigación del estudiante, además de dejarle claro que el trabajo propuesto se inscribe en un cuerpo de conocimiento actual.

4.3 Diseñar la estrategia de búsqueda

El objetivo de una revisión de la literatura es encontrar, como sea posible, la mayor cantidad de estudios primarios relacionados con las preguntas de investigación, utilizando una estrategia de búsqueda imparcial. El rigor este proceso es un factor que distingue un tipo de revisión de otro, por eso es necesario planificar, determinar y seguir una adecuada estrategia, la cual suele ser iterativa y utilizar:

- Búsquedas preliminares, dirigidas tanto a la identificación de las revisiones sistemáticas existentes como a evaluar el volumen de los estudios potencialmente relevantes
- Consultas a especialistas en el tema
- Búsquedas de prueba, que utilizan combinaciones de términos de búsqueda derivados de las preguntas de investigación
- Revisiones a las cadenas de investigación de prueba versus las listas de los estudios primarios conocidos

Una recomendación general es fraccionar la pregunta en facetas individuales, es decir, población, intervención, comparación, contexto, resultados o diseños de estudio, y luego elaborar una lista de sinónimos, abreviaturas y palabras alternativas. También se obtienen otros términos al considerar los encabezamientos temáticos utilizados en revistas y bases de datos, o al construir cadenas de búsqueda avanzadas usando los conectores booleanos. Las búsquedas iniciales de los estudios primarios se realizan en las bibliotecas digitales, pero esto no es suficiente para una revisión completa, porque existen otras fuentes:

- Las listas de referencias de los estudios primarios y textos de revisión
- Las revistas divulgativas, incluyendo las de las compañías, organizaciones o asociaciones; la literatura gris, es decir, informes técnicos, trabajo de avance; y las actas de convenciones
- Los sitios de registros de investigación
- Los buscadores de internet

También es importante identificar especialistas o investigadores en el tema específico, a los que se contacta directamente para el asesoramiento en materia de fuentes apropiadas. Ellos son individuos que conocen el tema principal abordado en la búsqueda y, en ocasiones, han publicado extensamente sobre el mismo y son citados frecuentemente. Además, ayudan a ubicar los estudios no-publicados o en curso; a interpretar y ampliar las conclusiones de la revisión; a delimitar la búsqueda; a verificar evidencias; y a determinar las implicaciones prácticas o teóricas de los hallazgos. Un problema para algunas áreas del conocimiento es que se publican relativamente pocos estudios sobre ese tema en particular. En tales casos, una buena idea es buscar estudios en disciplinas relacionadas, por ejemplo, la sociología, la psicología, o las Ciencias Computacionales, dependiendo del objetivo de la revisión. Además, una buena práctica es verificar las referencias de los artículos seleccionados para contactar a los autores e indagarles si tienen material sin publicar o en proceso.

4.3.1 *Sesgo de la publicación*

El sesgo se refiere al problema de que los resultados positivos tienen más probabilidades de ser publicados que los resultados negativos, un concepto que a veces depende del punto de vista del investigador o del editor de la revista. Sin embargo, el sesgo de la publicación sigue siendo un problema particular para los experimentos formales que, al no rechazar la hipótesis nula se consideran menos interesantes que un experimento que es capaz de rechazarla. Esto se convierte en un problema mayor cuando los métodos/técnicas son patrocinados por grupos u organizaciones influyentes en el área. Por ejemplo, el Ministerio de Defensa de los EE.UU. es una influyente organización que patrocinó el desarrollo del Capability Maturity Model (CMM) y utilizó su influencia para alentar a la industria a adoptarlo.

En estas circunstancias, pocas empresas y personas quieren publicar resultados negativos, pero tienen un fuerte incentivo para publicar artículos

que lo apoyan. Estas circunstancias generan sesgo en las revisiones de la literatura, a menos que se hagan esfuerzos especiales para hacerle frente. Muchas de las estrategias de búsqueda estándar se pueden utilizan para tratar este tema, tales como la exploración a la literatura gris, la exploración a las actas de congresos, o el contacto con especialistas e investigadores en el área, para solicitarles información de cualquier resultado no-publicado.

4.3.2 *Documentar la búsqueda*

El proceso de una revisión de la literatura debe ser, en lo posible, transparente y replicable:

- Se debe documentar con suficiente detalle para que los lectores puedan evaluar la exhaustividad de la misma, además, porque si ocurren cambios se pueden justificar.
- Los resultados no-filtrados de la búsqueda se guardan y conservan para posibles re-análisis.

También es necesario documentar y especificar las razones para:

- Utilizar búsquedas electrónicas o manuales, o la combinación de ambas. Aunque muchos libros de texto hacen hincapié en los procedimientos de búsqueda electrónica, no suelen ser suficientes por sí mismos y algunos investigadores deciden realizar búsquedas manuales.
- Seleccionar las bibliotecas digitales.
- Seleccionar las revistas y las actas de congresos.

Brereton et al. [14] identifican varias cuestiones a tener en cuenta al momento de especificar procedimientos de búsqueda electrónica:

- Existen estrategias de búsqueda alternativas con las que es posible aplicar criterios de finalización. Por eso es importante seleccionar y justificar una estrategia de búsqueda apropiada para las preguntas de investigación. Por ejemplo, conocer la fecha de publicación del primer artículo sobre el tema específico restringe la línea de tiempo de la búsqueda. Además, se debe justificar si la búsqueda se restringe solamente a revistas, bases de datos o actas de congresos específicos.
- Buscar en muchas y diferentes fuentes electrónicas, porque una sola no es suficiente para los estudios primarios.
- Algunos motores de búsqueda todavía no están diseñados para soportar revisiones de la literatura en temas específicos.

Un proceso sugerido para documentar la búsqueda se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Documentar el proceso de búsqueda

Fuentes	Documentar
Librerías digitales	Nombre de la base de datos Tipo: disciplinar, interdisciplinar, multidisciplinar, transdisciplinar Estrategia de búsqueda; Fecha de la búsqueda Línea de tiempo cubierta
Revistas	Nombre de la revista Tipo: disciplinar o multidisciplinar Organismo responsable Línea de tiempo cubierta Asuntos no tenidos en cuenta
Actas de congresos	Título del acta Nombre de la conferencia Sede y fecha de realización Título de la traducción (Si es del caso) Nombre de la revista (Si se publican artículos)
Estudios no-publicados	Nombre y detalle de los grupos de investigación, especialistas o investigadores URL y fecha de consulta a los sitios organizacionales u oficiales
Otras fuentes	Fecha de contacto y de búsqueda; URL (Si es del caso); Condiciones específicas relativas a la búsqueda

4.3.3 *Seleccionar los estudios*

Una vez obtenidos los estudios primarios potencialmente relevantes, se debe analizar su relevancia para el logro de los objetivos de la revisión y para responder a las preguntas de investigación.

4.4 Determinar los criterios de inclusión/exclusión

Se refieren a los criterios definidos para identificar los estudios primarios que proporcionan pruebas directas para responder las preguntas. Para reducir la probabilidad de sesgo se definen durante la estructuración del protocolo de revisión, aunque se refinan durante el proceso de búsqueda. Los criterios de inclusión/exclusión deben tener relación directa con las preguntas de investigación, estar dirigidos a asegurar que se interpretan claramente y que logran el objetivo de clasificar correctamente los estudios, por ejemplo:

- Trabajos que relacionen claramente resultados de investigación.
- Estudios publicados dentro de la línea de tiempo definida.
- Estudios en los que los proyectos obtuvieron resultados de un amplio número de fuentes.
- Investigaciones cuyo enfoque se expresa claramente.
- Estudios cuyo método de investigación es experimental.

También se debe tener cuenta que, en algunas áreas del conocimiento, tales como la medicina, los investigadores excluyen trabajos con base al idioma origen. Aunque en ocasiones es importante tenerlo en cuenta porque no siempre es un factor importante para decidir incluir o excluir una publicación, debido a que la calidad de una investigación no está relacionada con el idioma en que se divulga.

Además, es posible que las decisiones de inclusión se vean afectadas por el nivel de conocimiento de los autores, la trayectoria de las instituciones, el cuartil en que se encuentra la revista, la editorial que publica el libro, o el año de publicación; sin embargo, la evidencia experimental sugiere que enmascarar el origen de los estudios primarios no mejora la calidad de los resultados de la revisión [15].

4.4.1 *Fiabilidad de los criterios*

Cuando dos o más investigadores evalúan un trabajo, se recomienda utilizar la estadística Weighted Kappa [16] si el objetivo es llegar a un acuerdo en sus valoraciones. Esto puede ser una cuestión de simplemente retomar el protocolo, o de escribirles a los autores para obtener información adicional. La incertidumbre acerca de la inclusión/exclusión de algunos estudios debe ser resuelta mediante un análisis de sensibilidad. En todo caso, lo recomendable es discutir los trabajos incluidos y excluidos con los demás investigadores, los especialistas, o con los propios autores. Además, las decisiones iniciales no se deberían tomar como definitivas y ante la indecisión es mejor reanalizar.

4.4.2 *Proceso de selección*

Este proceso se sub-divide en varios momentos: 1) los criterios de selección se interpretan y analizan sin apasionamientos ni intereses, es decir, despojado de todos los prejuicios o prevenciones ante la revisión; 2) aplicar los criterios de inclusión/exclusión con base en cuestiones prácticas [4], tales como fuente, resultados verificables, aceptación, metodología, fecha, método de investigación, enfoque de investigación, escenario de investigación, entre otras. Staples y Niazi [17] señalan que, con el fin de refinarlos, a veces es necesario tener en cuenta preguntas que no se abordan en la revisión, porque esto aclara los límites de cada pregunta de interés y mejora directamente el proceso de inclusión/exclusión; y 3) a veces los investigadores llevan a cabo un proceso de selección con base en criterios de calidad detallados, les dan un peso cuantitativo e incluyen trabajos con cierta valoración, sino, se excluyen.

La mayoría de textos que describen procesos para realizar revisiones de la literatura recomiendan mantener una lista de los estudios excluidos, en la que se identifican los motivos de exclusión. Sin embargo, la experiencia demuestra que en las revisiones iniciales se encuentra un alto número de documentos irrelevantes, es decir, que no se ocupan de algunos de los aspectos de las preguntas de investigación y que no tienen que ver con la temática.

La propuesta es organizar esta lista después que se han excluido los trabajos irrelevantes y, particularmente, mantener un registro de los estudios primarios que fueron excluidos como resultado de criterios detallados. Por otro lado, también es útil guardar los criterios para los que han sido incluidos, porque en ocasiones, sobre todo cuando la muestra final es extensa, se olvidan las razones por las cuales se hizo su selección.

4.5 Definir la valoración a la calidad

Además de los criterios generales de inclusión/exclusión es necesario evaluar la calidad de los estudios primarios, es decir:

- Definir criterios aún más detallados que para la inclusión/exclusión.
- Investigar si las diferencias en la valoración de la calidad proporcionan una explicación para las diferencias en los resultados.
- Ponderar la importancia de los estudios individuales al momento de sintetizar los resultados.
- Orientar la interpretación de los resultados y determinar la intensidad de las inferencias.
- Realizar recomendaciones para futuras investigaciones.

Una dificultad para lograr esta valoración es que todavía no se encuentra una definición ampliamente aceptada acerca qué es calidad de un estudio. Sin embargo, Khan et al. [9] y Higgins y Green [18] sugieren que la calidad se relaciona con el grado en que el estudio minimiza el sesgo y maximiza la validez interna y externa, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Conceptos de calidad de un estudio

Término	Sinónimo	Definición
Sesgo	Error sistemático	Una tendencia a producir resultados que se alejan sistemáticamente de los verdaderos Se validan internamente resultados imparciales
Validez interna	Vigencia	Es probable que el alcance con el que se diseña y conduce el estudio prevenga errores sistemáticos Validez interna es un requisito previo para la validez externa

Validez externa	Generalización Aplicabilidad	El alcance con el que se observan los efectos en el estudio es aplicable fuera del mismo
Aceptación	Referenciación Seguimiento	Se refiere a la cantidad de referencias que otros investigadores le hacen al estudio. Esto determina el grado de aceptación o de rechazo a los resultados publicados

4.5.1 *Valoración de la evidencia*

Las guías médicas sugieren basar la evaluación de calidad inicial en el tipo de diseño experimental que se utiliza en el estudio, de tal forma que uno aleatorio controlado se podría evaluar como más confiable que uno observacional. Esto ha llevado a calificar mejor a las evidencias con experimentos controlados aleatorios que a los cuasi-experimentales y a colocarlas en la parte superior, a la vez que a ubicar en la parte inferior la opinión de especialistas [9, 19, 20]. Los investigadores podrían utilizar estas calificaciones para restringir el tipo de estudios en su revisión, aunque muchas veces no es posible hacerlo porque los estudios o el objetivo de la misma no incluyen trabajos experimentales.

Otros investigadores sugieren que esta idea es demasiado simplista [21], además, señalan que algunos tipos de diseño son mejores que otros para responder los diferentes tipos de preguntas. Por ejemplo, para evaluar si es posible encontrar una nueva tecnología, más apropiada para un determinado tipo de aplicaciones, los estudios cualitativos son más apropiados que los experimentos aleatorios. Por lo tanto, si la opción es limitarse a estudios de un tipo específico, se debería hacer a los que mejor se adapten para abordar las preguntas de investigación específicas.

Sin embargo, hay evidencias de que los estudios observacionales son poco fiables, como los de correlación, aunque los investigadores médicos han descubierto que, a menudo, los resultados de estudios observacionales a gran escala han sido anulados por los resultados de los aleatorios controlados. Este es un tema que debe ser tomado en serio en una revisión de la literatura. Los buenos estudios observacionales consideran los posibles efectos de confusión, estableciendo métodos para medirlos y ajustar los análisis para tener en cuenta sus efectos. En particular, incluyen el análisis de sensibilidad para investigar el impacto de los factores de confusión medibles y no-medibles.

4.5.2 *Instrumentos de calidad*

Las evaluaciones de calidad detalladas se basan generalmente en instrumentos de calidad, que son listas de control de los factores a evaluar para cada estudio.

Si se asignan escalas numéricas a los ítems de calidad se obtienen buenas evaluaciones numéricas, pero, generalmente, las listas de verificación se derivan de una consideración de factores que podrían sesgar los resultados del estudio. Algunas organizaciones e investigadores en salud han propuesto varios tipos de sesgos que se deberían verificar en las revisiones [9, 20, 22], como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de sesgos

Tipo	Sinónimo	Definición	Mecanismo de protección
Selección	Localización	Diferencia sistemática entre los grupos de comparación con respecto al tratamiento	Asignación aleatoria de un amplio número de sujetos con ocultamiento del propio método
Rendimiento		Diferencia sistemática en la conducta de los grupos de comparación por fuera del tratamiento que está siendo evaluado	Replicación de los estudios que utilizan diferentes experimentos Uso de experimentadores sin ningún interés personal en cualquiera de los tratamientos
Medición	Detección	Diferencia sistemática entre los grupos en términos de cómo se determinan los resultados	Revisión doble ciego para evaluar los resultados
Desgaste	Exclusión	Diferencias sistemáticas entre los grupos de comparación en cuanto a retiros o exclusiones de los participantes de la muestra del estudio	Informar las razones de todos los retiros Realizar análisis de sensibilidad incluyendo a todos los participantes excluidos
Renombre	Reconocimiento	Diferencias sistemáticas en cuanto a seleccionar estudios con base en la trayectoria de los autores	Un renombre no siempre significa calidad, por lo que se deben apartar las emociones y dejar primar la evidencia y la razón

Se debe tener en cuenta que las investigaciones médicas se basan en el principio de doble ciego, es decir, que ni el sujeto ni el investigador saben qué tratamiento se ha asignado, con el objetivo de enfrentar los sesgos por rendimiento y por medición. Sin embargo, este protocolo generalmente es improbable para experimentos en otras áreas. Estos factores se refinan en un instrumento de calidad teniendo en cuenta: 1) los elementos genéricos que se relacionan con las características particulares de los diseños de estudio, tales como las encuestas, los experimentos y los estudios cualitativos; y 2) los temas específicos relacionados con el área de la revisión, tales como el método de validación cruzada utilizado en un estudio de estimación de costos.

Las listas de verificación también se desarrollan teniendo en cuenta el sesgo y los problemas de validez que ocurren en las diferentes etapas de un estudio empírico: Diseño, Conducta, Análisis, Conclusiones. Existen diversas listas de

calidad publicadas para estudios cualitativos [4, 10, 21, 23], sin embargo, cada fuente identifica un conjunto ligeramente diferente de preguntas y no se ha encontrado un estándar general. Pero del análisis a las diferentes propuestas es posible integrar una, como la que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Lista de chequeo para estudios cualitativos [24]

Qué tanta credibilidad tiene las conclusiones y, si son creíbles, qué tan importantes son
Cuál ha sido el conocimiento o comprensión ampliada en la investigación
Qué tan apropiada es la evaluación frente a los objetivos y propósito originales
Qué tan apropiado es el alcance y la posibilidad de aprovechar la inferencia un poco más amplia
Qué tan claras son las bases de la apreciación evaluativa
Qué tan defendible es el diseño de la investigación
En qué nivel se definen los ejemplos de diseño/metas y la selección de casos/documentos
Qué tan bien se describe la composición de la muestra final y la cobertura
Qué tan bien se lleva a cabo la recogida de datos
Qué tan bien se comunica el enfoque y la formulación del análisis
Qué tan bien se presentan y describen los contextos y las fuentes de datos
Qué tanto se explora la diversidad y la perspectiva del contexto
Qué tan bien se comunica el detalle, la profundidad y la complejidad de los datos
Qué tan claros son los vínculos entre los datos, la interpretación y las conclusiones
Es clara y coherente la presentación del informe
Qué tan claro son los supuestos/perspectivas teóricas/valores de forma y de salida
Hay evidencias de que se atienden las cuestiones éticas
Se ha documentado adecuadamente el proceso de investigación

Para los estudios cuantitativos también se publican listas de calidad [4, 9, 10, 21, 23], que se organizan de acuerdo con la etapa y el tipo de estudio [24], aunque son propuestas demasiado amplias. Una recomendación es adoptar la sugerencia de Fink [4], quien propone revisar la lista de chequeo en el contexto del propio estudio y seleccionar los ítems de evaluación de calidad más apropiados para las preguntas de investigación específicas. Es posible que se necesite construir una escala de medición para cada uno porque, a veces, un simple sí/no es engañoso. Cualquiera sea la forma del instrumento se debe evaluar su fiabilidad y facilidad de uso en el protocolo, antes de aplicarlo a los estudios seleccionados.

Es importante que los investigadores no solamente definan el instrumento de calidad en el protocolo de estudio, sino que también especifiquen cómo van a utilizar los datos de calidad. Los datos de calidad se utilizan de dos maneras: 1) para ayudar a la selección de los estudios primarios, mediante la construcción de criterios detallados de inclusión/exclusión que se acopian antes de la recolección de datos primarios y utilizando formularios diferentes; y 2) para ayudar al análisis y la síntesis de datos, para identificar sub-conjuntos

del estudio primario para investigar si las diferencias de calidad están asociadas con los diferentes resultados del mismo. Estos datos de calidad se recogen al mismo tiempo que los estudios primarios mediante un formulario conjunto. Si una revisión de la literatura incluye estudios de diferentes tipos, es necesario utilizar un instrumento de calidad apropiado para cada uno. En algunos casos, para los estudios cualitativos es adecuado un conjunto común de preguntas de evaluación de calidad, pero, si se incluye estudios cualitativos y cuantitativos es necesario estructurar diferentes listas de control.

4.5.3 *Limitaciones de la evaluación de calidad*

A menudo, los estudios primarios se reportan de forma deficiente, por lo que es posible que no sea viable determinar una manera de evaluar los criterios de calidad. Se puede asumir que si algo no se informa es porque no se hizo, pero este supuesto es incorrecto. Una forma de contrarrestarlo es tratar de obtener más información de los autores del estudio, por lo que Petticrew y Roberts [21] señalan explícitamente que las listas de verificación de calidad deben abordar la calidad metodológica, no reportar la calidad.

Existen evidencias limitadas de las relaciones entre los factores y se cree que afectan la validez y los resultados reales del estudio. Además, la inadecuada ocultación de la asignación y la falta de una revisión doble ciego producen un exceso de estimaciones de los efectos, por ejemplo, de un tratamiento, pero el impacto de otros factores de calidad no está respaldado por las evidencias empíricas. Por otro lado, es posible identificar análisis estadísticos inadecuados o inapropiados, pero si no se tiene acceso a los datos originales no será posible corregirlos; además, si los datos son confidenciales no será posible ampliarlos con los investigadores y, en algunos casos, los autores se negarán a entregarlos porque quieren seguir publicando más análisis.

4.6 Estructurar el registro de los datos

El objetivo de esta fase de la metodología es diseñar formularios para registrar con precisión la información que se obtiene de los estudios primarios. Para reducir la posibilidad de sesgo, estos formularios se definen y dirigen en el protocolo de estudio. Además, se diseñan para recoger toda la información que permita responder las preguntas de investigación y a los criterios de calidad de la revisión. Pero, si estos criterios se van a utilizar para identificar los de inclusión/exclusión, requieren formas separadas, porque la información se debe recolectar antes del registro de datos. Por el contrario, si se utilizan

como parte del análisis de datos, tanto los de calidad como los de revisión, se incluirán en el mismo formulario. En cuanto a su estructura, es un asunto que debe determinar el equipo de trabajo, respondiendo a los objetivos de la revisión y asegurando que contiene la información necesaria para responder a las preguntas de investigación.

En muchos casos, la extracción y el registro de datos definirán un conjunto de valores numéricos para cada estudio. Estos datos son importantes para cualquier intento de resumir los resultados de un conjunto de estudios primarios y son un pre-requisito para las técnicas estadísticas destinadas a la integración de resultados. Los formatos para extraer y registrar los datos necesitan ser dirigidos sobre un ejemplo de estudios primarios y, si varios investigadores los utilizan, todos deben participar en las pruebas piloto.

Con estas pruebas se pretende evaluar tanto los aspectos técnicos como la integridad de los formatos, lo mismo que los problemas de usabilidad, tales como la claridad de las instrucciones de uso y la ordenación de las preguntas. Los formularios electrónicos son útiles y pueden facilitar el análisis respectivo, pero, siempre que sea posible, la extracción y el registro se realizan de forma independiente por dos o más investigadores, para luego compararlos y resolver los desacuerdos, ya sea por consenso o mediante el arbitraje de un investigador independiente. En aquellos casos en los que no se pueda llegar a un acuerdo es necesario aplicar un principio de análisis de sensibilidad, por ejemplo, marcando los puntos de acuerdo y de desacuerdo para ponerlos en discusión.

Es importante no incluir múltiples publicaciones de un mismo estudio, porque los informes duplicados podrían sesgar seriamente los resultados. En este caso es preferible contactar a los autores para confirmar si los informes se refieren a una misma investigación. Cuando hay publicaciones duplicadas, o varias versiones, es mejor utilizar la más completa e, incluso, podría necesitarse consultarlas todas para obtener los datos necesarios. Si la información disponible proviene de estudios en curso, y para respetar los criterios de calidad, es conveniente obtener un permiso y una certificación por escrito de los investigadores; porque puede tratarse de información sin verificar, o de datos experimentales sin comprobación. Por otro lado, los informes no siempre incluyen todos los datos pertinentes, están mal escritos, o contienen datos ambiguos. En estos casos, lo mejor es contactar a los autores para obtener la información más fiable posible. A veces los estudios primarios no

proporcionan todos los datos, pero es posible recrearlos mediante la manipulación de los publicados. Para hacerlo, se registran los datos originales y luego los manipulados, a la vez que se realiza el análisis de sensibilidad.

En este punto del proceso ya se ha reunido todo lo que se ha determinado como literatura apropiada en la revisión. Aunque el foco puede variar en función de la finalidad, existen varias estrategias útiles para realizar el análisis y la síntesis, que ayudarán a la construcción y la redacción de la revisión. Inicialmente, es aconsejable llevar a cabo una primera lectura de los trabajos recogidos para tener una idea general. La mayoría contiene un resumen, que ayudará con este proceso y podrá servir para tomar la decisión de hacerle o no una lectura completa.

También sirve para realizar una primera clasificación y agrupación de los trabajos por tipo de fuente. Una vez que el panorama general se ha completado, es necesario volver a los trabajos para llevar a cabo una revisión más sistemática y crítica de su contenido. Se recomienda adoptar algún tipo de estructura durante este proceso, como el método propuesto por Cohen [25], conocido como sistema PQRS (*Preview*, *Question, Read, Summarize*), y que no sólo es enfocado y consistente, sino que, en última instancia cuando se revisa un gran número de trabajos, facilita identificar y recuperar material particular.

Después de esta etapa preliminar, el investigador termina con varias pilas de trabajos que considera pertinentes para la finalidad de la revisión. Aunque algunos se han descartado, es prudente guardarlos para una posterior recuperación, si fuese necesario. En este punto, varios autores han sugerido el uso de un sistema de indexación o de resumen, o una combinación de ambos, para ayudar al proceso de sistematización [11, 26-28]. Aunque hay ligeras variaciones en los criterios propuestos en los sistemas de indexación y resumen, en general relacionan el título del artículo, el autor, el propósito y la metodología utilizada, las conclusiones y los resultados. También es útil incorporar comentarios propios o pensamientos clave.

Para el propósito de buen mantenimiento del registro, se sugiere incluir también las fuentes y las referencias completas, porque podría ser muy frustrante tratar de encontrar posteriormente una referencia o un punto clave entre esa cantidad de trabajos. Aunque a veces es laborioso, leer cada uno para tratar de responder a las preguntas de investigación es una buena práctica. Sin embargo, vale la pena señalar que, si el aporte de alguno no es claro, esto será beneficioso para acceder a herramientas más detalladas o listas

de control que faciliten un análisis posterior. Debido a que lo más probable es que las fuentes primarias no sean únicamente artículos, lo mejor es adaptar el sistema de resumen para dar cabida a otras fuentes, como el de la Tabla 5.

Tabla 5. Formato de compendio de información [24]

Fuentes primarias	Fuentes secundarias	Otras fuentes
Título	Título	Título
Año y autor	Año y autor	Año y autor
Citación	Citación	Citación
Propósito del estudio	Propósito y tema de la revisión	Propósito
Tipo de estudio	Definiciones clave	Credibilidad
Escenario	Límites de la revisión	Calidad
Método de recolección de datos	Criterios de apreciación	Contenido
Principales hallazgos	Síntesis del estudio	Coherencia
Recomendaciones	Resumen/conclusiones	Recomendaciones
Reflexiones/comentarios clave	Reflexiones/comentarios clave	Reflexiones/comentarios clave

Otro asunto es que no todas las revisiones clasificadas como fuentes secundarias presentan la misma estructura, como se aprecia en la mayoría de las primarias [28]. Sin embargo, hay opiniones que simplemente presentan un punto de vista sobre un tema o que exploran la relevancia de un concepto para la práctica. Por lo tanto, un primer paso importante en la valoración de una revisión es determinar su finalidad y perspectiva original. De esta manera es posible determinar las preguntas de evaluación apropiadas.

Evaluar trabajos que no se derivan de investigación y publicaciones que no son revisiones, es complejo por la variedad de los mismos. Estos productos cubren desde artículos que afirman abordar cuestiones de importancia teórica para la práctica, la investigación o la educación y opiniones personales o editoriales, hasta estudios de casos e informes de práctica, por nombrar unos pocos. Una sugerencia para evaluar este tipo de literatura es centrarse en los criterios de calidad, credibilidad y exactitud [29] con los que la publicación abarca los temas; además, la exactitud y coherencia acerca de cómo se evalúa el contenido con respecto a lo que ya se conoce sobre el tema. Al final, lo recomendable es escribir un breve resumen de cada aporte con comentarios, pensamientos clave y puntos fuertes y débiles. Lo más importante es escribirlo en las palabras del revisor, reflejando su comprensión del material y del tema.

4.7 Definir el análisis de datos

Este proceso consiste en resumir y analizar los resultados de los estudios primarios incluidos, con el objetivo de responder a las preguntas de

investigación. Puede ser descriptivo (no-cuantitativo), pero, a veces, aplicando técnicas estadísticas como los meta-análisis, es posible complementar una síntesis descriptiva con un resumen cuantitativo [22]. En todo caso, las actividades para realizar esta fase se especifican en el protocolo de la revisión, aunque algunos problemas no se resuelven sino hasta que se analicen los datos propiamente. Para las síntesis descriptivas o cuantitativas es importante el análisis de sensibilidad, sin embargo, por lo general es más fácil realizarlo como parte de un meta-análisis, porque se entienden mejor las técnicas de análisis de sensibilidad cuantitativa. En estos casos, lo mejor es dividir los resultados en varios sub-conjuntos de estudios primarios para determinar si son firmes. Por ejemplo:

- Estudios calificados con alta calidad
- Estudios de tipos particulares
- Estudios para los que la extracción de datos no presentó dificultades
- De acuerdo con el método experimental utilizado en los estudios

Por otro lado, la calidad de la investigación que se divulga se refiere a su calidad metodológica y las buenas revisiones de la literatura tienen descripciones detalladas de esta característica. Esta es una cuestión importante porque la precisión del análisis a la revisión depende de la calidad de la literatura disponible. Además, cuanto mayor sea, las conclusiones tienen más probabilidades de ser confiables y de que las acepte la comunidad.

Para lograrlo, es bueno que los investigadores se hagan preguntas: ¿Cómo se valida internamente el diseño de la investigación? ¿Son válidas las mediciones de los resultados? ¿Se explica y justifica el proceso de selección de la muestra? ¿Los datos son actualizados? ¿Existen sesgos obvios, por ejemplo, falta de procesos doble ciego o conflictos de interés financiero? Aunque el propósito de una revisión es sintetizar los hallazgos de los estudios de alta calidad, esta información se necesita porque el revisor debe realizar una síntesis, lo más precisa posible, y una manera de asegurarlo es colocar todos los estudios en su contexto. El contenido resultante incluye la calidad metodológica y otras características de los estudios y, con la información sobre el contexto, será posible informar sobre la calidad de los estudios disponibles, identificar las poblaciones y los programas que han contribuido al conocimiento actual, o de aquellos que no se han estudiado bien o completamente.

Algunos investigadores utilizan su propio conocimiento y experiencia para sintetizar la literatura mediante una evaluación a las similitudes y diferencias

encontradas en los propósitos, los métodos y los resultados. La validez del análisis y las conclusiones de la revisión dependen de la experiencia en el tema y de la imaginación crítica del investigador. Los comentarios descriptivos son particularmente relevantes cuando escasean los ensayos controlados aleatorios, o los estudios observacionales rigurosos, e incluso cuando no están disponibles, sino lo apropiado es realizar análisis estadísticos. Este tipo de análisis utiliza técnicas estadísticas formales para resumir los resultados de estudios independientes. Además, las buenas revisiones se basan en estrategias de búsqueda explícitas, criterios inequívocos de selección de estudios y un proceso de revisión estándar. Sin embargo, difieren en cómo enfrentan los hallazgos y las conclusiones de cada estudio primario.

Aunque las revisiones descriptivas se basan en la experiencia y la evidencia en las interpretaciones del revisor, los meta-análisis utilizan técnicas estadísticas para combinar los resultados del estudio. Entonces, el revisor necesitará conocer estas diferencias para decidir qué es mejor para sus propósitos. Hasta este punto el revisor ha estado a cargo de la evaluación de la transparencia y la calidad del trabajo de otras personas, pero, una vez finalizada, también estará sujeta a otras evaluaciones.

4.8 Concretar la presentación del informe

Una vez que se ha completado la revisión se debe prestar atención a la estructura del informe respectivo. La clave para un buen trabajo científico es la capacidad para presentar los resultados, de manera que demuestren de forma clara y coherente el conocimiento adquirido. La base de la buena escritura es evitar palabras largas y confusas; mantener la jerga al mínimo; utilizar oraciones lo más cortas posible, con un mensaje claro y respetar ortografía y gramática precisas y consistentes con el idioma.

La organización del material de manera objetiva y la estructura de la revisión son fundamentales para su comprensión y, hasta cierto punto, la segunda dependerá del propósito de la misma. Por ejemplo, las revisiones sistemáticas tienen una estructura clara que se debe respetar y que determinará en gran medida cómo realizar la escritura. Sin embargo, para la mayoría de autores una revisión es parte de una asignación de un curso, de una propuesta de investigación, o de un trabajo de grado y, como tal, tienen cierta libertad en la forma en que estructuran el informe. Pero es importante ser lógicos y respetar algunos elementos clave que deben contener los reportes de las revisiones:

1. En primer lugar, el informe debe incluir una introducción, un cuerpo y unas conclusiones [28]. La longitud de las revisiones de la literatura varia y en la construcción del informe hay que considerar el número de palabras y los criterios de asignación. Si se trata de una opinión independiente, también será necesario un resumen, es decir, un breve sumario de los hallazgos que, normalmente, se escribe en pasado.
2. La introducción incluye el propósito de la revisión y una breve descripción del *problema*. Además, es importante describir las fuentes de la literatura y los términos clave de búsqueda; cualquier límite, frontera o criterio de inclusión/exclusión descrito claramente, además de presentar algunos comentarios acerca de lo que se encontró, por ejemplo, si existe escasez o abundancia de literatura sobre el tema. Esto le da al lector una idea de la amplitud y la profundidad de la literatura revisada y le facilita emitir algún juicio sobre la validez de lo que se está presentando.
3. En el cuerpo principal del informe se presentan y discuten los hallazgos de la revisión. Hay varias formas en las que esto se puede hacer [2], pero, independientemente de la manera en la que se enmarque, hay puntos clave a considerar, tales como analizar a profundidad la literatura principal para el tema y presentar un análisis crítico a las metodologías utilizadas, cuando se habla de literatura empírica o de investigación. Sin embargo, hay que tener cuidado de que la revisión no termine simplemente como una descripción de una serie de estudios, por lo que se recomienda evitar declaraciones generales amplias sobre la fuerza probatoria de los estudios de investigación. En este caso, lo mejor es utilizar un lenguaje que indique provisionalidad de los resultados, en lugar de hacer declaraciones definitivas acerca de la investigación [7].
4. Del mismo modo, es necesario que el revisor sea objetivo acerca de la presentación de los resultados de la revisión de la literatura seleccionada y evitar opiniones personales sobre la calidad de los estudios. La presentación de los resultados tampoco debe ser una serie de citas o descripciones, sino un escrito de manera sucinta en las propias palabras del revisor. Si se utiliza un enfoque temático, el reporte debe fluir lógicamente de una sección o tema a otro, para mantener la continuidad y la coherencia [30]. Esto se logra resumiendo cada tema o sección y delineando cómo se relaciona con la siguiente. Con respecto a la literatura teórica, se esboza el consenso o la diferencia hallada respecto

del tema revisado. A veces, cuando predomina este tipo de literatura, se encuentran pocos estudios en el área de interés, entonces la revisión deberá incluir un análisis de las metodologías utilizadas en los estudios. Otra cuestión a abordar son las incoherencias y las contradicciones encontradas [3], al igual que las fortalezas y debilidades inherentes en el cuerpo de la literatura. El papel del revisor es resumir y evaluar la evidencia sobre un tema, señalando similitudes y diferencias y ofreciendo posibles explicaciones para las inconsistencias descubiertas [7].

5. El informe de la revisión concluye con un análisis conciso de los hallazgos, en el que se describe el conocimiento actual y se ofrece una base para la realización de futuras investigaciones. En una revisión, las lagunas que se identifican en el conocimiento deberían conducir lógicamente a la finalidad del estudio propuesto. En algunos casos, los temas desarrollados también se utilizan para construir un marco conceptual.
6. En los informes de las revisiones hay que incluir algunas recomendaciones o implicaciones para la práctica, la formación y/o la investigación.
7. Además, se debe incluir una lista completa de todas las fuentes y otros medios a los que se hace referencia en el informe. Independientemente de si la revisión es parte de un curso de estudio o de si es para publicación, es muy importante citar todo el material de origen. Esto significa que cada cita en el texto aparecerá en la sección de referencias y viceversa. Una estrategia útil es crear un archivo separado para las referencias y cada vez que se cite añadirla inmediatamente. Recordar que la lista de referencias es una fuente útil de consulta para otros que están interesados en el tema [6] y, por lo tanto, se debe asegurar su exactitud.

REFERENCIAS

[1] Hart, C. (1998). Doing a Literature Review. London: Sage Publications.

[2] Carnwell, R. & Daly, W. (2001). Strategies for the construction of a critical review of the literature. Nurse Education Practice 1(2), 57-63.

[3] Colling, J. (2003). Demystifying the clinical nursing research process: The literature review. Urologic Nursing 23(4), 297-299.

[4] Fink, A. (2014). Conducting research literature reviews - From the internet to paper. New York: Sage Publication.

[5] Beecroft, C., Booth, A. & Rees, A. (2006). Finding the evidence. In Gerrish, K. & Lacey, A. (Eds.), The Research Process in Nursing (90-106). Philadelphia: Blackwell Publishing.

[6] Coughlan, M., Cronin, P. & Ryan, F. (2007). Step-by-step guide to critiquing research. Part 1: Quantitative research. British Journal of Nursing 16(11), 658-663.

[7] Polit, D. & Beck, C. (2006). Essentials of nursing research: Methods, appraisal and utilization. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.

[8] Parahoo, K. (2006). Nursing research - Principles, process and issues. USA: Palgrave.

[9] Khan, K. et al. (2001). Undertaking systematic review of research on effectiveness. CRD's Guidance for those Carrying Out or Commissioning Reviews. University of York: NHS Centre for Reviews and Dissemination.

[10] Greenhalgh, T. (2005). How to read a paper: The basics of evidence-based medicine. USA: BMJ Books.

[11] Parahoo, K. (2000). Nursing research - Principles, process and issues. Houndsmill: Palgrave.

[12] Hendry, C. & Farley, A. (1998). Reviewing the literature: A guide for students. Nursing Standard 12(44), 46-48.

[13] Timmins, F. & McCabe, C. (2005). How to conduct an effective literature review. Nursing Standard, 20(11), 41-47.

[14] Brereton, P. et al. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. Journal of Systems and Software 80(4), 571-583.

[15] Berlin, J., Miles, C. & Crigliano, M. (1997). Does blinding of readers affect the results of meta-analysis? The Lancet 350(9072), 185-186.

[16] Cohen, J. (1968). Weighted Kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. Psychological Bulletin 70(4), 213-220.

[17] Staples, M. & Niazi, M. (2007). Experiences using systematic review guidelines. Journal of Systems and Software 80(9), 1425-1437.

[18] Higgins, J. & Green, S. (2008). Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. London: Cochrane Book Series.

[19] NHMRC (2000). How to review the evidence: Systematic identification and review of the scientific literature. Australian National Health and Medical Research Council.

[20] NHMRC (2000). How to use the evidence: Assessment and application of scientific evidence. Australian National Health and Medical Research Council.

[21] Petticrew, M. & Roberts, H. (2005). Systematic reviews in the social sciences: A practical guide. Berlin: Blackwell Publishing.

[22] The Cochrane Collaboration (2004). Cochrane Reviewers Handbook. USA: Cochrane.

[23] Crombie, I. (2007). The Pocket Guide to Appraisal. New York: BMJ Books.

[24] Kitchenham, B. & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in Software Engineering. EBSE Technical Report, EBSE-2007-01. USA: Keele Univ.
[25] Cohen, G. (1990). Memory. In Roth, I. (Ed.), The Open University's Introduction to Psychology (570-620). Milton Keynes: Lawrence Eribaum.
[26] Patrick, P. & Munro, S. (2004). The literature review: Demystifying the literature search. Diabetes Education 30(1), 30-38.
[27] Polit, D. & Beck, C. (2005). Nursing research: Principles and methods. Lippincott: Williams & Wilkins.
[28] Burns, N. & Grove, S. (2007). Understanding nursing research - Building an evidence-based practice. UK: Saunders Elsevier.
[29] Blunden, G., Hek, G. & Langton, H. (2000). Systematically searching and reviewing literature. Nurse Researcher 7(3), 40-57.
[30] Beyea, Z. & Nicholl, L. (1998). Writing an integrative review. AORN Journal 67(4), 877-880.

CAPÍTULO 2

Qué es Ingeniería

Luisa M. Jiménez R.[1]
Jorge M. Sepúlveda C.[2]
Corporación Universitaria Remington
Medellín – Antioquia

La ingeniería es una disciplina dedicada a la resolución de problemas. El entorno e infraestructura, los dispositivos para la comunicación, los procesos para fabricar medicamentos, han sido diseñados, ensamblados o gestionados con principios ingenieriles. La ingeniería se utiliza en el diseño de prótesis avanzadas, la creación nuevos materiales, la investigación de la eficiencia de un motor o de combustibles alternativos, la construcción de puentes o el desarrollo de sistemas de agua potable. Desde los satélites hasta las membranas celulares, los ingenieros usan las matemáticas y la ciencia para lograr cosas extraordinarias y encontrar soluciones a algunos de los desafíos más complejos del mundo. En este capítulo se presenta una semblanza de la ingeniería, tanto positiva como negativa, y de su importancia para el presente y el futuro de la humanidad. Porque tarde o temprano necesitaremos recurrir a los desarrollos ingenieriles para buscar alguna solución a nuestros problemas, entonces podremos disfrutar del progreso o desaparecer como especie por errores y decisiones individuales o colectivas.

1. INTRODUCCIÓN

La Ingeniería es una disciplina que cubre desde la invención o innovación de ideas o soluciones, hasta la materialización de las teorías científicas en áreas diversas del conocimiento, tales Administración, Matemáticas, Física, Química y Ciencias Computacionales, entre otras, que hacen parte del trabajo diario de los ingenieros. Como área del conocimiento se sustenta en el método científico para combinar el conocimiento de la ciencia, las áreas matemáticas y la práctica experimental, en la búsqueda de soluciones a los complicados problemas de esta sociedad.

[1] Ingeniera de Sistemas, Ms.C. en Administración de Tecnologías de la Información, Docente investigadora. *luisa.jimenez@uniremington.edu.co*
[2] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. en Ingeniería. Ph.D. (c), Decano Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. *jsepulveda@uniremington.edu.co*

En este proceso se conjugan ciencia y tecnología para lograr las transformaciones y los avances que hacen realidad los continuos desarrollos tecnológicos, aportando productividad y desarrollo a las naciones del mundo. Por lo que la ciencia está ligada a la generación o descubrimiento de conocimiento y la ingeniería a su aplicación tecnológica responsable para resolver los problemas sociales. Por consiguiente, la tecnología se puede definir como la manera directa de hacer las cosas desde las diversas necesidades presentadas en las actividades o tareas ejecutadas por los seres humanos.

La ingeniería y los ingenieros han desempeñado un activo rol en el desarrollo de la humanidad, desde las sociedades primitivas hasta las distintas revoluciones industriales y científicas. Convirtiéndose en una profesión fundamental para el avance de la ciencia en beneficio de la humanidad. Desde sus diferentes disciplinas, la ingeniería ha participado directamente en la realización de obras civiles, mecánicas y electrónicas, así como en la gestión del conocimiento y la innovación en todo el mundo. Como ejemplos de estos aportes se puede mencionar las edificaciones antiguas y modernas, las máquinas en sus diferentes presentaciones, los aparatos electrónicos y las Ciencias Computacionales, entre muchas otras que hacen parte de la vida de las personas. También son dignas de tener en cuenta la estructura vial, las redes articuladas en procesamiento de información, las telecomunicaciones, la automatización de procesos, la preservación del medio ambiente, la conquista del espacio y los descubrimientos de la astronomía.

Sin duda, se podría afirmar que la ingeniería hace parte, directa o indirectamente, de todas las actividades que las sociedades realizan diariamente, además de servir como base para proyectar el futuro de la raza humana. Pero, así como no se puede negar sus invaluables beneficios, no se pueden ocultar las áreas en las que, por un inadecuado uso, los resultados suelen ser catastróficos para el planeta y para la vida. Este es el caso de la carrera armamentista, de la tecnología sin control, de la dependencia de los medios, del ocultamiento de información y de las vulnerabilidades empresariales.

2. LA INGENIERÍA

Los intentos por encontrar un significado para Ingeniería se remontan a las primeras culturas con diferentes enfoques, pero comunes en cuanto la refieren

como la facultad del hombre para discurrir o inventar con prontitud, facilidad y seguridad. Las primeras definiciones que se conocen se atribuyen al Conde Rumford, en 1799, quien expresó que era "*la aplicación de la ciencia a los propósitos comunes de la vida*"; en 1828 el arquitecto británico Thomas Tredgold la denominó como "*el arte de dirigir las grandes fuerzas de la naturaleza y usarlas para beneficio del hombre*"; y en 1907 el ingeniero eléctrico Henry G. Stott, presidente de IEEE entre 1907 y 1908, la llamó: "*el arte de organizar y dirigir a las personas y controlar las fuerzas y materiales de la naturaleza en beneficio del hombre*" [1].

Es decir, ingeniería puede entenderse como el conjunto de instrucciones científico-empíricas que ayudan a la transformación de ideas en invenciones, que ofrecen soluciones a los problemas prácticos que enfrenta el ser humano, bien sea en la vida personal, profesional, o sociocultural. Citando a Wright, Rubén Londoño afirma que:

> *La palabra ingeniería se deriva del latín ingeniosus (ingenio), que significa cualidad de los seres humanos para crear, pensar o sobrevivir. En sentido formal, "[…] la ingeniería es una profesión en la cual se aplica el conocimiento de las matemáticas y las ciencias naturales con discreción y juicio, a fin de aprovechar económicamente los materiales y las fuerzas de la naturaleza en el beneficio de la gente"* [2].

De acuerdo con este autor, áreas del conocimiento tales como las matemáticas y las ciencias naturales, son parte fundamental en el desarrollo del ingenio humano, porque le ayudan a adquirir conocimiento que aportarán en el avance de la ciencia y la tecnología; por supuesto, en beneficio de la sociedad y sus eventuales actividades socioeconómicas, incluyendo también lo cultural.

Por consiguiente, ingeniería tiene relación directa con el conocimiento científico-tecnológico, al ser compendio de diversas ciencias y disciplinas que le permiten al ser humano materializar propuestas teórico-prácticas para la resolución de problemáticas, y cuyos productos benefician a la sociedad como soporte para el desarrollo de sus actividades transdisciplinares, evidenciado en los diferentes desarrollos tecnológicos que construyen los ingenieros.

Por otro lado, la ingeniería se desarrolla en la coincidencia entre ciencia y tecnología, pero también existe una amplia diversidad de disciplinas sobre las que se sustenta para aportar invención, desarrollo e innovación a los procesos en los que tiene injerencia. Para realizar esta mezcla de principios y teorías, el ingeniero necesita apoyarse en herramientas prácticas, previamente

materializadas por la ingeniería, para satisfacer las necesidades en cuanto al conocimiento que requiere la industria y la sociedad. Algunas de las disciplinas ingenieriles reconocidas como tal son:

- Ingeniería militar
- Ingeniería civil
- Ingeniería eléctrica
- Ingeniería industrial
- Ingeniería electrónica
- Ingeniería mecánica
- Ingeniería química
- Ingeniería aeronáutica
- Ingeniería aeroespacial
- Ingeniería informática
- Ingeniería ambiental

En términos generales y de acuerdo con Accreditation Board for Engineering and Technology – ABET, es la profesión en la que el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales, adquirido por el estudio, la experiencia y la práctica, se aplica con juicio para desarrollar maneras de utilizar (económicamente) los materiales y las fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad.

Para Davis [17], ingeniería es tanto una función, una disciplina y una ocupación, como una profesión, porque considera que el término en sí mismo solamente es una guía aproximada o un acercamiento al método. Para este autor, actividades a las que no se nombra como ingeniería (física aplicada, matemáticas, arquitectura) están claramente diferenciadas de acuerdo con su razón de ser. Mientras que otras a las que se denomina ingeniería (conducir una locomotora, supervisar el funcionamiento de una máquina, programar computadores) son tan simples que no son ingeniería en sentido estricto.

Al parecer, esta especie de confusión en las denominaciones se deben a las confusiones que generan las definiciones de acuerdo con el idioma en que se realizan. Por ejemplo, en holandés, *Ingenieur* es cualquier persona graduada de una universidad tecnológica, aunque el título sea en administración o filosofía. En este país los profesionales son libres de usar ese título, de la misma manera que en muchos países se denomina *doctor* a cualquiera que obtiene un Ph.D. Pero, aunque en Holanda no se requiere licencia para ser

ingeniero, para todos es claro que existe una profunda diferencia entre ingenieros *filósofos* e ingenieros *ingenieros*.

Davis [18] sostiene que es más controversial el hecho de denominar ingeniería a ciertos programas que no lo son, tales como ingeniería del software, ingeniería social, ingeniería genética, ingeniería financiera, ingeniería física, ingeniería matemática o ingeniería de sonido, entre muchos otros. Para él, son actividades tecnológicas que no se deben confundir con las ingenieriles en sentido estricto. La confusión pasa por el hecho de que todavía no se promulga un acuerdo acerca de que la ingeniería se estudia y aplica como un método, mientras lo demás son actividades ordinarias que tienen alguna relación con la ingeniería, pero que no lo son en sí mismas. Por otro lado:

> *Si bien la incorporación de principios básicos provenientes de la Física, la Química y las Matemáticas, han elevado el nivel científico y el potencial técnico de la Ingeniería, también han conducido a concepciones erróneas acerca de su objeto y de sus fines. Más aún, el hecho de que hoy existan científicos que diseñen e ingenieros que investiguen para encontrar mejores soluciones técnicas, ha conducido a una suerte de extrapolación del concepto de ciencia a la Ingeniería, atribuyéndole a la primera muchos logros de la segunda. No obstante, como ya se mencionó, la Ingeniería proviene de una tradición distinta a la de la ciencia, opera bajo formas de organización, reglas de conducta y objetivos diferentes. Por lo tanto, aunque la Ingeniería se encuentra inextricablemente ligada a la ciencia, entre una y otra subestimen marcadas diferencias* [20].

Por consiguiente, teniendo presente esta afirmación y aunque existen marcadas diferencias entre ingeniería y ciencia, no se pueden desligar los dos términos porque, en definitiva, la tecnología del conocimiento avanza a pasos agigantados debido a la ciencia y, por ende, a la misma ingeniería. Aquí hay que tener presente que el ejercicio de la ingeniería demanda muchas actividades, acciones o tareas que generan un marco de saberes y experiencias que el ingeniero utiliza a favor del avance del conocimiento científico, lo que incluye generalmente el desarrollo de la tecnología.

2.1 La práctica ingenieril

Cada día la práctica de la ingeniería evoluciona como resultado de sus mismos desarrollos tecnológicos y de las exigencias sociales. Estas características, además de la globalidad y el dinamismo con los que se mueve el mundo, exigen una mejor preparación de estos profesionales para que se integren

adecuadamente a la vida laboral. Sin embargo, muchos investigadores coinciden en que los cambios deben iniciar en los planes de estudios y en los contenidos de los cursos [3], además de una adecuada selección de los profesores [4]. En la literatura se encuentran diversas temáticas en las que se investiga acerca de la práctica ingenieril, pero algunas llaman más la atención que otras, por ejemplo: la resolución de problemas, la transdisciplinariedad y la incertidumbre:

- La práctica transdisciplinar en un escenario de sistemas desordenados, conforman la cotidianidad del esfuerzo ingenieril para la resolución de problemas. Ahí se vive un entrelazamiento entre lo social y una coordinación eficaz de muchas disciplinas y personas que, en muchas ocasiones, no permiten alcanzar el éxito [4]. Por lo que el trabajo de los ingenieros implica reforzar y reinventar continuamente las interacciones que se generan entre las personas y las cosas [8]; una situación que les exige conocimientos especializados y sólidos para atenderla [9].
- Debido a la complejidad de los problemas que debe resolver, en la práctica ingenieril se conforman equipos de diversas disciplinas, lo que requiere una coordinación transdisciplinar. Por otro lado, el proceso es más que materializar una teoría científica, porque debe responder a necesidades sociales y del mercado a la vez que respeta leyes, normas y prácticas específicas [6]. Conformando de esta manera un contexto complejo, ambiguo y subjetivo que, si no se coordina adecuadamente, puede no generar el producto esperado [7].
- El desorden aparente en el trabajo ingenieril se debe, principalmente, a que esta labor implica alta incertidumbre [5]. Además, porque generalmente la resolución de problemas se debe realizar sin una estructura clara y sin lógica, lo que la convierte en impredecible, ineficiente y, la mayoría de veces, con sobrecostos. Esto es un reflejo de la falta de una capacitación adecuada, porque el ingeniero debe trabajar con base en lo que aprende con la práctica [6].

Estas y otras características de la práctica ingenieril son las que hacen de esta disciplina una de las más exigentes para la práctica. Los ingenieros tienen que aprender a coordinar equipos transdisciplinares; a analizar, modelar y solucionar sistemas complejos no-lineales y al final presentar una solución eficiente, eficaz, segura y confiable a los problemas. Otro aspecto que diferencia la práctica ingenieril es que estos profesionales tienen que ser

líderes, para influenciar al equipo y dirigirlo con rigurosidad para cumplir los tiempos y presupuestos [4].

El trabajo de ingeniería se inicia con una labor específica que realizar: resolver un problema, diseñar o innovar un producto, investigar nuevos métodos, materiales o procedimientos, para un cliente específico. Este proceso se enmarca en un contexto de comprensión y resolución e implica actividades tales como comunicación, coordinación, aprendizaje y trabajo técnico. Por lo que, en la práctica ingenieril, es común redactar informes técnicos, dirigir reuniones transdisciplinares, tener discusiones informales, realizar presentaciones o participar en negociaciones. Todo esto deja claro que no se trata solamente de diseñar el producto, porque la mayor parte del tiempo es desarrollo, es decir, también hay que escribir y verificar especificaciones, fabricar el producto y planificar las pruebas.

Esta práctica es común en muchos proyectos, donde los ingenieros deben dominar la imagen general del producto y navegar y negociar continuamente para clarificarla, dedicando más tiempo a estos detalles que al trabajo técnico. Además, dada la responsabilidad de esos productos, los ingenieros deben mantener comunicación permanente con todos los actores del proceso, a la vez que coordinar su trabajo, porque necesitan apoyo para sus ideas, ya sea mediante discusión o investigación. Esto les brinda aprendizaje conjunto, aunque también es necesario el trabajo individual y técnico, tal como realizar modificaciones de diseño mediante simulación o mecanizar piezas para una prueba. Por lo tanto, mientras que los esfuerzos de aprendizaje y coordinación son claramente esenciales en el trabajo de un ingeniero, estos aspectos pueden no siempre representan la parte dominante de la práctica ingenieril.

Para comprender más ampliamente la práctica ingenieril se deben analizar sus limitaciones, tales como leyes físicas, cronogramas, presupuestos, requisitos y especificaciones de los sistemas. Pero no se pueden olvidar cuestiones tales como los códigos y las regulaciones ambientales, que no son negociables en ningún proyecto [6], además de las consideraciones éticas, los problemas de salud y seguridad y la sostenibilidad. Como se puede observar, muchas de esas limitaciones no son estrictamente ingenieriles, sino que se basan en las realidades sociales, económicas y científicas [10]. En todo caso, los ingenieros necesitan desarrollar habilidades para trabajar dentro de estas limitaciones.

A esto se debe agregar la dificultad para enumerar todas las actividades que incluye el término ingeniería, aunque el progreso social y humano depende de

que se lleven a feliz término. Pero, como en cualquier profesión, algunos proyectos ingenieriles no son exitosos, lo que ha generado oposición y menosprecio hacia la ingeniería. Entonces, estos profesionales deberían tener en cuenta los errores cometidos antes y buscar cómo evitarlos; pero, aunque de las principales fallas y luego de investigaciones rigurosas se emiten informes detallados, muchas continúan en el secreto profundo.

2.2 Identidad de la Ingeniería

Toda comunidad profesional se caracteriza por presentar elementos individuales y sociales que le permiten desarrollar su identidad. Esta teoría sugiere la existencia de componentes internos (cognitivos) y externos (sociales) en la ingeniería [11]. Lo interno se desarrolla a partir de las identidades que el ingeniero crea a partir del significado interno que atribuye a sus roles, pero también del reconocimiento social al participar en sistemas únicos de significado compartido [12]. Para otros estudiosos del tema, la identidad social surge tanto del reconocimiento de la sociedad como el grupal de la comunidad. Por lo que no es algo que solamente se gana individualmente con el desarrollo de la práctica, sino que también es lo que otorga la misma comunidad [13]. Pero este *reconocimiento* obliga al ingeniero a mantener esa identidad en todas sus acciones y realizaciones, porque ya se considera inherente a la práctica y le concede cierto poder y prestigio que debe reivindicar con ejemplo.

En ingeniería también se presenta la auto-categorización, lo que permite diferenciar entre el profesional que pertenece a la comunidad y el que. Aquellos que representan la identidad propia de la comunidad, que capturan y representan mediante sus acciones las características grupales, se consideran verdaderos miembros y son los que mejoran la identidad del mismo. Por otro lado, los que son arquetipos ideales o abstracciones de lo que representa un verdadero asociado, y que se han categorizado a sí mismos como pertenecientes, no representan la identidad de ella y no son aceptados [14].

La identidad de la ingeniería difiere de un país a otro, porque las necesidades sociales y los intereses de las comunidades también difieren [15]. En los países latinoamericanos la identidad se caracteriza en que la ingeniería representa mejoramiento para la calidad de vida, mientras que en la mayoría de países industrializados se basa en producir bienes de consumo masivo. En este contexto, la ingeniería debe decidir entre responsabilidades que,

generalmente son opuestas, tales como darle mayor valor a la calidad del producto para propiciar seguridad pública, a diñarlo con el menor costo, aunque no sea completamente seguro. En estos casos es cuando se hacen evidentes los valores personales y la ética profesional, sobre los que se sustenta la identidad de la comunidad, porque pueden estar en desacuerdo con la cultura del país [16].

Filosóficamente hablando, la identidad tiene relación con la epistemología y los valores porque la ingeniería es una profesión basada en el conocimiento, cuya práctica se realiza en contextos profesionales y sociales donde el concepto público es un factor característico para la identificación y la creación de identidad. Pero, aunque la identidad de la ingeniería se relaciona y moldea desde la formación y la práctica, los ingenieros tienen identidades de acuerdo con la disciplina en que se forman y con el área en la que se desempeñan, tales como academia, consultoría o asesoría.

Además, debido a que en muchos países la ingeniería se subordina a la ciencia, se ha llegado a menospreciarla y definirla como un oficio y no como una disciplina rigurosa y con identidad propia. Por eso identifican la labor científica como el trabajo en laboratorios de investigación, mientras observan al ingenieril como repetitivo y mecánico. Asimismo, consideran que lavase para la innovación es la ciencia, aunque cotidianamente la ingeniería genera más innovaciones y, por ejemplo, la ciencia de cohetes es más ingeniería que ciencia. De hecho, en NASA se argumenta, justificadamente, que la ciencia de la ciencia espacial es relativamente simple, mientras que la ingeniería de cohetes es bastante compleja. Esta percepción de subordinación afecta la identidad de la ingeniería y se refleja con mayor claridad en la afirmación de que los éxitos tecnológicos representan logros científicos, mientras que las fallas tecnológicas son desastres de la ingeniería.

3. LA INGENIERÍA COMO DISCIPLINA

Una disciplina es un conjunto de convenciones estandarizadas acerca de cómo realizar una actividad específica, que se ha desarrollado en el tiempo y que se enseña de estructuradamente. En este sentido, construir no es una disciplina, pero construir con estándares ISO sí lo es; inventar no es una disciplina, pero la ingeniería sí. En amplia proporción la historia de la ingeniería es la historia de su disciplina, que empezó a tomar forma cuando, en 1676, en el ejército francés se creó el *corps du génie* y desde entonces se asimiló el término

ingeniería a la labor que realizaban: mantenimiento de la artillería y preparaciones para un asalto, entre otras. Antes de ese momento la palabra se asimilaba a cualquier habilidad necesaria para enfrentar una guerra, por lo que un ingeniero era la persona encargada de organizar todo lo necesario para los asedios. Posteriormente, el término *le génie* se empezó a referir a la forma en que los franceses realizaban estas labores, entonces, ingeniería se empezó a reconocer como disciplina.

Al afirmar que antes de 1676 no existía una ingeniería como tal, no significa que la humanidad no tuviera logros tecnológicos que pudieran clasificarse como ingenieriles. Basta con recordar invenciones tales como el hacha, la honda y la lanza; las construcciones funerarias, las pirámides y los canales chinos. Con esta afirmación lo que se quiere indicar es que estos logros no los realizaron mediante un método ingenieril, sino mediante procedimientos desde otras disciplinas o de ninguna; por lo que la historia de la ingeniería es una pequeña parte de la historia de la tecnología.

Posteriormente, y poco a poco, los franceses comenzaron a estructurar cursos formales, es decir, un plan de estudios, para impartir la nueva disciplina a los interesados en ser *ingenieros*. Pero en esos inicios la experimentación curricular era frecuente, llegando a incluir cursos tales como montar, bailar o esgrima. Para 1800, y luego de muchas modificaciones, el plan de estudios se conformó muy parecido al que hoy se imparte, con cursos de cálculo, física, química, dibujo mecánico, estática y dinámica, entre otros. Como se observa, y aunque ese plan de estudios ha sufrido cambios en cada país por políticas de los sistemas de educación, las necesidades de desarrollo o simplemente por imposiciones sin sentido, el que se ofrece actualmente en la disciplina ingenieril difiere muy poco del de esa época.

No obstante, el plan de estudios de la disciplina se reconoce desde 1800, la ingeniería solamente fue aceptada como profesión luego de varias décadas de ejercicio. La razón es que no se podía reconocer como una ocupación mientras fuera una actividad exclusivamente militar, porque hasta ese momento a los ingenieros se les consideraba como oficiales del ejército. Luego que se produce la independencia de lo militar, aproximadamente para 1830, y gracias al desarrollo de los ferrocarriles, la ingeniería se convirtió en la disciplina que podía responder a las necesidades de esta área civil. A partir de ese momento se origina la distinción entre ingeniería militar e ingeniería civil y los ingenieros ocupan un importante escalón en la valoración de las profesiones.

Luego, y como toda profesión socialmente reconocida, la ingeniería empieza a establecer normas moralmente permisibles y que deben respetar todos los ingenieros. Estos estándares son los que se conocen hoy como la ética de la profesión [19] e incluyen seguridad, calidad, fiabilidad y documentación, entre otros. Esto es el reflejo de la influencia que la ingeniería comenzó a tener en el ámbito social y a la importancia que conquistó en términos de conocimiento, diseño, producción y uso de herramientas e infraestructura, además, porque cambió y continúa cambiando el mundo y la forma en que viven las personas.

Otra característica que diferencia a la ingeniería como profesión, es que siempre ha tenido la influencia de las culturas a través de la historia. En este sentido, son bien conocidas las influencias religiosas, militares y civiles que tuvieron los babilónicos, los árabes, griegos, los romanos y los egipcios, para nombrar solamente a algunas de esas culturas. En la Figura 1 se resumen algunos aportes de las mismas.

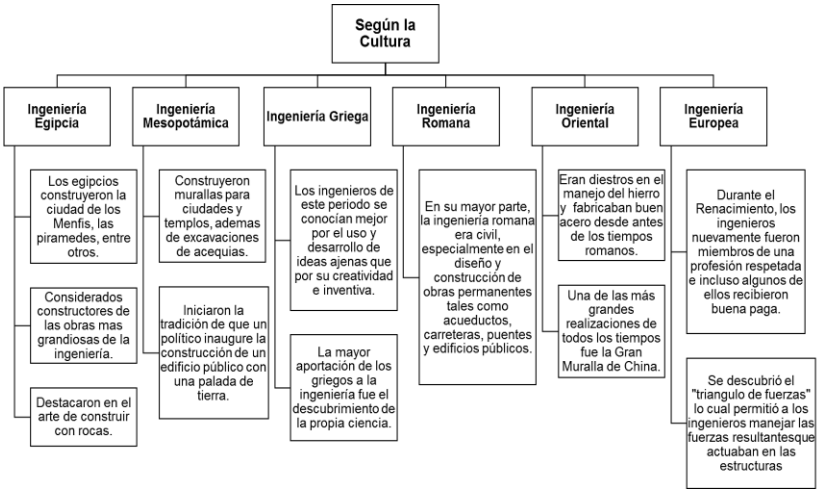


Figura 1. Influencia de las culturas en el desarrollo de la ingeniería

4. IMPACTO DE LA INGENIERÍA

La profesión ingenieril se distingue de otras porque, fundamentalmente, en su ejercicio se requieren habilidades, destrezas y capacidades especiales para comprender y resolver los problemas sociales complejos y desarrollar e implementar soluciones rentables, prácticas y seguras. Esta característica, aunque se podría compartir con otras profesiones en diferentes niveles, hace invaluable el impacto de la ingeniería en el desarrollo y progreso de la humanidad. Para que este impacto sea positivo y logre los objetivos de la labor ingenieril, sus profesionales llevan a cabo una serie de actividades y funciones que, de forma transdisciplinar, se conjugan para resolver un problema:

- *Investigación y desarrollo*: hace referencia a la búsqueda de nuevos conocimientos con el propósito de diseñar modelos y prototipos con las características del producto terminado.
- *Diseño*: función que se ubica entre la Investigación y la producción, es decir, es la preparación para la producción en fábrica o la construcción. En esta función se emplean también simulaciones y pruebas de esfuerzo con el objetivo comprobar el funcionamiento final.
- *Construcción*: se encarga de materializar el diseño del producto solución.
- *Producción*: en esta función se implementan líneas de fabricación para el producto.
- *Operación y mantenimiento*: es la función de control y supervisión de las instalaciones, equipos y maquinarias.
- *Aplicación y ventas*: consiste en ofrecer productos y servicios y desarrollar nuevos mercados, ofreciendo soporte técnico y comercial.
- *Gestión y dirección*: tiene que ver con la administración y liderazgo pata aprovechar los recursos y capacidades empresariales.

En todo caso, y de acuerdo con las necesidades y desafíos de este siglo, la ingeniería debe repensarse como profesión para responder al llamado que le hace la sociedad, en el sentido de solucionar el impacto negativo de sus desarrollos previos. Esta cuestión debe iniciar como procesos formativos y de capacitación orientados a:

1. Evaluar y documentar con precisión el impacto ambiental y social reflejados en el mundo de hoy.
2. Describir con precisión las soluciones que se pueden implementar.
3. Diseñar y validar la eficiencia y eficacia de las soluciones.
4. Proyectar y verificar que esas soluciones no van a generar otros impactos negativos.
5. Adelantarse a los cambios sociales globales que puedan crear la necesidad de nuevos productos o de innovaciones ingenieriles autosostenibles y amigables con el planeta.

5. LA INGENIERÍA INCOMPRENDIDA

La ingeniería y sus productos rodean e identifican a la humanidad en términos de desarrollo y cambio social, cultural y económico. Aun así, es una profesión

incomprendida y menospreciada, en parte porque los impactos negativos de sus invenciones y porque es quizá la disciplina más conocida globalmente. La realidad es que la ingeniería nos define e identifica como personas, pero muy pocas pueden definirla con exactitud o conocen cómo se produce, difunde, aplica, aprende, mide y gestiona el conocimiento que involucran sus creaciones. Por es común que no se incluya en la formulación de políticas relacionadas con ciencia, tecnología e innovación ni en los indicadores asociados. Aunque, como quedó claro al comienzo de este capítulo, generalmente se acepta su relación con la ciencia y que es la disciplina encargada crear, aplicar e innovar la tecnología, también se pasa por alto su influencia en el desarrollo y progreso de las naciones.

Además, si bien la ingeniería es la encargada de enfrentar y resolver los desafíos en términos de, por ejemplo, el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático, para mejorar la calidad de vida de todos los seres humanos, los medios todavía no tienen claridad acerca de qué es ingeniería, ciencia y tecnología ni cómo diferenciarlas. Esto ha hecho que tenga que enfrentar problemas relacionados con su valoración e interés público y político, que se reflejan en la disminución de estudiantes que toman la disciplina como carrera, la creciente escasez de ingenieros en todo el mundo y la fuga de cerebros de países en desarrollo. Pero, aunque el éxito de la ingeniería se refleja en la producción de tecnologías cada vez más confiables, a que tiene más o menos 20 campos principales y más de 100 derivados, cada vez es más una caja negra incomprensible para la sociedad. Esta situación ha generado preocupación acerca de qué esperar para el futuro, porque las generaciones actuales tienen una orientación netamente tecnológica, pero si no comprenden la disciplina que la crea entonces no habrá profesionales para producir e innovar nuevos desarrollos.

Uno de los objetivos de la academia y de los profesionales y asociaciones deber ser el de buscar mejorar la imagen de la ingeniería y lograr que se mejore la apreciación sobre una disciplina que, a lo largo de la historia, siempre ha estado vinculada al desarrollo humano, porque la historia de la humanidad es la historia de la ingeniería. Además, porque es una de las profesiones más antiguas y siempre ha estado vinculada con el progreso de las culturas en todo el mundo, y los desarrollos que permitieron progresar de una Era a otra no se dieron porque se agotaran las piedras, el cobre, el estaño, el hierro o el vapor, sino porque la ingeniería demostró que se requería cambiar la manera en que

se aprovechaban los recursos naturales, mediante tecnología e innovación. La ingeniería fue la base sobre la que se desarrollaron las revoluciones industriales y científicas, hasta arribar a la computación y la ola digital que vive actualmente la humanidad, aportando conocimientos en nuevas tecnologías y materiales. De la misma manera impulsará la ola del desarrollo sostenible, de la mitigación del cambio climático y de la conquista espacial.

En medio de todo esto, la ingeniería también ha sido protagonista en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, desde la infraestructura en transporte, las comunicaciones, la vivienda, la calidad del agua, el saneamiento y la energía, hasta la salud. De hecho, la noción de desarrollados y en desarrollo, para referir a los países, tiene relación directa con sus avances tecnológicos, industriales y de infraestructura. Además, dado que la presencia de la ingeniería denota desarrollo y su ausencia subdesarrollo, se podría decir que, para la humanidad, es un indicador que podría estar a la par o ser más importante que los del Producto Interno Bruto (PIB) o el Índice de Desarrollo Humano (IDH).

6. FUTURO DE LA INGENIERÍA

De acuerdo con el contexto y la argumentación que se ha presentado en este capítulo, se podría afirmar que, sin los desarrollos, las innovaciones y los descubrimientos de la ingeniería, el futuro de la humanidad se estancará. Las ventajas y oportunidades que se pueden disfrutar con una carrera en ingeniería son muchas y, para alcanzarlas plenamente, los jóvenes, las familias, la academia y la sociedad en general deben aunar esfuerzos para que el interés en esta disciplina se mantenga. Este debería ser uno de los desafíos del nuevo siglo, porque las necesidades, los retos y los problemas que la sociedad enfrenta desde ahora, se deben solucionar a muy corto plazo. Además, porque desde comienzos de siglo la humanidad está conviviendo en medio de:

- Problemas y sistemas integrados y transdisciplinares que desbordan el conocimiento convencional, debido a su complejidad sin precedentes.
- Globalización económica, cultural y social sin fricciones, que obliga a los países a repensar sus planes de desarrollo para aprovechar y hacer mejor uso de sus recursos y aprovechar las oportunidades que este nuevo escenario presenta.
- Volumen conocimiento como nunca se había experimentado, que exige profesionales con el ingenio necesario para sacarle el mejor provecho.

- Una generación digital que piensa y actúa diferente, con necesidades y expectativas radicalmente diferentes a las de las anteriores, que reclaman protagonismo en el estudio y solución de esos problemas.
- Un ritmo de vida acelerado y sin control, en el que las personas exigen respuestas inmediatas desde la tecnología y la innovación.

Por lo tanto, es fundamental que la ingeniería recupere y fortalezca su papel protagónico en la sociedad, a la vez que se restructuran los planes de estudios para formar y capacitar ingenieros humanos y profesionales, que aborden este escenario y presenten soluciones éticas, seguras y fiables en beneficio de la humanidad. Para lograrlo hay que forzar a los sistemas, relacionados con la ingeniería, a salirse de sus espacios de confort porque la educación, la cultura, la sociedad, el estado, las políticas y los principios éticos tienen que adaptarse y permitir que la disciplina crezca igual que lo hacen los retos que enfrenta.

A raíz de todo esto la ingeniería debe crear un contexto propio, en el que sus profesionales sean responsables, éticos, ciudadanos del mundo, globales, con pensamiento multidimensional y capacitados para trabajar transdisciplinarmente. Además, ya que la prosperidad, la seguridad y el desarrollo del mundo dependen del nivel de la innovación y el desarrollo tecnológico, el futuro no será diferente y exigirá capacidades sólidas en la práctica, la investigación y la educación ingenieril, para que los ingenieros puedan abordar lo que se avecina. Es decir, para aprovechar las bondades de los descubrimientos científicos, la humanidad exigirá profesionales que indaguen, inventen, creen e innoven productos y servicios.

En el nuevo escenario de la globalidad y de la sociedad del conocimiento, las demandas a la práctica ingenieril revolucionarán el ejercicio de la ingeniería. Si hasta el momento esa práctica pudo agregar valor y generar progreso mediante un proceso vertical, con movimientos lineales y actividades predecibles de I+D, productos de una educación basada en las matemáticas, en el futuro no podrá lograrlo de la misma manera. La globalización hizo que la economía empezara a funcionar horizontalmente, por lo que la práctica de la ingeniería, cuyas actividades agregan valor a los productos, sistemas y servicios, se deben desarticular para distribuirlas a quien pueda realizarlas en cualquier parte del mundo, con buena calidad y al menor costo [21].

Por otro lado, la investigación que se realiza en ingeniería está basada actualmente en un enfoque rígido y disciplinado cuyos resultados deben solucionar problemas. Pero este método empieza a cambiar rápidamente,

porque se hace latente la necesidad de involucrar a la tecnología de la información en cada producto que se desarrolle, por lo que cobran preponderancia las matemáticas discretas sobre las continuas, debido a que ellas son el lenguaje de procesamiento de la información. De esta manera, se diluyen las fronteras disciplinares, en las que se realiza y financia la investigación tradicional, para dar paso a un método transdisciplinar, dinámico y colaborativo de hacer investigación en ingeniería.

7. CONCLUSIONES

En este capítulo se pone de manifiesto la importancia de la ingeniería para el desarrollo y el progreso de la humanidad en toda su historia, también se presentan argumentos para definir esta área del conocimiento como una disciplina. Además, se trata el asunto de la práctica y la identidad ingenieril desde el punto de una profesión que se ha convertido en la base para materializar la ciencia.

Como un tema importante que debería analizar desde las esferas de la academia, la sociedad y la industria, se presenta la incomprensión que se ha tejido desde hace décadas acerca de la ingeniería. Anteponiendo los fallos ante los éxitos, se ha pretendido opacar la influencia y la importancia de la ingeniería para la sociedad. Aunque no se puede negar que sus errores han sido catastróficos, no se pueden priorizar ni relacionar como algo que no se puede superar. Hay que comprender que, como todas las áreas del conocimiento, el desarrollo de la ingeniería debe atravesar por este tipo de situaciones.

Sobra decir que aún hay que trabajar más para lograr que los estudiantes la asuman como una de sus áreas preferidas de estudio, porque deben comprender el impacto de las soluciones ingenieriles en lo social, lo cultural y lo científico, pero sin dejar de lado que se pueden cometer errores, humano o no, y aumentar su sensibilidad a los problemas ambientales, de seguridad, políticos y económicos a medida que se forman y capacitan como ingenieros.

REFERENCIAS

[1] Gaviria, A. (2010). Tres documentos del coronel de ingenieros Francisco José de Caldas. Medellín: Universidad de Antioquia.

[2] Londoño, R. (2010). Aportes y perspectivas de la Ingeniería en el desarrollo humano en Colombia en el devenir de los últimos 200 años. Revista Épsilon 16, pp. 11-30.

[3] Collin, K. (2005). Experience and Shared Practice: Design Engineers' Learning at Work. Jyväskylä: University of Jyväskylä.

[4] Trevelyan, J. (2007). Technical Coordination in Engineering Practice. Journal of Engineering Education 96(3), pp. 191-204.

[5] Vincenti, W. (1990). What Engineers Know and How They Know It. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

[6] Bucciarelli, L. (1996). Designing Engineers. Cambridge: The MIT Press.

[7] Korte, R., Sheppard, S. & Jordan, W. (2008). 'A Qualitative Study of the Early Work Experiences of Recent Graduates in Engineering. In 116th Annual American Society for Engineering Education Conference & Exposition. Pittsburg, USA.

[8] Davis, M. (1998). Thinking Like an Engineer: Studies in the Ethics of a Profession. New York: Oxford University Press.

[9] Sheppard, S. et al. (2006). What Is Engineering Practice? International Journal of Engineering Education 22(3), pp. 429-438.

[10] Jonassen, D., Strobel, J. & Beng, C. (2006). Everyday Problem Solving in Engineering: Lessons for Engineering Educators. Journal of Engineering Education 95(2), pp. 139-151.

[11] Wenger, E. (1998). Communities of Practice: Learning, Meaning and Identity. Cambridge: Cambridge University Press.

[12] Stryker, S. & Burke, P. (2000). The Past, Present, and Future of an Identity Theory. Social Psychology Quarterly 63(4), pp. 284-297.

[13] Tonso, K. (2006). Student Engineers and Engineer Identity: Campus Engineer Identities as Figured World. Cultural Studies of Science Education 1(2), pp. 273-307.

[14] Hogg, M. & Terry, D. (2000). Social Identity and Self-Categorization Processes in Organizational Contexts. Academy of Management Review 25(1), pp. 121-140.

[15] Downey, G. & Lucena, J. (2004). Knowledge and Professional Identity in Engineering: Code-Switching and the Metrics of Progress. History and Technology 20(4), pp. 393-420.

[16] Geistauts, G., Baker, E. & Eschenbach, T. (2008). Engineering Ethics: A System Dynamics Approach. Engineering Management Journal 20(3), pp. 21-28.

[17] Davis, M. (2015). Engineering as Profession: Some Methodological Problems in Its Study. In Vermaas, P. et al. (Eds.), Engineering Identities, Epistemologies and Values (pp. 65-80). New York: Springer.

[18] Davis, M. (2010). Distinguishing architects from engineers: A pilot study in differences between engineers and other technologists. In van de Poel, I. & Goldberg, D. (Eds.), Philosophy and engineering: An emerging agenda (pp. 15-30). Dordrecht: Springer.

[19] Davis, M. (2002). Profession, code, and ethics. Aldershot: Ashgate.

[20] Dettmer, J. (2003). Ciencia Tecnología e Ingeniería. Revista de la educación superior 32(128), pp. 81-93.

[21] Duderstadt, J. (2008). Engineering for a changing world. A roadmap to the future of engineering practice, research, and education. USA: University of Michigan.

CAPÍTULO 3

Qué significa ser ingeniero

Lina Montoya S.[1]
Edgar Serna M.[2]
[1] *Universidad Católica Luis Amigó*
[2] *Universidad Autónoma Latinoamericana*
Medellín – Antioquia

Se podría decir que los ingenieros han existido desde siempre. Los egipcios tenían ingenieros para construir las pirámides y los romanos tenían ingenieros para construir acueductos y caminos. Hoy, los ingenieros juegan un papel clave en la sociedad: inventan cosas, construyen cosas, mejoran lo existente o crean algo nuevo para satisfacer una nueva necesidad. En su trabajo combinan ciencia, tecnología, diseño y construcción, a la vez que vigilan la economía, la seguridad y el rendimiento de sus creaciones. Por eso es que los ingenieros deben tomar su profesión con mucha seriedad, porque, en muchos casos, las vidas de las personas dependen de su trabajo y son legal y moralmente responsables de la seguridad de las personas. En este capítulo se responde a la pregunta de qué significa ser ingeniero, con una perspectiva desde sus responsabilidades, valores y respeto por la ética.

1. INTRODUCCIÓN

El debate acerca de qué significa ser ingeniero tiene origen en las definiciones contradictorias del término que se difunden en todo el mundo, muchas veces, sin un respaldo teórico serio. Estas concepciones disímiles no solamente se presentan entre países, sino también al interior de los mismos. Por ejemplo, en algunos entornos académicos y profesionales se define ingeniero como una persona que aprovecha el conocimiento científico, para resolver problemas del mundo real; otros lo refieren como un individuo que ejerce una ocupación ingenieril; una persona que ha obtenido un grado en una disciplina de ingeniería tradicional; o alguien que ejerce una profesión en la que aplica conocimientos específicos de ingeniería [1]. Pero, en lugar de ofrecer claridad en el tema, estas definiciones dificultan determinar y clasificar las diferentes

[1] Ingeniera de Sistemas, Ms.C. en Ingeniería de Software, Docente Investigadora, Grupo de Investigación SISCO. *lina.montoyasu@amigo.edu.co.*
[2] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. en Ingeniería, Ph.D. en Pensamiento Complejo, Científico Computacional Teórico. *eserna@eserna.com*

disciplinas ingenieriles que cada país acepta como ingeniería propiamente dicha y, por lo tanto, a los profesionales que las ejercen.

Esto se debe a que, desde hace mucho tiempo, el área de la ingeniería en el mundo se dividió en especialidades, tales como militar, civil, mecánica, eléctrica y así sucesivamente. Posteriormente, a mediados del siglo XX surgieron campos como las Ciencias Computacionales y, para finales del mismo, se habían hecho muy populares las Tecnologías de la Información y la Comunicación. Asimismo, muchas asociaciones y universidades se declararon impedidas para clasificar estas áreas como ingeniería y determinaron no reconocerlas como tal. Otras, por el contrario, las aceptaron y las facultades comenzaron a ofrecer programas y a titular ingenieros en cada una de ellas. Este contexto le agregó mayor dificultad a la ya difícil tarea de encontrar una definición ampliamente aceptada para ingeniero, porque mientras algunos afirman que estas disciplinas no tienen el rigor matemático de una ingeniería real, las instituciones pretenden incluirlo en los planes de estudio bajo la figura de una gran cantidad de cursos de matemáticas que, dada la especificidad de su labor, estos ingenieros no utilizarán en el ejercicio profesional.

Quienes eligieron no aceptarlas como ingeniería aducen que las disciplinas se respaldan en teorías y conceptos para lograr soporte y finalidad, con el objetivo de afianzarse y consolidarse como profesiones. Pero que la ingeniería, particularmente, le añade el valor de la práctica, por lo que sus estudiantes deben conocer los principios, finalidad, estructura, gestión y fundamentos que la sustentan para una aplicación cotidiana. Además, aducen que estos profesionales deben tener claridad acerca de los enfoques y conocer su esencia, para comprender el objeto de estudio y la labor que deben desempeñar en los ámbitos profesional, académico y social.

Por el contrario, los estudiantes no tienen un conocimiento claro acerca de qué es ingeniería o qué significa ser ingeniero y, aunque muchas instituciones, profesionales o de educación, intentan presentar cada disciplina como una entidad distinta y alejada de la sociedad en la que se desarrolla y funciona, tales distinciones siempre serán artificiales. La razón es que la dicotomía que se pretende establecer es inadecuada para describir las interacciones y dinámicas con las que una sociedad moldea sus profesiones y profesionales. Esto es especialmente cierto en el caso de la ingeniería, una profesión sujeta a cambios rápidos, pero envuelta con un considerable grado de misterio alrededor de las actividades que desarrollan los ingenieros.

Esas concepciones populares tienen sus raíces en el desarrollo mismo de las culturas y en las concepciones casi mágicas que se hicieron acerca del trabajo de personas que, sin denominarse ingenieros, realizaron descubrimientos y materializaron inventos prácticos que ayudaron a crear naciones y sustentar su desarrollo. Esta actitud de poder hacer, demostrada por ellos y los que posteriormente se graduaron como ingenieros, sigue siendo parte esencial de la autoimagen de la profesión. Pero con el tiempo, esa visión casi mágica del ingeniero adquirió cierto nivel de realidad y aunque puede cambiar rápidamente por influencia del desarrollo y las necesidades sociales, se concibe como facilitador del progreso y la fuerza económica; constructor; creador de sistemas; o proveedor de tecnología.

Pero dichas concepciones no son universales, porque en algunos países se considera como un profesional de menor valía en comparación con otros, algo así como un mecánico o técnico. Por otro lado, y en otras circunstancias, al ingeniero también se atribuyen muchos desastres y los efectos negativos de la tecnología. Sin embargo, hay que reconocer que no siempre es culpable de los errores humanos en el uso o comercialización de los desarrollos tecnológicos, ni de la insatisfacción o el miedo a las consecuencias de sus productos, porque en muchas ocasiones puede que esa no sea su intención. Esta realidad ha llevado a que la sociedad moderna conviva con una dualidad preocupante acerca del trabajo ingenieril: por un lado, es admirado por el ingenio y la practicidad que demuestra en sus creaciones, pero, por otro, se observa como un ser amoral, con poca o ninguna consciencia social, que construye armas y contamina el medio ambiente.

Por eso no es de extrañar que, en la historia de la humanidad, siempre haya tenido una imagen controversial, por ejemplo, en una época en la que la vida se desarrollaba en ambientes hostiles, surgió como un héroe que ayudó a mejorar estas condiciones a través de sus creaciones. Posteriormente, cuando desarrolla aparatos que aprovechan los elementos de la naturaleza sin mucho esfuerzo humano, se consideró un mago, esencialmente porque el pueblo no comprendía el funcionamiento de esos aparatos. Sin embargo, aunque estos roles han quedado obsoletos gracias a los aportes de la ciencia, para muchas culturas todavía permanecen en su memoria. Actualmente, se podría decir que el ingeniero se convirtió en un puente entre los descubrimientos científicos y la realidad material de los desarrollos tecnológicos, que realiza su trabajo y necesita del aporte de muchas disciplinas.

Si en este siglo el ingeniero decepciona porque ya no es un héroe o un mago, es porque el contexto en el que vive es complejo y altamente estratificado, en el que la ingeniería se convirtió en un área repleta de disciplinas, algunas que ni siquiera se pueden considerar ingenierías, que no le permiten sobresalir como individuo. La mayoría de ingenieros trabajan hoy para corporaciones, donde su función es la de un empleado más, con más pluralismo en sus actividades y donde deja de ser la figura individualista de las leyendas pasadas.

En todo esto vale la pena analizar la concepción que hoy tiene la sociedad de la práctica ingenieril y de los ingenieros, porque no se puede ocultar la dependencia que ella tiene de los productos [2]. El asunto es que la vida moderna depende altamente de la tecnología, que aporta bienestar, desarrollo y poder económico, al punto que se podría considerar como indispensable para las naciones, y en la que el ingeniero, más que cualquier otro profesional, es protagonista y proveedor.

Esto no solamente afecta al ingeniero y a la ingeniería, sino que también tiene fuertes repercusiones en la misma sociedad, y se configura en enfrentamientos de concepciones contrarias acerca de cuestiones tecnológicas, mediante fenómeno agotadores, costosos y divisores. Por ejemplo, la confianza o desconfianza en los gobiernos y corporaciones parece girar en torno a esta cuestión, al mismo tiempo que la visión que la sociedad se hace de sí misma está ligada a lo que piensa de la tecnología y de la dependencia que ha generado. Por lo tanto, es importante entender el significado de ser ingeniero, una meta que se aborda en este capítulo con el objetivo de descubrir su imagen, cómo evolucionan las percepciones sobre él y qué efecto tienen para el futuro de la ingeniería.

2. ORIGEN DEL TÉRMINO *INGENIERO*

De acuerdo con las anteriores definiciones, se podría decir que ingeniero es una persona que: 1) obtuvo un título profesional en una disciplina ingenieril; 2) hace parte de una sociedad de profesionales en ingeniería reconocida; 3) obtuvo una licencia que lo acredita como profesional en el área; 4) labora en un área en la que debe aplicar ingeniería profesionalmente. Teniendo en cuenta que muchas de estas características solamente se aplican o exigen en algunos países y para algunas disciplinas ingenieriles, llama la atención que en la mayoría se presupone una comprensión del término *ingeniería*, algo que tampoco tiene claridad actualmente.

En todo caso y resumiendo las diversas definiciones, el ingeniero debe desarrollar y aplicar habilidades, destrezas y capacidades de ingeniería tales como: planificación, diseño, composición, evaluación, asesoramiento, reporte, dirección, supervisión y gestión, además de ser buen observador, comunicar con claridad, ser lógico, escuchar, comprender desde lo abstracto y tener ética a todos niveles, porque su responsabilidad pasa por salvaguardar la vida, la propiedad, los intereses económicos y el bienestar social y el medio ambiente.

La recomendación para unificar alguna respuesta a qué significa ser ingeniero, es analizar el significado y la historia de la ingeniería, un tema que se cubre en el Capítulo 2 de este libro. Pero, aunque por mucho tiempo la labor ingenieril se asoció con motores (del inglés *engines*), hoy se utiliza poco debido a la connotación de ese término luego de la Revolución Industrial [3]. En todo caso, los primeros a quienes se llamó ingenieros fueron los soldados encargados de mantener en funcionamiento las máquinas de guerra en diferentes épocas. Aunque no se podría asumir que eran *ingenieros* en el sentido que hoy se acepta, su labor tenía relación con lo que se denominaba *engines of war*, es decir, sus funciones eran operar, mantener y usar esos motores. Pero una característica, que sobrevivió hasta finales del siglo XVI, era que los ejércitos no existían como tal, ya que se organizaban solamente para enfrentar una guerra y se disolvían al terminar. A esto se debe que estos ingenieros, generalmente, tenían otros oficios civiles en los que desarrollaban habilidades que luego ponían al servicio de la guerra, por lo que ingeniero es un término militar que se heredó de esa época.

Posteriormente, cuando a finales del siglo XVII Francia estructuró el primer ejercito como tal, se vio la necesidad de organizarlos en cuerpos especiales, lo que hoy se conoce como batallón de ingenieros. Este hecho demostró que cuando los individuos se organizan en grupos permanentes, la experiencia se comparte y el conocimiento se puede transmitir a la próxima generación, además los problemas, que en la guerra exigen soluciones inmediatas, se pueden solucionar con mayor prontitud. Para algunos autores estos cuerpos fueron, por un lado, los primeros centros de investigación en ingeniería, ya que entre todos tenían que buscar la manera de que la máquina de guerra no se detuviera [4] y, por otro lado, una escuela en la que se capacitaba a nuevos ingenieros [5]. Esto generó una relación maestro-aprendiz en la que el primero generalmente era un oficial del ejército y el segundo un civil (artesano, carpintero, constructor) que quería ingresar al cuerpo.

Luego, y debido a la formalización de la educación, para el siglo XVII contaban con un currículo y un área de formación (ingeniería), que se comenzaba a comenzado a dividir áreas de interés, tal como militar y civil. Entonces, había que diferenciar a los ingenieros de otros profesionales, tales como los arquitectos, ya que, por un lado, tenían común el que necesitaban realizar planos, describirlos con instrucciones detalladas y supervisar el cumplimiento de las mismas, pero, por otro, los ingenieros tenían mayor formación en matemáticas y física; prestaban mayor atención a las consideraciones prácticas; y eran más disciplinados debido a su formación militar.

3. *SER* INGENIERO

Los ingenieros son profesionales únicos con diferencias significativas del resto de profesiones, porque desarrollan un apetito por la búsqueda de respuestas y, la mayoría, son buenos construyendo y reparando cosas. Por otro lado, una de las características más importantes de cada disciplina ingenieril, que se pueda considerar ingeniería verdadera, es que se basa en la realidad material, además de tener significado e importancia obvia para la supervivencia de la humanidad y el desarrollo social. Esto ha hecho que muchos estudiantes no escojan estas carreras porque todavía manejan el mito de que, para lograrlo, necesitan aprender matemáticas avanzadas. Pero, aunque en muchos casos se puede considerar que la cantidad de ellas en los programas no es más que un aditamento para poder darles el título de ingeniería, la realidad es que un ingeniero las necesita para ejercer su profesión. La cuestión es que, para ser ingeniero, no es necesario ser bueno en matemáticas, desde la visión de memorizar fórmulas y ecuaciones, sino desarrollar la capacidad de aprenderlas y aplicarlas de manera diferente a los demás.

Actualmente, y con el surgimiento de la matemática computacional y los procesos de simulación, en muchos escenarios los ingenieros parecen haber perdido la imagen de inteligentes e ingeniosos que tenían desde hace tiempo. El asunto es que ser buenos en matemáticas necesariamente no es lo es mismo que ser inteligentes; lo que sucede con los ingenieros es que la aprenden de manera diferente, porque, mientras la mayoría de personas desarrolla capacidades de pensamiento verbal, son extremadamente visuales y espaciales. Esto los hace seres únicos en un mundo verbalizado, porque esta capacidad les permite obviar el texto para centrarse en las imágenes y planos y, de esta manera, comprender los principios matemáticos.

La memorización no hace parte de sus habilidades y prefieren tomar las fórmulas y ecuaciones para interiorizarlas y jugar con ellas, mientras, en su cerebro, las alteran, experimentan y les encuentran variabilidad. Por el contrario, un estudiante verbal necesita memorizar las ecuaciones y tener acceso a procedimientos escritos para aprender matemáticas. Esta diferencia entre unos y otros genera mitos como éste, porque los procedimientos hacen que las matemáticas sean aburridas y, por lo tanto, difíciles de memorizar, mientras que los ingenieros son capaces de visualizar las ecuaciones en su cerebro como representaciones físicas de algo abstracto [6].

Ser ingeniero significa desarrollar habilidades de pensamiento visual y espacial y, sin abandonar lo verbal, ser capaz de representar mentalmente la física de los objetos porque, para mejorar su comprensión, los gira, modifica, destruye y ensambla, aunque apenas se encuentren en proceso de diseño. El ingeniero materializa visualmente lo físico antes de descubrir la matemática y lógica de su diseño y fabricación, pero cuando el objeto ya está construido, lo desacopla en su mente para extraerle los principios de funcionamiento.

Además, los ingenieros son auto reflexivos debido a que necesitan analizar los problemas y crear ideas que permitan estructurar una solución y, aunque no se pueda afirmar que todos los ingenieros lo sean, esto requiere humildad para aceptar la ignorancia en ciertos temas. Porque, para ser ingeniero no es suficiente con la experiencia acumulada, ni el pensamiento visual-espacial, también se tiene que ser consciente de que en cualquier momento se puede cometer un error, por lo tanto, hay que reflexionar, dudar e indagar por todo lo que no se puede visualizar o se desconoce completamente. Esta es la realidad de la profesión, ya que los problemas que se pueden resolver con ingeniería raramente son simples y su complejidad demanda altos niveles de autorreflexión, intuición e ingenio.

Ser ingeniero también significa investigar el mundo material y desarrollar voluntad para enfrentar un problema, la cual se fortalece con el desarrollo de la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva [7] y utilizarla como método de resolución [8]. La lógica no solamente ofrece la posibilidad de comprender los objetos materiales, sino también innovarlos y adaptarlos como soluciones en contextos para los que no fueron construidos. Esta capacidad diferencia a ingenieros y científicos, porque ellos materializan lo que estos teorizan y, como expresa Glegg [9], puede que los científicos sean buenos descubriendo estrellas y planetas, pero no son capaces de construir ninguno; para eso

tendrían que llamar a un ingeniero. Aunque suene arrogante, la expresión de este autor hace reflexionar acerca de cómo conciben su trabajo, porque, aunque se considere una obra de arte, ellos no se consideran artistas.

Los ingenieros conocen y utilizan la lógica, la abstracción y las leyes físicas, pero desarrollan habilidades que consideran con mayor grado de utilidad, tales como sensaciones, intuiciones y visión prospectiva. Algunos autores manifiestan que la importancia y protagonismo que los planes de estudio les dan alas matemáticas en ingeniería, no tiene una base sólida debido a que lo justifican solamente desde lo teórico y la memorización [10]. El ingeniero debe intuir y proyectar las realidades físicas y para eso necesita moldearla en su mente, algo que una fórmula o una ecuación no se lo permite, porque aprenderla de memoria no garantiza que en el futuro pueda recordarla o establecer un contexto en el que puede serle útil para resolver un problema. Por eso deben tener sentido intuitivo, porque la comprensión e intervención de la realidad real siempre se basará más en el arte que en la ciencia.

Por otro lado, y luego de desarrollar las capacidades que se han descrito, el ingeniero tiene que aprender a tomar riesgos, pero lo debe hacer bien porque hacerlo sin sentido le puede acarrear enormes consecuencias. Esta característica es propia de un buen ingeniero, alguien que ha alcanzado una personalidad sólida porque confía en sus habilidades y destrezas, pero que siempre le impregna un sentido de preocupación [11]. Esta preocupación tiene sustento no solamente en la posibilidad de no controlar los riesgos, sino en el hecho de que el ingeniero resuelve problemas que no tienen una solución modelo que puedan aplicar, por lo que tienen que inventar todo el tiempo. Alguien podría decir que esta preocupación es infundada ya que la física no cambia, pero cada obra, aparato, dispositivo o maquinaria tiene características que lo hacen único e irrepetible. Por eso es que ingeniería es sinónimo de ingenio y, en este contexto, no se puede trabajar sin riesgos.

Otra característica de ser ingeniero es que estos profesionales deben resolver problemas y crear y descubrir cosas, inmersos un universo de restricciones, tales como las leyes naturales, las limitaciones de los materiales, el tiempo, los costos, la tecnología existente y la especificidad de su creación. Mientras que para otras profesiones esta realidad puede parecer desalentadora, para el ingeniero verdadero, y en virtud de sus habilidades y destrezas, se convierte en un desafío que debe enfrentar. Por lo tanto, su trabajo no es crear el mejor dispositivo, sino hacerlo en el menor tiempo, al menor costo y con la mayor

eficiencia, a la vez que le impregna una dosis de su personalidad y carácter. Para lograrlo debe ser metódico e ir directamente al grano, cuestiones que generan una imagen en la que se representa como parco, seco, tedioso y poco creativo. Pero esto no pasa de ser una representación mental errada, debido a que no son inherentes a su personalidad, sino evidencia de que ha dedicado su vida a resolver problemas complejos. Su personalidad queda manifiesta en sus creaciones, adornada con una aureola de ingenio y responsabilidad social.

En el plano social, ninguna persona tiene que buscar una manera especial de ser ingeniero, porque la comunidad está conformada por diversidad de integrantes, cuyo objetivo es pensar qué inventar o innovar para responder a una sociedad diversa; buscan cómo hacer mejor al mundo (aunque no siempre lo logran), porque son capaces de ver todo aquello que tiene una base matemática, mecanicista y cinemática en el mundo y armar soluciones a los problemas más complejos. Además, en esa realidad encuentran las conexiones y las relaciones entre ciencia e ingeniería, y las aprovechan para construir dispositivos que permitan una mejor calidad de vida. Estas características son las que diferencian a un ingeniero de otros profesionales, porque mientras ellos buscan construir nuevas realidades, los otros buscan entender esa realidad. Pero ese contexto en el que desarrollan sus capacidades les exige ser valientes y resistentes para defender lo que es correcto y, en muchas ocasiones, ejercer su labor alejados de los ambientes cómodos y seguros.

En definitiva, para ser considerado un buen ingeniero no basta con desarrollar capacidades y habilidades artísticas, o dominar los recursos y fuerzas de la naturaleza para diseñar soluciones ingenieriles a determinados problemas de la sociedad y de la humanidad, tampoco basta con dominar las matemáticas y los principios científicos. Porque todo eso es necesario, pero debe estar acompañado de una amplia dosis de inventiva, innovación, creatividad, calidad humana, gestión, trabajo en equipo, comunicación asertiva, consolidación, diseño, estructura y estética. De otra manera, el ingeniero se convierte en un dato de catálogo, limitado a emplear las técnicas, métodos estandarizados de procedimientos, cálculos y especificaciones que manda la ingeniería, pero sin ejercitar su creatividad e inventiva en su qué hacer cotidiano.

4. LA REALIDAD DE *SER* INGENIERO

Frente a las demandas de las empresas por ingenieros en el siglo XXI, es importante conocer las perspectivas que permite comprender la esencia y las

características que se debe tener al *ser Ingeniero*, tal como se observa en la Figura 1.

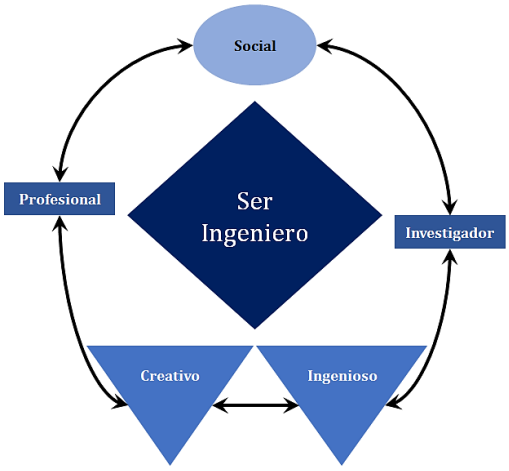


Figura 1. El ingeniero desde la perspectiva del *ser*

4.1 Ser social

La sociedad actual es una sociedad de consumo, cientificista, tecnócrata, de masas en la que por diversos factores los individuos se han convertido en seres estandarizados y despersonalizados; además, es una sociedad en la que el sistema de educación poco hace por formar personas y capacitar profesionales, que se caractericen por ser íntegros y con pensamiento holístico. Para la mayoría de la generación actual prima la tecnología, la ciencia, la economía, la política, lo urbano, las apariencias y lo individual, y pocos conciben y trabajan con el objetivo de alcanzar el desarrollo integral y auténtico donde se conceda prioridad a lo social [12].

En esta sociedad los ingenieros juegan un importante rol, porque deben ser planificadores, diseñadores y constructores y, en el desarrollo de estas funciones deben tomar decisiones acerca de aspectos claves para la supervivencia social, tales como medio ambiente, sostenibilidad, salud y desarrollo. Por otro lado, y ya que la despersonalización de la educación y la vida misma parecen no tener soluciones a corto plazo, el ingeniero social seguirá siendo importante en el futuro, donde deberá afrontar problemas complejos donde, dada su formación, tendrá que desarrollar productos en los que la seguridad y la fiabilidad se anteponen a los intereses económicos individuales. Esta dimensión social la debe integrar en la planificación de su trabajo, porque esto será garantía de que el producto solucionará el problema, a la vez que no tendrá efectos secundarios para la vida humana.

Otra cuestión que el ingeniero social tiene que integrar en su trabajo se relaciona con la manera como los equipos se integran actualmente, es decir, transdisciplinar y multidimensionalmente. Esta estrecha labor entre disciplinas permite asegurarse que se analizan y tienen en cuenta aspectos sociales que no se pueden apreciar en el aislamiento. A esto se suma que la ingeniería de hoy es una labor global, cuyos componentes sociales pueden variar entre una cultura y otra, entonces el ingeniero necesitará escuchar a todos para realizar las modificaciones necesarias producto de las opiniones de las otras disciplinas. Por todo esto es que, para ser buen ingeniero, es importante comprender los procesos sociales, involucrados o no, en diseño, fabricación e implementación de los productos ingenieriles.

Sin importar el problema social que necesite solucionar, el papel del ingeniero social es muy importante en todos los contextos; por eso se recomienda que la práctica, la investigación y la innovación que realiza el ingeniero deben tener alto componente de comprensión de los procesos sociales. Esto implica desarrollar habilidades y capacidades desde sus estudios y en el ejercicio de la profesión, a la vez que mejora su destreza para trabajar con otras disciplinas. Por otro lado, también conviene preguntarse si esta responsabilidad es solamente del ingeniero y su profesión, o la misma sociedad también tienen algo que ver [13].

Porque muchos de los impactos que los desarrollos de la ingeniería han tenido en la sociedad aparecieron luego que se pusieron al servicio humano, es decir, el ingeniero no podía conocerlos porque no estaban en uso. Este es el caso de la contaminación atmosférica y los residuos sólidos, porque cuando se lograron desarrollos como el auto y los computadores no se podía conocer sus efectos sobre el planeta. Primero había que ponerlos en uso, con el objetivo social con el que fueron diseñados, y esperar a que la sociedad los adoptara y consumiera. No se pueden negar los beneficios de ninguno de ellos y, si su implementación originó los efectos que se conocen hoy, para los ingenieros que lo hicieron realidad era casi imposible adelantarse y presupuestar las numerosas diversificaciones que la misma sociedad les hizo [14].

4.2 Ser profesional

En todo el mundo se diseña códigos de conducta profesional para los ingenieros, pero en los procesos educativos y las organizaciones profesionales es un tema al que se presta poca atención. Estos códigos, concebidos como

hoja de ruta para una vida profesional, necesitan mayor vigilancia por parte de las universidades debido a que estos egresados se convierten en embajadores ante la sociedad en general [15]. Además, los ingenieros se deben preocupar por conocerlos y consultarlos a la vez que colaborar en su diseño, porque su responsabilidad profesional tiene connotación personal, tanto como institucional. Debido al enfoque mecanicista del currículo actual, orientado a las ciencias básicas y las áreas específicas de la ingeniería, esta responsabilidad social y las discusiones sobre el ingeniero profesional son frecuentemente subestimadas [16].

En ingeniería es importante tener en cuenta el profesionalismo porque, en parte, determinan la calidad, la empleabilidad y la responsabilidad de los ingenieros en la práctica, aunque apenas comienza a llamar la atención como campo de investigación [17, 18]. Además, porque es una manera de demostrar capacidades de respuesta eficaz y eficiente y, en un contexto global, de adaptación a los cambios tecnológicos y organizacionales, a las condiciones cambiantes del mercado, las necesidades y demandas del cliente y a las políticas y regulaciones internacionales [19]. Este contexto organizacional les exige a los ingenieros una buena preparación para comprenderlo en su trabajo [20].

En este sentido, y para adaptarse a las nuevas tendencias que vivirán en la vida laboral, necesitan [19]: 1) una capacitación global y movilidad transnacional, 2) aprender a investigar, 3) cualificarse a través de la práctica, y 4) conocer las necesidades de la ingeniería en ese contexto global. Otras características en el nuevo siglo es la acelerada acumulación de información y conocimiento y de desarrollo tecnológico. Entonces, el ingeniero necesita gestionarlas mediante habilidades, destrezas y capacidades que todavía no se contemplan como necesarias; se debe enfocar en un área de estudio específica para obtener una amplia base de conocimiento, pero estudiar a profundidad una especialidad. Además, debe comprender otras culturas, hablar otros idiomas y descubrir el lenguaje que le permita comunicarse con pares de otras disciplinas [21].

Como profesionales en ese nuevo entorno, deberán desarrollar adecuadamente sus habilidades para comunicarse de forma escrita y oral, mediante presentaciones y documentos que reflejen sus capacidades. Esto se enmarca en el ritmo al que se materializan las tendencias actuales en el mercado global y que, posiblemente, se acelerarán a medida que la ingeniería encuentra nuevos retos que satisfacer en la sociedad. En todo caso, su

responsabilidad profesional es mayor que la de otras disciplinas, porque las obras que realiza son, generalmente, materiales, y están al descubierto, es decir, el ingeniero no puede negar ni ocultar lo que ha hecho. Por eso, si no funciona, queda señalado como ninguno otro.

4.3 Ser investigador

Debido a que los productos de la ingeniería deben ser competitivos en la economía global, la financiación de la investigación en esta disciplina está cambiando a un ritmo sin precedentes en la mayoría de países [22]. De la misma manera, las expectativas sociales por los resultados de se incrementa, esperando mayor calidad, fiabilidad y seguridad. Por eso es que se espera que en los procesos formativos los ingenieros reciban buena capacitación para formular y llevar a cabo proyectos de alto impacto.

En esta época de cambio en cuanto al apoyo a la investigación de los ingenieros, por lo menos en los países desarrollados, se extiende a diversos campos de la investigación científica, porque una sin la otra no pueden concretar productos y soluciones a los complejos problemas sociales [23]. Pero se deben diferenciar en cuanto a métodos y naturaleza asociados, por ejemplo, la investigación científica busca descubrir fenómenos nuevos e integrarlos en modelos conceptuales coherentes con los principales sistemas físicos o biológicos conocidos. Por eso es que la mayor parte del conocimiento científico que se genera, demuestra utilidad en técnicas de valor económico y social.

Por su parte, la investigación del ingeniero se orienta a descubrir y estructurar el conocimiento de forma sistemática y conceptual [24]. Por eso es que desarrollan, diseñan, construyen y utilizan dispositivos, estructuras, máquinas y sistemas de valor económico y social. Lo que ha hecho que se acepte de forma generalizada que la investigación en ingeniería se basa en el valor anticipado de una aplicación. En todo caso, no siempre se pueden anticipar todas las aplicaciones potenciales, porque en el proceso se puede perder interés o surgen cambios en las condiciones y necesidades iniciales.

Este escenario ha hecho que el ser investigador de los ingenieros, a diferencia del de los científicos, se oriente no sólo a aplicar o descubrir el conocimiento de los fenómenos naturales, sino también a cómo puede utilizarlos para atender las necesidades de la humanidad. Para lograrlo debe tener en cuenta variables tales como costo, compatibilidad, producibilidad, seguridad y adaptabilidad de sus productos a las diversas condiciones y entornos externos

de utilización. Por lo tanto, su investigación debe integrar conocimientos, técnicas, métodos y experiencias de muchas disciplinas.

Entre muchas otras el ingeniero debe desarrollar capacidades para optimizar el uso y aplicación de las ciencias básicas y las matemáticas, la simulación por computador y para aplicar métodos analíticos y experimentales, tanto cualitativos como cuantitativos [24]. Aquí juega un importante papel la formación en ingeniería, porque la capacitación en investigación es importante para lograrlo. Además, el ingeniero debe mantenerse al día en cuanto al surgimiento permanente de conocimiento y de métodos cada vez más útiles para desarrollar el poder de la ingeniería en la práctica. Los problemas que hace unas décadas se consideraban de alta complejidad como para resolverlos con ingeniería, hoy se han vuelto solucionables gracias a la capacitación que los ingenieros han desarrollado en investigación.

Algunos autores señalan que, por mucho tiempo la industria no notó el poder de investigación de los ingenieros y, en muchos casos, entró como en un letargo consciente de esta nueva capacidad y disposición para adoptar los nuevos métodos en cada solución [25]. En ese tiempo se acumuló una alta cantidad de conocimiento que no parecía tener aplicación práctica, pero gracias al ingenio que desarrollaron estos profesionales, encontraron diversas maneras de ponerlo al servicio de la humanidad y lo materializaron en la forma de productos, innovaciones y sistemas a corto y mediano plazo.

Pero no siempre el conocimiento derivado de la investigación científica encuentra campo de aplicación en la ingeniería, entonces el ingeniero debe experimentar con métodos empíricos y heurísticos para encontrar lo que necesita en su investigación [22]. En muchos casos han sido los productos desarrollados de esta manera los que originan principios y teorías científicos. Lo que hace que la investigación sea más exhaustiva en la producción de datos cuali-cuantitativos con el objetivo de mejorar el rendimiento, la economía y la aplicación de cada invención.

En resumen, el ser investigador del ingeniero le desarrolla capacidades únicas para comprender y resolver los problemas en el mundo, proporcionando fundamentos sistemáticos para diseñar, analizar, producir y utilizar productos y sistemas. Este enfoque de investigación puede ser arriesgado, difícil, generalizado y avanzada en el tiempo, porque no siempre encuentra un objetivo de amplia aceptación o comprensión social o industrial. Este panorama ha hecho que el concepto de ser investigador no se comprende

fácilmente en la ingeniería, al tiempo que se confunde con la labor científica. Por lo tanto, debe ser el valor de sus productos la característica que mejor identifique esta labor ingenieril.

4.4 Ser creativo e ingenioso

Los problemas complejos que enfrenta la humanidad en este siglo, tales como alimentación, vivienda, salud, transporte público, energías limpias y seguras, entre otros, exigen soluciones creativas, ingeniosas y amigables con la naturaleza y el planeta [26]. Por eso, y en la misma medida que estos problemas se acercan a necesidades tecnológicas, se necesitan ingenieros creativos y con el ingenio necesario para resolverlos. Esta es una exigencia social que se debe atender desde la academia, donde la capacitación de ingenieros se debe asumir con responsabilidad y el mejor interés, para desarrollar o potencializar estas capacidades en los estudiantes.

Aunque no se pueda afirmar que los logros en este sentido sean los mejores, se espera que la academia modifique la forma en que atiende esta demanda. A pesar de todo lo que escribe y discute acerca de la importancia de formar a los ingenieros en la resolución de problemas y el pensamiento crítico, la mayoría de escuelas de ingeniería todavía funcionan como hace un siglo, es decir, bajo el formato conferencia-tarea-prueba, sobre ejercicios bien definidos y buscando respuestas correctas únicas [27]. Desafortunadamente, para las necesidades de la sociedad actual y las expectativas de las nuevas generaciones, este formato no desarrolla las habilidades, destrezas y capacidades de pensamiento necesarias en la actualidad.

El ser creativo e ingenioso es una cualidad que necesita el ingeniero para ejercer su ejercicio profesional de forma responsable y eficaz, por lo que es importante que desarrolle un pensamiento lógico-creativo acorde con el contexto social. Por eso es que se debe modificar la manera en que se capacitan, no solamente a través de hechos y cuestiones preparadas con anterioridad y con la seguridad de que funcionan, sino mediante problemas reales a los que se busca alguna solución en clase, con la participación de todos y mediante pensamiento lógico [28]. En el mundo fuera del aula el ingeniero debe estar capacitado para comprender problemas y diseñar estrategias de solución, determinar qué información necesita y descubrir dónde y cómo obtenerla, además de evaluar las implicaciones de su implementación más allá de un contexto netamente técnico.

La creatividad y el ingenio son herramientas poderosas que le facilitan al ingeniero encontrar maneras de crear e innovar, de tal forma que pueda priorizar efectivamente las necesidades de soluciones novedosas a los problemas de la humanidad. En este sentido, los estudiantes se deben enfrentar a problemas no resueltos y tomar como ejemplo los casos de éxito y de fracaso, para que la aplicación de sus habilidades de pensamiento y de resolución de problemas se conviertan en rutinarias durante su ejercicio profesional. Este patrón creativo incluye realizar actividades tales como inventar, diseñar, idear, componer y planificar, porque una persona creativa e ingeniosa tiene ideas nuevas y novedosas [29].

Para diversos autores la creatividad y el ingenio son las más importantes de todas las actividades ingenieriles [30-32], porque son el primer paso a la materialización de las teorías científicas en productos que brindan comodidad y seguridad a la sociedad [33]. Pero, aunque se aceptan como claves para la innovación y la resolución de problemas, estos temas rara vez se expresan, investigan o estudian explícitamente en los planes de estudios de la ingeniería [34]. La cuestión es que los problemas que enfrentan actualmente los ingenieros les demandan pensamiento original, a la vez que, para ser competitivas, las empresas dependen de ellos para desarrollar nuevos productos para la innovación [35].

5. RESPONSABILIDADES DEL INGENIERO

Tradicionalmente, el ingeniero ha tenido un amplio reconocimiento social y en diversas culturas se le atribuye cualidades de héroe, inclusive de inventor y mago. Estas atribuciones le generaron grandes responsabilidades que, por diversas circunstancias, han hecho que esta imagen se comience a desvanecer. Como resultado, la sociedad desarrolló una percepción dual en la que, por un lado, se le admira por su inventiva, capacidad y practicidad, mientras que, por otro lado, a menudo se le atribuye poca conciencia y responsabilidad social. Grandes sectores sociales y culturales desconfían de los desarrollos tecnológicos y ofrecen resistencia al trabajo ingenieril, porque consideran que los ingenieros perdieron su liderazgo y protagonismo, para convertirse en miembros anónimos de un equipo de trabajo o en soldados rasos de los ejércitos corporativos.

Puede ser que, en muchas ocasiones, estos grupos tengan razón, debido a las implicaciones de la práctica de la ingeniería. Pero, en términos reales y

generales, se puede considerar como una reacción exagerada, ya que son más los aciertos que las fallas en el trabajo de los ingenieros. El hecho de que hoy no sea el protagonista principal en los desarrollos tecnológicos se debe a diversas razones: complejidad de los problemas, transdisciplinariedad, especialización disciplinar, inmediatez, costos y muchos más, que la sociedad no tiene en cuenta al hacer sus juicios. En este mismo sentido, un argumento relacionado con esta nueva imagen se relaciona a la amplia diversidad que se ofrece entre las disciplinas de ingeniería. Porque a mayor cantidad de ramas separadas menor es el grado de especialización de los ingenieros, que a su vez ha reducido la cohesión de la profesión, al punto que en su ejercicio tiene menos compromisos y valores compartidos porque pertenecen a otros integrantes del equipo.

En todo caso, una de las características más importantes que debe tener todo ingeniero es asimilar y gestionar el cambio, debido a que la mayoría de sus productos son disruptivos en el trasegar de la sociedad. Por ejemplo, la automatización es uno de los cambios tecnológicos con mayor significancia actualmente, lo que ha llevado a algunos a suponer que sus efectos negativos podrían ser mayores que los generados por el problema ambiental. Entre sus argumentos sobresale la pérdida de empleos que genera la automatización, pero no tienen en cuenta que, de la misma manera, crea puestos de trabajo en diferentes sectores. El asunto es que, asimismo, los nuevos empleados deben estar capacitados para el ejercicio en estos ambientes, porque esos cambios en la tecnología generan nuevas industrias y nuevas demandas que amplían las oportunidades de empleo. Una cuestión de la que el ingeniero se debe concientizar es que la humanidad requiere intervenciones sociales y tecnológicas cuidadosamente pensadas, diseñadas y ejecutadas.

Una de las cualidades más importante del ingeniero es que debe seguir de cerca el mercado de los bienes y servicios que suministra. Tanto disciplinar como individualmente, el profesional de la ingeniería es responsable de la demanda social, una situación que genera inconvenientes al sistema educativo y al ejercicio de la ingeniería, porque todavía no se puede afirmar que estén claramente definidos y establecidos para esta sociedad. Por lo tanto, la adaptabilidad del ingeniero a cada contexto es clave, debido a que contribuye a la seguridad económica, pero a la vez es una debilidad en el sentido de que su ejercicio profesional depende de fuerzas, estructuras y políticas que no están bajo su control.

Una forma de atender estas responsabilidades ha sido crear una amplia diversificación entre las disciplinas ingenieriles. Es decir, debido a que no era posible responder a las exigencias sociales en todos los campos la ingeniería se separó en ramas, lo que generó una tendencia hacia la especialización limitada de los ingenieros para cumplir con sus responsabilidades. Esta diversidad, aunque sirvió para satisfacer la demanda social, redujo la cohesión de la profesión, de tal manera que en el tiempo se reducido el sentido de los compromisos y los valores compartidos en ingeniería. Aunque esto se está revirtiendo actualmente con los desarrollos científico-ingenieriles que generan nuevas áreas de acción para el ingeniero, a la vez que responsabilidades más estrechas desde lo profesional, lo ético y lo humano.

En términos prácticos, algunos de estos desarrollos, tal como la automatización, han generado una especie de revolución tecnológica en la que el *desempleo especializado* se convierte en una amenaza para la profesión del ingeniero. Por lo tanto, se tiene que especializar en nuevas áreas productivas, por ejemplo, el sector manufacturero y el de servicios, en los que sus responsabilidades profesionales cambian. Además, si no se especializa, esta revolución va a generar oportunidades laborales con características en las que no podrá ser competitivo. Pero, al mismo tiempo, estos cambios crean nuevas industrias y demandas que alteran el ejercicio de la profesión y, si la ingeniería y la sociedad manejan bien esta situación, las responsabilidades del ingeniero serán las de mejorar en general la calidad de vida.

6. EL UNIVERSO DEL INGENIERO

Los ingenieros potencializan o desarrollan una capacidad lógico-interpretativa y abstractiva [36] que necesitan para ejercer su profesión en un universo. En parte, porque la concepción popular es que en ese universo germinan las raíces del progreso de la humanidad y del establecimiento de las diferentes culturas. Estas concepciones se entrelazan con las capacidades, habilidades y destrezas del ingeniero, que le permiten ser inventivo, ingenioso y lógico para intervenir dicho universo, tal como se observa en la Figura 2. Porque la actitud de poder y hacer se convierte en una parte esencial de su ejercicio profesional, ya sea para proteger al Planeta, conquistar el cosmos o descubrir medicamentes y tratamientos para prevenir enfermedades.

Pero este universo no siempre fue así debido a que la profesión ha tenido diferentes aceptaciones en el tiempo. Por ejemplo, antes se concebía como

facilitadora del *progreso* y, por lo tanto, del fortalecimiento económico de los países, ya que el ingeniero era el constructor de puentes, centrales eléctricas y ciudades; además, con su labor mejoraba el transporte, las comunicaciones y los sistemas de salud. Pero hoy es el creador de nuevas tecnologías que han revolucionado la vida en el hogar y en el trabajo, a vez que se convierte en la máquina que impulsa la industria.

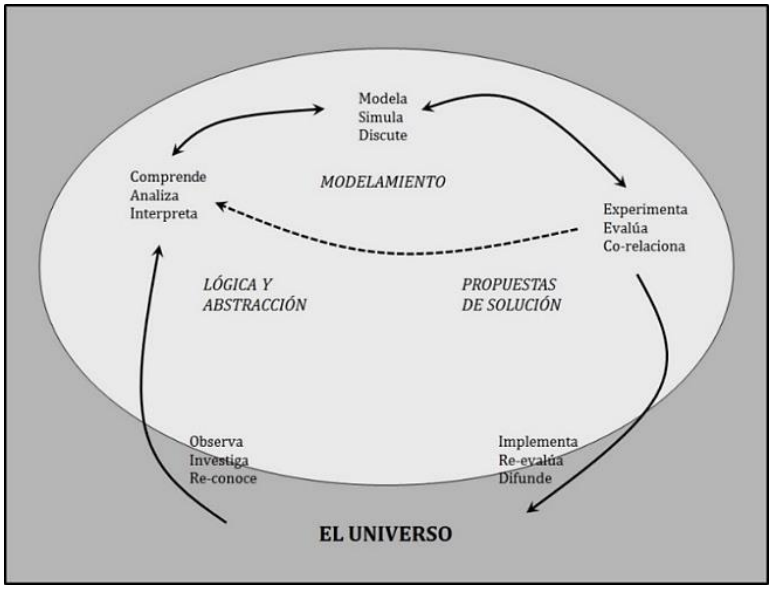


Figura 2. El universo del ingeniero [36]

En este universo el ingeniero alimenta la fascinación por el progreso y el desarrollo, porque su capacidad e ingenio es técnicamente impresionante. Entonces ha pasado de ser el *heroico* de antes al *mago* de hoy, que desarrolla su trabajo en una relación estrecha con el científico y la ciencia de hoy. Sin embargo, estas visiones también involucran un grado de desconfianza en la tecnología, debido a que muchos de sus productos no satisfacen a la sociedad y, por el contrario, generan temor a sus consecuencias. Esta situación es un elemento nuevo y significativo en el universo del ingeniero, porque gran parte de la sociedad se mantiene a la expectativa de los resultados de su trabajo, ya sea para aceptarlo y aprovecharlo o para negarlo y desecharlo.

Por eso es que el ingeniero de este siglo debe aprender a vivir y ejercer su profesión en medio de una dualidad preocupante: por un lado, una sociedad que lo admira por su ingenio, capacidad y practicidad para desarrollar productos en beneficio de la humanidad; pero, por otro lado, aquella que lo observa como amoral, corporativo y sin conciencia social, debido a que construye armas devastadoras, fabrica contaminantes y desarrolla tecnología

insegura. En su favor, hay que decir que gran parte de esta dualidad se genera en la confusión general que se tiene acerca de lo que significa ser y ejercer como ingeniero en el mundo globalizado.

Aquella imagen del ingeniero heroico se conformó en una época de fronteras físicas entre naciones, donde la vida cotidiana era dura y sobrevivir era el objetivo. Entonces sobresalía el individuo y la aparición del ingeniero civil, que construía obras para sopesar la existencia, o el ingeniero mecánico que desarrollaba aparatos para aliviar la jornada laboral, o el ingeniero eléctrico que llevaba confort a la casa o el lugar de trabajo, hicieron que, como personas se distinguieran de alguna manera como salvadoras de la época (*héroes*).

Pero ese rol de inventor solitario se quedó en la historia, porque con el fortalecimiento de las disciplinas ingenieriles la labor del ingeniero se convirtió en un esfuerzo colectivo, en el que el individuo un lugar en la jerarquía y su papel se reduce a miembro del equipo. Por lo tanto, esa visión tradicional sufre alteraciones debido a los juicios divergentes entre las ramas ingenieriles, por lo que el ingeniero se debate entre ser corporativo o consultor privado y entre ser académico o investigador de la industria.

Pero el universo del ingeniero se complica aún más con la diversificación y el surgimiento de la amplia variedad de divisiones y subdivisiones de la ingeniería que, junto con la pluralidad de necesidades sociales y campos técnicos, considerados de consorte ingenieril, relegan en gran medida el reconocimiento a su labor. Además, no se puede olvidar que, desde mediados del siglo XX la educación en ingeniería se centró en el dominio de las Ciencias Básicas, un enfoque que contribuyó a que en el universo del ingeniero se descuidaran los problemas socio-técnicos [37].

Entonces, si en el universo actual el ingeniero decepciona, si su papel de héroe se ha menguado o desaparecido, se debe a que hoy habita y trabaja en el mismo mundo complejo y altamente estratificado en el que surgen los problemas sociales y vive la humanidad que lo confronta. En este mundo, la mayoría de ellos trabaja para corporaciones multinacionales, cuyas estructuras administrativas los relegan a roles de trabajador común. Esto no quiere decir que no ejerza sus funciones profesionales, porque, en muchos sentidos, ellas son su esencia en relación con otros profesionales, las máquinas y los sistemas; lo que pasa es que el contexto cambia enormemente. En este universo prima el pluralismo de actividades y, por lógica, ha dejado de ser aquella figura heroica individual de otras épocas. Es decir, su papel y, por lo

tanto, su imagen, tuvo que cambiar con el tiempo en la misma medida que lo hacía el producto que la sociedad le exige.

Esta situación ha generado movimientos sociales que claman por el mejoramiento de la formación y capacitación de los ingenieros, con el objetivo de que la ingeniería sea una disciplina con amplia dimensión de compromiso social. Por ejemplo, Schneider y sus colegas [38] proponen denominar las funciones del ingeniero como *ingeniería para ayudar*, mientras que Litchfield y Javernick [39] afirman que esto genera problemas porque podría surgir una perpetuación del modelo conceptual de necesidad-ayuda, porque proponen denominarlas *ingeniería socialmente comprometida*. Movimientos como estos buscan que la labor del ingeniero se oriente ayudar a las personas a la vez que atienden las necesidades sociales. La recomendación es que se deberían preparar desde lo técnico como de lo social, porque sus soluciones tienen que ser exitosas en todos los campos: sociales, políticos, económicos y humanos. Pero, de acuerdo con Mitcham y Muñoz [40], estas iniciativas deben tener en cuenta las *limitaciones globales* del ejercicio profesional de los ingenieros y cómo aprovechar las herramientas disponibles para cumplir esta meta.

Como resultado de estos movimientos y de la conciencia que viene adquiriendo la ingeniería en las últimas décadas, en las universidades se ha incrementado la preocupación por formar a los ingenieros como personas y capacitarlos como profesionales, porque han descubierto que es posible combinar sus intereses y pasiones con actividades comprometidas socialmente [41]. Aunque todavía quedan restos de una visión tradicional del ingeniero que se deben solucionar, en la que se observa como un profesional inteligente y trabajador, pero mal comunicador, aislado, cuadriculado y falto de objetivos. Si todas las alteraciones y visiones que ha sufrido el universo del ingeniero a lo largo del tiempo, dieron como resultados la crisis actual por la falta de estudiantes en las disciplinas ingenieriles [42, 43], en muchos sentidos, si se atendiera adecuadamente la petición de cambios y el mejoramiento en la formación y capacitación de estos profesionales, podría ayudar a que más personas quieran estudiar y trabajar en ingeniería.

7. EL INGENIERO ÉTICO

¿Por qué la ética debe ser parte integral de la vida profesional de los ingenieros? La importancia de la misma en las profesiones se puede entender mediante el raciocinio de ¿qué es ser profesional? Pero el término profesional

es difícil de definir, incluso para profesiones tradicionales como la medicina, sin embargo, generalmente la sociedad está de acuerdo en las características comunes que deben compartir todos los profesionales:

- Poseer habilidades y conocimientos especializados.
- Adquirirlos a través de un adecuado proceso de formación y capacitación, y mantenerlos y actualizarlos continuamente.
- Como resultado de esta experiencia especializada poseer la capacidad significativa para impactar la sociedad.
- Pertenecer a una asociación profesional que regule su práctica.
- Como parte de esa autorregulación adherirse a los principios éticos que la misma supervisa.

Por otro lado, la experiencia de los ingenieros y los dominios sobre los que la ejercen les dan la potestad de mejorar el bienestar de las personas, o de causarles daños significativos. Esto es evidente en el caso de estos profesionales, porque sus invenciones y desarrollos pueden salvar vidas, pero también causar la muerte o afectar la calidad de vida de muchas personas. Por eso es que la sociedad tiene que saber que el ingeniero es técnicamente competente, a la vez que emite juicios y realiza acciones éticamente informados, que actúa con consentimiento y que persigue un interés superior en beneficio de las personas.

La cuestión más importante aquí es que las acciones de los ingenieros tienen el potencial de impactar a cientos o miles de personas. Como resultado de este poder sumido en sus habilidades la sociedad deposita su confianza en que lo ejerzan sabiamente, por lo que el compromiso de utilizar la experiencia en la búsqueda del bienestar público debe ser común a estos profesionales. Esto constituye un papel fundamental para la ética, porque la adhesión de los ingenieros a sus principios y responsabilidades es fundamental para emitir juicios, con los que logran la confianza del público que les proporciona razones para mantenerlos en el tiempo.

En definitiva, ser profesional trae privilegios significativos en términos de los efectos del ejercicio sobre los demás, ya sea mediante el acceso a su información o a la capacidad de afectar sus necesidades e intereses. Pero esos mismos privilegios acarrean responsabilidades importantes, por lo que los ingenieros y los organismos profesionales necesitan ganarse, continuamente, el derecho a ser encargados de esas responsabilidades, mostrando que ejercen éticamente la profesión.

Además, los ingenieros inventan y crean el futuro y su trabajo tiene el potencial de afectar las vidas de millones de personas, para bien o para mal. Esto les plantea enormes problemas éticos, pero el privilegio de contar con las habilidades y los conocimientos, para contribuir a áreas tan importantes de la sociedad, conlleva claramente la necesidad de mantener un juicio ético prudente en el ejercicio de la profesión [44]. Por ejemplo, y como señala Bowen [45], los ingenieros juegan un importante papel en diversos aspectos de la humanidad:

1. Pueden proporcionar soluciones para mejorar la gestión y el tratamiento de los recursos hídricos, porque en un mundo en el que una proporción significativa de la población mundial no tiene agua potable ellos tienen la capacidad de hacer mucho bien.
2. Son actores importantes en la industria de defensa y, al estar al servicio de preservar la seguridad de las personas, tienen muchas responsabilidades; pero, igualmente, las armas se pueden utilizar para causar un daño considerable.
3. Cuando las personas cruzan un puente necesitan estar seguro que los ingenieros han equilibrado sabiamente la importancia primordial de su seguridad con las exigencias de la construcción, dentro de los costos y logrando un resultado estético agradable, pero seguro.
4. La ubicación de un proyecto minero requiere buen juicio, porque se deben tener en cuenta los impactos ambientales y cumplir adecuadamente los requisitos técnicos y comerciales.

Entonces, si los recursos materiales y energéticos se utilizan en la producción, el envasado y la distribución de productos que los ingenieros diseñan, deben tener en cuenta la sostenibilidad de sus métodos, ser responsables y estar conscientes de todas las consecuencias, por lo tanto, están obligados a actuar adecuadamente a la luz de las mismas.

Además, a través de una amplia gama de actividades humanas los ingenieros tienen que ganarse y reflejar confianza. El juicio ético es tan importante para ellos como para cualquier otro profesional, pero, ¿cómo diferenciar la ética del sentido común? Para lo que existen muchos ejemplos concretos que muestran que las personas inteligentes y con buen sentido común pueden estar en desacuerdo acerca de los aspectos éticos. A menudo se afirma que los dispositivos electrónicos modernos para vigilancia son valiosos en la lucha

contra la inseguridad, pero las personas no están de acuerdo acerca de cómo se les garantiza su privacidad. Inclusive, algunos ven la producción de energía eólica como una forma ambientalmente sostenible para satisfacer las necesidades de electricidad, pero otros afirman que el impacto de las grandes turbinas en el paisaje es perjudicial para el medio ambiente. Estos casos proporcionan una prueba de los límites del sentido común en relación con la ingeniería ética.

Por otro lado, muchos se interrogan si estos casos demuestran que las cuestiones éticas son meramente subjetivas, con respuestas correctas o incorrectas, aunque solamente demuestran que no siempre es tan obvio qué es una respuesta correcta, porque incluso los dilemas más difíciles tienen respuestas erróneas. Este es el caso, por ejemplo, de que mantener a todos los ciudadanos en las casas las 24 horas del día no es un método que garantice su seguridad, o que no debería permitirse la extracción de minerales sin regulación. Por eso es que identificar cursos de acción equivocados no es cuestión de opinión, cuando el objetivo es demostrar que se pueden identificar las consideraciones clave para llegar a juicios éticos, y de usar la razón en su despliegue. En este sentido, los ingenieros adoptan principios éticos que materializan en su ejercicio profesional:

- Principio 1: *Precisión y rigor*. Los ingenieros tienen el deber de garantizar que adquieren y utilizan sabia y fielmente el conocimiento relevante, que requieren para desarrollar las habilidades ingenieriles necesarias en su trabajo y que las ponen al servicio de los demás.
- Principio 2: *Honestidad e integridad*. Los ingenieros deben adoptar los más altos estándares de conducta profesional, a la vez que imparcialidad, integralidad y honestidad.
- Principio 3: *Respeto por la vida, el derecho y el bien común*. Los ingenieros están obligados a emprender acciones orientadas a respetar y preservar la vida, el derecho y el bien común, y evitar que otros lo hagan.
- Principio 4: *Liderazgo responsable: Escuchar e informar*. Los ingenieros deben aspirar a altos niveles de liderazgo en la explotación y la gestión de la tecnología, manteniendo adecuados canales de comunicación.

8. CONCLUSIONES

En este capítulo se presenta una descripción de lo que significa ser ingeniero, se analiza el universo de su labor profesional en el mundo actual y se hace

referencia a la necesidad de que en todo momento respete la ética en su labor. Para eso se parte de que, en el período que precedió a la Segunda Guerra Mundial, el ejercicio profesional de la ingeniería ha sufrido un cambio revolucionario en casi todos los aspectos de la vida y el trabajo. En este nuevo contexto han tenido influencia una serie de fuerzas, tales como la ciencia, la globalización, la revolución digital y las nuevas generaciones, que determinaron la aparición de ciertos factores para estos profesionales. Por ejemplo, el incremento en el interés de los gobiernos por el trabajo ingenieril, el aumento del volumen de información, el acelerado desarrollo tecnológico, y la internacionalización de la oferta y la demanda en negocios y empleo.

Entre los nuevos descubrimientos de la ingeniería se encuentra el computador, cuyo principal aporte ha sido la explosión de la información y la necesidad de una máquina lo suficiente rápida para procesarla. Este desarrollo cambio la manera como se hacían negocios, se capacitaba a las personas y en la naturaleza misma de conocer el universo. Estas máquinas generan una demanda permanente por la tecnología que incorporan y, como resultado, desde finales del siglo XX se acrecentó exponencialmente la demanda de ingenieros en todo el mundo, lo que obligó a repensar la manera como el sistema educativo forma y capacita a estos profesionales.

En ese mismo sentido, se presentó una revolución en la manera como la sociedad convive y depende de los desarrollos tecnológicos. Este nuevo contexto ejerce una presión considerable sobre la labor de los ingenieros y la ingeniería en general, a la vez que derrumba las fronteras físicas al utilizar en relaciones sociales en línea y al instante. Actualmente, el desarrollo de la tecnología, la necesidad de mejorar la calidad en la capacitación de ingenieros y el papel de estos profesionales en la sociedad, se convierten en actores críticos bajo unas circunstancias competitivas extremas. Por un lado, una sociedad que demanda calidad, seguridad y confiabilidad en los productos y, por otro lado, la falta de estudiantes en ingeniería por falta de credibilidad en el sistema educativo.

En un mundo globalizado todo esto impacta de muchas formas la labor de los ingenieros, por ejemplo, con la especialización, que los hace vulnerables a la *obsolescencia tecnológica* en el mercado laboral. Pero la profesión como tal no se ha quedado en el pasado, porque ha aprendido a adaptarse frente al cambio social, político y humano que se vive hoy. Una causa de esta flexibilidad es que se descubrió que la ingeniería es un área transdisciplinar en la que los

ingenieros, aunque alcancen altos estándares de especialización, pueden desarrollar y aplicar enfoques sistémicos en el ejercicio de su profesión.

Otra cuestión que se analiza en este capítulo es la relacionada con el impacto que ha tenido la globalización en el empleo de los ingenieros. Por ejemplo, el aspecto de la comercialización, que no se observaba como un campo de acción de los ingenieros, se ha tenido que involucrar en su capacitación, porque hoy deben tener conocimiento en cómo comercializar sus desarrollos. Además, las exigencias permanentes de la sociedad y los constantes desarrollos tecnológicos, crean una sensación de turbulencia en el ejercicio ingenieril que, sumada a la escasez de estos profesionales y al poco interés de los estudiantes por tomas estas carreras, agrava la situación de empleabilidad de los ingenieros. Inclusive se presenta una situación de oportunidad, porque cuando se especializan en campos de alta demanda frecuentemente cambian de empleo para obtener mejores salarios. Por otro lado, en consonancia con la concientización por proteger el medio ambiente, el ingeniero debe prestar mayor atención a la ética en su profesión, porque puede convertir tanto en un constructor como un destructor de la naturaleza, pasando fácilmente de héroe a villano para la humanidad.

En resumen, a partir de la posguerra se incrementó la necesidad y la importancia de los ingenieros para el desarrollo humano, a la vez que se observa un rápido aumento en la conciencia y el escrutinio público de sus actividades y desarrollos por parte de la sociedad. Por eso es que estos profesionales tienen que ser cuidadosos, respetuosos y cautelosos en la manera como desempeñan la profesión e involucrarse éticamente en las cuestiones del desarrollo tecnológico. Sin embargo, si bien las presiones para ellos serán permanentes, ya sea por movimientos anti tecnológicos o medioambientalistas, el mundo continuará dependiendo de sus productos y desarrollos. En todo caso, ya sea que se le reconozca como héroe, como villano o como mago, el ingeniero siempre será ingeniero.

REFERENCIAS

[1] Aquiles, G. (2014). Introducción a la ingeniería: La tecnología, el ingeniero y la cultura. Buenos Aires: Editorial Brujas.

[2] Hardy, C. (1998). Ingenieros y las Torres de Marfil: Práctica enseñanza e ideales de la ingeniería. México: Mcgraw-Hill.

[3] Armytage, W. (1961). A social history of engineering. London: Faber and Faber.

[4] Michael, D. (1995). An historical preface to engineering ethics. Science and Engineering Ethics 1(1), pp. 33-48.

[5] Frederick, B. (1996). The development of technical education in France, 1500-1850. Cambridge: MIT Press.

[6] Issacson, W. (2011). The genius of Steve Jobs. New York Times, October 30.

[7] Serna, M.E. (2015). La capacidad lógico-interpretativa y abstractiva. Medellín: Fondo Editorial ITM.

[8] Serna, M.E. & Zapata, L. (2013). Necesidad de la lógica y la abstracción en la formación de ingenieros. In XX International Conference on Learning. Rhodes, Greece.

[9] Glegg, G. (1969). The design of design. London: Cambridge University Press.

[10] Addis, W. (1990). Structural engineering: The nature of theory and design. New York: Ellis Horwood.

[11] Gordon, J. (2003). Structures: Or why things don't fall down. New York: Da Capo Press.

[12] Pérez, R., Gamboa, R. & Hernández, C. (2015). La ética en la formación del ingeniero de minas: Representaciones sociales de actores educativos. Tecnura 19(44), pp. 201-208.

[13] Holden, C. (2003). Engineering with a social conscience. Science 301(5630), pp. 164.

[14] Rivas, L. (2010). Conciencia histórica Social. Online [Jul 2017].

[15] Velásquez, L. & D'armas, M. (2015). Engineer With Social Conscience - A possibility for the sustainable development. Universidad Ciencia y Tecnología 19(74), pp. 25-38.

[16] Efatpenah, K., Nichols, S. & Weldon, W. (1994). Design in the Engineering Curricula: A changing environment. Advances in Capstone Education Conference. Brigham Young University, USA.

[17] Lohmann, J. et al. (2006). Defining, developing and assessing global competence in engineers. European Journal of Engineering Education 31(1), pp. 119-131.

[18] Szpytko, J. (2007). Inquiry about real needs of industry in international formation. In Borri C. and Maffioli F.(Eds.), TREE Teaching and Research in Engineering in Europe, Erasmus Thematic Network: Reengineering Engineering Education in Europe. Firenze: Firenze University Press.

[19] Jones, M. (2007). Challenges for Excellence in Engineering Education in a Globalising Economy. Proceeding of SEFI and IGIP Joint Annual Conference. University of Miskolc, Miskolc.

[20] Lucena, J. (2006). Globalization and organizational change: Engineers' experience and their implications for engineering education. European Journal of Engineering Education 31(3), pp. 321-338.

[21] Santarini, M. (2007). The future of engineering education: More questions than answers. EDN Network. Online [Aug 2017].

[22] Constable, G. & Somerville, R. (2003). A Century of Innovation: Twenty Engineering Achievements That Transformed Our Lives. Washington: Joseph Henry Press.

[23] National Academy of Sciences (2005). Engineering research and America's future – Meeting the challenges of a global economy. Washington: The National Academies Press.
[24] Nallaperumal, K. (2014). Engineering Research Methodology – A Computer Science and Engineering and Information and Communication Technologies Perspective. New Delhi: PHI Learning Private Limited.
[25] National Science Foundation (2012). Research & Development, Innovation, and the Science and Engineering Workforce. Washington: The National Academies Press.
[26] Burleson, W. (2005). Developing creativity, motivation, and self-actualization with learning systems. Inter. Journal of Human-Computer Studies 63(4-5), pp. 436-451.
[27] Charyton, C. & Merrill, J. (2009). Assessing general creativity and creative engineering design in first year engineering students. Journal of Engineering Education 98(2), pp. 145-156.
[28] Cropley, D. & Cropley, A. (2005). Engineering creativity: A systems concept of functional creativity. In J. Kaufman & J. Baer (Eds.), Creativity across domains: Faces of the muse (pp. 169-185). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
[29] Ruiz, F. (2004). Learning engineering as art: An invention center. International Journal of Engineering Education 20(5), pp. 809-819.
[30] Stouffer, W., Russell, J. & Oliva, M. (2004). Making the strange familiar: Creativity and the future of engineering education. Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. Salt Lake City, USA.
[31] Ishii, N. & Miwa, K. (2004). Creativity education based on participants' reflective thinking on their creative processes. Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence 19(2), pp. 126-135.
[32] Florida, R. (2005). The flight of the creative class: The new global competition for talent. New York: Harper Collins.
[33] Simonton, D. (2000). Creativity: Cognitive, personal, developmental and social aspects. American Psychologist 55(1), pp. 151-158.
[34] Forbes, N. (2008). A module to foster engineering creativity: An interpolative design problem and an extrapolative research project. Chemical Engineering Education 42(4), pp. 166-172.
[35] Christiaans, H. & Venselaar, K. (2005). Creativity in design engineering and the role of knowledge: Modelling the expert. International Journal of Technology and Design Education 15(3), pp. 217-236.
[36] Serna M.E. & Polo, J. (2014). Logic and abstraction in engineering education: A necessary relationship. Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología 15(2), pp. 299-310.
[37] Lucena, J., Schneider, J. & Leydens, J. (2010). Engineering and sustainable community development. Williston: Morgan & Claypool.
[38] Schneider, J., Lucena, J. & Leydens, J. (2009). Engineering to help: The value of critique in engineering service. IEEE Technology and Society Magazine 28(4), pp. 42-48.
[39] Litchfield, K. & Javernick, A. (2015). "I A Man Engineer AND": A mixed methods study of socially engaged engineers. Journal of Engineering Education 104(4), pp. 393-416.
[40] Mitcham, C. & Muñoz, D. (2010). Humanitarian engineering. Synthesis Lectures on Engineers, Technology, and Society 5(1), pp. 1-87.
[41] Lamb, A. (2010). Engineers without borders. In UNESCO (Ed.), Engineering: Issues, challenges and opportunities for development (pp. 159-164). Paris: UNESCO.

[42] Serna, M.E. & Serna, A.A. (2013). Is it in crisis engineering in the world? A literature review. Revista Facultad de Ingeniería 66, pp. 197-206.
[43] Serna, M.E. & Serna, A.A. (2015). Crisis of engineering in Colombia - State of the art. Revista Ingeniería y Competitividad 17(1), pp. 63-74.
[44] Thring, M. (1992). The engineer's conscience. USA: Mechanical Engineering Publications.
[45] Bowen, R. (2009). Engineering Ethics - Outline of an aspirational approach. Berlin: Springer.

CAPÍTULO 4

Historia de la ingeniería

Mónica Córdoba C.[1]
Javier Ospina M.[2]
Corporación Universitaria Remington
Medellín – Antioquia

El *concepto* de ingeniería proviene de la época en la que los humanos idearon y se hicieron diestros para crear inventos hábiles, pero el *término* ingeniería en sí mismo tiene una etimología mucho más reciente, derivada de la palabra *engineer* aparecida alrededor de 1325, cuando literalmente se refería a una persona que operaba un *engine* y que, originalmente, identificaba a un constructor de motores militares. En este contexto, hoy obsoleto, la palabra *engine* hacía referencia a una máquina militar. Pero el término *engine* en sí mismo es de origen aún más antiguo y se deriva del vocablo latino *ingenium*, que significa *calidad innata*, especialmente poder mental, para materializar invenciones. Posteriormente, cuando la profesión de construir puentes y edificios maduró como disciplina propiamente dicha, entró en escena el término *ingeniería civil* para distinguir la labor de quienes se especializaban en estas construcciones y la de aquellos involucrados en la disciplina más antigua de la *ingeniería militar*, considerada como la primera ingeniería y el origen del vocablo que se utiliza actualmente. En este capítulo, los autores presentan un recorrido por la historia de la disciplina ingenieril, a través de una narración de ensayo con tinte de aporte científico.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Steininger [1] la ingeniería se define como una disciplina exacta y precisa, sobre todo exigente, porque se fundamenta en las leyes del universo físico, lo que implica que cada creación debe pasar por un proceso que permita determinar si realmente funciona como se desea. El objetivo fundamental de la ingeniería es práctico y tiene una relación estrecha con la tecnología, debido a que su campo de acción se extiende a todo tipo de aplicaciones y enfoques, que van desde facilitan la vida cotidiana de las

[1] Administradora de empresas, Esp. en gerencia educacional, Ms.C. en Administración de organizaciones. *monica.cordoba@uniremington.edu.co*
[2] Ingeniero de sistemas, Especialista en gerencia de sistemas, Ms.C. en Gestión de la tecnología educativa. *javier.ospina@uniremington.edu.co*

personas en el hogar o el trabajo hasta formas más complejas como el transporte rápido y seguro mediante desarrollos como aviones, trenes y automóviles.

A lo largo de la historia la disciplina de la ingeniería se ha dividido en diferentes áreas: militar, civil, industrial, electrónica, eléctrica, química, mecánica, entre otras, cada una con un objetivo específico, pero, al mismo tiempo, con una marcada articulación entre ellas y con otras disciplinas y ciencias. Esta relación transdisciplinar le ha permitido al hombre estructurar y realizar proyectos y máquinas, y descubrir materiales asombrosos y útiles. Este es el caso, por ejemplo, de la Bioingeniería, que integra principios físicos, químicos, matemáticos y de las Ciencias Computacionales, a través de procedimientos ingenieriles para estudiar la biología, la medicina, el comportamiento y la salud humana. En el proceso descubre y emplea conceptos fundamentales, crea nuevo conocimiento y desarrolla materiales biológicos, implantes, dispositivos y procesos para prevención, diagnóstico y tratamiento de pacientes [2].

El origen de la ingeniería se remonta a la Edad de Piedra, cuando los humanos crearon los primeros útiles de piedra [3], una época en la que el Homo Habilis construían cavernas con distintos tipos de estructuras para protegerse del clima y de los animales. Ellos fueron los primeros fabricantes de herramientas de hueso, luego de piedra, y además entendieron la mecánica básica del trabajo en la piedra y de la necesidad de llevarla consigo, debido a que todos los lugares no les ofrecían el mismo tipo de material [4], además, aprendieron a utilizar piedras como palancas primitivas.

En esa misma época descubrieron el fuego por impacto, construyeron chozas y crearon sus propias barreras naturales para sobrevivir ante las calamidades. En esos momentos la tecnología provenía del uso de huesos de animales y piedras afiladas, árboles, madera, rocas y paja. Debido a que estas culturas primitivas se veían en la necesidad de aplicar conocimientos básicos para la supervivencia, tuvieron que ser creativos y transformar la naturaleza para su propio beneficio.

Estos humanos dieron sus primeros pasos como ingenieros en procesos tales como: 1) la caza, al implementar herramientas de hueso, piedra y madera para crear armas; 2) la recolección y producción de alimentos, al descubrir el fuego y crear recipientes; 3) la construcción, al descubrir principios como la palanca en respuesta a la necesidad de mover las rocas de un lado a otro, y que le permitió posteriormente inventar la rueda, construir chozas de paja y luego el

ladrillo. Ante las continuas adversidades de la naturaleza estas culturas se veían continuamente en la necesidad de ingeniarse maneras de protección y de mejorar lo que tenían.

Debido a lo anterior después construyeron pirámides y templos monumentales y pasaron de arar la tierra a construir canales y diques para el riego de cultivos. En el medioevo inventaron máquinas para reemplazar el poder del músculo por la potencia del agua, el viento o los animales. De esta manera lograron construir barcos con velas que empujaba el viento y, con la domesticación de animales, tuvieron la necesidad de inventar arneses para los caballos y bueyes, de tal manera que pudieron hacer más efectivo el proceso de arar la tierra [5].

Lo anterior demuestra que el desarrollo de la ingeniería ha estado directamente relacionado con la tecnología y que ambas, través del tiempo, le han brindado la humanidad la posibilidad de convertir el mundo natural en artificial, haciendo la vida confortable y más segura. Hoy se puede afirmar que el mundo es más artificial que natural, debido a que esta simbiosis está presente en todo espacio y lugar, creando una realidad en la que la ingeniería y la tecnología condicionan la vida de las sociedades y sus comportamientos.

Asimismo, la ingeniería obedece al deseo y la necesidad del hombre por transformar el mundo que lo rodea, buscando nuevas y mejores posibilidades de hacer las cosas y de mejorar su calidad de vida. Debido a esto reemplazó los carros de caballos por aviones, los médicos pueden realizar intervenciones quirúrgicas de alto riesgo con máquinas altamente sofisticadas y se pueden construir grandes obras de ingeniería civil [6].

Actualmente, es gracias a la ingeniería que la humanidad continúa avanzando en sus desarrollos y transformando el mundo, para bien o para mal. El perfeccionamiento de las áreas, en las que se ha divido la disciplina ingenieril, han permitido el surgimiento de nuevas técnicas y formas de aprovechar la tecnología en las diferentes ciencias. Además, la comunión entre ingeniería, tecnología y técnica hicieron posible el progreso de las sociedades, desde las nómadas primitivas hasta las citadinas del siglo XXI [7].

2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA INGENIERÍA

Desde siempre, el hombre se vio obligado a realizar cambios y transformación en el mundo natural para mantener su supervivencia. Necesitaba cazar para complementar su dieta vegetal, tenía que encontrar un lugar donde refugiarse

de las adversidades del clima y otros animales, en su desplazamiento tenía que cruzar ríos y lagos y encontrar la forma de abrigar su cuerpo. Es decir, tenía que hacer del contexto natural un espacio que le permitiera vivir y convivir con otros y los animales. Todos estos retos, la búsqueda de solución a sus necesidades y el deseo de transformar los elementos naturales, se convirtieron en la base para el surgimiento posterior de las disciplinas ingenieriles.

2.1 Orígenes

El ser humano siempre ha tenido la necesidad de desarrollar dispositivos y estructuras para aprovechar y utilizar los recursos naturales [8], por lo que el origen de la ingeniería se puede considerar de forma empírica y por la necesidad que tenía el hombre de conseguir alimento y de protegerse, a partir de lo cual se inicia la creación de un mundo artificial. En la edad primitiva, las primeras herramientas fueron utensilios elaborados a partir de los huesos de animales, tales como las primeras lanzas, hachas y martillos (ver Figura 1). Posteriormente, estos utensilios se elaboraron en piedras puntiagudas y afiladas para mejorar las técnicas de caza y de defensa.

Figura 1. Herramientas de piedra

Dado que el hombre primitivo era nómada y se desplazaba continuamente por el mundo natural, descubre el fuego y comienza el desarrollo de una civilización tecnológica. Con el fuego prepara alimentos, ilumina el mundo nocturno y, posteriormente, descubre la forma de transportarlo en sus viajes. Asimismo, encontró la manera de calentar y derretir materiales al fundir ciertas rocas, llamadas *menas*, para obtener metales, entonces nace la metalurgia [9].

En sus recorridos tuvo la necesidad de refugiarse en las cuevas de las adversidades del clima y de los animales, un proceso en el que moviliza grandes rocas para asegurar las entradas. Para lograrlo se ayudó de árboles que le sirvieron de *palanca* para movilizar elementos pesados (ver Figura 2). Luego, y cuando dejó de ser nómada, se radicó en un lugar, construyó su

vivienda con madera y paja, se dedica a la agricultura y domestica animales para la crianza. En este contexto debe crear sistemas de riego para cultivar las cosechas, construye puntos de enlace entre las orillas de los ríos (puentes) y se inventa sistemas y herramientas con el fin de hacer de ese mundo un entorno completamente cómodo y seguro.

Figura 2. El hombre primitivo y la ingeniería

2.2 Evolución

Los anteriores aportes conformaron la base para la evolución de la ingeniería, transformando el mundo y el estilo de vida del hombre, que se ha visto en la necesidad creciente de crear artefactos o de mejorarlos para resolver las distintas situaciones de su entorno, con el objetivo de encontrar comodidad, tranquilidad y seguridad.

Todas esas actividades y soluciones fueron transformando al ser humano en ingeniero empírico, debido a que tenía que usar su ingenio, capacidad y habilidad para crear objetos que le permitieran transformar la naturaleza en su beneficio [10]. De los animales que caza utiliza los huesos y los transforma en martillos, hachas y lanzas; luego lo hace con la piedra y crea mejoras que le permiten diversificar sus actividades; con la madera elabora armas de defensa, lanzas para cazar y utilitarios para transportar cargas; pasa de utilizar cavernas a vivir en chozas con techos de paja; fabrica vasijas de piedra y luego recipientes de arcilla; el fuego le permitió diseñar procesos para la preparación de alimentos y la fundición de metales y, posteriormente, construyó medios de transporte para los ríos.

En este proceso, para la edad de piedra inventaba la rueda, la lámpara de aceite, el arpón, el arco, las flechas y las boleadoras, además del mortero como recipiente para mezclar sustancias, especias y semillas. Asimismo, para esa época fabricaba canoas, trineos y mejoró la construcción de viviendas, el

regadío de cultivos, el trillado y triturado de cereales y, para finales del periodo desarrolló la alfarería. Posteriormente, y con el fin de protegerse, construye murallas y otras obras de ingeniería que han marcado el desarrollo de la humanidad, como las que se aprecian en Egipto, Grecia y Mesopotamia; se construyen puentes, faros, coliseos e iglesias, y se perfecciona la construcción de navíos de gran capacidad, utilizados en el transporte marítimo de personas y de materiales desde lugares distantes. Otro desarrollo ingenieril en esta época fueron las cuerdas de lino y las redes de pesca [9].

Por otro lado, y en esta misma época, se desarrolló la balanza y se creó el telar, una herramienta que marcó el origen de la ingeniería industrial; se inventó el reloj solar, la vela como motor eólico y, por casualidad, los egipcios descubrieron el vidrio, a la vez que desarrollaron obras civiles y se beneficiaron de los primeros dispositivos hidráulicos [9]. Debido a que no se contaba con herramientas de cálculo el trabajo era completamente empírico y artesanal, aunque de esta manera se diseñó y creó artefactos que facilitaron, inclusive, el surgimiento de clases sociales. Posteriormente, la humanidad se sumerge en el análisis de teorías generales acerca de los fenómenos naturales, relacionados con las matemáticas y la geometría, entonces surge la ciencia y, de ahí en adelante, se convierte en aliada inseparable de la ingeniería. El conocimiento científico que surgió de esta relación ha facilitado el perfeccionamiento de métodos que dieron como resultado procesos con mayor precisión y mejores resultados [5].

En la Edad Media se lograron avances significativos en lo que respecta a la navegación y el aprovechamiento del viento, y en Europa se construyeron puentes de ladrillo y piedra. El arado tuvo una evolución importante y pasó de ser un simple artefacto de madera, elaborado con ramas en forma de horquilla, a una sofisticada herramienta de rejas y cuchillas [3] y, en el campo militar se diseñaron armas de hierro y se crearon carros de asalto. Posteriormente, en Edad Moderna se desarrolló el telescopio, el motor a vapor, artefactos voladores, el automóvil, la ametralladora, entre otros. Gracias a estos progresos en la ingeniería, se concretaron inventos en la aviación, la ingeniería aeroespacial, barcos, buques y todo tipo de embarcaciones. Se desarrollaron las ingenierías eléctrica y electrónica que, con las Ciencias Computacionales y las teorías de sistemas, dieron origen al computador personal.

Lo más importante dentro de la evolución de la ingeniería es reconocer que nació y se desarrolló gracias a la necesidad de la humanidad de transformar el

mundo natural en un mundo más cómodo y seguro. Aunque sus inicios fueron puramente empíricos, posteriormente y con el surgimiento de las ciencias, incorporó métodos científicos para ser más asertiva y precisa en sus creaciones. Otro aspecto importante del desarrollo de la ingeniería es la necesidad de crear ramas y enfoques para responder a las especializaciones que han surgido en la historia; esto ha permitido que hoy el mundo contemporáneo esté adaptado y dependa de las comodidades que le brinda la tecnología, como resultado principal del desarrollo de la ingeniería.

3. DESARROLLO DE LA INGENIERÍA

A través de la historia la ingeniería ha pasado por diferentes desarrollos. En la prehistoria el hombre tenía que aplicar más ingenio para subsistir, porque su motivación se inspiraba en la supervivencia; por eso, sus construcciones se basaron más en prácticas empíricas que en procesos estructurados, porque carecía de los principios científicos. Con el desarrollo de la ciencia el hombre tuvo la posibilidad de perfeccionar su ingenio para llevar a cabo procesos innovadores que, en cada época, hicieron de su mundo un espacio más cómodo. Es decir, pasó de las herramientas artesanales cortantes de piedra a las máquinas con tecnología láser para cortar metal, y del transporte en ríos y mares con sencillas embarcaciones a barcos y buques tecnificados.

3.1 Prehistoria

La Prehistoria es el periodo histórico comprendido desde la aparición del hombre hasta la invención de la escritura, aproximadamente 3500 AC. Esta época se caracteriza por la aparición de diversos elementos y herramientas desarrollados con la variedad de materias primas existentes, por lo que se subdivide en Edad de Piedra y en Edad de los Metales. En la primera se desarrollaron utensilios de piedra en el paleolítico, el mesolítico y el neolítico (Figura 3). El hombre vivía en un mundo completamente natural que le proporcionaba el alimento para su supervivencia, pero carecía de comodidades y de la seguridad suficientes. A partir de estas necesidades se vio obligado encontrar nuevos elementos para convertirlos en herramientas funcionales diversas. En esta búsqueda encontró la piedra y desarrolló ingenio para afilarla y crear objetos cortantes. De esta manera aparecen las hachas y los cuchillos que, posteriormente, diversificó con la madera y el hueso, que también fueron elementos de gran uso. Pero la *tecnología avanzada* de esta época fue el trabajo en piedra, para la que descubrió diferentes usos dependiendo de la

variedad de la misma. Luego descubre el fuego y la forma de transportarlo de un lado a otro, lo que le permitió preparar alimentos y alumbrar las noches, pero también le sirvió como medio de protección contra los animales y las bajas temperaturas.

Figura 3. Desarrollo de la ingeniería en la prehistoria

En el paleolítico fue cazador de grandes animales y nómada, normalmente se refugiaba en cuevas y se alimentaba con los frutos que encontraba en la naturaleza. En el mesolítico abandona las cuevas a razón de los cambios climáticos y construyen las primeras viviendas y tumbas; utiliza rituales funerarios, aprende a pescar y desarrolla elementos que le ayuden en esta tarea, tales como embarcaciones, redes y anzuelos. En el neolítico fabrica el arco y la flecha, vasijas para preparar los alimentos y, al diversificar el uso de la piedra, haciéndola más pulida y afilada, surge la agricultura y la ganadería [10].

En la Edad de los Metales encontró la forma de construir herramientas más resistentes, y transformó este material en utensilios y armas. En esta época se presenta un significativo cambio tecnológico, puesto que se desarrolla la metalurgia, inicialmente con el cobre y que, con el uso del fuego, transformó en utensilios y armas más tecnificadas. Posteriormente descubre el bronce, una aleación entre cobre y estaño, un metal más duro y resistente y, finalmente, encuentra el hierro. La metalurgia fue el gran desarrollo tecnológico en la prehistoria y, gracias a la fundición de los metales, se crearon objetos más firmes y duraderos. Asimismo, y combinando piedras, huesos y madera se crean armas más tecnificas y todo tipo de artefactos, incluso adornos personales [11].

La práctica del uso de los metales, especialmente el hierro, se extendió a muchas regiones del mundo, lo que permitió no sólo que el hombre

perfeccionara las herramientas de defensa, sino también la vivienda, la agricultura y la ganadería. La fundición de metales le dio la posibilidad de reutilizar herramientas y de crear otras más evolucionadas, o simplemente arreglar aquellas que se habían desgastado. La aparición del hierro implicó un gran desarrollo e innovación tecnológica sin precedentes, que permitió la creación de gran variedad de herramientas y tecnologías.

3.2 Edad Antigua

En la Edad Antigua se originan las primeras culturas y el hombre podía permanecer en un mismo sitio, donde estableció los primeros centros de habitación. Lógicamente se asentaban relativamente cerca de los ríos, por lo cual surgieron los sistemas de riego y canales para regadío y navegación; se perfeccionaron los sistemas de transporte humano y de todo tipo de materiales pesados y se generó el comercio entre los diferentes pueblos, además, el diseño y construcción de edificaciones tuvo un desarrollo significativo y fue un época de crecimiento y desarrollo de los diferentes oficios: alfarería, construcción, herrería y la creación de prendas para vestir y tejidos en general. Para esta época el hombre apoya estos desarrollos en las ciencias de las matemáticas, la geometría y la astronomía, entre otras, y perfecciona sus creaciones técnicas y tecnológicas.

Esas primeras culturas se asentaron en China, Egipto, Mesopotamia y Grecia. Los chinos inventaron la imprenta y la pólvora, mientras que los egipcios realizaron construcciones monumentales como las pirámides y los canales de riego y de transporte, también fueron los primeros en utilizar la técnica de navegación de vela. En Mesopotamia, por la naturaleza de sus suelos arcillosos, se originaron los ladrillos y adobes cocidos, crearon carreteras a grandes distancias y los sistemas de riego artificial para llevarlos a sitios donde la agricultura no estaba en la cercanía de los ríos. Además, fue un pueblo guerrero que desarrolló armas y todo tipo de herramientas para la guerra. Por su parte, Grecia tuvo en la ingeniería civil su principal desarrollo y construyeron diferentes templos y edificios públicos, inventaron el reloj, construyeron redes de agua potable y cuerdas para medir [12].

3.3 Edad Media

En el período comprendido entre el siglo V y el siglo XV o el tiempo entre la caída de roma y el renacimiento. En esta época la cultura Islámica hizo grandes contribuciones a nivel científico, en la ingeniería militar se mejora la caballería

complementada con la lanza y la silla de montar, se desarrollan las armaduras más pesadas y se implementa la ballesta, con la pólvora se fabrican armas tales como pistolas, morteros y cañones. En el área de la ingeniería civil se construyen castillos, se evoluciona el molino, se introduce la chimenea en las viviendas y se mejora la técnica del arado, se crean los coches de caballo para el transporte de personas y mercancías y los barcos veleros se convirtieron en máquinas más complejas.

Creció la influencia del reloj y la imprenta en la vida humana, causando una significativa revolución social que aún permanece en nuestros días. Pero el desarrollo más importante de esta época fue la implementación de la fuerza hidráulica, para lo cual se utiliza la fuerza del viento y la del caballo, complementadas con ruedas, turbinas, velas evolucionadas y molinos de viento. En la Edad Media resurgen las grandes construcciones, tales como las bizantinas de Estambul, en la India con sus magníficos templos y las grandes construcciones en China son un ejemplo del notable desarrollo en la ingeniería civil; finalmente, para esta época aparece el genio de Leonardo Da Vinci quien le da un significativo desarrollo a la ingeniería occidental [9].

3.4 Edad Moderna

Un período que va desde el siglo XVI hasta el siglo XVIII y que se enmarca entre el descubrimiento de América y la Revolución Francesa, en el que se da inicio a la revolución científica e industrial. Los adelantos en técnicas de navegación que venían de antes fueron mejorados, lo que permitió encontrar rutas alternas para el comercio, se crea la brújula, el microscopio compuesto, la calculadora, el termómetro y se mejora el telescopio. Se desarrollaron las primeras armas manuales, nace la cartografía, la primera máquina de vapor, el telégrafo, se crearon grandes innovaciones en la actividad textil y la imprenta permitió el desarrollo de la industria del papel [13].

En esta época todo se fundamenta en la técnica y en la ciencia y fue uno de los periodos donde aparecieron grandes creadores, que dedicaron su ingenio a desarrollar obras mecánicas que dieron gran avance a la tecnología y que inspiraron a otros para que, siglos después, idearan aparatos efectivos para materializar sus aportes. Con la ayuda de la ciencia, la ingeniería civil desarrolla grandes creaciones y se construyeron faros, puentes, edificios, estadios, iglesias monumentales, canales, torres y en general todo tipo de construcciones renacentistas.

La Revolución Industrial se inició en Gran Bretaña, dando origen a algunos inventos y perfeccionado otros, como la actividad textil, donde se utilizó la lana y luego el algodón. Esto generó la necesidad de transformar las máquinas de hilar con técnicas adicionales, se le dio mayor potencia con la máquina de vapor, lo que permitió un desarrollo tecnológico más eficiente y efectivo en la industria textil. Esta revolución trajo consigo grandes cambios y se crearon fábricas modernas con tecnologías avanzadas, pasando de utilizar conocimientos empíricos y artesanales a creaciones científicas y tecnificadas. Además, se desarrolla el trabajo integrado y colectivo que da como resultado el montaje final de un producto, proporcionando avances significativos en el área de la agricultura y generando un incremento sustancial en la productividad; por otro lado, también fue importante el desarrollo a nivel de la industria en medios de transporte y de comunicación [14].

3.5 Edad Contemporánea

Es el periodo histórico más reciente y comprende desde finales el siglo XVIII hasta nuestros días. Esta época se caracteriza por el gran avance industrial y tecnológico que tuvieron muchos países en el mundo, sobre todo en aquellos que por su desarrollo se convirtieron en rectores políticos y de economía mundial. El principal avance que caracteriza a este periodo es el crecimiento sin límite de la ciencia, lo que ha permitido al planeta que se convierta en un mundo donde prima lo artificial. Por su parte, la ingeniería avanza rápidamente y sufre una serie de modificaciones, se mejora completamente el telescopio, se descubren los secretos de la luz y el calor y se construye la máquina de vapor atmosférica, se crea el fonógrafo; surge la industria eléctrica, los sistemas de comunicación masivos, nace la ingeniería aeronáutica y evoluciona la ingeniería automotriz.

En los últimos siglos el mundo pasó a través de una serie de procesos relacionados con la electricidad, motores de combustión, máquinas automatizadas y se crea el transistor. Surgen áreas específicas de conocimiento ingenieril, tales como telecomunicaciones, aeronáutica, aeroespacial, genética y robótica. Se desarrolla la bombilla, centrales hidroeléctricas, máquinas de rayos X, reactores nucleares, bombas nucleares, computadores, microondas, circuitos integrados, comunicación vía satélite, transbordador espacial e internet. Hoy la ingeniería se ha dividido con el fin de aplicar los conocimientos científicos a todo tipo de creaciones, perfeccionando

y utilizando las técnicas necesarias hasta abarcar todo tipo tecnologías para brindar soluciones a cada una de las necesidades latentes de las sociedades.

Hoy se tiene una ingeniería civil más desarrollada y han surgido especialidades disciplinares como la de minas, agrónoma, eléctrica y electrónica, mecánica e industrial, nuclear, química, biomédica, genética y naval entre otras, cada una con un fin específico y determinado [8]. Por todo esto es que la ingeniería se define como una actividad dedicada a resolver problemas, aportando soluciones prácticas y que desde sus inicios empíricos y artesanales y, con los aportes de la ciencia, se desarrolló hasta crear aportes fundamentados en métodos científicos en los que, mediante la observación y generalización, se pueden aplicar teorías que conllevan a creaciones ingeniosas, pasando por pruebas que garantiza su viabilidad. En la Tabla 1 se presenta un resumen del desarrollo de la ingeniería por las edades de la humanidad.

Tabla 1. Periodos de desarrollo histórico de la Ingeniería

Periodo	Desarrollo
Prehistoria	Herramientas de piedra y de metal basadas en conocimiento empírico
Edad Antigua	Surgimiento de las ciencias como apoyo a la ingeniería
Edad Media	Utilización de herramientas para reemplazar la fuerza humana
Edad Moderna	Transición de las técnicas artesanales a las industriales
Edad Contemporánea	Avance sin límite de la ciencia dando prioridad al mundo artificial

4. TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

Desde su aparición, el hombre se ha enfrentado a una serie de dificultades que han complicado su vida, pero gracias a su propio ingenio ha podido superarlas. Al principio desarrolla artefactos basados en conocimientos meramente empíricos, con el transcurso de los años y la aparición de las ciencias, esas creaciones fueron más estructuradas y acompañadas de métodos científicos. En todo esto siempre ha estado presente la tecnología, que incluye aspectos técnicos, herramientas y máquinas [15], es decir, el conjunto de conocimientos y habilidades que permitirán solucionar problema determinados.

4.1 Tecnología empírica

Desde la prehistórica el hombre ha utilizado diversas tecnologías para solucionar muchos de sus problemas, entre ellas se puede mencionar las herramientas de piedra, lanzas elaboradas con madera afilada y piedra, hachas de piedra; pero uno de los mayores descubrimientos fue el fuego, con el que pudo crear lámparas utilizando la grasa de animales como combustible. Por

otro lado, el arco y la flecha se convirtieron en tecnología avanzada de la época que le facilitó la cacería, también crearon agujas para fabricar vestidos a partir de las pieles de animales. La pesca dio origen a la creación de redes, anzuelos y embarcaciones rudimentarias; para el cultivo de la tierra diseñaron instrumentos para segar y para cocinar sus alimentos crearon vasijas de barro.

Cuando decide dejar de ser nómada y decide establecerse en un sitio necesitó construir viviendas de madera y paja y, al dedicarse a la agricultura tuvo que diseñar todo tipo de herramientas que le facilitaran esta actividad. Descubrió los metales y gracias a la fundición y aleación pudo darles mayor estabilidad y firmeza, fabricó cuchillos, clavos y otros artefactos. Estos procesos requieren ingenio, una de las finalidades de la ingeniería, para crear, desarrollar y construir las tecnologías disponibles; pero su principal motivación fue la necesidad de controlar la naturaleza con lo que tuviera a su alcance y aplicando técnicas artesanales empíricas.

4.2 Tecnología avanzada

La Edad Antigua trajo otras tecnologías más avanzadas, tales como la construcción de plataformas deslizantes fabricadas con grandes troncos, y en la construcción de las pirámides se emplearon poleas para elevar las pesadas piedras. En esta época nacen las ciencias, por lo tanto, contar y calcular les permite complementar el conocimiento empírico de la época anterior y basar su experiencia en prácticas exactas para alcanzar el perfeccionamiento; crearon todo tipo de palancas para controlar distintas fuerzas, utilizan las técnicas para manejar el agua y surge la mecánica para controlar los movimientos.

También evolucionaron las técnicas de construcción y el martillo y el cincel son innovaciones representativas de la época; el viento, el vapor y la mecánica dieron inspiración a los ingenieros medievales para crear máquinas que reemplazarían la fuerza humana, la ciencia contribuye con el perfeccionamiento de instrumentos de medida y se crearon lentes con diferentes características, que permitieron la evolución del telescopio y crear gafas para mejorar la visión del ser humano.

4.3 Tecnología industrial

La Revolución Industrial es el principal acontecimiento que caracteriza a la Edad Moderna, en ella surge la ingeniería industrial que da origen a la

tecnología textil; el vapor, la madera, los metales y la evolución de la rueda dieron transcendencia a la tecnología industrial, se perfeccionan las técnicas para el manejo de armas de fuego, redes de comunicación y eléctricas; la fundición y la soldadura mejoraron la firmeza para grandes estructuras, la iluminación se mejora con la evolución de la bombilla y se desarrollaron técnicas de producción en serie. La tecnología industrial permitió diseñar y construir máquinas para perfeccionar las técnicas de producción, a la vez que procesos industrializados para mejorar el nivel de vida.

Gracias a la tecnología desarrollada en la Revolución Industrial se creó el primer motor a vapor, que años después fue mejorado y aportó significativamente en la industria minera, textil y del transporte. La producción de energía se desarrolló inicialmente con vapor y carbón, pero luego fue tecnificada gracias al petróleo y a la electricidad; para el transporte se contaba con locomotoras y barcos de vapor, y la evolución tecnológica de la época permitió desarrollar los primeros automóviles y aviones, el primer motor de explosión y combustión interna que contribuyó al desarrollo en la producción de bienes y servicio, en el transporte y en las comunicaciones.

4.4 Tecnología contemporánea

El mundo contemporáneo goza de todos los desarrollos tecnológicos y científicos, la experiencia prima en el ingenio humano y la observación, la aplicación de teorías científicas y sus pruebas han permitido que puedan complementarse y generar conocimientos y técnicas viables de aplicación efectiva. Estos aportes desde la ingeniería han transformado al mundo, por iniciativa propia del hombre o simplemente como una consecuencia de la búsqueda de solución a los problemas que ha tenido que enfrentar por las adversidades del mundo natural. Pero, sin lugar a dudas, es la sociedad contemporánea quien disfruta de las creaciones tecnológicas, utilizadas desde siempre para convertir el mundo natural en un espacio de subsistencia.

En el campo de la medicina y gracias a disciplinas ingenieriles como la química, farmacéutica, biomédica e incluso la industrial, la tecnología ha hecho aportes significativos; en el área de la construcción la ingeniería civil ha tenido avances tecnológicos con todo tipo de máquinas (para alturas, pesadas y excavadoras, de dirección y trasmisión, de bombeo, industria siderúrgica, entre otras) para hacer de esta actividad una industria exitosa y creativa. En el campo de las telecomunicaciones la tecnología ha tenido un desarrollo significativo, porque

el hombre pasó de utilizar señales de humo al telégrafo, al teléfono y los sistemas de transmisión, emisión o recepción actuales, donde utiliza medios como la radioelectricidad, óptica o medios electromagnéticos. La tecnología del módem hizo posible la trasmisión de datos a través de computadores y otros dispositivos.

En el siglo XX la tecnología se desarrolló a gran velocidad gracias a los aportes de las Ciencias Computacionales y sus objetivos asociados a la guerra. Lo cual originó la computación electrónica, la radio, el radar, el teléfono evolucionado, el fax y el almacenamiento de información, y la internet. La tecnología informática ha permitido la evolución de los sistemas de información, el uso efectivo de hardware y software, la seguridad de la información, el uso de redes de datos; Además, tiene que ver directamente con el almacenamiento, procesamiento, trasmisión, conversión de la información y la protección de la misma, lo que implica todo un mundo tecnológico dedicado a proteger y salvaguardar la información para beneficio de las organizaciones.

La tecnología contemporánea ha ofrecido no sólo comodidad para el mundo empresarial, sino al hombre desde su comodidad porque le brinda desarrollos para el hogar (microondas, licuadoras, lavadoras, neveras, estufas, cuchillos eléctricos, exprimidores, cafeteras eléctricas, batidoras, teléfonos inalámbricos y celulares, computadoras personales, computadoras portátiles, tabletas, televisores, ventiladores, calentadores, lámparas). Hoy se puede afirmar que la sociedad pasó de vivir en un mundo natural a un mundo artificial, porque no es posible concebir actividades en las que no se encuentre involucrado algún aparato tecnológico.

Por otro lado, el transporte ha logrado avances significativos a partir de la segunda mitad del siglo XIX, por ejemplo, se pasó del velero al barco de vapor, lo que permitió alcanzar mayor velocidad y movilidad para grandes volúmenes de mercancía. La industria marítima cuenta con grandes desarrollos tecnológicos cuyas características (gran capacidad, ámbito internacional, flexibilidad y versatilidad) favorecen el desarrollo económico y social, a partir de innovaciones tales como buques, transatlánticos, submarinos y otras embarcaciones que permiten la movilidad de personas y mercancías.

El transporte terrestre mediante el ferrocarril permitió ampliar el mercado internacional y el automóvil, que inicialmente funcionaba propulsados con vapor y luego con el motor de gasolina, hoy pasa a trabajar con electricidad. Otros desarrollos notables son las bicicletas, motocicletas, automóviles,

camiones, camionetas y volquetas. En el transporte aéreo se revolucionó desde los dirigibles al aeroplano y, actualmente, a los aviones, helicópteros y naves espaciales, muchos de ellos auto-tripulados para realizar tareas en las cuales la vida del hombre puede verse en peligro.

5. CONOCIMIENTO APLICADO EN INGENIERÍA

Una de las definiciones de conocimiento afirma que es información adquirida a través de la experiencia y, de acuerdo con la historia humana, el hombre siempre ha tenido la necesidad de crearlo. En los primeros años estaba rodeado de un mundo natural y los problemas en él lo llevaron a buscar elementos de solución; al atender estas necesidades fue acumulando experiencia y generando conocimiento que le permitieron diseñar artefactos y dispositivos para transformar ese mundo en un lugar más organizado y habitable. Estas experiencias le brindaron conocimiento que podía transmitir para futuras necesidades, de tal manera que se iba especializando y que, posteriormente, con el surgimiento de la ciencia utilizó en los nuevos contextos de su existencia.

5.1 Conocimiento empírico en la ingeniería antigua

Como se ha descrito antes el hombre ha tenido ingenio y creatividad para desarrollar herramientas y artefactos para solucionar las dificultades en su contexto de existencia. Por eso es que, en cada época ha tenido que aplicar diversas técnicas para generar conocimiento, inicialmente de forma artesanal, por prueba y error y sentido común, que convirtió en experiencia para aprovechar al máximo los recursos naturales [8].

Por eso es importante resaltar que los antiguos pobladores alcanzaron la perfección en sus creaciones con base en conocimiento empírico, y que aún hoy intriga en las materializaciones de culturas como la egipcia y la romana, que marcaron diferencias con sus inventos, construcciones y descubrimientos [16]. Esa ingeniería se fundamentó en el manejo de elementos completamente naturales, tales como madera, piedra, agua, tierra y aire, pero a pesar del escaso conocimiento del hombre, su creatividad no le impidió desarrollar los implementos para aprovechar estas fuentes para construir elementos en su beneficio. En este sentido se pueden mencionar los avances que originaron la revolución agrícola, cuando el hombre tomó la decisión de radicarse en un lugar para iniciar los cultivos y el cuidado de animales.

5.2 Conocimiento científico como base de la ingeniería

La diferencia entre los ingenieros de la antigüedad y los de la Edad Moderna y Contemporánea es el progreso del conocimiento sobre el que fundamenta todos sus desarrollos. Con el surgimiento de las ciencias y el método científico el trabajo ingenieril se orientó a buscar soluciones más eficientes y eficaces con base en el conocimiento científico, pero sin abandonar el sentido común que, lógicamente, le había permitido el desarrollo tecnológico de antes. En este nuevo escenario las funciones de la ingeniería se diversificaron en investigación, desarrollo, construcción, producción, operación y gestión. Por lo tanto, la diferencia con la ingeniería antigua, aunque solucionan necesidades similares, radica en la utilización de la ciencia, porque el conocimiento científico le ofrece información que garantiza un mayor nivel de garantía y precisión para diseñar mejores soluciones a los problemas [8].

Actualmente, la ingeniería se basa en conocimientos matemáticos y utiliza cálculo, aritmética y geometría, al tiempo que relaciona de forma transdisciplinar principios de astronomía, mecánica, manejo de fluidos, movimiento, cambios de la materia, arquitectura, química, transformación de la energía, termodinámica, electrónica, física, electricidad, aeronáutica, mejoramiento de procesos y lógica, para realizar programación de procesos multiusuarios y personalizados, entre muchos otros conocimientos que le garantizan diseñar soluciones eficientes y eficaces para cada necesidad social.

El conocimiento científico le ha permitido a la ingeniería avanzar rápidamente, pero sus desarrollos han generado necesidades específicas y campos evolutivos de conocimiento, que evolucionaron especializaciones ingenieriles. Por eso es que, a las disciplinas establecidas desde hace mucho tiempo, tales como la militar, civil, mecánica y eléctrica, los problemas sociales hicieron que surgieran otras como la química, industrial, electrónica y aeronáutica, fundamentadas en conocimientos científicos que le han permitido al hombre realizar observaciones, generalizarlas, teorizarlas y, finalmente, aplicar las respectivas pruebas.

6. PERSONAJES Y LUGARES EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA

El desarrollo de la ingeniería a través de la historia ha tenido diferentes protagonistas que, desde su cultura, le ha aportado su ingenio y creatividad. Además, han dejado una huella de reconocimiento que, incluso en el mundo actual, permiten reconocer sus aportes. Por ejemplo, culturas sobresalientes

por sus creaciones son Grecia, Mesopotamia, Egipto, Roma, Babilonia y China. Pero a partir de la Revolución Industrial aparecieron tantas que es casi imposible nombrarlas a todas. A continuación, se relacionan los personajes y lugares que le dieron fuerza y desarrollo a la ingeniería a través de la historia.

6.1 Ingeniería prehistórica

El hombre primitivo fabricó herramientas que le permitieron conseguir alimento y diseñar armas para defenderse, pero la ingeniería propiamente dicha surge con la revolución agrícola en Asia Menor y África, hace unos 8000 años, cuando el hombre deja de ser nómada y se radica alrededor de los ríos Nilo, Éufrates e Indo. Allí se dedica a la agricultura, la caza y la construcción de viviendas; este asentamiento permanente origina las ciudades, lo cual dio verdadero sentido a la ingeniería porque los problemas de infraestructura pusieron a prueba el ingenio y la creatividad de los ingenieros para desarrollar acueductos, alcantarillados y vías. Además, en estos centros surgieron nuevas culturas que originaron la escritura y los sistemas de gobierno.

El surgimiento de la propiedad privada hizo que las personas se preocuparan por proteger sus pertenencias y construyeron muros alrededor de las viviendas, que hoy se conocen como ciudades estado. Algunos ejemplos se construyeron en Mesopotamia, Grecia, Roma y América Central y del Sur [16]. La región del cercano oriente comprende desde Mesopotamia a Egipto, regiones donde se instalaron civilizaciones con base tecnológica. Ambas estaban rodeadas de desiertos, por lo que la supervivencia sin agua era un problema que la ingeniería tubo que solucionar y evitar de esta manera los conflictos y guerras por su dominio.

6.2 Ingeniería egipcia

El territorio egipcio se extendía a lo largo del valle del río Nilo que fue habitado por una cultura reconocida por sus creaciones ingenieriles, como el muro de la ciudad de Menfis, antigua capital que estaba aproximadamente a 19 Km al norte de El Cairo actual. Egipto era un lugar seguro rodeado de desierto donde sus pobladores tenían la posibilidad de dedicarse a las artes y oficios como la literatura y la música, pero el legado más reconocido son sus obras arquitectónicas en las pirámides de Keops, Kefren y Micerino, la gran Esfinge y otros monumentos de tamaños diversos y que aún perduran. Los egipcios se dedicaron también a la caza de aves, pesca y actividades agrícolas y ganaderas, a la explotación de minas de cobre y oro, y también fueron reconocidos en

medicina por sus técnicas de momificación. Además, construyeron canales y zangas de irrigación para controlar las crecientes del río y aprovechar la zona cultivable del valle [16].

Durante el reinado de Tilgathpileser I nació la ingeniería militar, que fue significativa durante varios siglos hasta la aparición de la pólvora. Esta cultura es reconocida por aportar los primeros ingenieros civiles, cuyas obras maestras se reflejan en pirámides, obeliscos, canales, acueductos, complejos sistemas de irrigación y puentes. Desarrollaron elementos tecnológicos como la plomada, el plano inclinado, la palanca, el rodillo y herramientas de mano como la sierra, por lo que, además, también se les reconoce como los precursores de la ingeniería hidráulica [9].

6.3 Ingeniería mesopotámica

La cultura mesopotámica se asentó en el valle entre los ríos Éufrates y Tigris, en cuyo núcleo surgieron las ciudades de Babilonia, Nínive y Ur, pero llegaron a sitios ubicados en lo que hoy es Irán, Irak y Siria. En Mesopotamia surgieron los primeros centros de civilización urbana y a lo largo de los ríos se encontraban asentamientos como los Beduinos de Arabia y Siria; al sur se hallan los primeros trabajos de ingeniería civil en los que, a falta de piedra, utilizaron el ladrillo de arcilla secado al sol y el ladrillo cocido que hoy se conoce como adobe. Las ciudades se desarrollaron alrededor de castillos fortificados en puntos elevados; construyeron templos en forma de torres de varios pisos, siendo cada vez más estrechos a medida que se elevaban. Los ingenieros de la cultura mesopotámica aprovecharon el agua y crearon sistemas de riego, construyeron diques, presas y embalses de regulación. Además, a esta cultura se les debe la escritura, la rueda, el arado y el dinero.

Todo lo que sabían se basaba en conocimiento empírico, pero su experiencia era lo más importante y la divulgaban de una persona a otra por comunicación oral o a través de dibujos. En Babilonia, ubicada en la baja Mesopotamia, la sociedad se caracterizaba por adorar a la naturaleza y estudiar los astros, que más tarde los indujo a dividir el año en doce partes y la semana en días; también fueron grandes estudiosos de los astros y de las matemáticas. A la cultura mesopotámica se le atribuye los primeros intercambios a nivel mercantil y, porque con la aparición de la escritura, pudo perpetuar su conocimiento, aunque fue un proceso lento debido a que sólo era beneficio para unos cuantos privilegiados [16].

6.4 Ingeniería griega

La cultura griega estaba ubicada en las costas de Asia Menor y del sur de Italia, y sus pobladores fueron reconocidos como hábiles marinos y comerciantes. Además de dominar en todo el Mediterráneo, fueron fabricantes de naves de remo y vela, construyeron grandes rompeolas para proteger la bahía de Samos, registrada como la primera bahía artificial. Los griegos construyeron ciudades independientes (polis), donde las artes y las ciencias tuvieron amplio desarrollo. También son conocidos por desarrollar la lógica abstracta y la capacidad de teorizar y sintetizar; como científicos se centraron inicialmente en estudiar los fenómenos de la naturaleza, fueron matemáticos, geógrafos, biólogos y filósofos. Entre las figuras representativas se cuenta a Sócrates, Platón, Aristóteles, reconocido como el padre de la lógica por su razonamiento práctico y científico, y Tales de Mileto, el padre de las matemáticas y la filosofía. Otro personaje griego sobresaliente fue Arquímedes, matemático y científico que desarrolló los cálculos para hallar variedad de áreas y volúmenes, además de enunciar el principio de los cuerpos flotantes y las aplicaciones de las palancas y poleas.

A los griegos también se les reconoce por la abstracción geométrica y por ser los primeros en darse cuenta de que un enunciado matemático debía ser demostrado por axiomas. Pitágoras y Euclides fueron matemáticos que aportaron teoremas y conocimientos geométricos. Para los griegos el centro del universo era el hombre, por lo tanto, sus construcciones se caracterizaron por ser diseñadas para satisfacer las necesidades del ser humano; y eran suntuosos y elegantes sus creaciones orientadas al beneficio público (teatros, templetes, pórticos y templos) se desarrollaron a partir de una arquitectura compleja y con finos acabados. Aunque son sobresalientes sus aportes en filosofía, astronomía y matemáticas, sus creaciones a nivel de ingeniería fueron modestas [16].

6.5 Ingeniería romana

Los romanos construyeron grandes carreteras, puentes y caminos que se extendieron por todo el mundo, además de los sistemas de abastecimiento de agua de Apio Claudio, reconocido como el primer ingeniero romano encargado de abastecer de agua a toda Roma. Los constructores romanos diseñaron y construyeron puentes con madera y piedra, y se les atribuye la invención de los puentes peatonales [3]. Adicionalmente y debido a las circunstancias,

aunque hicieron grandes avances a nivel técnico en los que utilizaron la ciencia para resolver necesidades prácticas, su especialización fue la ingeniería civil, donde adoptaron las mejores técnicas de construcción de los egipcios, griegos y mesopotámicos para construir ciudades [16].

Por eso es que se considera a la ingeniería civil romana como la más exitosa de su época; innovaron en todo tipo de materiales para la construcción, tales como el cemento hidráulico y el hormigón, además, perfeccionaron el ladrillo, tejas y tuberías de cerámica, aunque la piedra era material preferido, con que construyeron cimientos, canales, murallas, puentes y bóvedas. Las grandes obras romanas estaban dirigidas a satisfacer necesidades públicas y su prioridad era solucionar los problemas de la población. Al igual que los griegos construyeron lugares públicos para el culto, el gobierno y la diversión, tales como palacios, templos, foros, teatros, circos y anfiteatros. Roma contaba con suministro de agua potable, calles empedradas y murallas alrededor de la ciudad para protegerse de posibles ataques, además, a ellos se les debe la construcción de redes para canalización de aguas residuales [16].

6.6 Ingeniería europea y oriental

En Europa se instalaron las civilizaciones germana, franca y goda ubicadas al occidente, y en el Sur de Europa y Asia Menor se estableció el imperio Bizantino. Fue una época de guerras y de inseguridad que generó retrasos en el desarrollo, sin embargo, en ingeniería se desarrolló el diseño estructural en la construcción e se inventaron dispositivos y máquinas para economizar la energía e incrementar la potencia. En la Edad Media europea las guerras y las epidemias generaron retroceso económico, pero poco a poco se recuperaron para dedicarse a la agricultura y a la ganadería. El bien más valioso era la tierra, por lo tanto, buscaban proteger sus propiedades construyendo grandes fortalezas y castillos, cuyo único acceso era a través de puentes.

Por otro lado, los chinos en Asia Oriental lograron desarrollos como el papel, las primeras formas de imprenta, el cigüeñal, la pólvora, la brújula y maquinaria de engranaje; mientras que los hindúes se especializaron en el manejo del hierro y en fabricar el mejor acero. Los islámicos obtuvieron amplios desarrollos a nivel científico y técnico, y los árabes inventaron los números y el sistema decimal. Surgieron las primeras universidades en Europa, con lo que se amplió el conocimiento a otras disciplinas, a la vez que se avanzó en los sistemas de transporte y comunicaciones [16].

6.7 Ingeniería renacentista

El renacimiento se enmarcó en la transformación que sufre Europa en los siglos XV y XVI en relación con los descubrimientos y la investigación. En esta época se desarrollan las artes, las ciencias y las letras, y se hicieron notables aportes en geografía, física, astronomía, matemáticas y ciencias naturales. Además, se destacaron personajes como Nicolás Copérnico, astrónomo polaco que formuló la teoría heliocéntrica del sistema solar [17]; Leonardo Da Vinci, reconocido por sus muchos talentos, además de científico, ingeniero y artista, que aportó a la mecánica de los sólidos y de los fluidos [25], y que sentó las bases para el desarrollo de la bicicleta, el helicóptero, los elevadores y las excavadoras; y Galileo Galilei, un astrónomo, filósofo, ingeniero, matemático y físico que, entre muchos otros aportes, desarrolló el telescopio [16].

6.8 Ingeniería en la Revolución Industrial

La Revolución Industrial originó nuevos sistemas de producción y tecnologías en diversas disciplinas, que dieron origen a casi todas las ingenierías que se conocen hoy. El desarrollo ingenieril más representativo es la máquina de vapor, que revolucionó la industria, la navegación y el transporte y, a partir de él, Nicolaus August Otto diseñó el motor de combustión interna (4 tiempos) y Rudolf Diesel creo el motor a petróleo.

Asimismo, a Thomas Alva Edison se le debe el uso de la electricidad y el invento de la bombilla, los hermanos Wright fueron pioneros en aviación y Frederick Winslow Taylor fue precursor de la administración científica como enfoque para la producción [16]. Por otro lado, George Cayley fundamentó la aerodinámica, John Loudon McAdam inventó el sistema de pavimentación de carreteras, Samuel Finley Breese Morse el código telegráfico (código morse) y William Thomson las ruedas neumáticas infladas con aire [13]. En la Tabla 2 se presenta el resumen de los principales aportes ingenieriles en las épocas anteriores.

Tabla 2. Personajes reconocidos en el desarrollo de la Ingeniería

Lugar	Personaje	Desarrollo
África	Hombre prehistórico	Construcción de ciudades, sistemas de riego, acueducto y alcantarillado
Valle del Nilo	Egipcios	Pirámides, monumentos, canales y zangas de irrigación
Valle del Éufrates y Tigris	Mesopotámicos	Templos en torre, la escritura, la rueda, los embalses de regulación
Roma	Apio Claudio	Sistema de abastecimiento de agua

Sur de Europa y Asia Menor	Germanos, francos y godos	El diseño estructural, dispositivos y máquinas para economizar la energía e incrementar la potencia
Grecia	Aristóteles	Padre de la lógica por su razonamiento práctico y científico
	Tales de Mileto	Padre de las matemáticas y la filosofía
	Arquímedes	Desarrolló los cálculos para hallar gran variedad de áreas y volúmenes y enunció el principio de los cuerpos flotantes y la aplicación de palancas y poleas
Italia	Leonardo Da Vinci	Contribuciones a la mecánica de sólidos y fluidos
	Galileo Galilei	Desarrollo del Telescopio
Inglaterra	James Watt	Patentó la máquina de vapor
Estados Unidos	Robert Fulton	El primer modelo de barco a vapor
	Thomas Alva Edison	El uso de la electricidad y el invento de la bombilla
	Hermanos Wright	Pioneros en la aviación
	Frederick Taylor	Administración científica como enfoque para la producción
Alemania	Nicolaus August Otto	Diseñó el motor de combustión interna (4 tiempos)
	Rudolf Diesel	Motor a petróleo
Reino Unido	George Cayley	Fundador de la aerodinámica
	William Thomson	Inventó las ruedas neumáticas infladas con aire
Escocia	John Loudon McAdam	El sistema de pavimentación de carreteras
Estados Unidos	Samuel Breese Morse	Inventó el código telegráfico conocido como código morse

6.9 Ingeniería a partir del siglo XX

Para este siglo se mejoró el avión, el motor de automóviles, el ferrocarril, la radio y el teléfono, además, los inventos de esta época se han desarrollado a un ritmo incontrolable. Algunas áreas en las que se ha avanzado significativamente son la tecnología médica y de exploración espacial, productos farmacéuticos y fibras sintéticas, construcción de rascacielos con materiales modernos como el concreto prensado y reforzado, el uso del aluminio, avances en microelectrónica, tecnología computacional, fibras ópticas y biotecnología.

También se desarrolla la producción en serie, que tuvo amplia aceptación para innovar los procesos de cadenas de montaje para la producción de automóviles, aparatos domésticos y máquinas diversas. Además, y con amargura, la ingeniería también aportó desarrollos con fines bélicos, tales como submarinos, armas, acorazados y la bomba atómica. Aunque muchos de ellos se pueden disfrutar actualmente con otro beneficio: la computación.

Internet se ha encargado de cambiar paradigmas y ha revolucionado la forma de concebir la información y de superar las barreras de tiempo y distancia. La Inteligencia Artificial, una combinación entre Ciencias Computacionales, fisiología y filosofía que reúne campos como la robótica y los sistemas

expertos, ha tenido que ver con la creación de máquinas con cierto nivel de inteligencia que le han permitido al hombre solucionar un sinnúmero de problemas y a mejorar la calidad de vida de la sociedad [18].

7. FUTURO DE LA INGENIERÍA

La ingeniería es una disciplina dinámica que permanece en constante movimiento y pone a prueba el ingenio, la creatividad y la capacidad innovadora del hombre para cambiar las condiciones de su propia existencia [5]. En tiempos modernos y teniendo en cuenta los desafíos y la dinámica de la existencia de la humanidad, se ha integrado activamente con otras ciencias y disciplinas para generar nuevos campos de investigación y desarrollo, tales como la mecatrónica en la que se integra la mecánica y la electrónica; la bioingeniería como unión de la biología y la ingeniería; y otras como la ingeniería de materiales, la nanotecnología y la ingeniería humana.

Pero en el futuro la ingeniería se enfrentará a problemas complejos en los que se deberán crear soluciones integradoras para responder a las demandas de la supervivencia de la humanidad. Algunas tareas básicas que deberán abordar los ingenieros del futuro son la preservación de los recursos naturales, la urbanización, la salud, la seguridad y la energía, entre muchas otras. Todo esto le exige procesos permanentes de innovación, pensando en diseños para el beneficio social [9].

8. CONCLUSIONES

Desde la prehistoria el hombre tubo la necesidad de encontrar soluciones a los innumerables problemas que la naturaleza le generaba. En esa carencia de comodidades desarrolló la creatividad y diseñó herramientas para protegerse de las adversidades del clima y del ataque de los animales y, de igual forma, le sirvieron para aligerar la supervivencia. Aunque estos diseños eran artesanales sentaron las bases para el surgimiento de la ingeniería que, con la ayuda de la ciencia, evolucionó del empirismo a desarrollos prácticos y calculados, tales como puentes, armas y viviendas, entre otros.

A través de la historia la ingeniería le ha permitido al hombre transformar el mundo natural en un ambiente más artificial, en el que la mayoría de veces se mejora la calidad de vida. En este proceso se han logrado avances significativos y, aunque en épocas de guerra la orientación fue ponerla su servicio, los ingenieros han mantenido un espíritu creativo en todas las eras de la

humanidad orientado a crear e ingeniar soluciones de amplia utilidad. Gracias a esto el hombre dejó de caminar grandes distancias para desplazarse en trenes, aviones y automóviles; de sufrir enfermedades sin conocer sus causas a tener aparatos para la práctica de exámenes diagnósticos; y de vivir en una aldea aislada a convivir en un mundo global.

En todo caso, ese mismo desarrollo ha creado una alta dependencia humana por los desarrollos tecnológicos, y el hombre requiere cada día más de ellos para subsistir. Por eso es función de la ingeniería ofrecer los avances necesarios, pero diseñados y creados con conciencia ética y de responsabilidad por las consecuencias de entregarlos a la humanidad.

REFERENCIAS

[1] Steininger, J. (2013). Engineering. Salem Press Encyclopedia of Science. Online [Jun 2016].

[2] Rincón, A. et al. (2010). La ingeniería biomédica en Colombia: Una perspectiva desde la formación del pregrado. Revista Ingeniería Biomédica 4(7), pp. 23-34.

[3] Domínguez, A. (2009). Los ingenieros de la antigüedad. Buenos Aires: Academia Nacional de Ingeniería.

[4] Tattersall, I. (2014). El mundo desde sus inicios hasta 4000 AC. México: Fondo de Cultura Económica.

[5] Altube, R. (2004). La organización de ingeniería: Su dinámica, su génesis, su futuro. Buenos Aires: Academia Nacional de Ingeniería.

[6] Aquiles, G. (2014). Introducción a la ingeniería: La tecnología, el ingeniero y la cultura. Córdoba: Editorial Brujas.

[7] Rojas, L. & Ruiz, R. (2011). Introducción a la ingeniería. Bogotá: Ediciones de la U.

[8] Méndez, P. J. E. (2005). Historia de la ingeniería. Argentina: El Cid editor.

[9] Roces, J. (2013). La ingeniería y el comportamiento humano en las organizaciones. Buenos Aires: Academia Nacional de Ingeniería.

[10] Fullola, J. & Nadal, J. (2005). Introducción a la prehistoria: La evolución de la cultura humana. Madrid: Editorial UOC.

[11] Ramírez, S., Toledo, B. & Santana, P. (2015). Historia general. Las Palmas: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

[12] Pérez, A. (2010). Historia General: La edad media, Los vikingos. Estados Unidos: Editorial Firmas Press.

[13] Bryan, D. (2004). Cronología de los descubrimientos: Los inventos y las realizaciones de ingeniería desde la Edad de Piedra hasta fines del siglo XIX. Buenos Aires: Academia Nacional de Ingeniería.

[14] Domínguez, A. (2001). La Revolución Industrial: Algunos logros de la ingeniería. Buenos Aires: Academia Nacional de Ingeniería.

[15] Valencia, A. (2004). La relación entre la ingeniería y la ciencia. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia 31, 156-174.

[16] González, O. & Villamil, M. (2013). Introducción a la ingeniería: Una perspectiva desde el currículo en la formación del ingeniero. Bogotá: Ecoe Ediciones.

[17] Fernández, C. (2005). Nicolás Copérnico y la astronomía. Córdoba: El Cid Editor.

[18] Henao, D. (2009). Inteligencia artificial. Córdoba: El Cid Editor.

CAPÍTULO 5

Ingeniería y Ciencia

Edgar Serna M.[1]
Universidad Autónoma Latinoamericana
Medellín, Antioquia

No existe un límite claro entre ingeniería y ciencia, por lo que diferenciarlas es más una cuestión de identificar tendencias centrales en lugar de extraer distinciones absolutas. A pesar de esta realidad, las tendencias centrales de la ciencia y la ingeniería difieren con respecto a la definición de los objetivos, las expectativas de la sociedad y la direccionalidad intelectual dominante. Comprender estas diferencias es importante para entender cómo la ingeniería y la ciencia, y también los ingenieros y los científicos, trabajan en un mundo cada vez más tecnológico. Además, la comprensión de estas diferencias es importante para que los estudiantes tengan mayor claridad antes de elegir una carrera profesional en alguna de ellas. En este capítulo de describen las relaciones, diferencias y dependencias de ambas áreas de conocimiento, de manera que el lector pueda comprender el devenir de ellas en el desarrollo de la humanidad.

1. INTRODUCCIÓN

Hace casi tres siglos la humanidad inició una de las más importantes revoluciones de la historia, una que modificó el contexto del planeta: la Revolución Industrial. El resultado fue una producción nunca antes vista de descubrimientos científicos que alimentó el desarrollo de las culturas, y cuya escala hizo palidecer lo que se había alcanzado en siglos anteriores. Los cambios fueron radicales y alteraron todos los aspectos de la vida del hombre, pero uno de los más sorprendentes impactos se materializó en la transformación del modo de pensar de las personas y en las tendencias que orientaron el pensamiento subsiguiente. A partir de entonces la vida industrializada aceleró los deseos humanos por satisfacer sus necesidades, un proceso en el que, mientras algunos aspectos se enriquecieron y revolucionaron otros se mantuvieron estáticos y, en ciertos casos, anularon algunas funciones vitales del cerebro. Pero todo esto no se dio por casualidad,

[1] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. en Ingeniería, Ph.D. en Pensamiento Complejo, Científico Computacional Teórico. *eserna@eserna.com*

fue la sumatoria de una serie de acontecimientos acumulados en la historia y producto de una simbiosis compleja entre Ingeniería, Filosofía y Ciencia, que hoy continúa presente en el desarrollo de la humanidad. En este capítulo de presenta y analiza esta relación desde el punto de vista de la ingeniería y la ciencia.

Como pioneros de esta revolución y de sus desarrollos los ingenieros pronto asumieron un rol destacado en este nuevo entorno y, a partir de entonces, su visión e ingenio fue el combustible que, junto con la ciencia, impulsó la marcha del progreso hasta la monumental complejidad de este siglo. Sin embargo, y gracias a la estrecha visión de los llamados *sistemas de educación*, hoy parece que los ingenieros se alejaran de los planos más sutiles de la existencia, para concentrarse en la materia inanimada, y adquieren costumbres que los alejan del arte vital de las relaciones humanas y del aporte al progreso de la humanidad.

Es decir, están cerca de convertirse en uno de los productos de su misma revolución: un autómata eficiente, porque han convertido a la ciencia en su filosofía y a las matemáticas en su único dogma. Para el ingeniero moderno pareciera que la poesía de la vida y la razón de la existencia han perdido su atractivo valor, y menosprecia toda noción o búsqueda que no tenga atada una recompensa tangible. Esto refuerza la necesidad de modificar los sistemas educativos que, estructurados en la misma Revolución Industrial, hace mucho tiempo se alejaron de su objetivo primordial: *formar personas y capacitar profesionales* [1]. Porque dejaron de funcionar como un sistema para convertirse en una colcha de retazos, a la que todo el que tenga poder se siente con autoridad para adicionar otro *remiendo*.

Gracias a esto el contexto actual de la relación entre la ciencia y la ingeniería se ha convertido, de hecho, en una triste situación donde la primera se asume como *maestro* y no como medio. La realidad es que la ciencia es un medio, no un fin; además, en el proceso a través del método científico tampoco alcanza la verdad última, considerada por muchos como su razón de ser. Dicha relación parece no tener fronteras claras, por lo que diferenciarlas es un asunto de identificar tendencias centrales, en lugar de dibujar distinciones absolutas [2]. Aunque esto se acepta como una realidad, las tendencias de ambas difieren en relación con sus objetivos, expectativas sociales y el direccionamiento intelectual del momento. La comprensión de estas diferencias permite entender las interrelaciones en un mundo cada vez más dependiente de la

tecnología, entre ingeniería y ciencia y entre ingenieros y científicos, a la vez que les ayuda a los estudiantes a direccionar sus aptitudes en alguno de estos campos.

2. RELACIONES ENTRE INGENIERÍA Y CIENCIA

Definir y relacionar los campos de la ingeniería y la ciencia se ha convertido en un tema de discusiones álgidas y de disputas sectorizadas. Para muchos ingenieros su disciplina es ciencia aplicada y lo sustentan en el hecho de que, desde la conformación de las primeras sociedades ingenieriles hasta hoy, las cartas contienen descripciones acerca de este tema. Sin embargo, otros consideran un agravio que se les identifique como científicos aplicados, porque aceptan que la ingeniería aplica ciencia, pero que no es ciencia aplicada [3].

La etimología de los términos ingeniería e ingeniero se deriva de *engine* e *ingenius*, que provienen de la raíz latina *generare*, que significa *crear*. Por su parte, ciencia y científico se derivan del latín *scire*, que significa *conocer*. Por lo tanto, la ingeniería como la ciencia tienen diferentes objetivos y la sociedad espera cosas distintas de los ingenieros y de los científicos: los aportes de los primeros se juzgan en el *sentido de utilidad y beneficio*; mientras que el conocimiento de los segundos por *si es correcto y equilibrado* con el existente. Otro asunto es el relacionado con la tendencia de cada una, en el sentido que la direccionalidad de la ingeniería es sustancialmente *integrativa*, mientras que la ciencia es *disociativa*, es decir, va de lo agregado a lo desagregado [4]. Por ejemplo, la física pasó de estudiar fenómenos macroscópicos a las partículas sub-atómicas y cuánticas. Por su parte, la educación en ingeniería suele darles mayor importancia a las herramientas del análisis de sistemas, en comparación con la educación en ciencias. En suma, el objetivo definido de la ingeniería es la resolución de problemas prácticos y su direccionalidad intelectual es el análisis de sistemas; para el primero, los ingenieros necesitan aplicar marcos tecnológicos y, para el segundo, requieren de las matemáticas para integrar y comprender sistemas.

Además, en muchas definiciones de ingeniería se expresa que es la aplicación de la ciencia en beneficio de la humanidad [5]; entonces, los estudiantes de las diversas disciplinas deberían aprender acerca de la aplicación de la ciencia y también sobre qué es beneficioso para los humanos. Pero este no es el caso de la formación en ingeniería en casi todo el mundo, porque lo que prima en

los planes de estudios es la aplicación de los principios matemáticos como área troncal de los procesos formativos.

Por otro lado, generalmente ciencia significa el estado de saber o poseer conocimiento suficientemente general, claramente conceptualizado, cuidadosamente razonado, sistemáticamente organizado, críticamente examinado y empíricamente probado. Pero desde la visión práctica se divide en ciencias básicas y aplicadas, aunque tanto para la comunidad ingenieril como para la científica, únicamente se diferencian por su enfoque y orientación, no por su nivel intelectual, precedencia epistemológica o prioridad histórica. Para uno de los bandos en esta discusión, el objetivo de la ciencia aplicada es obtener el conocimiento o la comprensión para satisfacer una necesidad específica y reconocida [6], y le da el mismo valor que a la ciencia básica. Ese nuevo conocimiento se almacena en revistas, libros e internet, y el entusiasmo intelectual y los productos que genera son ampliamente reconocidos. Esto le ha servido al bando contrario para afirmar que, desde esa perspectiva, ciencia aplicada es sinónimo de ingeniería. Para ellos la aplicación de la ciencia es más o menos mecánica, mientras que la ciencia aplicada es una cuestión desvalorizada, un parasitismo intelectual que no introduce nuevo conocimiento, una actividad rara, de poca jerarquía y poco creativa, que depende íntegramente de la ciencia básica.

La mayoría de quienes se alinean con alguna de estas posiciones olvidan que, por mucho tiempo, la ingeniería y la ciencia se desarrollaron de forma separada [7, 8]. Y que a partir del siglo XIX se lograron progresos como nunca antes, gracias al descubrimiento y la validación de leyes y principios científicos, lo que ha llevado casi a desparecer sus fronteras, al punto que hoy es difícil distinguir dónde termina la ciencia básica y dónde comienza la ciencia aplicada.

La cuestión es que muchos de estos argumentos parecen sustentarse en las valoraciones históricas que se ha hecho entre el conocimiento científico-intelectual y el artesanal-práctico, en el sentido de considerar al trabajo teórico con mayor valor social que al manual. Una creencia que tomó solidez al surgir las universidades, en las que los trabajadores intelectuales monopolizaron los recursos y socializaron sus descubrimientos. Paralelamente, se fue decantando una elite de científicos y de disciplinas que impusieron sus modelos y sistemas de conocimiento, y que con el tiempo dieron origen a poderosas comunidades científicas en matemáticas, física, filosofía y astronomía. Mientras tanto, como

rama del trabajo manual y herencia de los artesanos, la ingeniería tuvo un origen más humilde.

Dada esa jerarquización del conocimiento y el surgimiento de las elites dominantes, la ingeniería se estructuró por fuera de los centros de desarrollo científico y con recursos muy limitados. Solamente, con la materialización de la milicia pudo escalar algo en el reconocimiento social, aunque aún en el Renacimiento continuaba más como un servicio para suplir las necesidades de los acaudalados. Hasta el siglo XIII mantuvo un status de oficio, que desempeñaban quienes habían heredado habilidades y destrezas de sus maestros, que vieron la necesidad de asociarse para compartir conocimiento y valorizar su trabajo [9]. Esto dio como resultado una mayor aceptación social de la ingeniería y posteriormente a la inclusión como programa en las universidades. Para el siglo XX, y gracias a las crecientes necesidades por formalizar esas habilidades y destrezas, se logró consolidar como una disciplina con alta demanda por las clases que no alcanzaban a costear su estudio en las áreas dominantes. Pero actualmente, y debido a que en muchos países todavía se considera un oficio o cuasi-profesión, la disciplina ingenieril continua una intensa lucha por establecerse como profesión socialmente valorada.

Para el siglo XXI se aceptó que la ciencia y la ingeniería eran complementarias, porque mientras que el científico se esfuerza por comprender la naturaleza, el ingeniero lucha por transformarla para ponerla al servicio de la sociedad. En este sentido, y para lograr esa transformación, la ingeniería necesita comprender la naturaleza a través de los resultados científicos, a la vez que la ciencia, para descubrir sus secretos, requiere los instrumentos para experimentación que le brinda la ingeniería. Esta complementariedad ha hecho que deban compartir conocimientos, métodos y recursos para lograr los objetivos comunes. Pero también se diferencian en que mientras la ciencia intenta romper la materia hasta sus componentes más básicos, la ingeniería procura ensamblarlos en sistemas complejos. Para lograr esta última instancia, y debido a que esos componentes provienen de diversas disciplinas y dimensiones, los ingenieros deben conformar equipos transdisciplinares para lograrlo [10].

Otra peculiaridad es que la ciencia diseña experimentos particulares para descubrir leyes generales, mientras que la ingeniería formula principios generales para diseñar artefactos particulares. Aunque en las últimas décadas

los ingenieros han desarrollado teorías generales acerca de sistemas artificiales, su eficacia se materializa en el diseño y, como teoría abstracta, se acerca más a la matemática pura que a la física. Esta paradoja es una prueba de que *la ingeniería hace énfasis en crear en lugar de descubrir*. Por otro lado, mientras que la ciencia tiende a postergar la investigación hasta encontrar las leyes generales, la ingeniería, para cumplir con los tiempos de entrega, toma decisiones con conocimiento incompleto, lo que le ha permitido abordar la incertidumbre de diversas formas. Debido a que los ingenieros deben responder a cuestiones de utilidad, cotidianamente incorporan el concepto de intención, que está ausente en el trabajo científico. Además, los equipos de ingenieros tienen actividades propias en todo el ciclo de vida de sus productos, desde la concepción hasta la entrega, por lo que tienen que visionar, más allá de las cosas, a las personas y su entorno [11].

La importancia de analizar las disciplinas ingenieriles en el núcleo de la investigación y la práctica científica no es un concepto nuevo, porque en diferentes escenarios se ha hecho mención de esta relación. Philip Sharp, premio Nobel de Medicina en 1993, se refería a esta relación como una revolución clave en la ciencia, debido a que los enfoques de ingeniería habían permitido, por ejemplo, una rápida traducción de los nuevos conocimientos moleculares al tratamiento. Además, los avances en la investigación celular lograron mayor avance cuando los científicos aplicaron los métodos y mediciones cuantitativos a escala nanométrica desarrollados por ingenieros. Los frutos de la relación se pueden enumerar en diferentes áreas, sin embargo, la adaptación de las estructuras actuales en ciencia, orientadas a las patentes y a la propiedad privada, es intrínsecamente difícil y obliga a científicos e ingenieros a desarrollar nuevos mecanismos de financiación y agrupación [12].

En todo caso, para establecer el escenario de concurrencia entre ciencia e ingeniería, solamente se necesita analizar algunos de los esfuerzos en los que este *matrimonio* ha tenido un impacto profundo. Como en lo que muchos llaman el *amanecer de la física*, una época en la que la naturaleza del átomo y su comportamiento eran desconocidos y los fundamentos de la estructura de la materia eran un misterio. Los físicos no se ponían de acuerdo sobre si el mundo físico era o no determinista y no aceptaban que las leyes naturales, descubiertas y descritas por la ciencia, fueran útiles para comprender y predecir el comportamiento de la luz y la materia. La resolución de estos desacuerdos no se pudo lograr con los datos obtenidos con herramientas

clásicas, sino con desarrollos ingenieriles que revelaron el mundo subatómico y cuántico para permitir el progreso del cuerpo de conocimiento existente. Esto marco un punto de inflexión, porque los físicos más brillantes comenzaron a trabajar con ingenieros para crear y utilizar tecnologías e idear experimentos ingeniosos. Durante este período se dieron descubrimientos brillantes que revolucionaron la comprensión de la naturaleza cuántica de los átomos, pero la clave de estos logros fueron los espectaculares experimentos diseñados y construidos por científicos e ingenieros. Para ese entonces no se presentaba retrasos temporales entre los desarrollos de la ingeniería y su aplicación a la investigación y el descubrimiento, porque los ingenieros trabajaban simultáneamente con los científicos, a la vez que estos abordaban desafíos de la ingeniería.

Otro de los desarrollos que se originó en esta armonía se logró por 1870, cuando se diseñó un tubo de vidrio al vacío con electrodos en cada extremo, en el que al perforar el ánodo los electrones pasaron a través de él para excitar un colorante fluorescente. El primer aporte de este desarrollo fue el descubrimiento de los rayos catódicos como corrientes de electrones. Unos 30 años después, cuando utilizaban este tubo, notaron un fenómeno antes no observado: comprobaron que la corriente de electrones pasaba a través de obstáculos que se colocaban antes del colorante, y concluyeron que el tubo generaba algún tipo de rayo que podía viajar a través de ellos y excitar el tinte fluorescente. Posteriormente, al colocar la mano entre el rayo y el tinte el resultado fue una imagen fotográfica que mostraba los huesos. El experimento demostró que esos rayos pasaban a través del tejido, pero que eran bloqueados por los huesos para crear una imagen detallada de la mano. De esta manera se descubrió los rayos X, un esfuerzo entre ingeniería y ciencia que, hasta el momento, es una herramienta crítica en el arsenal de equipos que la medicina utiliza para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades.

La naturaleza de esta convergencia en ciencia e ingeniería comenzó a cambiar en la década de 1930, debido a que los científicos necesitaban herramientas capaces de penetrar el átomo para estudiar sus componentes, lo que significaba que se debía generar partículas con mayor energía, para aplastar el núcleo y separarlo en sus piezas constituyentes. Entonces, la ciencia diseñó el instrumento y la ingeniería construyó lo que denominaron ciclotrón, una tecnología para acelerar partículas cargadas y capaces de penetrar el núcleo del átomo. Pero este desarrollo empujó la frontera científica, porque los

científicos necesitaban mayor energía para acelerar partículas más grandes, por lo que el tamaño de la máquina también se incrementó. Esto dio como resultado la fabricación del primer ciclotrón a gran escala, que hoy se conoce como *acelerador de partículas*, y que se lograran sintetizar elementos nuevos, conocidos como transuránicos: neptunio, plutonio, americio, curio y californio.

En este mismo sentido, una de las colaboraciones más conocidas de la relación entre ingeniería y ciencia es el Telescopio Espacial Hubble, un equipo que transformó una visión en una poderosa realidad. El asunto es que mucho antes que se iniciara el programa espacial la ciencia se dio cuenta, desde una perspectiva teórica, que ubicar un telescopio en el espacio cambiaría radicalmente el conocimiento del universo, pero no tenía idea de cómo lograrlo. Entonces comenzaron a trabajar con ingenieros para materializar sus ideas en desarrollos tecnológicos y, para 1990, se construyó el primer telescopio espacial. No hay duda de que la relación combinatoria de ingeniería y ciencia, en este caso astronomía y astrofísica, generó una herramienta de increíble poder. Mientras la ingeniería hacía posible la herramienta y la tecnología, la ciencia hacía descubrimientos de importancia y grandeza eternas.

2.1 Una relación histórica

En diferentes estudios se demuestra que la ingeniería ha funcionado en la historia como una fuerza motriz para el desarrollo de la humanidad [9]. La ingeniería modeló su progreso desde el Paleolítico y el Neolítico, y entre las diferentes revoluciones científicas y tecnológicas hasta la actual era digital, y continuará este funcionamiento mientras los humanos habiten el planeta.

Desde esos comienzos de la humanidad, la ingeniería ha dejado un amplio legado de artefactos materiales, pero solamente existe un registro débil de los intereses científicos en estas culturas, básicamente relacionados con una incipiente astronomía. Estos descubrimientos refuerzan la evidencia de que ambas progresaron por trayectorias separadas: mientras la ingeniería se erigía como elemento fundamental de la economía nómada, la ciencia, como interés abstracto y sistemático por la naturaleza, era prácticamente inexistente o dejó poco rastro.

La extraordinaria resistencia de los humanos para subsistir en ese medio dependía en gran medida de que lograran dominar un conjunto de técnicas y procedimientos ingenieriles entrelazados, aunque algunos afirman que

también necesitaban y poseían la ciencia como fuente del conocimiento para sustentar esa práctica [13]. Asimismo, existe controversia acerca de si, por ejemplo, al dominar el fuego, estos pueblos practicaban alguna forma de química; sin embargo, dado que la ciencia y la ingeniería involucran sistemas de conocimiento, lo que ellos poseían no se puede clasificar como teórico, derivado de la ciencia o teoría natural [14] y, aunque se encuentra evidencia de artefactos astronómicos, evidentemente no podrían clasificarse como ciencia.

La ausencia de un registro del trabajo científico indica que no buscaban conscientemente la ciencia o que realizaban investigaciones planeadas acerca de la naturaleza. Sin embargo, hay que reconocer que poseían un extenso conocimiento de la naturaleza, adquirido directamente de su experiencia; eran observadores agudos porque su supervivencia dependía de lo que aprendían del mundo a su alrededor; y puede que hayan realizado taxonomías para categorizar y comprender esas observaciones. En todo caso, muchos investigadores concuerdan en que estas culturas desarrollaban actividades sorprendentemente parecidas a la ciencia [15], lo que se puede evidenciar en la cantidad de grabados y en los huesos dispuestos como registros de observaciones lunares.

Posteriormente, y luego de asentarse y comenzar a cultivar, con la domesticación de animales lograron la tracción y el transporte que necesitaban y, aunque todavía tenían una alta dependencia de las plantas y los animales, sus tecnologías de explotación y el sistema social habían cambiado radicalmente. Empezaron a combinar las tecnologías de la horticultura y la ganadería y aparentemente disponían de carros y caminos [16]. Por otro lado, y complementando las diversas técnicas y habilidades que habían desarrollado en la agricultura y la cría, incursionaron en la práctica de la tejeduría y la cestería, al punto que dieron inicio a las tecnologías textiles: motilar ovejas, cultivar y cosechar lino o algodón, procesar materia prima, hilar el hilo, construir telares, teñir y tejer. Actividades en las que se puede observar las relaciones básicas entre ingeniería y ciencia rudimentaria.

De forma paralela a estas prácticas surgió la cerámica como técnica de almacenamiento y de recolección de los alimentos que, inicialmente, fabricaban mediante arcilla cocida. Posteriormente, luego de aprender a utilizar yeso y morteros en la construcción, perfeccionaron la técnica del horno, convirtiendo la cerámica en una piedra artificial [17]. Gracias a estos

nuevos desarrollos ingenieriles generaron mayores excedentes de alimentos, lo que dio pie al incremento del intercambio que, a su vez, condujo al surgimiento de ciudades primitivas, con alfareros, tejedores, albañiles y operarios. Pero esta revolución fue un proceso tecno-económico que, aparentemente, se desarrolló sin la ayuda de la ciencia. La cerámica se puede utilizar como ejemplo representativo de esta premisa, porque los alfareros fabricaban vasijas simplemente porque las necesitaban y porque tenían el conocimiento y las habilidades necesarias heredadas de sus ancestros. Ese conocimiento sobre el comportamiento de la arcilla y del fuego era totalmente práctico y, aunque llegaran a tener explicaciones de los fenómenos involucrados, no aplicaban ciencia sistemática de los materiales, ni aplicaban conscientemente procesos teórico-prácticos [14].

Aunque se ha descrito la falta de ciencia en el desarrollo tecnológico-ingenieril de esa época, se ha encontrado evidencias del trabajo que realizaban en astronomía. Probablemente la mayoría de estos pueblos observaban sistemáticamente los cielos, en especial los patrones de movimiento del sol y la luna, y creaban monumentos alineados que utilizaban como calendarios para las estaciones y las cosechas. Esto es lo que los investigadores denominan ciencia en la prehistoria [17]. Esta especie de revolución urbana, en la que las personas comenzaron a aglomerarse en centros determinados, incrementó la densidad poblacional, se centralizó la autoridad política y económica, surgieron los estratos sociales y culturales, aparecieron nuevas necesidades arquitectónicas y nuevas formas de aprendizaje. La sociedad tiene ahora que buscar la forma de mantener a grandes conglomerados humanos a través de una agricultura más eficiente.

Entonces se estructuraron empresas conformadas por obreros y maestros para atender la infraestructura necesaria. La demanda por mayor producción favoreció el surgimiento del arado tirado por bueyes, los sistemas de riego, los caminos, las técnicas de conservación y el comercio. Posteriormente, en estas sociedades organizadas burocráticamente, surgen cuadros de eruditos dedicados a desarrollar las matemáticas, la medicina y astronomía, que luego serían los encargados de capacitar a los maestros para formar los primeros ingenieros propiamente dicho. Con base en el desarrollo de la hidráulica y la agricultura, el incremento mundial de la civilización urbana marca un punto de inflexión fundamental e irreversible en la historia de la tecnología y en los asuntos humanos en general.

Paralelo a estos avances en ingeniería y algo de ciencia, las comunidades conocieron los metales y sus bondades, al punto que sustituyeron a la piedra como herramienta y arma. Este proceso le dio un nuevo empuje al desarrollo de la ciencia y la ingeniería, porque la metalurgia y la metalmecánica incorporan un conjunto complicado de tecnologías y cuestiones ingenieriles, tales como minería, fundición, moldeo, hornos y control de temperatura. Otro impacto que generan estos avances fue el de la producción y la especialización ocupacional, porque el trabajo artesanal dejó de ser una cuestión familiar para convertirse en negocio en el que se empleaba quienes tenían el conocimiento de fabricación, es decir, los primeros ingenieros. Estos empleados especializados comenzaron a controlar el sistema de producción y a buscar maneras de mejorarlo, entonces se preocuparon por nuevas fuentes de energía y de potencia para realizar el trabajo. De esta manera ataron los carros al caballo, con lo que innovaron el carro de guerra, y aprovecharon la energía eólica para mover los barcos, con lo que mejoraron las comunicaciones y los medios de transporte; pero también se dieron cuenta que podían aprovechar la fuerza humana, con lo que se da inicio a la esclavitud.

Con esta nueva fuerza se aventuraron a cruzar los mares y comenzaron a levantar edificaciones majestuosas. Los arquitectos e ingenieros ampliaron sus conocimientos matemáticos, astronómicos y físicos para dejar su huella en construcciones como las pirámides. Hasta ese momento el conocimiento y la técnica se transmitía de maestro a aprendiz, entonces surgió la necesidad de plasmarlo de alguna forma, para que su acumulación no fuera un impedimento de capacitación para otros. Se interesaron en la escritura, en el mantenimiento de registros, en la literatura y en ampliar los principios científicos que conocían, sobre todo en aritmética, geometría y astronomía, con lo que imprimieron su marca distintiva en las aportaciones científicas e ingenieriles. Aquí cobran importancia el estado y los templos, porque fueron los patrocinadores para la adquisición y aplicación del conocimiento, de tal manera que algunas personas se concentraban en aprender, para luego registrar lo que sabían y aprendían.

Algo que caracterizó este periodo es que el conocimiento, de alguna manera, era un bien social que el estado utilizaba para brindarle bienestar a la población, y no como se orientó desde el templo en el sentido de ocultarlo e individualizarlo con el objetivo de manipular la sociedad. Otra característica extraña de estas tradiciones científicas fue la inclinación a registrar el

conocimiento de forma plana, en lugar de en cualquier sistema analítico de teoremas o generalizaciones, caracterizada por una notable falta de abstracción o generalidad y sin ninguna teoría naturalista u objetivo del conocimiento como un fin en sí mismo. Como el conocimiento se incrementa gracias al comercio y el intercambio, surgió la necesidad de crear escuelas como instituciones, donde se enseñaba formalmente la escritura y donde los ingenieros y conocedores de ciencia se convirtieron en instructores.

Pero no era solamente escritura lo que se aprendía allí, también se desarrolló matemática y algo del cálculo, que necesitaban para el comercio y el control de la producción agrícola. Se crearon los primeros pesos y medidas estandarizadas, y surgió el dinero como una práctica de negociar los excedentes. Aunque cada cultura tenía sus propios intereses, predominaban los problemas ingenieriles y científicos que se podían resolver con el conocimiento matemático existente, y que implicaban poca o ninguna comprensión abstracta de los números. Los avances continuaron apareciendo, se consolidó la medicina, la astronomía, la navegación, la arquitectura, la ingeniería de caminos y de construcción, y la ciencia empezó a encontrar nuevos principios que se alejaban de la tradición matemática. Aquí la historia se rompe, cuando aparecen el imperio griego, luego el romano y otros, cuya historia y aportes a la ciencia y la ingeniería se conocen en todo el mundo.

En todo caso, el mundo moderno se ha construido cobre estas bases, además de la influencia de muchos otros factores en los siglos recientes, pero los progresos en ingeniería y ciencia más sobresalientes tienen su centro en la Revolución Industrial, que originó un nuevo modo de existencia humana: *la civilización industrial*. En este nuevo orden se da un cambio demográfico de la agricultura y el comercio, debido a la mecanización de la producción, la aparición del sistema de fábrica y el desarrollo de sistemas de mercado globales para apoyar la producción industrial. Por eso es que el hierro, el carbón y el vapor se convirtieron en sus recursos emblemáticos. Entonces, la ingeniería y la ciencia estrechan aún más sus relaciones y se inicia una avalancha de descubrimientos, tecnologías, teorías y necesidades de personal capacitado, creándose estructuras de investigación y un sistema de educación que persisten hasta hoy.

Algunos de los cambios en ciencia, sociedad y tecnología se pueden resumir en migración del campo a las ciudades, expansión de la población urbana, obreros mal pagados, el trabajo fabril, se intensificó el conflicto de clase,

surgen los agentes de control social denominados escuelas públicas y prisiones, la familia dejó de ser el centro de producción, se inicia otra división del trabajo, se afianzan los países dominantes y surge la necesidad de buscar nuevas formas de sustento, muchas veces por fuera del territorio. Aunque muchos de estos cambios se pueden observar como negativos, no se puede negar que esa fusión ingeniería-ciencia que aparece en esta época sustenta la mayoría de desarrollos e innovaciones que hoy disfruta la humanidad. Pero ese valor negativo también dio origen a otras formas de ver y pensar el mundo, por lo que la ciencia y la ingeniería han tenido que desarrollar nuevas teorías y tecnologías con el objetivo de corregirlos.

De esta manera es que hoy se buscan nuevos mundos, energías alternativas, fuentes de vida, mejores características humanas y muchas más, porque el objetivo es salvaguardar la especie. Cuando la humanidad se dio cuenta que el planeta no era una fuente eterna de materiales y suministros para la supervivencia, la ciencia y la ingeniería empezaron a buscar soluciones [18]. Este es el caso de los grandes progresos científicos del siglo pasado y los deslumbrantes descubrimientos de la primera década en el actual. Pero, aunque para muchos la ciencia y la ingeniería son las culpables de la situación del planeta, cabe hacerse la pregunta sobre cuál habría sido el destino de la humanidad si no se hubiesen fusionado como lo han hecho hasta ahora.

Debido a esto, en las últimas décadas diferentes autores [4] han incluido un tercer término para analizar esa relación: la tecnología, y su objetivo es estudiar la relación entre la ingeniería, la ciencia y la tecnología. Aunque desde una cuestión metodológica existen diferentes tipos de relaciones que se pueden estudiar, en este trabajo y desde una perspectiva general, se hará un análisis a tres enfoques: empírico, conceptual y evaluativo. El primero puede incluir un relato histórico de las relaciones o un estudio del papel problemático de lo social en ellas.

Debido a que también es importante que los filósofos se informen acerca de las prácticas de la tecnología, la ingeniería y la ciencia, su análisis no se puede limitar a un estudio empírico, por lo tanto, el segundo enfoque se centra en las relaciones conceptuales que las caracterizan a través de una especificación de sus similitudes y diferencias. El tercer enfoque se centra en averiguar cómo se evalúa cada una y cómo se deberían evaluar, individualmente y en sus relaciones, en cuanto a su valor epistémico como términos de valor social y moral.

Desde el enfoque empírico las relaciones, que proporcionan las bases para comprender los artefactos tecnológicos surgieron entre los siglos XVIII y XIX, cuando aparecieron las fuerzas que crearon su contexto de materialización. Dichas relaciones se moldearon desde tres diferentes modelos: *independiente*, *dependiente* e *interdependiente*. De acuerdo con el primero, la ciencia, la ingeniería y la tecnología son campos de conocimiento independientes con pequeñas interacciones entre ellos; el dependiente considera que todas sus aplicaciones dependen de todas; y el modelo interdependiente sostiene que las tres áreas necesitan una relación simbiótica para que sus características distintivas no se desdibujen. En cuanto a su ubicación histórica el independiente fuel el dominante entre los periodos antiguo y medieval, el independiente en el periodo moderno (siglo XIX), y el interdependiente durante el siglo XX. En estos periodos sus relaciones se basaron en definiciones cambiantes y en la aparición de una noción moderna a mediados de siglo.

A lo largo de estos periodos históricos los conceptos de ciencia, ingeniería y tecnología siguieron diferentes tradiciones sociales e intelectuales y, a excepción de algunos casos aislados, tuvieron poca relación entre sí [19]. Por ejemplo, en la antigüedad, la ciencia se podría etiquetar más correctamente como filosofía natural, debido a que su objetivo era realizar y responder preguntas sobre la naturaleza última del mundo físico y del universo, pero dedicaba poco o nada a resolver problemas individuales o prácticos. Entre sus actividades más sobresalientes se puede citar que utilizaba métodos matemáticos, geométricos y racionales para idealizar los problemas, de tal manera que las soluciones que encontrase se pudieran aplicar universalmente a la naturaleza como un todo. Esta *protociencia* se asoció rápidamente con las élites y los templos, y fue la base para la fundación de las universidades en la Edad Media. Posteriormente, y dada su estrecha asociación con la educación formal, se consolidó el conocimiento de la ciencia y se difundió mediante tratados, libros de texto y revistas.

Por su parte, la ingeniería se etiquetaba como una práctica y engrosaba a las artes manuales, mecánicas y técnicas. Los mecánicos y los artesanos utilizaban técnicas empíricas a situaciones individuales que, generalmente, no podían generalizar a todo tipo de problemas; además, antes del siglo XVIII pocos tenían alguna educación formal o entrenamiento universitario. Debido a que la mayoría de su conocimiento era el resultado de la observación y la experiencia, lo obtenían del contacto directo entre el maestro y el aprendiz; se registraba

muy poco de ese conocimiento y, cuando se hacía, por lo general era de forma visual. Pero en los tiempos modernos tempranos algunas de esas diferencias se comenzaron a superar, y los cambios sociales, económicos y culturales de comienzos del siglo XIX condujeron a la aparición de conceptos más o menos modernos para definir la ciencia y la ingeniería. El concepto de ciencia se asoció con la filosofía mecánica y experimental, mientras que ingeniería se definía como ciencia de las artes prácticas, con lo cual se inició un conjunto más amplio de interacciones entre ambas.

Este nuevo contexto y las nacientes demandas derivadas de la industrialización, permitieron el establecimiento de escuelas de ingeniería, institutos técnicos, laboratorios de investigación industrial y sociedades profesionales de ingeniería [9]. En ellas se desarrollaban investigaciones y metodologías que dieron lugar a una nueva armonía entre teoría y práctica, lo que facilitó el surgimiento de la tecnología como un intermediario que unía a la ciencia y a la ingeniería, a la vez que se dinamizó la transferencia y transformación de conocimientos y metodologías entre ambas. A finales del siglo XIX comenzó el surgimiento de la industria científica, particularmente la química y la eléctrica, lo que en algún momento se denominó ciencias basadas en la industria. Pero en el siglo XX con el surgimiento de la industria militar, se desdibujaron completamente las distinciones entre ciencia, ingeniería y tecnología, y surgió un área de trabajo conocido como tecno-ciencia.

Desde el enfoque conceptual la discusión se enfoca en analizar una variedad de disciplinas, incluso las ciencias naturales; la ingeniería se adopta para abarcar a la tecnología, incluyendo disciplinas tales como la ciencia de la información, la ciencia médica y la ciencia agrícola. Este vínculo tan directo entre la ingeniería y las ciencias se debe a que éstas pretenden contribuir al desarrollo de la ingeniería contemporánea y, en consecuencia, se desarrollan mediante actividades tecnológicas tales como investigar, diseñar, producir, usar y mantener [2].

Todos estos conceptos se sustentan en que la ciencia y la ingeniería han sido, son y se puede esperar que se mantengan, relacionadas, lo cual se observa en las características materialistas y en la conceptualización teórica en relación con la comprensión filosófica de ambas. Pero un estudio reflexivo de este tipo necesita confrontar algunas cuestiones metodológicas, ya que realizar alguna afirmación acerca de la naturaleza de esta relación presupone una caracterización previa de ambas.

Este asunto a menudo se aborda a través de una especificación de sus respectivos objetivos, lo que lleva a aceptar que el de la ciencia es epistémico, particularmente la adquisición de conocimiento, mientras que el de la ingeniería es la construcción de cosas o procesos con alguna función útil socialmente [20]. Pero para otros esta caracterización *teórico-conceptual* no le hace justicia a la riqueza y variedad de prácticas de este siglo, y abogan por un enfoque *empírico-nominalista* en el que asumen a la ciencia como ir, ver y definir, y a la ingeniería como ciencia práctica. Ambos enfoques son diferentes y generan análisis paralelos, por ejemplo, para muchos autores al estudiar a la ciencia como la búsqueda del conocimiento, y debido a que también hay conocimiento no-científico, deducen que es una actividad que lo busca tanto lo teórico como lo explicativo. Pero esto presupone una interpretación filosófica específica de la misma que, generalmente, no es aceptable, por lo que no se puede basar en la naturaleza explicativa de la ciencia.

Ahora bien, definir el objetivo de la ingeniería como la construcción de cosas o procesos que tienen alguna función socialmente útil parece intuitivamente más plausible. Pero, al igual que con el objetivo de la ciencia, muchos afirman que es demasiado estrecho ya que la ingeniería no se limita únicamente a la fabricación de cosas o procesos, porque, como lo sugiere la etimología del término, también implica generar y utilizar conocimiento [21-22]. Otros aseveran que no es de mucha ayuda para aclarar la relación ciencia-ingeniería, porque diseñar y construir cosas o procesos es una actividad común en la práctica científica, por lo tanto, no demarcan una caracterización propiamente dicha [23-24]. De acuerdo con estas posiciones la única distinción intuitiva viable entre ciencia e ingeniería parecería ser la relación con su utilidad social.

En todo caso y en contraste con la ciencia, la ingeniería se orientaría hacia una utilidad potencial para la sociedad, pero incluso esta afirmación necesita discusión. La cuestión es en qué momento se define que un proyecto ingenieril tiene utilidad social: desde el comienzo o en el desarrollo. En el primer caso, muchos de los que se desarrollan como ingenieriles podrían no serlo, porque su utilidad solamente se puede definir cuando el producto esté terminado. Pero si esa utilidad se define en el desarrollo, entonces muchos proyectos de investigación científica se podrían considerar como ingenieriles. Esto se debe a que a menudo la investigación la apoyan agencias que detectan su contribución al cuerpo de conocimiento de la sociedad, y por lo tanto su utilidad es a largo plazo.

Por otro lado, en el enfoque empírico-nominalista se asume que cualquier investigación empírica se puede considerar como científica o ingenieril. Esto constituye un antídoto contra aquellos que simplemente proclaman un fin específico para cada una de ellas, sin pruebas o reflexiones. Sin embargo, y aunque esta estrategia parece simple, al igual que la teórico-conceptual también tiene problemas. En primer lugar, cualquier identificación empírica de la ciencia o de la ingeniería necesita un pre-entendimiento, por ejemplo, de lo que cuenta como actividad básica. Por lo que al centrarse en un subconjunto específico de las actividades y despreciar otras, el enfoque empírico-nominalista presupone una interpretación teórico-conceptual de lo que es ciencia e ingeniería, y la cuestión de si es posible hacer este pre-entendimiento más explícito, o incluso definirlo, todavía está en discusión. En segundo lugar, el enfoque parece olvidar que diferentes lenguas y culturas utilizan diferentes definiciones para actividades que podrían ser muy similares. Por lo tanto, para saber si esas actividades pueden ser esenciales, básicas, o en gran medida, similares, nuevamente se necesita una aclaración teórico-conceptual de las mismas.

Es decir, que este tipo de análisis debe partir de una perspectiva interpretativa de lo que se debería considerar aspectos básicos de la ciencia y la ingeniería, por lo que se necesitan ambos enfoques. Una vez establecida esa interpretación adquiere cierta fuerza normativa, y las actividades que no se ajusten a ella no se deberían nombrar como científicas o ingenieriles. Entonces, para asumir una interpretación particular primero debe cubrir lo que se pueda considerar casos interesantes e importantes, entre las dimensiones de la ciencia y la ingeniería. En este sentido, un modelo conceptual debería estar respaldado por estudios empíricos de la práctica, y un modelo empírico debería basarse en un pre-entendimiento interpretativo plausible [25]. Por lo tanto, el enfoque teórico y el empírico no deberían separarse al analizar las relaciones entre ciencia e ingeniería.

Por último, desde el enfoque evaluativo, y a primera vista, la idea de que las relaciones entre ciencia e ingeniería están cargadas de valor, apenas parece controvertida. Después de todo la ingeniería se relaciona con la creación de artefactos útiles, que tienen ciertas funciones intencionalmente diseñadas y, por lo tanto, son buenos para ciertos fines. Al parecer, esta visión básica le añade una dimensión evaluativa a la ingeniería y, aunque algunos sostienen que el valor de la ingeniería es neutral, no niegan su utilidad ni su valor, sino

que solamente es un medio para un fin. Por eso presumen que puede ser valiosa como medio para los fines y determinan un valor instrumental o de utilidad, aunque su valor final depende del uso particular que cada usuario le otorgue. Es decir, la tesis de que la tecnología es neutra con relación a su valor se basa en la suposición de que, en últimas, el valor instrumental no es valor.

Esto significa que el enfoque evaluativo de las relaciones entre ciencia e ingeniería se pueden analizar desde dos perspectivas: los estándares normativos inherentes a la práctica y la normatividad inherente a los productos y sistemas. Esto no quiere decir que ambas perspectivas no estén relacionadas, porque muchas actividades comunes están dirigidas por estándares, a la vez que contemplan y crean el valor para los productos. Pero sí es posible distinguir una gama de valores más específicos que juegan un papel diferente para cada una, como en el caso de la eficiencia, es decir, el logro de un fin con el menor número de recursos. Tanto los científicos como los ingenieros luchan por la eficiencia y tratan de idear medios eficientes para lograr los fines. En este caso, un valor más importante para la sociedad es la ética, porque la ciencia y la ingeniería deberían tenerla como guía en cada una de sus actividades. Este valor determina la pertinencia del conocimiento científico a la vez que evalúa la utilidad de los productos ingenieriles, en relación con su utilidad social. Entre estos valores se puede mencionar la seguridad, la sostenibilidad, la salud, la privacidad y la justicia.

Una categoría relevante para muchos es el valor epistémico, porque si se supone que la ciencia y la ingeniería tienen objetivos diferentes, entonces la tesis de que se caracterizan por diferentes valores epistémicos tiene alguna plausibilidad. Una forma de analizar esta cuestión es desde la insinuación de que la producción de conocimiento en el sistema de investigación se orienta actualmente a las aplicaciones, que es transdisciplinar, que lo realizan actores diferentes a universidades e institutos de investigación y que es más heterogéneo [19]. En última instancia es difícil encontrar en la literatura una revisión sistemática de las diferencias epistémicas relevantes entre ciencia e ingeniería, pero obviamente todavía hay mucho trabajo interesante que hacer sobre este tema.

2.2 Una relación en doble sentido

Las contribuciones que la ciencia le hace a la ingeniería son reconocidas y comprendidas ampliamente por científicos e ingenieros, pero lo contrario

parece no serlo tanto, en parte porque son más sutiles y requieren mayor explicación [26]:

1. *La ingeniería desafía a la ciencia*. Los problemas que enfrenta la ingeniería en la industria desafían frecuentemente a la ciencia, en la que los científicos investigan las causas relacionadas que se encuentran por encima de la tecnología que los origina [27]. De esta manera generan nuevos interrogantes e ideas, al punto que puede darse el surgimiento de un nuevo campo de investigación. Este es el caso de la ciencia de los materiales, que surgió como un desafío de los semi-conductores tras la necesidad de entender algunos procesos y propiedades que antes cubría la física, pero que no podía mejorar la calidad y el rendimiento de estos dispositivos. En ocasiones, estas observaciones ingenieriles se desarrollan en contextos industriales o militares en los que, por falta de recursos, de interés o por la confidencialidad, no se pueden materializar en procesos investigativos. También puede suceder que estos desafíos ingenieriles surgen incidentalmente en desarrollos tecnológicos industriales o militares y, debido al contexto especializado, no se dan a conocer en la literatura científica, ni se documentan lo suficiente para que los científicos, capaces de perseguir su significado más amplio, los puedan investigar.

2. *La ingeniería genera nuevas áreas de investigación*. La ingeniería juega un papel importante al desafiar a la ciencia con la medición de fenómenos naturales que antes no era posible. Es el caso de la ingeniería espacial, que amplió el espectro electromagnético, eclipsado por la atmósfera, a través de rayos X, ultravioleta e infrarrojos. Esta contribución les permitió a la cosmología y la astrofísica abrir nuevas áreas de investigación.

Es fácil deducir la importancia de las contribuciones de la ingeniería a la ciencia, ya sea para difundir nuevas técnicas experimentales, como el mecanismo principal para generar conocimiento transdisciplinar, lo que a su vez acelera el desarrollo de la ciencia. Pero las contribuciones son en ambos sentidos, porque la ciencia también contribuye al desarrollo de la ingeniería, aunque de manera más compleja y con amplia variación dependiendo de la disciplina ingenieril. Por ejemplo, la contribución de la ciencia a la mecánica se puede considerar baja, porque aquí se puede realizar grandes invenciones sin un conocimiento científico profundo. Pero en la eléctrica, la química y la nuclear esta contribución es sustancial, porque las invenciones en estas

disciplinas las realizan ingenieros con una amplia formación científica. A continuación, se describen las contribuciones de la ciencia a la ingeniería, de acuerdo con Nelson y Rosenberg [28].

1. *Ciencia como fuente de ideas para la ingeniería*. Esta relación se puede evidenciar en diferentes casos: 1) en muchas ocasiones se genera la posibilidad de satisfacer necesidades sociales de diversas maneras, debido a un descubrimiento científico al explorar fenómenos naturales. Como en la reacción en cadena, la bomba atómica, la energía nuclear, el rayo láser y la resonancia magnética, que se originaron a partir de las investigaciones en el estudio de la fisión del uranio; 2) otro aspecto de esta relación ocurre cuando se investiga en un nuevo campo científico que, anticipadamente, se cree que no conduce a aplicaciones útiles y no se tiene un producto final específico en mente. Como ejemplo se puede citar el caso de la física de los semi-conductores, cuyo estudio, motivado por la esperanza de construir un amplificador para sustituir los tubos de vacío, terminó con la invención del transistor; 3) cuando se realiza investigación básica en la industria, comercial o militar, sin ninguna aplicabilidad específica, puede culminar con principios que la ingeniería utiliza para materializarlos en diferentes desarrollos. Por ejemplo, el apoyo recibido por la física de la materia y la atómica y nuclear, luego de la II Guerra Mundial, condujo a los desarrollos de la electrónica, las comunicaciones y los computadores.

2. *Ciencia para el desarrollo de herramientas y técnicas*. La predicción teórica, el modelado y la simulación de sistemas grandes, que muchas veces se acompañan de medidas y pruebas empíricas a cada componente, han sido sustituidos cada vez más por pruebas de sistemas completos. Esto requiere herramientas y técnicas analíticas para lograr la comprensión del fenómeno, y que desarrolla la ingeniería teniendo como base la ciencia relacionada.

3. *Ciencia para los laboratorios*. Muchos procesos ingenieriles necesitan experimentación para validar y verificar lo que se pretende encontrar, entonces se requiere tomar de la ciencia sus procedimientos e implementarlos en los laboratorios de ingeniería. Es aquí donde son útiles las técnicas de laboratorio y los métodos analíticos que emplea la ciencia en la investigación básica, aunque no tenga una relación directa con la disciplina ingenieril.

4. *Formación del relevo generacional*. Un valor agregado de la investigación científica, a menudo no valorado aparte de los beneficios económicos y de los indicadores, es que les permite a los ingenieros desarrollar habilidades que los califican como candidatos a ser el relevo generacional de los científicos. Muchos de ellos deciden trabajar en actividades de investigación, donde aplican y potencializan las habilidades desarrolladas en el trabajo con los científicos.

Dada la complejidad de los problemas actuales y, como en casi todas las áreas del conocimiento, la ingeniería y la ciencia desarrollan una estrecha relación con otros campos para estructurar soluciones transdisciplinares. Por ejemplo, a medida que se avanza en los desarrollos tecnológicos, la ingeniería y la filosofía se van uniendo más estrechamente. En general, la filosofía ayuda a reflejar ideas y extraer problemas, mientras la ingeniería se orienta a encontrarles una solución eficiente y eficaz. En esta relación los ingenieros están más direccionados a través de algoritmos sistemáticos, modelos numéricos, software, modelaciones y simulaciones, mientras que los filósofos dependen del lenguaje para encontrar inferencias lógicas. Por eso es que la mayoría de estudiosos de este tema concluyen que el punto común entre ellos son los aspectos lingüísticos; desafortunadamente, muy pocos programas de ingeniería incluyen en sus contenidos el tema del racionalismo filosófico [29], es decir, del lenguaje, que les permitiría a los ingenieros abordar los problemas con conocimiento de las proposiciones filosóficas necesarias.

Para la filosofía cualquier problema se puede establecer mediante una serie de afirmaciones sensatas y sólidas, pero la ingeniería requiere soluciones eficaces, eficientes y sostenibles. En medio de estas diferencias se puede determinar a la base lingüística como una poderosa área común que pueden aprovechar los ingenieros para combinar soluciones armónicas. Pero, mientras que la ingeniería tiene una amplia relación con la ciencia y se beneficia de sus resultados, eso mismo no pasa con la filosofía, porque las contribuciones de ésta son marginales y casi inexistentes en las obras de ingeniería [14].

En épocas anteriores la filosofía y la ciencia tenían una relación muy estrecha y su papel en los estudios científicos era bastante activo, hasta que se separaron como áreas del conocimiento durante el período renacentista. Por el contrario, su relación con la ingeniería es relativamente reciente y todavía se presenta debate acerca de la misma. Pero, aunque la ingeniería depende de disciplinas como la ciencia, la filosofía y la tecnología, éstas también pueden

ser dependientes de la ingeniería, como en el caso de la tecnología y el hecho de que a algunas confirmaciones de la ciencia solamente se puede llegar después de una experimentación en ingeniería. Estas dependencias y relaciones hacen que cada una tenga un norte definido, es decir, la ciencia se preocupa por el descubrimiento, la tecnología por la invención y la ingeniería por la fabricación, la producción y la generación de soluciones. En este orden de ideas el conocimiento y las teorías caen dentro del dominio de la ciencia y se desarrollan continuamente; los patrones y modelos son dominio de los desarrollos tecnológicos; y los diseños, los procesos y los productos son tareas de la ingeniería.

Otra cuestión es la relacionada con su objetivo final, porque tanto científicos como ingenieros tratan de mejorar la seguridad y la comodidad de la humanidad, aunque a veces la ponen en peligro con la invención de armas, herramientas y materiales dañinos, y es precisamente en estas situaciones cuando se materializa el papel de la filosofía en la relación, a través de temas como la ética y la estética [19]. Entonces, si la ingeniería no respeta los principios filosóficos, los ingenieros utilizarían su conocimiento en aplicaciones ciegas y no prestarían atención a las críticas ni a los cuestionamientos.

En todo caso, la ciencia y la ingeniería se diferencian en que la primera apunta a construir teorías que sean verdaderas, mientras que la segunda trata de hacer que las cosas funcionen; la ciencia se basa en modelos o teorías, pero la ingeniería trabaja con artefactos o procesos aplicando metodologías y métodos científicos; y la ciencia ofrece una comprensión del mundo mientras que la ingeniería busca cambiarlo. Por otra parte, el propósito principal de la filosofía es buscar una pregunta para encontrar una respuesta genuina y bien informada que brinde conocimiento, para luego comprobar su confianza y fiabilidad a través de principios lógicos. Por eso, el deber de los filósofos es mirar con ojo crítico el trabajo de los científicos, para evaluar si las teorías científicas que descubren representan un conocimiento genuino del mundo.

2.3 Una relación para el futuro

La fuerza de trabajo ingenieril y científico de la actual sociedad del conocimiento se enfrentará cada vez más a nuevos, profundos y complicados retos. Estos desafíos serán mayores cuando el mundo les pida que aprovechen lo que saben y que resuelvan problemas mundiales de alcance y escala sin

precedentes. Actualmente, las cosas han cambiado respecto a lo que se vivió en cuanto a velocidad y potencia a finales del siglo XX; una época dominada por la física, la electrónica, las comunicaciones a gran velocidad y el transporte de alta velocidad a largas distancias. Este siglo es bastante diferente porque, al parecer, el dominio lo tiene la biología y la gestión de la información, permeadas paralelamente por cuestiones de escala macro, tales como la energía, el agua y la sostenibilidad. Estos son los problemas en los que la ingeniería y la ciencia se unen para encontrarles solución, y los ingenieros y los científicos deben desarrollar fortalezas para enfrentarlos.

Otra variable con amplia influencia actualmente es la globalización, porque ha cambiado la manera, el ambiente, los recursos y el manejo de la información con los que trabaja la ingeniería, y también el cómo se une a ella la ciencia para enfrentar los retos de la innovación. Las fronteras físicas están desapareciendo en el mundo y las empresas buscan soluciones en cualquier parte del planeta. Esto se conoce como economía global y en su base se encuentra el soporte de la ingeniería, para responder a las necesidades tecnológicas, las demandas sociales y la premura con los que la nueva generación exige el reemplazo de los productos.

En este contexto la ciencia y la ingeniería han sufrido cambios dramáticos respecto de otras épocas, en especial por la aparición de los llamados micro y macro sistemas. Los primeros se desarrollan en el mundo *bio-nano-info*, donde las cosas son cada vez más pequeñas, rápidas y complejas; las fronteras entre ciencia e ingeniería se desvanecen; y la investigación y el desarrollo se realiza en equipos transdisciplinares. Por su parte, los macro sistemas son de tamaño y complejidad cada vez mayores, y atienden cuestiones tales como la energía, el agua, el medio ambiente, la salud, la manufactura, las comunicaciones, entre otras. Aquí la investigación, el diseño, el desarrollo y la implementación de proyectos requieren equipos conformados por ingenieros y científicos con amplia conciencia social y un sentido de pertenencia y responsabilidad a la medida de los mismos desafíos: sostenibilidad, medicina, vulnerabilidad a las amenazas naturales y humanas, y la supervivencia de la especie [30]. Este nuevo ambiente ha hecho que se repiensen la ciencia y la ingeniería en el sentido de:

- Ofrecer mayor participación en la educación en todos los niveles.
- Construir, fortalecer o mejorar las relaciones entre las Ciencias Naturales, las Matemáticas y las Ciencias Computacionales.

- Lograr una articulación más estrecha entre los diferentes actores y las necesidades emergentes.
- Innovar los planes de estudios en ingeniería y ciencia, para responder a la necesidad de contar con una fuerza de trabajo y de desarrollo competente a nivel mundial.

A lo largo de la historia de la humanidad la relación entre ciencia e ingeniería ha impulsado el desarrollo de las culturas, y el pasado ha sido testigo de muchas maravillas y proezas de esta relación. Desde la metalurgia, el desarrollo naval, la fabricación de herramientas, las tecnologías para producir textiles, y otras invenciones, la ingeniería y la ciencia han trabajado para transformar la interacción y la comunicación humanas. Invenciones como el reloj mecánico y la imprenta cambiaron irrevocablemente la civilización, pero fue en la Revolución Industrial donde se observó esta relación en su máximo esplendor. Las máquinas complementaron y reemplazaron la fuerza humana en innumerables tareas, se mejoraron los sistemas de salud y salubridad, la máquina de vapor facilitó la minería, los trenes, los buques y dotaron de energía a las industrias.

Muchos de los grandes logros del siglo XX fueron posibles gracias al trabajo de ingenieros y científicos. Entre ellos se puede mencionar al desarrollo generalizado, cobertura en electricidad y agua limpia, automóviles y aviones, radio y televisión, naves espaciales, láser, antibióticos, imágenes médicas, Ciencias Computacionales e Internet, entre muchos otros, con los que se revolucionó y mejoró virtualmente todo aspecto de la vida humana. Sin embargo, estos mismos avances plantean desafíos formidables para este siglo, porque el crecimiento acelerado de la población, y por ende de sus necesidades, plantean el problema de sostener el progreso continuo de la civilización, a la vez que mejorar su calidad de vida; las amenazas a la salud exigen tratamientos más eficaces y de amplia disponibilidad; las vulnerabilidades a las enfermedades pandémicas, la violencia y los desastres naturales exigen innovación permanente para encontrar nuevos métodos de protección y prevención; además, cada día el ser humano busca nuevas maneras de divertirse, exigiendo nuevos productos para lograrlo.

Cada uno de estos contextos: sostenibilidad, salud, vulnerabilidad y diversión, plantea grandes desafíos a la ciencia y a la ingeniería y esperan soluciones adecuadas. Nuevamente esta relación histórica cobra protagonismo, y buscará las maneras de poner en práctica el conocimiento acumulado y la experiencia

para hacerles frente. Pero ahora es diferente, porque tienen que trabajar de forma transdisciplinar, involucrando las reglas de la razón, los hallazgos y descubrimientos de la ciencia, la estética del arte, la imaginación creativa y el ingenio para continuar la tradición de buscar un presente cómodo y un futuro mejor. Los retos más importantes para lograrlo se relacionan con el planeta mismo, porque sus recursos finitos y la creciente población los consume a un ritmo que no se podrá sostener por mucho tiempo. Entonces, el espíritu curioso de ingenieros y científicos más el porte de diversas disciplinas, aúnan esfuerzos para afrontar estos desafíos, explorar nuevas fronteras de la realidad y el conocimiento, y proporcionarán nuevas herramientas para investigar la vastedad del universo y la relación intrínseca de la vida y los átomos [30].

Estos escenarios rayan la superficie sobre la que se desplazan la ciencia y la ingeniería en el planeta, e ilustran la magnitud y complejidad de las tareas que deben afrontar para asegurar la sostenibilidad y la supervivencia de la humanidad. Sin embargo, primero deben encontrar la manera de superar las innumerables barreras que se anteponen en su logro, específicamente las consideraciones económicas, las normas medioambientales, las tecnologías contaminantes y las amenazas cósmicas. Pero una de las cuestiones más arraigadas que deben afrontar son los enormes obstáculos políticos, porque en muchas partes del mundo todavía existen grupos que obtienen beneficios de los sistemas antiguos, por lo que ejercen todo el poder político a su alcance para bloquear o boicotear los nuevos sistemas.

En otro lado se encuentra la gestión del presupuesto, porque el patrocinio para los nuevos proyectos puede no ser suficiente, debido a que los niveles de inversión requeridos no tienen precedentes en lo público ni en lo privado. Además, los ingenieros deberán unirse a los científicos, los educadores y otros actores para proponer, fomentar e implementar un sistema de formación que capacite profesionales y forme personas, con bases sólidas de conocimiento en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Otra cuestión sustantiva para la ciencia y la ingeniería en este siglo será lograr que más personas comprendan sus principios y formas de trabajo, porque esto les podrá garantizar mucha parte del apoyo para la financiación de sus proyectos, al mismo tiempo que se mejora el clima de aceptación de sus desarrollos.

Estos obstáculos gubernamentales, institucionales, políticos, económicos, personales y sociales, que obstaculizan el proceso de búsqueda de soluciones a los problemas de este siglo, se vislumbran como tareas complejas que deben

enfrentar científicos e ingenieros. Por lo que, como lo han hecho a lo largo de la historia, tendrán que integrar sus métodos, soluciones y tecnologías con las necesidades y deseos de la sociedad en general. Pero lo deben realizar con la mente y las energías colocadas en la accesibilidad universal, porque gran porcentaje de la población mundial ni siquiera tiene acceso a agua potable, comunicaciones o energía. Los mismos ingenieros y científicos, a través de los logros del pasado, hicieron del mundo un lugar más pequeño, inclusivo y conectado. Y, aunque podrían estar tentados a trabajar y solucionar problemas de lugares y poblaciones aislados, deben tomar conciencia de que los desafíos de hoy son del planeta como un todo y de todo el pueblo del planeta.

2.4 Una relación desde lo formativo

Aunque se han realizado innumerables investigaciones y experimentos acerca de cómo aprenden las personas y la mentalidad de los estudiantes, todavía persisten muchos obstáculos que se deben superar para lograr que aprendan la metodología y la práctica de la ciencia y la ingeniería. El sistema de formación debe partir de una comprensión completa de estas barreras e idear un enfoque holístico, transdisciplinar y multidimensional para que en el proceso formativo los estudiantes alcancen la mentalidad científico-ingenieril que se espera de los profesionales de este siglo. Además, porque tanto la ingeniería como la ciencia son industrias globales que experimentan un período de cambios sin precedentes, y su futuro está influenciado por fuerzas, igualmente, globales, que trascienden las fronteras físicas [31].

Por eso es que la formación en ambas debe esforzarse por seguir el ritmo de los avances y exigencias sociales; capacitar a estos profesionales en las habilidades y el conocimiento que necesitarán para gestionar el cambio rápido, la incertidumbre y la complejidad; y para que sean capaces de adaptar las soluciones a cada contexto social, económico, político, cultural y ambiental, pero calculando y minimizando su impacto en el mundo en general. Esto va en contravía de la realidad que se vive actualmente en el llamado sistema de educación, en el que existe una fuerte oposición a toda modificación de los planes de estudios que reduzcan los contenidos de las ciencias básicas para darle cabida a otras áreas necesarias en el mundo futuro, tales como el pensamiento crítico, el pensamiento complejo, la multidimensionalidad, la transdisciplina, el trabajo en equipo, la capacidad de trabajar a través de las culturas y contextos, el pensamiento sistémico y las fuertes interacciones personales y de comunicación, para desarrollar habilidad globales [1].

En este sentido llama la atención que el objetivo de los planes de estudios en ingeniería y ciencia sea desarrollar la creatividad y la innovación, pero que todavía no se encuentre una definición ampliamente reconocida y aceptada para estos términos. Por eso es importante capacitar a los estudiantes para que los reconozcan en los contextos generales y de su profesión. En un sentido histórico, desarrollar creatividad e innovación en el contexto de la ciencia y la ingeniería es relativamente simple, porque existen ejemplos como el teléfono, la locomotora a vapor, el computador y los automóviles, que fueron productos innovadores desarrollados por personas creativas. Sin embargo, después de la Revolución Industrial el espíritu creativo de ingenieros y científicos pareció secarse. En parte esto se debió a que, como áreas del conocimiento, fueron saneadas, respetadas e introducidas en las universidades; donde era, y es, más fácil evaluar contextos en los que los principios fundamentales se basan en las matemáticas, dejando de lado lo subjetivo y cualitativo [2].

Aunque esta visión no es cierta en todos los casos, es fácil simpatizar con ella, porque los ingenieros y científicos de hoy no son percibidos como creativos o innovadores. Actualmente, no se escucha que los ingenieros y científicos inventen autos, motores o computadores, sino que los arreglan o modifican, al menos esa es la percepción pública. Por eso es evidente que se necesita espacio en los planes de estudios para incluir contenidos que les permita a los estudiantes comprender, desarrollar y aplicar creatividad e innovación.

Debido a esto, en algún momento de la historia se consideraba que la ingeniería era el camino mediante el cual la ciencia actuaba sobre el mundo, es decir, que era una práctica basada en conocimiento. De esta manera se aceptaba como parte de la ciencia misma, en el sentido de que solamente les importaba a los ingenieros. Posteriormente, la ingeniería se orientó a la producción y el control de bienes y servicios, por lo que entró a formar parte del llamado tercer sector de la economía. Además, debido a que su función era encontrar soluciones únicas a cada problema, la física y las matemáticas se convirtieron en su núcleo de aprendizaje, lo que a su vez los diferenciaba en campos del saber a medida que actuaban sobre la naturaleza y una variedad de campos. A esto se debe que la ingeniería clásica tuviera como centro de acción a la predicción, la previsibilidad, la transparencia, la confiabilidad y el control, sobre los que literalmente intentaba construir el mundo, aunque la pragmática de la ingeniería todavía presenta serios intereses a este respecto, lo que impide la comprensión de sus soportes científicos y filosóficos.

En todo caso, las discusiones acerca de las relaciones entre la ciencia y la ingeniería parecerían no tener fin. Inclusive se llegó a hablar de la elevación cultural posmoderna de la ingeniería sobre la ciencia, como una contradicción a las valoraciones culturales del modernismo en las que se daba prioridad a la ciencia. De acuerdo con esas valoraciones la ciencia tiene primacía porque las personas reconocen su dependencia de un método sobrio, desinteresado y razonado [31].

Por el contrario, la primacía de la ingeniería reside en sus aportes, materializados como medios que pueden utilizar las personas. Para los primeros lo que valida el conocimiento científico como conocimiento no es su utilidad, sino los medios y el método con los que se logró. Por su parte, la ingeniería presenta un marcado contraste: su incapacidad para crear y garantizar sus propios fines.

De acuerdo con estos argumentos si se considera que la ciencia no es diferente ni distinguible de la ingeniería, y si las leyes científicas no se consideran algo superior al hecho de que la máquina funciona, entonces, culturalmente, la ciencia sería solamente una subordinación de la ingeniería [32]. Esto ha logrado que la relación entre ciencia e ingeniería la estudien diversos autores desde diferentes puntos de vista:

1. Ingeniería y ciencia son idénticas; esencialmente son lo mismo; son solamente dos nombres diferentes para la misma línea de acción.
2. Ingeniería y ciencia son completamente independientes; son entidades separadas que no tienen influencia entre sí.
3. La ingeniería es subordinada a la ciencia; la ciencia es la actividad principal y la ingeniería se deriva de ella.
4. La ciencia es subordinada a la ingeniería; la ciencia es una herramienta ingenieril en la interacción humana con la naturaleza.
5. Originalmente eran dispares, pero hoy están combinadas; tienen historias propias, pero actualmente están fusionadas.
6. Conceptualmente son diferentes, pero interactúan constantemente; son formas históricamente diferentes de la cultura humana que pueden interactuar entre sí de muchas maneras.

A comienzos del siglo XX surgió una nueva filosofía para relacionar ciencia e ingeniería, que transformó la visión de la segunda en una disciplina firmemente arraigada en la ciencia. Entonces, y gracias a los éxitos de las

ciencias naturales de ese momento, el método científico se comenzó a utilizar en ingeniería, un movimiento que se convirtió en la tendencia dominante en el trabajo ingenieril. Luego de la Segunda Guerra Mundial se intentó apartar de los planes de estudios en ingeniería los contenidos vocacionales, con el objetivo de incrementar los estudios fundamentales de la ciencia; pero progresivamente esta idea se fue diluyendo gracias a una oposición pasiva en todos los niveles del sistema educativo.

El impacto de un cambio como así se hubiese podido considerar como la primera revolución en la educación en ingeniería, pero no ha sido posible materializar esa visión y los ingenieros se continúan formando con un predominio de las matemáticas y las denominadas *competencias* [33]. Esta reestructuración habría logrado que los ingenieros desarrollaran capacidades y habilidades prácticas, pero también se les podía haber inculcado una sólida base científica para que enfrentaran de mejor manera los retos del cambio acelerado de este siglo.

Históricamente la revolución científica precedió a la revolución industrial por casi 200 años y, hasta finales del siglo XIX, estos movimientos tenían poca o ninguna interacción entre ellos. Eso se daba porque sus objetivos eran diferentes y los lideraban diferentes tipos de personas: el movimiento industrial buscaba desarrollar nuevas tecnologías y mejorar las antiguas, y era liderado por autodidactas, artesanos y visionarios.

Por otro lado, el objetivo del movimiento científico era comprender la naturaleza y estaba liderado por filósofos y científicos. Fue a comienzos del siglo XX cuando ambas revoluciones encontraron puntos de convergencia y comenzaron a reforzarse y catalizarse entre sí. Esta fusión se materializó a finales del siglo, dando paso a una revolución científico-ingenieril que impactó nuevamente a la humanidad, y que fue la causa, la fuente y alma mater del desarrollo tecnológico, la globalización, la masificación del conocimiento, la eliminación del modelo clásico de innovación lineal, acortó el tiempo entre la invención y su aplicación y originó la investigación transdisciplinar, entre muchos otros logros. Por eso es que hoy los científicos utilizan en sus investigaciones los desarrollos que crean los ingenieros; mientras que, cuando los ingenieros van a diseñar una nueva tecnología, recurren al conocimiento desarrollado por los científicos. Es decir, en el siglo XXI la ingeniería, la ciencia y la tecnología se conectan y se influencian entre sí, tal como se observa en la Tabla 1 [34].

Tabla 1. Interrelaciones entre la ciencia, la ingeniería y la tecnología

	Ciencia	Ingeniería	Tecnología
Qué es	Cuerpo de conocimiento de los mundos físico y natural	Aplicación del conocimiento en el diseño, construcción y mantenimiento de la tecnología	Es el cuerpo de conocimiento, sistemas, procesos y artefactos que resultan de la ingeniería
Para qué	Describir y comprender el mundo natural y sus propiedades físicas	Encontrar soluciones para los problemas, necesidades y deseos sociales	Describir las soluciones que construye la ingeniería
Con qué	Utiliza enfoques variados (métodos científicos) tales como experimentos controlados o estudios observacionales, para generar conocimiento	Utiliza enfoques variados (procesos o análisis de ingeniería) para diseñar y evaluar soluciones y tecnologías	Utiliza los resultados del proceso de ingeniería
Objetivo	El conocimiento científico se puede utilizar para hacer predicciones	Producir las mejores soluciones con los recursos y limitaciones a su alcance	Cualquier cosa hecha por el hombre para llenar una necesidad o deseo

2.5 Una relación desde lo contextual

Una cuestión que se debería comprender acerca de la relación ciencia-ingeniería-sociedad, es la de alcanzar una mejor comprensión de los contextos en los que sus actividades se sitúan dentro de las actividades humanas. Pero hay que tener en cuenta que el término contexto es un concepto inherentemente dialéctico, porque la contextualización en sí misma obedece a definiciones de lo que se acepta como límites relevantes de la educación y de la práctica, de tal manera que desarrolla su dialéctica entre lo que es y lo que debería ser. Por eso, en última instancia, una mayor comprensión de ese contexto debe dar como resultado una mejor capacitación de los profesionales y una mejor preparación de la sociedad, para hacer que sus desarrollos sean comprendidos por toda la humanidad. Este acercamiento no es ajeno a la controversia y ha ocasionado el surgimiento de dos especies de *bandos antagónicos*: por una lado están los que argumentan a favor de una contextualización en lo técnico, en el desarrollo tecnológico y en resolver problemas desde esta perspectiva; en otro lado están quienes argumentan a favor de una ampliación de este contexto con el fin de que, tanto la ciencia como la ingeniería, las ejerzan personas que puedan asumir el liderazgo con una comprensión clara del impacto de su trabajo en la sociedad [35].

Sin duda, este es uno de los temas más centrales y controvertidos en las comunidades: algunas lo consideran una cuestión antigua, porque ciencia e ingeniería son actividades que se complementan desde hace mucho tiempo

para adaptar principios, leyes y teorías a proyectos determinados por condiciones materiales y sociales contextuales.

Otras sostienen que es una cuestión actual porque consideran que el contexto está en el centro de las reflexiones contemporáneas sobre una relación que se intensificó con la globalización; y otras manifiestan que en realidad es tanto un tema antiguo como actual, porque consideran que ingeniería y ciencia son cuestiones totalmente diferentes y que se internalizaron cuando se obligó a ingenieros y científicos a tener en cuenta los aspectos culturales, los valores y las demandas particulares de la sociedad. Entonces, tuvieron que pasar de responder a necesidades particulares o zonales a mirar el contexto de manera sensible, a planificar cuidadosamente, a considerar diferentes perspectivas y a adaptar sus desarrollos a circunstancias particulares del mundo.

En todo caso, todos los enfoques acerca del contexto de la ingeniería y de la ciencia muestran opciones conceptuales: intención, estructura, función, norma analítica, intencionalidad, co-formación, multi-estabilidad y pluri-culturalidad fenomenológica de la relación [36]. Pero desde el punto de vista pragmático, se ocupan más de la comparación, la discusión y la traducción de matrices, mediante los conceptos de paradigma, inter-culturalidad, a-culturalidad, multidimensionalidad y transdisciplina.

El punto es que, a pesar de sus divergencias, son enfoques relacionales a su manera del contexto ciencia-ingeniería-sociedad. Por ejemplo, en el siglo IX los encargados de desarrollar artefactos técnicos eran los artesanos, quienes con experiencia y habilidades hacían una mezcla empírica entre ciencia e ingeniería para encontrar las soluciones, y ese era el contexto de la relación. Para entonces, solucionar problemas consistía en copiar soluciones conocidas, en una situación diferente o con variaciones menores.

Este trabajo parecía no interferir mucho con la ciencia, porque ambas se empezaban a ubicar en esferas sociales completamente separadas, lo que perduró hasta los tiempos modernos y, solamente a lo largo de un proceso de mutuo acercamiento, se comenzaron a desarrollar conexiones y se incrementó el intercambio entre ellas.

Dicha separación se dio porque el conocimiento científico no estaba lo suficientemente desarrollado para proporcionar una comprensión más profunda de los problemas, mientras que la ingeniería estaba dominada por una tradición empírico-práctica y poco le interesaba comprender lo teórico y

matemático del problema. Con el tiempo, y gracias a la expansión y perfección del conocimiento científico y a la masificación de la educación en ingeniería, se logró la unificación.

REFERENCIAS

[1] Serna, M.E. (2015). Por qué falla el sistema de educación. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.

[2] Daston, L. (2009). Science studies and the history of science. Critical Inquiry 35(4), 798-813.

[3] Vincenti, W. (1990). What engineers know and how they know it: Analytical studies from aeronautical history. Baltimore: Johns Hopkins Press.

[4] Kajikawa, Y. (2012). Sustainability Research: From Science to Engineering. In Matsumoto, M. et al. (Eds.), Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society (569-570). London: Springer.

[5] Delahousse, B., Meganck, M. & Christensen, S. (2009). Engineering in Context. Denmark: Academia.

[6] NSF (2002). Science and engineering indicators. US National Science Foundation. Online [Jun 2017].

[7] Munford, L. (1987). Técnica y civilización. Madrid: Alianza Universidad.

[8] Basalla, G. (1991). La evolución de la tecnología. México: Ed. Conaculta.

[9] McClellan, J. & Dorn, H. (2006). Science and Technology in World History. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

[10] Serna, M.E. (2015). Ciencia y Pensamiento Complejo – Desarrollo Transdisciplinar de un Paradigma. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.

[11] RAE (2014). Thinking like an engineer Implications for the educationsystem. London: Royal Academy of Engineering.

[12] Maldonado, C. & Gómez, N. (2011). The Complexification of Engineering. Complexity 17(4), 8-15.

[13] Tattersall, I. (1993). The Human Odyssey: Four million years of human evolution. New York: Prentice Hall.

[14] Marshack, A. (1992). The roots of civilization. Wakefield: Moyer Bell.

[15] Wenke, R. (1990). Patterns in prehistory: Mankind's first three million years. New York: Oxford University Press.

[16] Tilburg, J. (1994). Easter Island: Archaeology, Ecology, and Culture. Washington: Smithsonian Institution Press.

[17] Renfrew, C. & Bahn, P. (1991). Archaeology: Theories, methods, and practice. New York: Thames and Hudson.

[18] Harms, A., Baetx, B. & Volti, R. (2004). Engineering in time – The systematics of engineering history and its contemporary context. London: Imperial College Press.

[19] Alexander, J. (2012). Thinking again about science in technology. Isis 103(3), 518-526.

[20] Olson, R. (2010). Technology and science in ancient civilizations. Santa Barbara: Praeger.

[21] Becher, T. (1994). The Significance of disciplinary differences. Studies in Higher Education 19(2), 151-162.

[22] Naukkarinen, J. (2015). What engineering scientists know and how they know It. Tempere: Tampere University of Technology.

[23] Christensen, S. & Ernø, E. (2008). Epistemology, ontology and ethics: 'Galaxies away from the engineering world'? European Journal of Engineering Education 33(5-6), 561-571.

[24] Paavola, S. (2006). On the origin of ideas: An abductivist approach to Discovery. Helsinki: University of Helsinki Press.
[25] Zekâi, S. (214). Philosophical, logical and scientific perspectives in engineering. Switzerland: Springer.
[26] Kline, S. & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. In Landau, R. & Rosenberg, N. (Eds.), The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth (275-306). Washington: National Academy Press.
[27] Rosenberg, N. (1991). Why do firms do basic research (with their own money)? Research Policy 19, 165-174.
[28] Nelson, R. & Rosenberg, N. (1993). Technical innovation and national systems. In Nelson, R. (Ed.), National Innovation Systems: A Comparative Analysis (1-21). New York: Oxford University Press.
[29] Amin, M. & Ississ, G. (2016). Philosophy of Computer Science: A formative framework for postgraduate students. Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (RACCIS) 6(2), 46-54.
[30] Lee, D. et al. (2014). From X-rays to DNA: How engineering drives biology. Cambridge: The MIT Press.
[31] Serna, M.E. & Serna, A.A. (2013). A review processes for science, technology and innovation. Revista Entramado 9(1), 172-187.
[32] Serna, M.E. (2009). Ciencia y Filosofía: Una relación histórica. Revista Fundación Universitaria Luis Amigó 19, 73-84.
[33] Serna, M.E. & Serna, A.A. (2013). Is it in crisis engineering in the world? A literature review. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia 66, 199-208.
[34] EiE. Science, engineering, and technology. Engineering is Elementary, Museum of Science. Online [Jul 2017].
[35] Radder, H. (2009). The philosophy of scientific experimentation: A review. Automated Experimentation 1(2), 1-8.
[36] NSB (2016). Science & Engineering Indicators. Arlington: National Science Board.

CAPÍTULO 6

Ingeniería y desarrollo

Ricardo Botero T.[1]
Jorge Díaz Villegas[2]
José Pablo Piccolotto[3]
[1] *Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria*
Medellín – Antioquia
[2] *Universidad de La Frontera*
Temuco – Chile
[3] *Universidad Blas Pascal*
Córdoba – Argentina

Escribir un capítulo sobre ingeniería y desarrollo puede resultar un trabajo oneroso por varias circunstancias: 1) en el primer quinquenio del siglo XXI ya se han escrito varios documentos sobre el tema; 2) la diversidad de contextos y dominios de aplicación de la ingeniería pueden ser extensos: sistemas de transporte, sistemas de informática y computación, sistemas de construcción y manufactura, sistemas tecnológicos, etc.; y 3) se considera tratar el desarrollo orbital propiciado por la ingeniería desde la antigüedad, pasando por la Edad Media y hasta hoy, agrupando el estudio por períodos históricos que han marcado el desarrollo de la humanidad, como la Revolución Industrial, la sociedad de la información y la sociedad global. Por tales circunstancias, este capítulo presenta el tema resumido, permitiéndole al lector adentrarse de manera ágil en los aportes de la ingeniería para el desarrollo de la humanidad.

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería ha contribuido al desarrollo humano en cuanto a vivienda, transporte, sostenibilidad y tecnología, entre otros aspectos y, en este sentido, se ha dado el desarrollo humano en gran parte por los aportes de la disciplina, pues los individuos conforman sociedades soportadas por un conjunto de recursos, artefactos y estructuras construidas con procesos de una ingeniería en constante evolución. Por otro lado, el ingeniero tiene una sólida formación científica, forjada a partir del estudio de matemáticas, geometría, física,

[1] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. en Ingeniería. *rbotero@tdea.edu.co*
[2] Ingeniero Civil Industrial, Ms.C. en Ingeniería de Software. *jorge.diaz@ceisufro.cl*
[3] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. en Administración de negocios. *pablopiccolotto@gmail.com*

química y de las ciencias básicas aplicadas, además de electrónica, informática, astronáutica y arquitectura, donde tienen cabida diversas áreas que representan la base de conocimiento para el desarrollo de la estadística, el análisis numérico, la criptografía, la teoría de juegos, la teoría de control, las matemáticas financieras y la Inteligencia Artificial. A lo científico se le aúna la sólida formación humanística y cultural [1] y un desempeño ético, lo cual reafirma el necesario holismo del conocimiento ingenieril.

Además, se deben reconocer los pensamientos encontrados que se originan en la aplicación de la ingeniería en el campo militar. Porque el desarrollo de la ingeniería acrecienta el poder de los vencedores en oprobio de los vencidos, a la vez que es factor de vida para los primeros y de muerte para los segundos. Sin embargo, la pusilanimidad no formará parte de este capítulo, pues se tratará la profesión ingenieril con la visión por la cual surgió, por la cual permanece y se seguirá fortaleciendo en el futuro, es decir, mejorar el nivel de vida de los seres humanos en múltiples facetas, de manera que se pueda aprovechar más en los momentos agradables, ya sea la familia, amigos, el arte, la naturaleza y los seres que la conforman, o a lo que más se codicia en términos materiales o menos distinguidos.

Sin el ánimo de aportar una definición, pero en la búsqueda de un acercamiento al significado del término *ingeniería*, se puede afirmar que conlleva un conjunto de conocimientos científicos y empíricos profesionales que disponen las fuerzas y recursos naturales para el diseño, construcción y operación de equipos, instalaciones, bienes y servicios para mejorar el nivel de vida en un contexto social, que conlleva la aplicación de tecnología de punta con un alto nivel de innovación.

2. LA INGENIERÍA EN EL DESARROLLO DE LAS CULTURAS

La palabra *ingeniería* apareció por primera vez en el Medioevo para designar a los constructores de ingenios mecánicos, siendo una de las primeras profesiones en aparecer junto con la milicia y el sacerdocio [2]. Se puede afirmar sin ambages que el ingeniero es un acelerador de los tiempos y que la profesión ingenieril es tan antigua como el hombre mismo. Por eso es que la ingeniería se encuentra ligada al acaecer humano desde tiempos inmemoriales, influyendo en el desarrollo de las naciones con adelantos como la revolución agrícola (6000 – 3000 AC), el surgimiento de la sociedad urbana (3000 – 2000 AC), la aparición de la ciencia griega (600 – 300 AC), la revolución de la fuerza

motriz (Edad Media), el advenimiento de la ciencia moderna (siglo XVII), la Revolución Industrial (siglo XVIII), la electricidad e inicios de las ciencias aplicadas (siglo XIX) y la edad de la automatización, de la cibernética, de las revoluciones atómica y de la informática [3].

Por hilo histórico es posible que el origen de la ingeniería se remonte al Asia Menor o al África hace unos 8 milenios, con los trabajos agrícolas y de pastoreo y con la construcción de viviendas comunales. En la antigüedad la aplicación de la ingeniería significaba la concreción de los sueños en ingenios palpables y posibles desde la rueda hasta las catapultas. En tal sentido, resulta paradójico que el origen más probable de la ingeniería sea en los asuntos bélicos, dado que el uso de maquinaria batalladora fue un hecho prevaleciente desde épocas remotas, en correspondencia con el término de origen griego *poliorcética*, que significa *el arte de atacar y defender las plazas fuertes*.

La diversificación de la labor humana en pescadores, agricultores, cazadores, escribas, gobernantes, administradores, soldados, sacerdotes y artesanos conllevó a que estos últimos, coadyuvados por el afianzamiento de la técnica, se convirtieran en los primeros *ingenieros*, creándose fuertes lazos entre los artesanos-ingenieros y las sociedades rurales. De hecho, en la antigüedad se dio un florecimiento del conocimiento y de las técnicas de ingeniería, y los conocimientos prácticos incluyeron métodos para la generación de fuego, la fusión de materiales para la creación de herramientas, la invención de la rueda, la evolución de los símbolos escritos y el desarrollo de la aritmética y la geometría con la normalización de pesas y medidas.

Los asirios, babilonios, griegos, romanos, hindúes y mongoles, entre otras culturas antiguas y de la Edad Media, se empeñaron en ganar batallas por medio de sesudos artilugios tecnológicos puestos a su disposición por los primeros artífices de la ingeniería [4]. Cabe señalar que las armas y las maquinarias bélicas en las batallas campales y navales, tales como la balista, la catapulta, el garfio, el espolón, la torre de asedio y las armas incendiarias, ya se conocían desde el siglo IX AC en China, y que para la época fueron acoplados por el mundo occidental en las guerras púnicas, las Galias y en las invasiones bárbaras. Además, una consecuencia importante de la influencia de la ingeniería en los grupos humanos fue la construcción de templos y palacios, lo cual impulsó el desarrollo de las religiones organizadas. También es importante señalar su aplicación en la construcción de puertos, donde el uso de materiales y aplicación de procesos propulsó el desarrollo naval.

En general, la evolución de la ingeniería se puede resumir en cuatro eras [5]: 1) desde la antigüedad hasta mediados del siglo XVIII, con el apogeo de la fabricación de aparatos bélicos, la invención de la esclusa en la construcción de canales y de la imprenta para la distribución de libros al alcance del común de las personas, lo que originó las primeras bibliotecas. 2) Desde finales del siglo XVIII hasta inicios del XX, donde se lograron avances en minería, manufactura, aviación, cine y electricidad, causas de la primera Revolución Industrial. 3) Hasta mediados del siglo XX en el contexto de las dos guerras mundiales, donde surgió la radio y la televisión como los primeros *mass media*, el automóvil que propulsó la tecnología del petróleo y el cableado submarino para las telecomunicaciones. 4) desde la II Guerra Mundial hasta hoy, con avances en el tratamiento del medio ambiente, la exploración espacial, tecnologías en salud, Ciencias Computacionales, internet, computación ubicua, computación en la nube e Internet de las Cosas (IoT), tendencias que en el albor del siglo XXI constituyen el inicio de la quinta era de la ingeniería.
El ingeniero es un constructor de conocimientos, es un demiurgo de los objetos al servicio de la humanidad. A continuación, de describe brevemente algunos de los aportes de la ingeniería al desarrollo de las culturas.

2.1 Grecia antigua

Además de su notoria influencia en la filosofía y la lógica, gestoras de la civilización occidental, la magna Grecia también participó con la difusión de la artillería aplicada en el mundo conocido de la antigüedad con las primeras catapultas para arrojar flechas de hierro. Luego, en Macedonia, los ejércitos de Filipo II y Alejandro Magno lanzaron proyectiles disímiles por medio de ellas, que variaron desde rocas de gran tamaño, bolas de piedra talladas, bolas de plomo, ollas de arcilla llenas de gas asfixiante y maderos encendidos, hasta cestos de serpientes venenosas, nidos de avispas, estiércol de ganado, despojos de caballos enfermos y cadáveres o cabezas de soldados enemigos capturados. Siglos después estos artilugios bélicos fueron adaptados por los romanos y se difundieron por toda Europa y Asia hasta la India.

En el mundo griego se destacaron pensadores como el ingeniero y arquitecto Pytheos [6] que construyó el Mausoleo de Halicarnaso, creó escuelas para aprendices y escribió tratados de arquitectura; el urbanista Dinócrates, planificador de Alejandría y reconstructor del Templo de Artemisa en Éfeso, Turquía, una de las 7 maravillas del mundo antiguo; y el ingeniero, astrónomo, físico y matemático Arquímedes, inventor al que se deben los

fundamentos en hidrostática y estática, la definición del principio de la palanca y el diseño de innovadoras máquinas bélicas como las armas de asedio y los espejos incendiarios de naves enemigas. De la cultura griega resaltan sus ideas y logros en la aplicación de diferentes conceptos matemáticos a nivel demostrativo, evidenciados en los estudios de la geometría euclidiana.

2.2 Imperio romano

Entre los romanos las profesiones de ingeniero –civil y militar– y arquitecto no se diferenciaban con claridad ya que el *oficio* contaba más que el título [7]. Una de las obras maestras de la ingeniería romana es el acueducto del Puente del Gard, ubicado en la ciudad de Nimes, Francia, una obra iniciada hacia el año 19 DC por Marco Vipsanio Agripa, responsable de las obras hidráulicas del imperio en tiempos del emperador Augusto. Otro acueducto romano es el de Segovia, España, construido en el siglo II de nuestra era.

Luego de la caída del imperio Romano el conocimiento se dispersó entre diferentes grupos religiosos. Para el año 200 DC se construyó el *ingenio* con el objetivo de asaltar las fortalezas sitiadas; al operador de este tipo de catapulta se le denominaba *ingeniator*. El tratado *Arquitectura* de Vitruvio [8], un manual de 10 volúmenes escrito en Roma en el siglo primero DC, incluye métodos de construcción, hidráulica, mediciones y diseño. En el siglo XV el polímata Leonardo da Vinci aportó innovaciones en los campos de la ingeniería, anatomía, botánica y filosofía, además de su legado en el mundo artístico. Después de su muerte se hicieron viables y prácticos muchos de sus inventos, entre los cuales se destacan la ametralladora, el paracaídas, la turbina de gas y el helicóptero.

2.3 Cultura egipcia

El primer ingeniero conocido en la cultura egipcia fue Imhotep, a quien se deben los diseños de la pirámide escalonada de Saqqarah alrededor 2690 – 2610 AC [9]. Este ingeniero se eleva a la categoría de erudito porque también poseía conocimientos en medicina, arquitectura y astronomía. Los sucesores de Imhotep llevaron a la ingeniería civil a grandes cotas de calidad, manifestadas en los sistemas de riego y alcantarillado de Mesopotamia, y en los artefactos para defensa de los asirios, babilonios y otros pueblos de la antigüedad. Un aporte de Egipto al arte y a la ingeniería son las históricas pirámides de Guiza, obras sepulcrales de carácter monumental; Además, los

egipcios se destacaron por sus sistemas de irrigación en el delta del Nilo y por aportar notorios avances en aritmética y agrimensura.

2.4 Incas, Mayas y Aztecas

El más importante de los pueblos antiguos de la región andina fue el Inca, que habitó desde el río Ancasmayu en Pasto, Colombia, hasta Chile central sobre el río Maule. Los hallazgos arqueológicos son la única fuente fidedigna de su conocimiento, dado que carecieron de escritura. No obstante, los Incas constituyeron un estado moderno, con una sólida estructura política, militar y social, venciendo el medio geográfico hostil de las alturas andinas [10]. Trabajaron la piedra con insuperable perfección para la construcción de fortalezas, templos, palacios, tumbas, puentes, carreteras y acueductos, e idearon sistemas de canales y subterráneos aplicados a la defensa y a la agricultura, utilizando la ingeniería para su desarrollo. Además, la arquitectura y obras ingenieriles de esta cultura han trascendido el tiempo, tales como las grandes ciudades en las alturas de los Andes, como Cuzco y Machu Picchu, y la construcción de un sistema de caminos de enormes distancias en la costa pacífica, denominado *Red caminera del Tahuantinsuyo*.

Los Mayas ocuparon la extensa zona entre la península mexicana de Yucatán y las repúblicas de Guatemala, Honduras y el Salvador, y su arquitectura se caracterizó por la construcción de portentosas edificaciones consagradas al culto, como el Templo del Kukulkán en la zona arqueológica de Chichén Itzá, y los palacios de Sayet y Uxmal fundados para morada sacerdotal [10, 11].

La cultura Azteca se asentó en el centro-sur de la actual República Mexicana, desde el valle de Toluca hasta la frontera con Guatemala; su legado arquitectónico e ingenieril conllevó diseños geométricos, bajorrelieves, muros y plazas que representaban dogmas religiosos y el poder estatal. Una obra de ingeniería construida por los aztecas fue la ciudad de Tenochtitlan [12], erigida sobre una zona lacustre que exigió la construcción de sistemas de riego, acueductos, calzadas, calles y sistemas hidráulicos para aprovechar los recursos naturales y la contención de las aguas para evitar inundaciones.

3. LA INGENIERÍA EN EL DESARROLLO MEDIEVAL Y MODERNO

3.1 Europa medieval y moderna

En la Edad Media se destacaron renombrados pensadores que aprovecharon los principios de la ingeniería para aportar al desarrollo de la humanidad, tales

como Torricelli, con su teorema e invención del barómetro; el polímita Blaise Pascal, con su principio sobre presión y fluido, la construcción de máquinas de cálculo y aportes estadísticos en teoría de la probabilidad; Pierre de Fermat, cuyo teorema de Fermat-Wiles apenas se pudo demostrar hasta el siglo XXI; Rene Descartes, con su duda metódica para acceder al conocimiento; Christiaan Huygens, con su reloj de péndulo y la primera exposición de la teoría ondulatoria de la luz; Gottfried Leibniz, con las contribuciones al cálculo infinitesimal y al análisis combinatorio; e Isaac Newton, con sus tres leyes y la ley de gravitación universal.

Por otro lado, la principal fortaleza de España en la conquista de América fueron las murallas y baluartes de Cartagena, construidas por los ingenieros militares Bautista Antonelli y Cristóbal de Roda [13]. En 1769, el mecánico escocés James Watt marcó el comienzo de la Primera Revolución Industrial [14] con la fabricación de una máquina de vapor, más eficiente que la de Thomas Newcomen de 1712, que propició potencia por medios térmicos, mecánicos e hidráulicos y posibilitó la refinación de hierro para la construcción de trenes y barcos, con el consecuente desarrollo del transporte y la industria. Otros inventos ligados a la máquina de vapor se especifican en la Tabla 1 [15].

Tabla 1. Inventos relacionados con la máquina de vapor de Watt

Año/Inventor	Descripción
1769 y 1770. Nicolas Cugnot, ingeniero francés	Tractores a vapor para arrastrar cañones
1781. James Watt, mecánico escocés	Mejora su máquina a vapor con un motor de aplicación general
1784. William Murdock, inventor escocés	Máquina a vapor de cilindro oscilante
1785 y 1787. Edmund Cartwright, inventor inglés	Idea la primera máquina peinadora de lana y construye un telar accionado con motor a vapor
1786. Richard Arkwright, inventor inglés	Máquina de Watt para mover maquinaria textil, iniciando la fabricación en serie
1798. William Murdock, inventor escocés	Válvula deslizante para motores a vapor alternativos
1801 y 1804. Richard Trevithick, ingeniero inglés	Locomotora a vapor con una caldera de alta presión
1807. Robert Fulton, inventor estadounidense	Navegó por el Río Hudson con un barco a vapor de 40 m de eslora construido por él
1825. George Stephenson, inventor inglés	A una velocidad de entre 20 y 25 km/hora, una de sus locomotoras a vapor arrastró 38 vagones
1840. James Prescot Joule, físico británico	Transformación del trabajo en calor
1845. William Parsons, astrónomo irlandés	Turbinas a vapor para propulsión naval
1845. Willam McNaught, ingeniero escocés	Forja la máquina a vapor Compound
1897. Charles Algernon Parsons, ingeniero inglés	Construye la primera nave propulsada por una turbina a vapor denominada Turbinia

La máquina de vapor contribuyó de manera significativa al desarrollo de la industria y el transporte del siglo XX. Aparatos como los robots de limpieza, purificadores de aire y aspiradores domésticos, utilizan máquinas de vapor sofisticadas basadas en principios físicos básicos. Se destacan famosos buques y trasatlánticos de vapor como el Titanic, RMS Olympic, HMHS Britannic, Reina Victoria Eugenia y RMS Queen Elizabeth.

De igual manera, los trenes de vapor revolucionaron el transporte de carga y turismo terrestres posibilitando el cruce de inhóspitas selvas y bosques. La aplicación de la energía de vapor en la aviación se hizo evidente con la construcción de globos, dirigibles y aeroplanos [16]. Además, máquinas motrices, calderas y turbinas de vapor se empezaron a utilizar para la generación de energía eléctrica [17].

El invento del automóvil fue precedido por la búsqueda constante de látex en Suramérica por el explorador francés Charles de La Condamine, que encontró la planta productora de caucho en la Guyana francesa y en la selva amazónica de Brasil. Posterior a este hallazgo, en 1845, William Thomson inventa la rueda neumática, perfeccionada por John Boyd Dunlop en 1887, hechos que propiciaron el desarrollo de la industria petrolera. El acero se aplicó en la fabricación de nuevas herramientas y máquinas; además, llegaron a la vida de las familias el alumbrado, los enseres eléctricos y el teléfono. También se destacan los roles de la ingeniería civil y de la ingeniería eléctrica, originando la Segunda Revolución Industrial en los albores del siglo XX, con los aportes del motor de combustión interna y la química.

3.2 Ingeniería en Asia

La ingeniería asiática tiene uno de sus más destacados desarrollos en la gran Muralla y la presa de las Tres Gargantas en China. En la costa de Dubái sobresalen las islas Jumeirah, Jebel Ali y Deira, conocidas como Islas Palm, tres islas artificiales sobre las cuales se construyó una infraestructura de tipo comercial, residencial y turística. El ferrocarril Transiberiano es una red ferroviaria que conecta a la Rusia europea con las provincias del Lejano Oriente ruso, República Popular China, Mongolia y Corea del Norte.

En Japón se encuentra el Gran Puente del Estrecho Akashi Kaikyō, estructura colgante que une Honshū con la Isla de Awaji cruzando uno de los estrechos más transitados del mundo. Tiene una longitud de 3911 m y es soportado por dos cables, considerados como los más resistentes y pesados del mundo.

Además, vale mencionar el rascacielos Taipei 101 de Taiwan, con un total de 106 pisos y una altura de 508 m, ganador del premio Guinness World Records por contar con los ascensores más rápidos del mundo.

3.3 Ingeniería en Latinoamérica

Existen varios obras ingenieriles en Latinoamérica que han hecho aportes significativos al desarrollo de esta región, tales como el Canal de Panamá, la represa binacional hidroeléctrica de Itaipú en la frontera entre Paraguay y Brasil sobre el río Paraná, y el primer avión a reacción de Latinoamérica, diseñado y construido en Argentina.

El Canal de Panamá, iniciado por Francia y terminado por Estados Unidos, fue inaugurado en 1914 y es sin duda una de las obras de ingeniería más imponentes para el desarrollo en el contexto mundial (ver Figura 1). Su construcción conllevó la integración de tecnologías, herramientas y técnicas de muchas disciplinas de ingeniería (mecánica, hidráulica, civil, eléctrica, naval e informática, entre otras) y es probablemente la obra de ingeniería que más beneficios ha traído al comercio mundial [18]. El canal tiene una extensión de 77 km de largo y 33.5 m de ancho y el tiempo promedio para atravesarlo es de 8 horas.

Figura 1. Vista aérea de la esclusa de Cocolí del Canal de Panamá [19]

La Represa Hidroeléctrica de Itaipú, cuyo nombre proviene de una voz guaraní que significa *piedra que suena*, es resultado de un esfuerzo binacional entre Paraguay y Brasil, y es la central hidroeléctrica más grande de América y la segunda del mundo, siendo sólo superada por la Presa de las Tres Gargantas en China. Itaipú posee una potencia de generación electrohidráulica instalada de 14.000 MW, con 20 turbinas generadoras de 700 MW cada una. El lago artificial de la represa contiene 29000 hm^3 de agua, con unos 200 km de extensión en línea recta y un área aproximada de 1400 km^2 [20]. En 2016

alcanzó el récord mundial en generación de energía con 98.805.529 millones de MW/h, gracias a la abundancia de precipitaciones y el buen funcionamiento de las máquinas, siendo la primera hidroeléctrica en llegar a este nivel de producción.

Por su parte, el primer avión a reacción de Latinoamérica, el Pulqui –del Mapuche *flecha* (ver Figura 2), fue diseñado y construido en Argentina hacia 1947. El proyecto fue una del gobierno de Juan Domingo Perón y la responsabilidad de llevarlo a cabo fue del Instituto Aerotécnico de Córdoba, hoy Fábrica Argentina de Aviones FAdeA.

Figura 2. Pulqui I, primero a reacción de Latinoamérica y tercero en el mundo [21]

El diseño era simple, de construcción totalmente metálica, y tenía una turbina Rolls Royce Derwent 5, la misma que equipaba a los Gloster Meteor. Luego, con la llegada del diseñador de aviones alemán Kurt Tank, responsable de la creación del Focke-Wulf FW 190, se desarrollaron cinco prototipos del Pulqui II entre 1950 y 1959. La novedad de esta nave radicó en incorporar el ala en flecha, una innovación del campo de la aerodinámica que, junto a la utilización de una sola y poderosa turbina, le permitirían alcanzar velocidades cercanas a la barrera del sonido [22]. La aviación argentina está actualmente desarrollando el IA 63 Pampa III, un avión de entrenamiento avanzado biplaza con capacidades de combate.

3.4 Ingeniería en Rusia

Por un lance histórico no casual varios de los inventos tecnológicos más importantes en la historia de la humanidad del siglo XX son de origen ruso. Por ejemplo, en 1910 Ígor Sikorsky diseñó un prototipo de helicóptero que pudo elevarse en el aire y haciendo realidad la idea de Leonardo da Vinci. Con motivo de la revolución de 1917, Sikorsky se vio obligado a emigrar a EUA,

donde obtuvo apoyo financiero del compositor Serguéi Rajmáninov para crear la empresa Sikorsky Aeroengineering Corp., a la cual se debe el primer helicóptero experimental que tuvo vuelos exitosos en USA [23]. El tubo de rayos catódicos, la base del invento de la televisión electrónica, fue ideado en EEUU por el ingeniero ruso Vladímir Zworykin; por eso, en la historia, se le conoce como *el padre de la televisión*. También elaboró el kinescopio, un tubo de vacío receptor de televisión y finalizó el iconoscopio.

La videograbadora también es creación de un ingeniero ruso, Alexánder Poniátov [24], que a mediados del siglo XX trabajó en la empresa estadounidense Ampex, fundada por él mismo, donde diseñó un aparato para grabar señales de vídeo. Ampex mantuvo por décadas el liderazgo mundial en el ámbito de la grabación profesional magnética y de imagen, con un hecho curioso: las grandes empresas internacionales que producían y comerciaban los aparatos de vídeo caseros debían pagar por la patente de Poniátov. La comunicación por radio sin cables, enunciada por el físico ruso Alexánder Popov en la universidad de San Petersburgo en 1885, originó el primer radio receptor comercializado por el ingeniero electrónico de origen italiano Guglielmo Marconi; sin embargo, en 1943 la Corte Suprema reconoció al croata Nikola Tesla como único inventor de la radio.

3.5 Ingeniería en Estados Unidos

Son extensos los aportes de la ingeniería estadounidense en el siglo XX para el desarrollo de la humanidad en áreas como la telemática, telecomunicaciones, electrónica, sistemas, software, navegación espacial, etc., y gracias a los adelantos en medicina, biología e ingeniería química, se dio inicio a la ingeniería biológica o bioingeniería y a la ingeniería biomédica. La bombilla eléctrica y al fonógrafo, creados en los laboratorios de Thomas Alva Edison con los aportes de Tesla, siguió el cine, conocido como el séptimo arte moderno en constante evolución. Cabe señalar también que la ingeniaría americana ha aportado al desarrollo de diferentes medios de transporte terrestre, como los primeros automóviles de la empresa Ford y el avión tripulado por Lindberg, con lo que se inició la navegación aérea y los viajes tripulados en naves espaciales. Los adelantos técnicos, tecnológicos y científicos logrados por USA durante el siglo XX, se dieron en gran medida por su intervención en la Segunda Guerra Mundial y por la consolidación del capitalismo financiero [25].

La cibernética, la energía nuclear y las telecomunicaciones tuvieron aplicación práctica en la época industrial del siglo XX, pero un hecho tecnológico sin precedentes fue el desarrollo de la computación con sus múltiples aplicaciones en el hogar, el comercio, la educación y el entretenimiento. Otra cuestión importante es diversificación de las ramas de la ingeniería, por ejemplo, el surgimiento de la ingeniería genética, un acervo de conocimientos que conllevó la clonación de seres vivos y a los alimentos transgénicos. Pero uno de los mayores aportes de la ingeniería al desarrollo de la humanidad es Internet, que convirtió al mundo en un Planeta global, sin fronteras físicas, y que almacena casi toda la información y conocimiento de la humanidad. Este salto cualitativo y cuantitativo cambiaría la vida de las personas de formas únicas para su desarrollo.

3.6 La ingeniería de Nikola Tesla y sus aportes al desarrollo

El ingeniero Nikola Tesla fue uno de los más grandes innovadores del siglo XX, especialmente en el campo del electromagnetismo, y uno de los más sobresalientes en la historia de la ciencia. Su desatención en asuntos de finanzas le generó inconvenientes en relación con los derechos de propiedad de sus patentes, propiciando que otros se adueñaran de sus trabajos. Obtuvo alrededor de 300 patentes en más de una veintena de países, entre las cuales destacan la radio, motor de corriente alterna, radar, rayos X, resonancia magnética, submarino eléctrico, microscopio electrónico, lámpara de pastilla de carbono, despegue y aterrizaje vertical de aviones, bobina de Tesla, transferencia inalámbrica de energía, control remoto, extracción de energía de la tierra en grandes cantidades, rayo de la muerte, herramientas para la medición y el control climático, entre muchas otras.

Trabajó en varias industrias eléctricas de París y Budapest y en Estados Unidos, donde estuvo a las órdenes de Thomas Edison cunado buscaba abrirse paso para electrificar Manhattan a partir de corriente continua. Tesla intentó afanosamente convencerlo de implementar un sistema de electrificación basado en corriente alterna, cuestión que lo obligó a abandonar la compañía para asociarse con George Westinghouse, quien compró la patente del motor de inducción de corriente alterna y expuso el sistema por primera vez en la World's Columbian Exposition de Chicago en 1893. Poco después, el motor de corriente alterna se instaló para la generación de energía eléctrica de las cataratas del Niágara.

El potencial productivo de Tesla le mereció varios doctorados Honoris Causa en universidades europeas y americanas [26]; además, fue vicepresidente de American Institute of Electrical Engineers, precursor, junto con Institute of Radio Engineers, del actual Institute of Electrical and Electronics Engineers. Actualmente, en EEUU continúa operando la empresa Tesla Motors, que a comienzos de 2016 presentó un auto eléctrico asequible a las personas, el Tesla Model 3, financiado después de la comercialización de los tres costosos modelos anteriores: Roadster, Model S y Tesla Model X.

El legado de Tesla es uno de mayor reconocimiento por su aporte al desarrollo de la sociedad y los beneficios para la humanidad. Por ejemplo, los autos eléctricos contribuyen al cambio de la matriz energética de fuentes contaminantes, como los hidrocarburos, a fuentes renovables, como la electricidad, con la necesaria disminución del calentamiento global.

4. INGENIERÍA Y DESARROLLO SOCIAL

La ingeniería ha estado en el contexto histórico desde los primeros momentos del desarrollo de la humanidad y, cuando se crean las primeras herramientas a partir de piedras y luego con el descubrimiento del fuego como fuente de generación de energía, se da comienzo a la transformación de recursos naturales en estructuras de mayor elaboración con propósitos funcionales específicos. Gracias a estos y otros desarrollos ingenieriles las culturas en todo el mundo lograron diferentes niveles de desarrollo social, representados en mejoras en sus condiciones de vida y en diferentes ámbitos de su quehacer.

Debido a que la finalidad del desarrollo social es el bienestar de las personas en el contexto de una vida en comunidad, los seres humanos han buscado aportar en este sentido y han desarrollado mecanismos y artefactos que les ayuden a lograrlo. Esa vida en comunidad le brindaba relaciones e interacciones asociadas necesariamente al concepto de evolución de las capacidades individuales y colectivas, en las que los aportes ingenieriles siempre fueron protagónicos.

Sin duda, estos factores pueden ser definidos y entendidos de diferentes maneras por las comunidades en el contexto del desarrollo de las civilizaciones a través del tiempo. Pero, actualmente, las principales condiciones asociadas a la percepción de calidad de vida son [27]:

- Resolución de necesidades físicas de salud y seguridad
- Satisfacer necesidades de infraestructura individual y colectiva

- Satisfacer necesidades económicas
- Satisfacer necesidades emocionales y sociales
- Satisfacer necesidades de formación y capacitación en todos los niveles

En este sentido los aportes más significativos y visibles de la ingeniería para lograrlos se materializan en el desarrollo de artefactos, herramientas, infraestructura, mecanismos y sistemas para mejorar de forma transversal la mayoría de los factores que determinan la calidad de vida.

Esto es particularmente visible hoy con el adelanto de soluciones que incluyen tecnologías digitales desde las ingenierías electrónica, electrónica, computacional y otras. Los servicios y productos digitales están presentes en casi todas las actividades de las personas, por ejemplo, en las redes sociales, sistemas de información, domótica, salud, educación, negocios, sistemas productivos y eventos deportivos. A continuación, se describen algunas incidencias de la Ingeniería en el desarrollo de la humanidad.

4.1 En el sistema productivo

Un sistema productivo define la forma en la que se producen bienes y servicios [28] y, a partir del desarrollo de la máquina a vapor el impacto de la ingeniería en este sistema ha tenido un impacto permanente. Por ejemplo, la reducción de tiempos, costos, eficiencia y eficacia ha permitido aumentar la productividad. Tal como se evidencia en la primera cadena de montaje productivo de Henry Ford, considerado un referente de la ingeniería. Este aumento de capacidad productiva impacta el desarrollo económico, con relación directa en el desarrollo social como factor determinante de la calidad de vida. Actualmente, el uso de robots incrementa las capacidades productivas y da origen a una nueva etapa del desarrollo de la humanidad [29].

4.2 En el sistema educativo

Uno de los principales aportes históricos de la ingeniería en el desarrollo del sistema educativo, con incidencia en muchos otros, fue la construcción de la imprenta, una máquina que constituye un referente histórico para la humanidad. Este invento permitió la democratización masiva del conocimiento, con impacto sustancial en el mejoramiento de los niveles educativos de la sociedad. Actualmente, las tecnologías y los recursos educativos digitales revolucionan los modelos de enseñanza-aprendizaje; el computador, el software educativo, los objetos de aprendizaje, los recursos

multimedia e internet, son medios educativos disponibles en diferentes niveles de uso para formar y capacitar a las personas; herramientas como los sistemas web se utilizan en ambientes educativos virtuales y han cambiado el paradigma de la clase presencial, posibilitando el trabajo y la comunicación remota con actividades sincrónicas, disponibilidad de contenidos en formato digital y apoyando la gestión y operación del aprendizaje en las nuevas generaciones. Por otro lado, el paradigma de la educación expandida, soportado en un modelo de enseñanza para potencializar el aprendizaje basado en retos y el aprendizaje ubicuo, está revolucionado la educación virtual.

4.3 En el sistema de salud

Se ha hecho diferentes descubrimientos de artefactos antiguos que dan cuenta de los aportes de la ingeniería en el sistema de salud, por ejemplo, la prótesis de dedo del pie descubierta en Egipto, con una antigüedad de más de 3000 años, y los trabajos de Leonardo Da Vinci en los que representa modelos anatómicos con relaciones matemáticas y aproximaciones a brazos de palanca. Actualmente, existe un amplio número de instrumentos, equipos y sistemas desarrollados desde la ingeniaría y que se utilizan en el sistema salud; desde mecanismos para apoyar el diagnóstico y tratamiento, hasta prótesis, dispositivos y robots para soportar cirugías. El sistema de salud actual se basa en soportes tecnológicos robotizados y existe una industria establecida alrededor de la ingeniería biomédica.

4.4 En la infraestructura y transporte

Se podría afirmar que es el área en la que se puede evidenciar la mayor influencia de la ingeniería, desde las culturas más antiguas hasta las más modernas. Desde pirámides, puentes, fortificaciones, acueductos, ciudades, motores y trenes, hasta los rascacielos y las naves espaciales de hoy, hacen parte del amplio legado de la influencia de la ingeniería en el desarrollo de estos sistemas. En este sentido, una de las áreas de mayor impacto en la calidad de vida es el transporte, pensado inicialmente como solución al desplazamiento, pero cuya evolución y mejoras permanentes han culminado con las prestaciones de rapidez y confort con las que se cuenta hoy.

4.5 En el medio ambiente

A medida que las culturas se desarrollan surgen nuevos aportes ingenieriles relacionados con áreas como la nanotecnología, astronomía, computación y

conservación del medio ambiente. Aunque el uso de muchos de los desarrollos ingenieriles es la causa de los problemas ambientales de este siglo, también hay que decir que la misma ingeniería se plantea retos para encontrarles soluciones en corto tiempo. Parte de esto se relaciona con las llamadas ingenierías verdes que, desde sus áreas específicas de conocimiento, realizan aportes orientados a mejorar el bienestar del planeta [30, 31].

5. INGENIERÍA Y DESARROLLO EN EL SIGLO XXI

En Este siglo, y producto de los desarrollos de siglos pasados, se están realizando enormes obras ingenieriles y han surgido innovaciones marcadas por la creatividad de ingenieros. A este respecto se pueden mencionar los canales, puentes, islas artificiales y aeropuertos en todo el mundo; además de tecnologías innovadoras que mejoran el nivel de vida de los seres humanos relacionados con las comunicaciones, la computación y máquinas de diagnóstico y tratamiento de enfermedades, entre otras, que marcan el rumbo actual la incidencia de la ingeniería en el desarrollo de la humanidad. A continuación, se hace una descripción de las más representativas en diferentes países.

5.1 En el continente americano

De acuerdo con el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial, América Latina presenta un escenario optimista para la inversión en grandes proyectos de ingeniería [32]. La escuela de formación Structuralia, especializada en infraestructura, energía e ingeniería y con presencia en Iberoamérica, destaca grandes inversiones en proyectos para la región cuyas obras abarcan desde gasoductos en Perú hasta autopistas de conexión al Pacífico en Colombia [33]. En la Tabla 2 [34] se describen algunas de las más representativas.

Caso aparte merece la presentación de la ampliación del canal de Panamá, sin duda una de las grandes obras de infraestructura en esta parte del mundo. El objetivo es permitir la circulación de embarcaciones 2,6 veces mayores de las que circulan por el anterior juego de esclusas. Con 427 metros de largo y 55 de ancho, las nuevas esclusas permiten doblar las dimensiones del canal actual, al mismo tiempo que generan un menor impacto ambiental porque recuperan el 60% del agua gracias a un juego de tres grandes piscinas [35].

Otra obra de la ingeniería para el desarrollo es el puente de la Confederación, que atraviesa el Estrecho de Northumberland entre Canadá continental,

provincia de Nuevo Brunswick, y la Isla del Príncipe Eduardo (Figura 3). El puente actúa como un rompehielos estático: el mar helado se desplaza a través de los soportes cónicos del puente que fracturan el hielo y evitando que su fuerza derribe la construcción. Este mega puente tiene 12.9 kilómetros de largo, descansa en 62 pilares, consta de dos vías con peaje y contiene volados sucesivos de hormigón potenzado y una estructura viga-cajón. Gran parte del puente tiene 40 metros de altura sobre el agua, con un tramo de 60 metros para el tránsito de barcos.

Figura 3. Puente de La Confederación [36]

Tabla 2. Obras de infraestructura proyectadas para Latinoamérica

País / Proyecto	Alcance
Argentina Represas río Santa Cruz	Contempla una producción media anual de 5200 GW/h y, según se estima, sustituirían el consumo de combustibles en centrales térmicas de gas, carbón, *fueloil* y *gasoil* por un equivalente a unos 2,5 millones de toneladas de CO_2 al año. Se prevé la construcción de dos represas: ▪ Presidente Néstor Kirchner. Ubicada a 130 kilómetros de la localidad de El Calafate, tendrá una potencia de 950MW y una altura de 70 metros. Estará compuesta por 5 turbinas Francis con una generación anual de 3380 GW/h. La longitud del muro será de 1900 metros y la superficie del embalse tendrá 250 kilómetros cuadrados. ▪ Represa Gobernador Jorge Cepernic. Ubicada a 170 kilómetros de la ciudad Comandante Luis Piedra Buena, contará con una capacidad instalada de 360MW y 45 metros de altura. La extensión del muro será de 2700 metros. La casa de máquinas estará compuesta por 3 turbinas Kaplan y producirá 1903 GW/h al año. La superficie del embalse será de 200 kilómetros cuadrados.
Argentina Central nuclear Atucha III	Atucha III constituye la cuarta Central Nuclear de Argentina, luego de Atucha I, Atucha II y la Central de Río Tercero. Estará ubicada en la localidad de Lima y ofrecerá una potencia de 745MW, suficiente para abastecer a un millón de habitantes. El diseño del reactor será del tipo CANDU y funcionará a base de uranio natural y agua pesada.

Argentina Explotación de *shale gas* y *shale oil* de Vaca Muerta	Vaca Muerta representa la segunda reserva mundial de gas no convencional y la cuarta de petróleo no convencional. Las inversiones necesarias para desarrollar la producción de gas y petróleo hasta 2030 requieren de aproximadamente US$120.000 millones de dólares. El *shale* o roca de esquisto es una formación sedimentaria que contiene gas y petróleo. Desde el punto de vista de la ingeniería este tipo de explotación representa un desafío único, porque la roca de esquisto no tiene la suficiente permeabilidad para que el petróleo y el gas puedan ser extraídos con los métodos convencionales. Por lo tanto, se deben aplicar nuevas tecnologías que consisten en inyectar agua a alta presión juntamente con la aplicación de agentes de sostén (arenas especiales), lo que permite que los hidrocarburos atrapados en la formación fluyan hacia la superficie.
Chile Gasoducto Aquatacama	Busca llevar agua desde el sur hacia el norte, pero aún se estudia su implementación. La iniciativa de la carretera hídrica es impulsada por privados y apoyada por el Gobierno. Con un costo estimado de 1000 millones de dólares, el plan tiene como destino final la ciudad de Arica.
Argentina y Chile Túnel Internacional Paso de Agua Negra	El Túnel de Agua Negra es un futuro proyecto vial para construir dos túneles en el paso fronterizo de Agua Negra en la cordillera de los Andes, en la provincia argentina de San Juan y la Región de Coquimbo en Chile. La obra será el componente principal del corredor bioceánico que conectará el centro de Argentina con el puerto del Océano Pacífico de la ciudad de Coquimbo y el puerto de la ciudad de Porto Alegre en el Océano Atlántico. Cada túnel tendrá unos 13,8 kilómetros de largo y 12 metros de diámetro, y estarán separados entre sí por 90 metros. El costo total proyectado para la obra es 1.700 millones de dólares.
Argentina Reactor nuclear CAREM25	El primer prototipo de central CAREM25 tendrá una capacidad de generación de unos 25MW de potencia, suficientes para satisfacer la demanda de una población de 100 mil habitantes. Es la primera central nuclear de potencia íntegramente diseñada y construida en el país. Este tipo de reactores tiene amplia proyección para países con extensa superficie y baja densidad de población. Se trata de una central compacta de tipo PWR (de agua presurizada), que pertenece a la naciente familia de los Small & Medium Reactors y forma parte de lo que se conoce como Generación III+, que prometen ser el futuro de la electricidad nuclear.
Brasil Porto Sul Bahía	Es una de las mayores iniciativas logísticas del país y será una terminal portuaria que movilizará grandes cantidades de hierro y productos agrícolas.
Chile Puerto de Gran Escala de San Antonio	El objetivo es la construcción de una dársena para terminal de contenedores con 3500 metros de atraque, permitiendo configurar una estructura de envergadura para afrontar las demandas de carga para los próximos años.
Colombia Puerto de Cartagena	El canal de acceso se profundizará desde 14.17 hasta 20.5 metros y se ampliará desde 140 hasta 200 metros.
Colombia Metro Bogotá	La primera línea se extenderá a través de 110 calles finalizando en el norte de la capital. Se incrementará en gran medida la movilidad de la ciudadanía con la drástica reducción de los tiempos de viaje y se mejorará la calidad de vida de los habitantes al incrementar la capacidad de transporte del sistema.
Colombia Represa Porce IV	El proyecto está ubicado sobre el río Porce. La capacidad estimada de la obra es de a 400MW a través de 2 turbinas de generación, con una represa de tipo enrocado. El volumen total del embalse será de 1286 millones de hm^3.
Uruguay Molino de Rosas	Es un proyecto eólico donde se privilegian las energías limpias. La infraestructura estará ubicada en el departamento de Maldonado.

Colombia Central Hidroeléctrica Ituango	Es proyecto hidroeléctrico más grande en la historia de Colombia, tendrá presa enrocada de 225 m de altura, un embalse de 79 km de longitud con 2.720 millones de metros cúbicos de agua y un vertedero de 405 m de longitud en canal abierto. Este proyecto se caracteriza por tener como material innovador al metacaolín, que se le adiciona al concreto para mejorar sus propiedades en cuanto a resistencia, permeabilidad y durabilidad.
Ecuador Metro de Quito Fase II	La fase II del proyecto del metro subterráneo de Quito incluirá trabajos de perforación de túneles, la construcción de las restantes 13 estaciones, un depósito para mantenimiento y conductos.
Honduras Centrales El Tablón, Los Llanitos y Jicatuyo	Estas centrales transformarán la parrilla energética de Honduras y reducirán de manera significativa los costos de la energía. Se posibilitará la exportación de energía eléctrica a países vecinos.
México Nuevo aeropuerto Ciudad de México	El capital para la construcción del nuevo aeropuerto de la ciudad de México se invertirá en dos fases: la primera se enfocará en los estudios de factibilidad y en la construcción de estructuras secundarias; y la segunda, en la construcción de al menos 4 pistas. El diseño tendrá una vida útil de al menos 40 años con el transporte garantizado de grandes volúmenes de pasajeros y carga.
Perú Sistema de tuberías de gas para el sur	El proyecto consiste en la construcción de sistemas de tuberías para gas y gas líquido desde la planta de las Malvinas hasta el punto de conexión; luego a la planta de Chinquintirca y después desde el sector sur peruano hasta el punto de conexión, hacia la costa sur del país.
Uruguay Puerto de Costa Rocha	Montevideo espera lograr un consorcio público-privado para el Puerto de Agua-Profunda, por medio del cual se espera poder gestionar grandes cargas.

5.2 En Europa

El puente de Oresund es la mayor obra de ingeniería civil de Escandinavia, que comprende un tramo subterráneo, una isla artificial y un puente colgante sobre el mar Báltico, y comunica por carretera a la ciudad de Copenhague, al oeste de Dinamarca, con Malmö, al sureste de Suecia. Su base es una estructura de columnas de acero y hormigón que sostiene una amplia autopista de cuatro carriles y dos vías ferroviarias por el canal Flint. Pese a la magnitud del proyecto, los ingenieros desarrollaron un diseño con el menor impacto medioambiental posible, asegurando la habitabilidad de más de 500 especies diferentes de animales y plantas durante el recorrido [37]. La isla artificial de Peberholm, donde el puente se sumerge, fue construida a partir de los materiales desechados en la construcción del túnel.

El Túnel Base de San Gotardo para trenes de alta velocidad atraviesa los Alpes Suizos, desde la comuna de Bodio en el sur de Suiza hasta Erstfeld en el centro del país, estableciendo una ruta directa entre las ciudades de Zúrich y Milán, en Italia. Tiene 57,9 km de longitud y 151,84 km de corredores y galerías, constituyéndose en el más largo y profundo del mundo [38]. En la construcción se utilizaron tuneladoras tipo TBM (Tunnel Boring Machine), máquinas con un

peso aproximado de 4366 toneladas y una potencia de 12.000 kilovatios (Figura 4).

Figura 4. Tuneladora Sissi [39]

5.3 En Asia

El Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope FAST tiene un diámetro de 500 metros, medidas que lo hace el más grande del mundo [40], se ubica en el condado de Pintang, provincia de Guizhou en el sur de China. El principal objetivo de FAST es detectar ondas gravitacionales y señales de púlsares para obtener la mayor información posible sobre millares de estrellas y planetas circundantes. En segunda medida, el radiotelescopio tratará de detectar posibles señales de radio emitidas por alienígenas.

Las Islas Palm son un conjunto de islas artificiales ubicadas en la costa de la ciudad de Dubái, en los Emiratos Árabes Unidos, que contienen infraestructura de tipo comercial y residencial [41]. Palm Jumeirah, cuya vista aérea se asemeja a una palmera estilizada (Figura 5), fue el primer proyecto de edificación de isla artificial en alta mar sobre el Golfo Pérsico y se presentó, en un primer momento, como la Octava Maravilla del mundo. La isla es un paraíso turístico que además de sus complejos hoteleros ofrece navegación alrededor en yates y lanchas rápidas.

Figura 5. La isla artificial Palma Jumeirah [42]

El puente Hong Kong-Zhuhai-Macao tiene 55 kilómetros de longitud a través de puentes, túneles submarinos y una isla artificial. Gran parte del presupuesto del proyecto se destinó a la planeación de la seguridad, ya que el puente es capaz de soportar terremotos de magnitud 8, además de tifones categoría 16. Se ubica en una de las zonas más transitadas del mundo, con más de 4 mil barcos navegando a diario por debajo de la estructura [43]. A pesar de los diversos escollos en su construcción, China se sitúa a la vanguardia de la ingeniería a gran escala, pues de los diez puentes más largos del mundo siete están situados dentro de sus fronteras.

6. INGENIERÍA E INNOVACIÓN

La ingeniería actual depende en gran medida de la innovación que los ingenieros diseñan sobre productos, procesos, descubrimientos o desarrollos anteriores. A continuación, se describen algunas innovaciones ingenieriles representativas en el desarrollo humano y la calidad de vida de las personas.

6.1 Proyecto CarbFix: sistema que transforma el CO_2 en piedra caliza

En el suroeste de Islandia un equipo de investigación de la planta geotérmica de Hellisheidi ejecuta el proyecto CarbFix, que permite la captura de las emisiones de dióxido de carbono para su posterior mezcla con agua e inyección al subsuelo. Con este proceso el CO_2 se transforma en un mineral denominado calcita y luego en piedra caliza en un período aproximado de 6 meses, previniendo que el CO_2 en forma de gas ingrese a la atmósfera [44]. El gran reto al que se enfrenta el grupo de investigación es cómo utilizar este método para capturar el CO_2 existente en las plantas geotérmicas y también en las plantas de combustibles fósiles, fundiciones y otras industrias pesadas.

6.2 Impresión 3D de productos en metal

Con la impresión 3D en metal se reduce el costo en la fabricación de productos finales, se minimiza la cantidad de residuos, energía y deshechos derivados del proceso, obteniendo piezas hasta un 60% más ligeras y resistentes en comparación con la fabricación tradicional. Además, se pueden fabricar y diseñar formas que serían imposibles mediante la producción por lotes mecanizada. Por todo esto, las impresoras 3D en metal no han tardado en llamar la atención de industrias exigentes como la aeroespacial o la aeronáutica. Entre los productos fabricados de esta manera se encuentran implantes médicos y dentales, piezas de joyería [45], repuestos para

automóviles, herramientas de producción, carcasas rígidas, canalizaciones, boquillas de combustible para turbinas de gas [46], intercambiadores de calor, disipadores térmicos y prototipos totalmente funcionales.

6.3 Ascensor multidireccional

Un ascensor multidireccional se puede desplazar en cualquier dirección gracias a la levitación magnética, la misma tecnología que mueve los trenes de ultra velocidad japoneses, que consiste de imanes en cada compartimento que interactúan con una potente bobina instalada en los raíles, haciendo que el ascensor flote [47]. Al prescindir de los cables, estos ascensores se pueden ubicar uno detrás de otro a manera de tráfico vehicular de una ciudad; si uno bloquea al otro se produce un adelantamiento por la capacidad de movimiento en cualquier dirección. Esta característica plantea ventajas para los futuros rascacielos, ya que el tráfico de pasajeros entre plantas sería mucho más eficiente y porque se pueden instalar en cualquier parte, incluso en el perímetro del edificio, evitando el diseño en torno a espacios huecos.

6.4 Drones

Un dron es un vehículo aéreo no tripulado reutilizable, capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido, propulsado por un motor de explosión, eléctrico o de reacción, o por energía solar. Siempre que el dron cuente con los sensores adecuados, la adquisición de información a distancia permite medir variables como temperatura, humedad del entorno, calidad del aire, presencia de microorganismos en una zona o existencia de incendios forestales, entre otras. El manejo de los drones se realiza con control remoto o a través de aplicaciones para dispositivos móviles y existen diferentes aplicaciones desarrolladas para diversos sistemas operativos. Los drones son multifuncionales [48] y, actualmente se utilizan en eventos, envío de productos, situaciones de emergencia, vigilancia fronteriza, zonas rurales para esparcir pesticidas, control de rebaños, localización de plagas, malezas y la prevención o control de incendios forestales, manipulación de materiales nocivos para la salud, como satélites y para diversión.

6.5 Internet de las cosas y computación ubicua

Internet de las cosas (IoT) es una red global que enlaza objetos físicos usando computación en la nube, aplicaciones web y comunicaciones en red: cosas cotidianas que se conectan a Internet como un animal de granja con un

transpondedor de biochip, un automóvil con sensores incorporados para detectar baja presión en los neumáticos, una persona con un implante de monitor de corazón, o cualquier otro objeto natural o artificial al que se pueda asignar una dirección IP para darle la capacidad de transferir datos a través de una red. Un factor importante en el desarrollo de la IoT es la adopción del protocolo de Internet IPv6 para asignar una dirección IP a cada *cosa* en el planeta [49]. Esta tecnología tiene aplicaciones prácticas en diversas industrias como agricultura, transporte, energía, salud y gestión de edificios.

6.6 Big Data

Big Data se refiere a conjuntos de datos o combinaciones de los mismos cuyo tamaño, complejidad y velocidad de crecimiento dificultan su captura, análisis o procesamiento mediante tecnologías y herramientas como bases de datos relacionales, estadísticas convencionales o paquetes de visualización. El tamaño para determinar si un conjunto de datos determinado se considera Big Data no está definido, sin embargo, la mayoría de analistas y profesionales se refieren a conjuntos de datos que varían desde 30 Terabytes a varios Petabytes.

La naturaleza compleja del Big Data se debe principalmente al formato no estructurado de una gran parte de los datos generados por las tecnologías modernas, como los sensores incorporados en dispositivos, identificación por radiofrecuencia (RFID), blogs, búsquedas en Internet, dispositivos GPS, registros de centros de llamadas y redes sociales, teléfonos inteligentes y otros dispositivos móviles. En la mayoría de los casos y con el fin de utilizarlo eficazmente, el Big Data se debe combinar con datos estructurados en una base de datos relacional. Además, su análisis ayuda a las organizaciones a aprovechar los datos y a utilizarlos para identificar nuevas oportunidades, lo cual conduce a negocios más inteligentes, operaciones más eficientes, mayores utilidades y clientes más satisfechos. Las empresas pueden alcanzar reducción de costos, nuevos productos y servicios, y una mejor manera para tomar decisiones [50].

7. CONCLUSIONES

Son amplios y diversos los aportes de la ingeniería al desarrollo de la humanidad, por lo que considerarlos todos en un texto es tarea difícil. Con el objetivo de ser lo más prácticos posibles y para responder a las expectativas que se puada trazar el lector, el texto escindió en sesiones que esbozan un

marco lógico de lectura: la primera se dedica a los primeros aportes de la ingeniería desde algunas culturas representativas en la historia; la segunda a los desarrollos de la ingeniería en las épocas medieval y moderna; la tercera a los aportes de la ingeniería para el desarrollo social; y cuarta a las obras e innovaciones de la ingeniería en el siglo XXI. Desde este enfoque se puede concluir que:

- Es importante recordar que gran parte de la evolución de la ingeniería desde sus orígenes hasta la actualidad ha estado al servicio del desarrollo militar, siempre justificado por el factor de seguridad de la sociedad. Pero, dado que el tema no hace parte del objetivo del libro, no se trató a profundidad en el presente capítulo, sin embargo, en otro estudio se deberá tener en cuenta al momento de visualizar la completitud del rol de la disciplina en el desarrollo de la humanidad.
- La ingeniería siempre ha estado al servicio de la sociedad, para mejorar sus condiciones y posibilitar una evolución permanente de nuevas técnicas, herramientas y tecnologías con impacto en los factores de calidad de vida de las personas.
- El desarrollo de las culturas a lo largo de la historia se ha dado en paralelo con las innovaciones y obras de la ingeniería. Pero no siempre se puede afirmar que sean de beneficio para todos los involucrados, porque si bien conllevan arduo trabajo para que las fuerzas de la naturaleza trabajen en beneficio del hombre, pueden generar tropiezos que disparan alarmas ambientales, económicas y de seguridad. Estas problemáticas plantean restos a la ingeniería ética y el desarrollo humano.
- Las tecnologías limpias han tomado impulso para coadyuvar a mejorar el medio ambiente del planeta. Los productos bajos en carbono, como coches, barcos y aviones eléctricos solares, han alcanzado desarrollos significativos que auguran mejoramiento en el transporte terrestre, aéreo y marítimo con energías limpias, sin emisiones de CO_2 hacia la atmósfera.
- La sociedad y la ingeniería están fuertemente vinculadas y han generado una mutua dependencia, al punto de que una no existiría sin la otra. Pero queda un camino complicado por recorrer, ya que ese lazo genera necesidades insatisfechas y problemas cada vez más complejos que la ingeniería deberá resolver para continuar aportando en el desarrollo de la humanidad.

REFERENCIAS

[1] Williams, R. (2004). Cultura y cambio tecnológico: El MIT. España: Alianza Editorial.

[2] Aracil, J. (2010). Fundamentos, método e historia de la ingeniería. Una mirada al mundo de los ingenieros. Madrid: Editorial Síntesis.

[3] Valencia, A. (2000). Breve historia de la Ingeniería. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia 20, 119-136.

[4] Jiménez, J. (2011). Principios de Ingeniería. Introducción a la carrera de Ingeniería. Costa Rica: UACA.

[5] Wright, P. (2004). Introducción a la Ingeniería. México: Limusa.

[6] Sáenz, R. (2004). La poliorcética en el mundo antiguo. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España.

[7] Espinós, J. et al. (1987). Así vivían los romanos. Serie Vida cotidiana. Madrid: Anaya.

[8] Vitruvio, M. (1997). Los diez libros de arquitectura. Madrid: Alianza.

[9] INTI (1999). Historia de la ingeniería. Argentina: Instituto Nal. de Tecnología Industrial.

[10] López S. (1998). Las civilizaciones aborígenes en la América pre-hispana (I y II). Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas 21.

[11] Valverde, M. (2004). Arquitectura. Revista Digital Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México 5(7).

[12] León, M. & Aguilera, C. (2016). Mapa de México-Tenochtitlan y sus contornos hacia 1550. México: Ediciones Era.

[13] Aguilera, M. & Díaz, A. (2009). Tres siglos de historia demográfica de Cartagena de Indias. Cartagena: Banco de la República.

[14] Chaves, J. (2004). Desarrollo Tecnológico en la primera revolución industrial. Norba, Revista de Historia 17, 93-109.

[15] Domínguez, A. (2010). Cronología de los descubrimientos los inventos y las realizaciones de ingeniería desde la Edad de Piedra hasta fines del siglo XIX. México: Academia Nacional de Ingeniería.

[16] Kelly, M. (2006). Steam in the air. Barnsley: Pen & Sword Aviation.

[17] Milla, L. (2007). Calderas y turbinas de vapor para la generación de energía eléctrica. UNMSM 19, 18-26.

[18] McCullough, D. (2004). Un camino entre los mares: La creación del canal de Panamá 1870-1914. España: Espasa Calpe.

[19] González, J. (2017). Sacyr reclamará hasta 5.386 millones por sobrecostes del canal de Panamá. Online [May 2018].

[20] Silva, O. (2016). Maravilla de ingeniería: presa hidroeléctrica de Itaipú. Online [Jul 2017].

[21] Herrera, O. & Gibson, C. (2012). Córdoba de antaño. Online [Jul 2017].

[22] Burzaco, R., Cicalesi, J. & Rivas, S. (1995). Las Alas de Perón. Aeronáutica Argentina 1945/1960. Buenos Aires: Editorial Da Vinci.

[23] Soule, A. (2014). Sikorsky– Still Revolutionary. Online [May 2017].

[24] Kuzmichev, V. (2012). Doce inventos rusos. Online [Abr 2017].

[25] Barbosa, D., Medina, C. & Vargas, M. (2014) Globalización, capitalismo financiero y responsabilidad social empresarial: tensiones estructurales. Revista Civilizar 14(27), 135-154.

[26] Villatoro, F. (2012). Nikola Tesla y el Premio Nobel que rechazó. Online [Jun 2017].

[27] Salas, C. & Garzón, M. (2013). La noción de calidad de vida y su medición. CES Salud Pública 4, 36-46.
[28] Educadictos (2011). Sistemas de Producción I: la aparición de la producción en serie. Online [Mar 2017].
[29] Hora, N. (2018). Ensamblaje Fotos de archivo e imágenes. Online [Apr 2017].
[30] WinPower (2011). ZECWP 75 KW Wind Turbine. Online [May 2017].
[31] Gómez, J. (2005). Ingeniería verde para la gestión de residuos. Madrid: Universidad Carlos III.
[32] FMI & BM (2018). Reuniones de Primavera 2018. Fondo Monetario Internacional & Grupo Banco Mundial. Online [May 2018].
[33] Álvarez, W. (2017). Conozca las 10 megaobras que cambiarán a América Latina. La Prensa/Economía.
[34] CG/LA Infrastructure Inc. (2014). A Strategic top 100 Latin American Infrastructure 2014 Report. 12th Latin American Infrastructure Leadership Forum. Cartagena, Colombia.
[35] Sabonge, R. (2014). La ampliación del Canal de Panamá Impulsor de cambios en el comercio internacional. New York: Naciones Unidas, CEPAL.
[36] MacIsaac, B. (2018). Confederation Bridge, Prince Edward/New Brunswick. Canada: Seven wonders.
[37] Lara, V. (2015). El espectacular puente de Oresund que une Dinamarca y Suecia. Hipertextual-Cultura.
[38] Magnet (2016). La epopeya del túnel de San Gotardo, el más largo y profundo del mundo, en 27 imágenes. Online [May 2018].
[39] Walker, A. (2016). The longest, deepest rail tunnel on earth just opened in the Swiss Alps. Online [May 2018].
[40] Jiménez, J. (2016). El mayor radiotelescopio del mundo es chino y ya está mirando al cielo. Online [Mar 2018].
[41] Sánchez, J. (2017). Megaestructuras: Palm islands. Online [May 2018].
[42] Schneider, R. (2014). LA license: ccbysa2.0
[43] Fernández, J. (2017). El puente Hong Kong-Zhuhai-Macao: Un collar de perlas sobre el mar. Revista Instituto Confucio 45(VI), España.
[44] Bjarnason, B. (2014). The CarbFix Project. Online [Mach 2018].
[45] Guillén, A. (2015). Producción de joyería fabricada mediante impresión 3D. Valencia: Universitat Politècnica de València.
[46] Odremán, J. (2014). Impresión 3D en la Industria: Un acercamiento a la tecnología y su influencia en la Industria Petrolera. Universidad, Ciencia y Tecnología 18(73).
[47] Lugo, A. (2017). Desarrollan primer ascensor multidireccional: No sólo sube y baja, también se mueve hacia los lados. Caraota digital. Online [Mar 2018].
[48] Llorente, F. (2014). Los 14 usos de drones que seguro no conocías. Agencia de noticias tecnológicas DonWeb. Online [May 2018].
[49] Rouse, M. (2017). Internet de las cosas. Search Data Center. Online [Mar 2018].
[50] Barranco, R. (2012). ¿Qué es Big Data? Online [Mar 2018].

CAPÍTULO 7

Ingeniería y Matemáticas

Edgar Serna M.[1]
Alexei Serna A.[2]
[1] *Universidad Autónoma Latinoamericana*
[2] *Instituto Antioqueño de Investigación*
Medellín, Antioquia

Desde el comienzo mismo de la ingeniería como profesión las matemáticas han desempeñado un papel central en la formación de los ingenieros, tanto como requisito de ingreso a las universidades, como elemento esencial de su desempeño profesional. Por esa razón es que los debates y análisis sobre el papel de las matemáticas en la ingeniería es un tema de alto perfil para gobiernos, instituciones, empresas, estudiantes, profesionales y sociedad en general. Si aceptamos la importancia de las matemáticas en los procesos de capacitación, también será necesario exigir una capacitación más adecuada que les permita a los ingenieros responder a las necesidades sociales. Si a esto se agrega la actual crisis por la falta ingenierosa y estudiantes, el diseño de estrategias para atraer y motivar su estudio se convierte en una cuestión prioritaria. Por lo tanto, dado que el mito de las matemáticas en ingeniería parece que siempre será determinante cuando los estudiantes eligen una carrera, es natural que académicos, administradores, industria y Estado centren su atención en esta situación. El objetivo de este capítulo es presentar un análisis a la relación entre las matemáticas y la ingeniería desde una percepción de investigación y práctica.

1. INTRODUCCIÓN

Luego de la Revolución Industrial la educación técnica logró reconocimiento y se originaron dos escenarios para impartirla: por un lado, los institutos y universidades *clásicos*, los cuales le abrieron espacios en sus planes de estudios; por otro lado, las escuelas *institucionales* dedicadas a la capacitación técnica. Paralelamente, también se incrementaba el reconocimiento del estado a la importancia de la educación técnica, al mismo tiempo que la presión

[1] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. en Ingeniería, Ph.D. en Pensamiento Complejo, Científico Computacional Teórico. *eserna@eserna.com*
[2] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. (c) en Ciencias, Tecnología y Sociedad, Investigador senior. *alexei.serna@fundacioniai.org*

pública por una capacitación práctica y científica de bajo costo. Pero, aunque estos movimientos despertaban el interés general, la ingeniería conservó su condición de campo *extraño* en la academia. Por eso, mientras la ciencia, como extensión experimental de la filosofía natural, ganaba la aceptación al interior de los estudios clásicos, la ingeniería se separaba de esta corriente.

Uno de los actores más interesado en lograr su reconocimiento dentro de la elite de la época eran los profesores, quienes sufrían el desdén de las otras áreas del conocimiento. Fue así que, al buscar mayor respetabilidad académica, y para responder a las exigencias de los avances ingenieriles, los planes de estudios le dieron cabida progresivamente a más contenido científico. De este modo, el enfoque de las escuelas institucionales se fue alejando del estudio de los principios mecánicos, con énfasis en los ejercicios en taller y en el trabajo de campo, para enfatizar en la teoría matemática y los principios del diseño. Fue entonces que las escuelas de ingeniería construyeron laboratorios, con el objetivo de facilitar ese mayor énfasis en la ciencia y la matemática. Esta tendencia impacto con mayor pronunciamiento a los campos ingenieriles que emergieron desde entonces, tales como la eléctrica y la química, con menor impacto en las disciplinas más antiguas, tales como la militar y la civil.

Otro asunto, surgido de las preocupaciones sobre el estatus de los ingenieros y la ingeniería, fueron las discusiones acerca del papel de las humanidades en los planes de estudios. Las primeras escuelas solamente ofrecían cursos técnicos y eran inflexibles acerca de esto, pero posteriormente algunas iniciaron programas de estudios clásicos concurrentes para ingenieros, aunque no eran universalmente aceptados. Entre los que no estaban de acuerdo se encontraban profesores y empleadores, para quienes estos temas eran distractores para los estudiantes. Además, porque consideraban que la abstracción y la lógica, impartidos desde la filosofía, la religión y la literatura, eran cuestiones inútiles y peligrosas para el empleado. Sin embargo, para finales de siglo, cuando los ingenieros empezaron a asentarse como gerentes corporativos, todo lo relacionado con el enfoque socio-humanista se comenzó a valorar como una necesidad práctica en los planes de estudios.

Posteriormente, en el desarrollo de la investigación industrial posterior a la guerra, se reflejan las relaciones entre científicos e ingenieros que se desarrollaron en el conflicto y, como resultado, se vio la necesidad de darle mayor énfasis a la ciencia y las matemáticas en la educación de ingeniería.

Debido a estos logros y a la importancia de los ingenieros durante la guerra, se crearon vínculos institucionales entre la academia, la industria y el gobierno, y se reconoció que la ingeniería era de importancia estratégica crítica, por lo que era evidente que la seguridad de las naciones dependía del apoyo a estas disciplinas. En la medida que la ingeniería cobraba importancia y las personas querían estudiar alguna de sus ramas, la profesión, reconocida en las sociedades profesionales, comenzó a apoyar activamente los esfuerzos en todos los niveles para mejorar la educación en ciencias y matemáticas.

2. QUÉ SON LAS MATEMÁTICAS

Para lograr el objetivo de este capítulo de encontrar la relación entre las matemáticas y la ingeniería, primero hay que tratar de encontrar una comprensión sobre qué son las matemáticas. Una empresa no tan simple si se consideran las diferentes perspectivas en este sentido, por ejemplo, para la mayoría de personas es un área de educación que abarca aritmética, álgebra, geometría, trigonometría, estadística y probabilidades, un subconjunto del pensamiento lógico y un mecanismo de razonamiento. En la segunda mitad del siglo XX se afirmó que saber matemáticas era hacer matemáticas, es decir, utilizar su lenguaje con facilidad, resolver problemas, analizar argumentos, encontrar pruebas y extraer sus conceptos desde una situación dada [1].

Un poco más adelante se concluyó que definirlas era una cuestión condicional, porque cada persona, en diferentes situaciones, enfatizaba en aspectos diversos del área. Por eso, algunos intentaron formalizar una definición, por ejemplo, aducían que *hacer* matemáticas significa seguir las reglas y *saber* matemáticas es recordar y aplicar la regla correcta [2]; son un cuerpo de conocimiento organizado, un sistema abstracto de ideas, la lógica más pura, una creación de la mente humana [3]; incluye procesar, interpretar y comunicar información numérica, cuantitativa, espacial y estadística; son alfabetización que refleja las habilidades en las empresas [4]; son la forma más pura de razonamiento, entrenamiento en pensamiento desapasionado, objetivo, racional [5]; es absolutista porque es un cuerpo de conocimiento objetivo, absoluto, cierto e incorregible [6]; son un producto de las personas y las sociedades [7]; son una caja de herramientas para el ingeniero [8]; son hechos objetivos, el estudio de la razón y la lógica con rigor, pureza y belleza, libre de influencias sociales [9]; son la práctica fundamental de la ingeniería [10]; son mucho más que números, porque es funcional y es un elemento de la cultura [11].

Sin importar si se comparte alguna o algunas de estas definiciones, o si se tiene una propia, la importancia de las matemáticas no se puede ocultar, pero si hay que analizar la evolución de los contenidos y su enseñanza en las diferentes ingenierías. Sin llegar tampoco a los extremos que algunas iniciativas han tratado de implementar, tales como las de OCDE y PISA, en las que las matemáticas se evalúan por niveles, como si el pensamiento lógico se estructurara por capas o por dominios de contenido y cognitivos. Esta forma de avaluar y comprender las matemáticas puede que funcionara en el siglo pasado, pero la generación digital tiene una manera diferente de ver el mundo y de darle importancia.

Por eso, primero hay que comprenderla antes de tratar de inducirlos por caminos que, al poco tiempo, abandonan porque no se sienten motivados. Por ejemplo, tratar de desarrollar las llamadas competencias fue un error que, desafortunadamente, no todos los países han detectado. Todavía no se tienen una definición clara sobre el termino, pero se busca que los estudiantes las potencialicen; eso era en la educación para el trabajo, en la Revolución Industrial. Hoy, esta generación tiene otros intereses y expectativas, tienen tecnología, esperan que todo se automatice, no quieren pensar mucho sino actuar, y la enseñanza de las matemáticas debe comprender y adaptarse a este nuevo contexto.

En este orden de ideas el pensamiento matemático es una de las formas en las que se evidencia el significado de las matemáticas, porque desarrollarlo implica conjeturar, razonar, probar, abstraer, generalizar y contraer [12]. Pero, para lograrlo, hay que entender que esta área del conocimiento es multidimensional y que se enmarca en aspectos críticos tales como la metacognición, las creencias y las prácticas. Entonces, para pensar matemáticamente hay que desarrollar un punto de vista matemático y habilidades para utilizarlo como herramienta en diferentes contextos.

Además, este conocimiento generalmente se aprende en ambientes sociales, tales como la escuela o la empresa, pero sino se transfiere y comparte como aprendizaje entre las dimensiones, se corre el riesgo de que se atasque en la memoria a corto plazo. Otra característica del desarrollo de este pensamiento es que el ingeniero adquiere destrezas para resolver problemas, es decir, para *hacer matemáticas*, que difiere ampliamente de los procesos de encontrar respuesta a los ejercicios de los libros de texto. Se trata de métodos o procedimientos que se estructuran y aplican con base en la lógica de

comprensión y la etapa de la resolución de problemas, y que incluyen habilidades cognitivas y metacognitivas. Las primeras se refieren al conocimiento matemático y las segundas involucran planificar, controlar, monitorear, tomar decisiones, elegir estrategias y verificar resultados, entre otras.

Paul Lockhart [13] afirma que la matemática es un arte y que su diferencia con las otras artes es que la cultura no la reconoce como tal. Para este autor, la poesía, la pintura y la música generan obras de arte que se expresan con palabras, imágenes y sonidos, entonces, ¿por qué no las matemáticas cuando se expresa con números? En parte esto se debe a que pocas personas saben realmente qué es la matemática, mientras que la mayoría la perciben conectada de alguna manera solamente con la ciencia y la ingeniería. Aun así, él la define como la más pura de las artes, a la vez que la más incomprendida.

3. MATEMÁTICAS E INGENIERÍA

Tanto la ingeniería como las matemáticas son empresas humanas, pero en la historia apareció primero la tecnología, por ejemplo, el uso de la piedra como herramienta o arma se puede datar en casi 2.5 millones de años, con lo que la humanidad inició un proceso de adaptación del mundo natural que continúa hasta hoy. De la misma manera, en este proceso el hombre ha estado involucrado en la búsqueda del conocimiento científico, lo cual se evidencia en tres etapas definidas: 1) la experimentación pragmática, caracterizada por el descubrimiento por ensayo y error; 2) el análisis lógico y la prueba, que se desarrolló en Grecia; y 3) el método científico. Pero la evolución de la tecnología necesitaba una formalización y, por consiguiente, el paso a seguir fue la ingeniería que, desde hace más de 5000 años, se empezó a materializar en la construcción de templos, tumbas y pirámides. Aunque la denominación como ingenieros apareció por primera vez en la Edad Media, cuando se llamó así a los constructores de arietes, catapultas y otros motores para la guerra.

Por su parte, las matemáticas se iniciaron cuando los seres humanos tuvieron la necesidad de contar y aparecieron los números. Al comienzo el objetivo era responder a cuestiones simples relacionadas con la agricultura y la ganadería, tales como cuánto y cuándo [14]. El sistema decimal se ha mantenido a pesar de todos los aportes que las culturas hicieron en otros, pero hoy en día, el sistema binario es de más ayuda para los desarrollos ingenieriles de sistemas informáticos de cálculo digital. La aceptación de las matemáticas como el

estudio de todos los patrones y las relaciones abstractas concebibles, la asoció inmediatamente con la ingeniería, en el sentido que ambos campos eran complementarios para la materialización de diversas soluciones. De esta relación han surgido herramientas analíticas que permiten crear, alterar, construir y cambiar el mundo y, en un sentido más amplio, las culturas civilización no se habrían desarrollado como lo hicieron sin los procesos y productos surgidos a partir de la investigación matemática. Por ejemplo, para construir una edificación hay que recurrir a las técnicas de medición geométrica desarrolladas en Egipto; luego de la Edad Oscura la matemática clásica ayudó a encender el espíritu aventurero de los viajes; y en la Revolución Industrial el cálculo ofreció la confianza necesaria para el desarrollo de las máquinas. En Tabla 1 se describe una comparación entre Ingeniería y Matemáticas, con el objetivo de ofrecer un recurso de claridad a su relación.

Tabla 1. Características comparativas entre Ingeniería y Matemáticas

Ingeniería	Matemáticas
Utiliza los materiales y las fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad	Utiliza los patrones y sus relaciones
Su preocupación es el *cómo*	Su preocupación es *analizar o averiguar*
Se involucra en lo específico	Se involucra con lo abstracto
Se guía más por estudios teóricos que por soluciones específicas recomendadas	Se guía por el análisis y la lógica
Se preocupa por solucionar problemas y por adquirir conocimiento de la solución	Se preocupa por proporcionar soluciones a problemas teóricos
El término se utiliza en combinación con palabras como: práctica, visión, ingenio, investigación, diseño, sistemas, análisis, aplicación, tecnología, invención, innovación, desarrollo, …	El término se utiliza en combinación con palabras como: análisis, números, formas, relaciones espaciales, lógica simbólica, examinar, representar, transformar, resolver, aplicar, probar, calcular, estimar, ...
Su éxito o fracaso suele estar determinado por la aceptación social y el éxito en el mercado	Su éxito no se juzga por la utilidad social
Se orienta a la acción y requiere de la intervención	Se orienta a ofrecer respuestas correctas y a la previsibilidad
Se orienta a los sistemas	Se orienta a los modelos, formas y números
Busca construir/producir artefactos	Busca analizar las cosas
Depende de tecnología, matemáticas y ciencia	Depende de tecnología, ingeniería y ciencia

A partir de estos planteamientos se observa una relación simbiótica entre ingeniería y ciencia, además, que su estudio solamente es posible involucrando a las Ciencias Naturales. Pero éstas no pueden ser entendidas plenamente sin la comprensión de las matemáticas, porque no son un lenguaje más, sino el lenguaje del razonamiento y de la lógica, por lo tanto, las matemáticas son la herramienta del razonamiento. Por otro lado, y debido a que los nuevos

problemas exigen ciudadanos formados y capacitados para desarrollar y utilizar habilidades de pensamiento de orden superior, es necesario que desarrollen habilidades creativas mediante la comprensión y la síntesis de la tecnología, la ciencia, la ingeniería y las matemáticas, de tal forma que puedan anticiparlos y resolverlos [15].

En muchos escenarios, los ingenieros y los científicos coinciden en que las matemáticas contribuyen al desarrollo tecnológico y que, como reciprocidad, este desarrollo estimula procesos de investigación en matemáticas. Pero otros afirman que esta interacción no está exenta de dificultades: 1) al parecer, los matemáticos no tienen el conocimiento necesario de ingeniería para comprender sus problemas, 2) muchos de los métodos que se desarrollan en matemáticas no tienen utilidad en la ingeniería, 3) muchos ingenieros no están predispuestos a entablar diálogos con los matemáticos y aceptar el rigor de este campo, 4) cuando lo hacen, se complica encontrar un lenguaje de común entendimiento, y 5) los currículos en matemáticas no son del todo útiles para el ejercicio profesional de la ingeniería. El núcleo de esta argumentación es que los matemáticos deben estar en comunicación permanente con los ingenieros y utilizar un lenguaje comprensible para ambos, de tal manera que se mejore la comprensión de ambos para encontrar intereses comunes, además de construir juntos los currículos que se deben llevar a los programas.

En este sentido, hay que tener en cuenta que el uso y el aprendizaje de las matemáticas se sustenta en el desarrollo de un pensamiento matemático sólido, pero para alcanzar un marco para comprender la cognición matemática se necesita [16]: una base de conocimientos, estrategias heurísticas para solucionar problemas, usar los recursos de forma efectiva, creer y desarrollar afectos matemáticos y participar en prácticas matemáticas. Un problema es este planteamiento es que, generalmente, los problemas deben estar bien definidos para poder reducirlos a algoritmos, de tal manera que se puedan sistematizar antes de comprenderlos. Algo que no se consigue muy fácil en la vida real y el ingeniero debe poner a prueba su ingenio y recurrir a su formación matemática para estructurarlos.

Esto no es tan simple como parece, porque, aunque el objetivo principal de la educación matemática es desarrollar este tipo pensamiento, los estudiantes no lo logran con claridad y sus conclusiones lógicas no son las más sólidas. Esta realidad se puede analizar desde varios puntos de vista y, sin demeritar la importancia de las matemáticas para la ingeniería, habría que decir que mucha

de la culpa subyace en la universalización y obligatoriedad que se pretende dar a un área sobre la otra. El logro del objetivo de las matemáticas depende de otras situaciones, tales como la armonía en el aula, la demostración de su importancia, los casos de estudio y las didácticas y metodologías de los profesores. Además, si la interrelación de ambas áreas está más que justificada y demostrada, también hay que resolver ciertos problemas: 1) la sensación de temor y fracaso de los estudiantes, 1) un plan de estudios desarticulado, 3) una evaluación memorística, y 4) la preparación y el apoyo de los profesores en relación con la ingeniería.

Ahora bien, aunque en la literatura se encuentra muchos trabajos acerca de definiciones de las matemáticas; la inconformidad de los estudiantes con las matemáticas; la disminución del interés en carreras de ingeniería; la percepción de que las matemáticas son factor importante para seleccionar una carrera; la necesidad de reformar el sistema de educación y la educación en ingeniería; la naturaleza cambiante de la práctica ingenieril; y la importancia de las matemáticas en la ingeniería y de ésta en el desarrollo del planeta, es cierto que existe una necesidad de conocer un análisis al uso de las matemáticas en el ejercicio profesional de la ingeniería. Por ejemplo, conceptos más utilizados, contextos y niveles de complejidad, formas de uso, nivel de motivación y logros más importantes.

La falta de conocimiento sobre estos aspectos es una de las causas por las que los ingenieros no se capacitan adecuadamente en la academia, o no se motivan a tomar estas carreras porque no entienden la necesidad de tanto contenido matemático. Por lo tanto, si la idea es capacitar de mejor manera a los estudiantes de ingeniería, se requiere conocer la experiencia matemática de los ingenieros [17]. En este sentido, uno de los errores más comunes es investigar el trabajo de los estudiantes de ingeniería, algo no-realista porque, a diferencia de los ingenieros, ellos no tienen, por ejemplo, presiones por tiempo, no encajan en una estructura organizativa y sus tareas no representan ampliamente la práctica ingenieril real. Además, debido a que los investigadores no tienen experiencia o conocimiento ingenieril, no estructuran una dinámica de investigación con la que se identifique el ingeniero y entonces, simplemente, no participan. Se encuentra poca documentación sobre este aspecto y solamente algunos trabajos incluyen evidencia empírica acerca del papel y la importancia de las matemáticas en el ejercicio ingenieril [18-21].

4. OBJETIVO DE LAS MATEMÁTICAS EN INGENIERÍA

David Wheeler [22] opinaba que era más útil saber cómo matematizar que saber muchas matemáticas. Por eso, y de acuerdo con George Polya [23, 24], el objetivo de las matemáticas en ingeniería se puede pensar desde dos perspectivas: 1) capacitar profesionales que contribuyan al desarrollo social y económico, y 2) desarrollar la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva para estructurar el pensamiento matemático. Si en un programa de ingeniería se puede lograr ambos objetivos, es posible que los estudiantes alcancen una claridad de pensamiento que les permita llegar a conclusiones lógicas ante todo tipo de problemas. Aquí cobra importancia nuevamente el tener una actitud positiva y la estructuración de algoritmos para una resolución de problemas sistemática.

No se puede asegurar abiertamente que este sea el único objetivo de las matemáticas en la ingeniería, porque en cada disciplina puede variar sustancialmente. Además, no todos los programas que ofrecen como ingeniería lo son, entonces las matemáticas no tienen un terreno fértil para lograr su objetivo. En estas circunstancias es que se escucha el reclamo de los estudiantes acerca de para qué las matemáticas en el programa, porque no le encuentran un sentido práctico en el ejercicio profesional.

A este impedimento para el logro del objetivo hay que sumarle que ni los profesores ni los estudiantes parecen querer soñar en grande. Hasta mediados del siglo pasado era suficiente con desarrollar habilidades de taller, y se aceptó que desarrollar las llamadas competencias era la mejor forma de lograrlo. Como resultado, los ingenieros eran más operarios que profesionales y muchos se convirtieron en los analfabetas matemáticos del nuevo siglo.

Todo se enmarca en lo que Snow [25] llama las dos culturas. Este autor sostiene que debido a la falta de comunicación entre las humanidades y las ciencias se generó una separación cultural en el mundo científico, porque no existe un lenguaje común para que ambos campos sean comprendidos por la sociedad. Esto puede ser lo que sucede actualmente con las matemáticas en la ingeniería, porque en su enseñanza existen dos objetivos significativos: por un lado, resolver problemas y por el otro, construir y entender teorías. La realidad es que, si un ingeniero desea resolver problemas, debe comprender mejor las matemáticas; entonces, al no lograrlo, entrará al grupo del analfabetismo matemático.

La ubicación en estos grupos se ha utilizado para clasificar los países en relación con el rendimiento de sus estudiantes y profesionales en el área de las matemáticas y, por otro lado, para clasificar a los estudiantes de acuerdo con los resultados que obtienen en pruebas estandarizadas. Para tratar de mejorar el panorama, en muchos países se han implementado diversos programas y metodologías, pero la mayoría no han logrado los resultados deseados. Para algunos investigadores [26, 27] la razón es clara: se han centrado en mejorar las habilidades matemáticas básicas de los estudiantes, especialmente en ingeniería, cuando el objetivo debería ser diferente, porque la matemática es una forma de pensar acerca de los problemas y los desafíos en el mundo. Por lo tanto, no es suficiente con conocer ampliamente la matemática básica sino de aprender a pensar matemáticamente.

Aunque muchos se han aventurado a ofrecer explicaciones y definiciones, desde la ingeniería surge el interrogante sobre qué es exactamente una habilidad matemática básica. No es simplemente una capacidad para realizar cálculos rutinarios de forma subconsciente, porque esto ha sido superado con el desarrollo del cálculo automático. ¿Se podría incluir también a la manipulación de expresiones aritméticas o algebraicas, las divisiones largas y todos esos temas en los que no responden adecuadamente los ingenieros en la realidad? Malcolm Gladwell [28] y Keith Devlin [29] afirman que no, porque esas habilidades básicas se adquieren de forma gratuita, pero, para desarrollar pensamiento matemático, se requiere su dominio. En este sentido, muchos profesores piensan diferente, aunque realmente no entiendan qué son las matemáticas y cómo funcionan en ingeniería, por lo que se limitan a desarrollar las habilidades básicas. Es cierto que para pensar matemáticamente primero hay que dominar las habilidades básicas, pero desarrollar este pensamiento es mucho más que tener habilidades básicas, así como la ingeniería civil es más que saber pegar ladrillos y la música más que tocar notas.

La otra razón para que los estudiantes de ingeniería tengan mayor acercamiento a lo básico que al desarrollo del pensamiento matemático es más sustancial, porque por mucho tiempo se ha pretendido desarrollar educación matemática solamente desde los libros. Pero, aunque esta metodología funcionó en la Revolución Industrial, desarrollar hoy el pensamiento matemático a partir de un libro parece que no funciona para generación digital, porque estos estudiantes tienen otras expectativas, han desarrollado otras habilidades y los problemas son más complejos. Por eso es que las

matemáticas en ingeniería no se tratan solamente de adquirir habilidades básicas o de memorizar fórmulas y ecuaciones, sino que son una manera de pensar sobre los problemas en el mundo, mientras que las habilidades son herramientas que le ayudan al ingeniero a desarrollar ese pensamiento. Por otro lado, también a que aceptar que las matemáticas en ingeniería no son un cuerpo de conocimiento, sino algo que se desarrolla con la experimentación y la práctica, una afirmación que demuestra la ineficiencia del texto escrito.

Entonces, el papel de las matemáticas en la ingeniería se relaciona con la utilización que hacen de ella los ingenieros para responder a las necesidades sociales y de desarrollo, e inclusive, algunos sugieren que debe ser un tema especial en la educación. Por ejemplo, que es un área altamente abstracta cuyo aprendizaje implica comprender símbolos con poco o ningún significado tangible [30]; que es una disciplina intelectual importante que facilita un lenguaje de apoyo y comprensión para la ciencia y la ingeniería [31]; o que el aprendizaje de las matemáticas es progresivo, porque los estudiantes necesitan de lo anterior para comprender lo presente, por eso es un sujeto jerárquico [9]. Pero Ernest [32] va un poco más allá al afirmar que la percepción común es que las matemáticas son direccionadas por una elite de matemáticos encargados de definir la correctitud de las respuestas, usando métodos y técnicas secretos que solamente ellos conocen; por eso es que ellas y ellos se ubican fueran del alcance del sentido común y la razón, porque se propaga en un contexto de expertos que la manejan a su antojo y autoridad. Para este autor, la realidad es que la mayoría de ingenieros no necesita un alto grado de conocimiento en matemáticas para desarrollar su plan de vida.

Esto situación ha generado un ambiente adverso hacia esta área del conocimiento, porque las metodologías y didácticas aplicadas hacen que los estudiantes no la aprecien y, para muchos, se convierte en causa de ansiedad debido a que es tediosa, su aprendizaje es mecánico, parece hecha solamente para una elite y, por tanto, genera aislamiento y despersonalización [30]. Sea cual sea el objetivo de enseñar y aprender matemáticas, y aunque sea un tema de discusión permanente en la ingeniería, lo que no se puede aceptar es el sentido absolutista y rutinario con el que se imparte. No se trata de cubrir temas sin utilidad práctica demostrada, haciendo énfasis en que cada tarea tiene una respuesta única, fija y objetivamente correcta; que cuando no se consigue genera desaprobación y crítica, ubicando a los que lo hacen en la cima y en el fondo a los que no [32].

5. ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS EN INGENIERÍA

Uno de los actores más importantes en el sistema de educación son los profesores, los cuales deben poseer experiencia profesional, herramientas didácticas, conocimiento en el área y motivación permanente por innovar su trabajo en el aula y fuera de ella. Desafortunadamente, en la mayoría de países la capacitación que tienen en ciencias y matemáticas es lamentablemente inadecuada, lo que se convierte en un desafío en la educación de ingenieros, porque ellos necesitan que se les despierte su imaginación y fomente una mente curiosa y analítica. En este sentido, un componente importante de cualquier iniciativa para mejorar el desarrollo de pensamiento matemático en los ingenieros, pasa por mejorar el prestigio y hacer más atractiva la profesión docente, porque si se les va a exigir un alto rendimiento, también hay que brindarles las condiciones para lograrlo.

Pero, antes de definir los objetivos de la enseñanza de las matemáticas en ingeniería, primero deben estar conscientes de qué es y qué no es esta área del conocimiento, además de considerar los verdaderos propósitos para su enseñanza. Aquí no se puede desconocer el amplio reconocimiento a la importancia de las matemáticas en la ingeniería, pero tampoco se puede ocultar el hecho de que son un impedimento para que los estudiantes consideren a la disciplina ingenieril como su primera opción en estudios universitarios [33]. Aunque también hay que considerar los motivos para el abandono de estos estudios, porque no siempre se pueden atribuir a las dificultades que generan el estudio de las matemáticas, debido a que existen otros asuntos relacionados que inciden en estas decisiones. Cuando un estudiante elige estudiar ingeniería, debe estar seguro de poseer la motivación y disposición para aprender matemáticas y desarrollar pensamiento matemático, porque si no se convertirá en una cifra más en la estadística de fracasos.

Entonces, ¿cuál debería ser el objetivo de la enseñanza de las matemáticas en ingeniería? Encontrar una respuesta a este interrogante no es fácil, porque existen tantas como enfoques para presentarlas. En términos generales se podrían encuadrar en dos corrientes: 1) los que argumentan que se debe intercalar el aprendizaje convencional con la práctica de la disciplina, y 2) los que enfatizan en que se debe priorizar el aprendizaje matemático teórico. Aunque esta discusión se aleja de lo académico, porque cualquier enfoque que se implemente impactará a los diversos actores del sistema educativo. En todo

caso, en el debate hay que incluir la realidad de la ingeniería en este siglo y el desinterés de los estudiantes por tomar estas carreras. Como aporte a esta discusión, algunos autores han publicado propuestas y análisis que, según ellos, podrían ayudar a tomar una decisión acerca del objetivo de las matemáticas en la ingeniería. Por ejemplo, que no se trabaje más con base en ejercicios sino en proyectos y problemas [34]; incrementar el trabajo práctico que demuestre la utilidad de las matemáticas en algunas disciplinas ingenieriles [35]; y mejorar la calidad de la enseñanza matemática en la educación primaria y secundaria [36], pero, desafortunadamente, los autores presentan estas ideas como si fueran opciones que los profesores deben elegir para llevar al aula.

A pesar de la diversidad de opiniones y puntos de vista en el debate acerca de los objetivos de la enseñanza de las matemáticas en ingeniería, es posible que cada uno tenga cierto nivel de relevancia para llegar a un acuerdo. Porque, aunque es cierto que la ingeniería es una disciplina mayormente práctica, también hay que aceptar que algunos programas necesitan mayor formalidad matemática para el ejercicio profesional. Por eso es que se requiere una definición concreta acerca de qué programas se pueden considerar ingeniería propiamente dicha, y cuáles son profesiones que requieren un título académico para el ejercicio [37]. Es decir, no todo es ingeniería y no todas las ingenierías necesitan el mismo nivel de matemáticas.

Todo esto indica la necesidad de que los ingenieros desarrollen sólidas habilidades matemáticas, pero también pensamiento crítico y capacidades lógico-interpretativas y abstractivas [20]. Esto se ha convertido en un reto para la enseñanza de las matemáticas en ingeniería, porque estos profesionales también deben diseñar, desarrollar, innovar e integrar ideas para solucionar problemas complejos bajo situaciones inciertas [38]. Pero, dado que en el mundo actual los problemas son globales, los ingenieros necesitan formarse para trabajar en equipo e integrar transdisciplinarmente diversas áreas, porque las soluciones se deben insertar en cuestiones ambientales, sociales, culturales y éticas.

Esta simbiosis entre matemática e ingeniería establece la exigencia de que los ingenieros se formen como personas a la vez que se capacitan como profesionales, porque estas características son mutuamente complementarias para el ejercicio de una profesional con alta responsabilidad social. En este terreno prima la acción ética (ser persona) al mismo tiempo que la capacidad

para comprender y solucionar los problemas (ser profesional). Ahora bien, si la educación matemática desarrolla el pensamiento crítico, entonces debería abarcar el desarrollo de las dimensiones de las habilidades cognitivas y afectivas, tales como interpretación, análisis, evaluación, inferencia, explicación, comunicación y autorregulación [39]. Pero no es tan sencillo, porque el estudiante deberá demostrar la adquisición y uso de estas habilidades, mediante actitudes y hábitos mentales, para que, como profesional, las promueva y refuerce en la aplicación de este pensamiento.

Por todo esto es que la enseñanza de las matemáticas en ingeniería es un proceso continuo que necesita una actitud positiva por parte del estudiante, a la vez que estar dispuesto a recopilar, analizar, interpretar, evaluar y sintetizar abiertamente información, argumentos, razones, ideas, soluciones o creencias, utilizando un conjunto apropiado de habilidades cognitivas, que le permitan realizar evaluaciones reflexivas. Aunque el pensamiento crítico incluye otras habilidades consideradas de menor nivel: comparar, contrastar, conjeturar, inducir, generalizar, especializar, clasificar, categorizar, deducir, visualizar, secuenciar, ordenar, predecir, validar, probar, relacionar y modelar [40]. Por eso es que diversos autores consultados afirman que un pensamiento de este tipo es el que necesitan los ingenieros para enfrentar los desafíos que les plantea el siglo XXI, porque cada vez se incrementa su complejidad y no sólo son locales sino también globales.

En términos generales, para que la enseñanza de las matemáticas en ingeniería desarrolle el pensamiento crítico en los estudiantes, debe lograr: 1) *aprendizaje cognitivo*, que se manifiesta a través de la gestión del conocimiento y la destreza intelectual, y que se materializa en la creatividad para resolver situaciones complicadas; 2) *destreza intelectual*, una capacidad que se evidencia al momento de enfrentar las situaciones mediante procesos tales como entender, comprender, recordar, aplicar, innovar, analizar, evaluar y crear; 3) aprendizaje psicomotor, para desarrollar actividades tales como comunicación gráfica, uso de computadores, manipulación y adecuación de máquinas y herramientas, procesos de experimentación y habilidades de construcción; 4) aprendizaje afectivo, referido a la auto-estima y la auto-eficiencia para comprender sus capacidades, debilidades y fortalezas. El logro de estos aprendizajes no es una cuestión sencilla, porque en ese objetivo se debe tener en cuenta las dimensiones, las expectativas y las realidades de los estudiantes, los profesores, los contenidos y las instituciones.

Por otro lado, la realidad es muy diferente de lo que se pretende llevar al aula, porque el sistema de educación está tratando de capacitar a los ingenieros del siglo XXI con metodologías, contenidos y didácticas del siglo XX. Esto se puede apreciar desde diferentes perspectivas, por ejemplo, los ingenieros se insertan en un mundo laboral mal equipados para enfrentar los desafíos complejos, transdisciplinares y multidisciplinares que presentan los sistemas reales; los estudiantes de la generación digital no se sienten atraídos por programas cuya práctica se basa en principios no prácticos; la computación no se aprovecha totalmente en la enseñanza de las matemáticas en ingeniería; entre otras. Gran parte de esto se debe a que, cuando se habla de reformar la enseñanza de la ingeniería, no se trabaja en armonía entre la academia, la industria y el estado, es decir, casi siempre se hace desde una perspectiva académica, en un lenguaje no-ingenieril, con autoría de no-ingenieros y que se divulga en escenarios casi ocultos para la ingeniería.

6. RETOS DE LAS MATEMÁTICAS EN INGENIERÍA

Diversos autores han realizado investigaciones con el objetivo de examinar los problemas de la interacción de las matemáticas en la ingeniería en lo que tiene que ver con el aprendizaje [41-44] y, en términos generales, concluyen que en esta relación influyen varios factores:

1. *Los objetivos de la enseñanza*. Las instituciones aplican procesos de evaluación a la habilidad matemática de los estudiantes, solamente con el propósito de mejorar en las métricas que han sido impuestas para clasificarlas. Es decir, priorizan el mejoramiento en estas clasificaciones sobre el verdadero aprendizaje de los estudiantes. La evaluación se debe aplicar para verificar el desarrollo del pensamiento lógico en loas estudiantes y para validar el logro de los diferentes aprendizajes. De otra manera no se podrá evidenciar si los planes de estudios, didácticas y metodologías que aplican los profesores, son verdaderamente eficientes.

2. *El contenido curricular*. En algunos casos porque no abarca lo que realmente se debería enseñar, y en otros porque contiene más de lo necesario. En uno u otro caso los tiempos para cubrir estos contenidos son escasos y, muchas veces, aprovechados en otras actividades. Por eso es que se necesita una distribución equitativa entre contenidos, tiempos y necesidades reales, para que los estudiantes se motiven y evidencien la importancia de las matemáticas en la ingeniería.

3. *La evaluación*. Los métodos actuales para conocer el nivel de aprendizaje de los estudiantes se basan casi exclusivamente en exámenes. Una metodología que premia la memoria a corto plazo, la trampa y textualidad sobre la capacidad de comprender y aplicar las matemáticas.
4. *El aprendizaje*. No se puede negar que los estudiantes ingresan a las instituciones con cierto conocimiento matemático que se debería potencializar. Pero sus métodos de aprendizaje no están estructurados para avanzar de cuenta propia, por lo que es común escuchar afirmaciones como: *yo pagué para que me enseñen*. La función de los profesores y los modelos educativos es ayudarles a estructurar su modelo de aprendizaje, para que se den cuenta que mucha parte del logro en la institución depende de ellos mismos. Aquí surge otro inconveniente, relacionado principalmente al hecho de que no están motivados, ni se les demuestra el verdadero valor de las matemáticas en sus estudios.
5. *La enseñanza*. Enseñar y aprender son conceptos que, generalmente, se toman a la ligera. Sin pretender definirlos ni entrar en la discusión que esto suscita, la enseñanza de las matemáticas en la ingeniería debe tenerlos como banderas, porque son la única manera de verificar y validar el desarrollo del pensamiento lógico en los estudiantes. Por un lado, para enseñar, el profesor debe seleccionar didácticas y metodologías motivadoras, porque no es lo mismo enseñar a la generación actual que a las anteriores. Por otro lado, los estudiantes de la generación digital tienen a su alcance infinidad de herramientas que pueden utilizar en su aprendizaje, lo que hace falta es asesorarlos en cómo potencializarlas, específicamente en matemáticas.

Por estos argumentos y porque gran parte de la supervivencia económica, social y cultural depende del desarrollo de la ingeniería y la ciencia, es que el sistema de educación se debe interesar por prestar atención a la enseñanza de las matemáticas. La sociedad actual es global y los procesos de fabricación, de distribución y de utilización exigen habilidades profesionales para mejorar la eficiencia y automatización de la producción; además, porque en ellos se utilizan herramientas matemáticas sofisticadas. Por eso es que la actitud negativa de los estudiantes hacia las matemáticas se convierte en factor importante que entorpece el progreso, porque los profesionales no desarrollan el pensamiento lógico que les permita responder a las exigencias de los problemas actuales.

El asunto es que desarrollar este pensamiento exigen dedicación y dinamismo, por lo tanto, las soluciones que se han propuesto a lo largo de los años para mejorar la enseñanza de las matemáticas en la ingeniería, no han pasado de intentos leves, la mayoría tratando de evitar enfrentar la dificultad de esta empresa. Algunos han buscado culpables: profesores perezosos, malos estudiantes o el gobierno de turno [45]; mientras que otros intentan una solución vertiginosa: enfatizan la pedagogía, recomiendan la tecnología, agregan o quitan temas en los contenidos, o incrementan el número de cursos [46]. Pero no se ha hecho un verdadero esfuerzo por solucionar el problema, debido a que la raíz de todo es el sistema de educación, aunque es un proceso que requiere tiempo, recursos y voluntades.

A esto se suma el mencionado temor de que las matemáticas son difíciles y que para estudiar ingeniería se necesita un alto dominio de ellas, por lo tanto, los estudiantes que deseen tomar estos programas están obligados a dominarlas casi perfectamente. Algo que se debe clarificar es que de cierta manera esta área del conocimiento exige mayor dedicación, pero cuando se comprende qué son las matemáticas y el papel que desempeñarán en su profesión, los estudiantes de ingeniería tienden a darles la importancia necesaria [47], y adquieren un mayor compromiso para comprenderlas y aplicarlas. Otro factor es que las ingenierías tradicionales puede que no le interesen a la nueva generación, porque el uso de tecnologías y las prácticas asociadas han cambiado, lo mismo que los intereses, las expectativas y las actividades de los jóvenes. Para complementar este panorama, los ingenieros observan que muchos conceptos matemáticos ya no tienen aplicabilidad práctica en su trabajo [18], debido a que actualmente sus contextos son muy diferentes. De acuerdo con la visión de Katehi [48], con los desarrollos tecnológicos, el acceso y la disposición de la información y el conocimiento, hoy es más importante desarrollar el pensamiento lógico-analítico que memorizar ecuaciones y teoremas.

La cuestión es que el mundo alberga, por necesidad, a una sociedad de aprendizaje permanente en la que, para aportar al progreso, los individuos tienen que desarrollar predisposiciones para ese tipo de aprendizaje. En esta interrelación se mueven complejas emociones socioculturales, discursivas y psicoanalíticas que predisponen las relaciones con las matemáticas. Entonces, uno de los desafíos es hacer a las matemáticas más accesibles, fomentar su exploración, permitir la negociación permanente y quitarle la propiedad a su

conocimiento [49]. Porque no puede ser que los ingenieros descubran, cuando ingresan al mundo laboral, que muchos conceptos que aprendieron fueron ajustados a la fuerza en cursos que poco les aportaron.

Además, mucha de la práctica de la ingeniería se basa en la aplicación de conocimiento tácito, es decir, aquel que solamente se puede aprender con la experiencia; algo que la elite matemática parece desconocer porque solamente enseñan a buscar respuestas ciertas y únicas. Por eso es que los estudiantes no confían en sus habilidades matemáticas ni le dan un valor diferente al propósito de pasar exámenes.

Entonces, ¿qué hacer en estos casos? ¿Por qué se continúa enseñando la misma matemática, del mismo modo y con la misma intensidad? La cuestión es simple: porque así se ha hecho siempre; porque es un filtro para el sistema de educación desde la Revolución Industrial; y porque sirve como métrica de clasificación para separar a los ingenieros entre buenos y mediocres. Al final, parece una competencia atlética, en la que solamente se premia a los primeros porque obtienen mejores notas en los exámenes; aunque esto no tienen una relación directa con la calidad de su ejercicio profesional [50]. Pero para las instituciones es muy importante que el estudiante, que aspira a ser ingeniero, tenga un alto indicador en conocimiento matemático, por lo que el reto es hacer más *consumible* a las matemáticas y bajarlas del pedestal en el que se encuentran.

Por otro lado, tampoco está claro si las matemáticas que aprende el estudiante tienen alguna relación con el razonamiento lógico que necesitará como profesional. Porque ambas realidades son diferentes: mientras que en el aula todo funciona, todo es maravilloso, el libro y el profesor no se equivocan, siempre se encuentra el resultado y que se atrasó ya va perdiendo. Por su parte, en la vida real se complican los escenarios, no siempre se necesita el resultado exacto, se tienen acceso a otras disciplinas para solucionar los problemas y no se tiene a un poseedor de la verdad para que te haga sentir un retrasado [51].

El asunto es que el razonamiento lógico en el trabajo difiere marcadamente de los algoritmos que se aplican en el aula, porque el entrenamiento y la capacitación reales se viven y aplican aquí, y lo que el ingeniero necesita es que lo asesoren en cómo utilizar todo el conocimiento al que tienen acceso en la vida real. Este es otro desafío que debe enfrentar la enseñanza de las matemáticas en la ingeniería.

Ahora bien, con toda seguridad que las matemáticas no son las culpables de esta situación, porque sus principios, ecuaciones y números estaban, están y estarán, aunque no existan los humanos. Resulta que la culpa es de la humanidad misma, porque siempre ha pretendido acomodar las fórmulas a la estructura del universo y, por lo tanto, siempre van a funcionar. Es decir, las fórmulas físicas funcionan porque se conoce el comportamiento de la materia; la estadística funciona porque las métricas no pueden ofrecer un resultado diferente; y el cálculo funciona porque todas sus acciones están previamente concebidas. Pero qué pasaría si las leyes funcionaran en unas partes del universo y en otras no; que pasaría si existieran universos donde la física colapsa, tal como se ha descubierto en los agujeros negros [52]. Esta reflexión debe hacer pensar a los matemáticos acerca de que hay que cambiar la concepción de las matemáticas, porque el universo podría tumbar el pedestal en el que las han colocado.

Señalar culpables es un asunto no muy agradable, porque siempre existen argumentos para defender las posturas que se asumen y es bastante difícil hacer entrar en razón a alguien que no quiere hacerlo. El pensamiento generalizado de la comunidad de matemáticos es que la civilización podría colapsar sin las matemáticas, y puede que tengan razón, porque ya se ha hablado de su importancia para la ingeniería, la ciencia y el desarrollo.

Lo que se presenta aquí como desafío no es acabar con ellas, sino darles la importancia que tienen en cada escenario, sin generalizar y sin supervalorarlas. Resulta que no todas las ingenierías necesitan el mismo nivel de matemáticas, incluso algunas no las requieren en lo más mínimo porque ni siquiera son ingeniería. Esto ratifica que el hecho de que la humanidad es la culpable de esta situación, porque si se hiciera una clasificación real de las disciplinas en las que se necesita conocimiento matemático y si se determinara a través de comparaciones con la realidad el nivel que se debe enseñar y aprender, se lograría mayor comprensión de su importancia y necesidad en la ingeniería y demás áreas del conocimiento.

El reto más grande de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas no se puede circunscribir únicamente a la ingeniería, porque en esta relación intervienen muchas otras variables y dimensiones. Por ejemplo, no se puede aislar el efecto de la empleabilidad, los desarrollos tecnológicos, el progreso científico o la generación digital. El problema va más allá de pretender enseñar matemáticas para ocupar los primeros puestos en las pruebas estandarizadas

o en las clasificaciones de las instituciones. Porque a la nueva generación de estudiantes hay que convencerlos de otra manera para que comprendan la importancia de las matemáticas, la ciencia y la ingeniería. Ellos están cansados de lo mismo de siempre, las mismas carreras, los mismos temas, los mismos trabajos, las mismas didácticas y las mismas manías de profesores e instituciones, por lo que piden cambios revolucionarios en los que se tenga en cuenta sus expectativas y capacidades [53]. Es decir, la solución no es estructurar planes de choque con metas específicas, sino que se requiere la creación de un nuevo sistema de formación en el que se integren las dimensiones, las disciplinas y las proyecciones y necesidades de desarrollo de las naciones, al mismo tiempo que las habilidades, destrezas y capacidades de los futuros profesionales.

El panorama es complicado y, a pesar de notables esfuerzos en los países por solucionar la situación, los resultados demuestran que ninguno de esos objetivos para la enseñanza de las matemáticas se ha alcanzado. Por el contrario, con la llegada de la nueva generación las cosas parecen ir peor:

- El desempeño estudiantil parece haberse estancado, porque el rendimiento de los estudiantes no mejora con su avance en el sistema de educación. Es como si no estuviesen motivados a progresar y descubrir nuevo conocimiento, sino a consumir lo que existe y a dejarse llevar por la corriente de su existencia. No se sienten retados, no tienen ambiciones, el día a día es todo lo que les interesa.
- Las matemáticas son la excusa para no estudiar. No le ven aplicabilidad, como en el caso de la tecnología, no relacionan una con la otra, los empleos que les interesa son pasajeros y sin vínculos que los aten. Muchos argumentan que no quieren vivir la vida como sus padres, porque parecen no disfrutar en absoluto de la existencia, y consideran que la escuela es la culpable de esa situación.
- No les gustan las clasificaciones en estratos de conocimiento matemático. El hecho de que las matemáticas se utilicen para clasificar estudiantes en buenos y mediocres les genera apatía por la escuela, porque en los videojuegos y la realidad virtual que comparten no sufren esos acosos.
- Solicitan mayor dinamismo en el aula. Están acostumbrados a las tecnologías y viven rodeados de ellas, por lo que consideran que así debería ser la escuela: un escenario en el que se sientan contentos por

los logros, pocos o muchas, que alcanzan cada día. La apatía de profesores, contenidos sin aplicabilidad aparente, jornadas de estudio que más parecen días laborales en una fábrica, e inclusive la misma distribución de las aulas les parece coartadora y sin imaginación.

La realidad es que las matemáticas que se enseñó a la generación anterior, y a las anteriores, no funciona para la actual, porque su cerebro funciona, aprende y proyecta diferente. Además, el mundo en eles ha tocado vivir es un dominio digital en el que encuentran lo que necesitan para vivir sus vidas y, cuando no pueden hacerlo, entonces diseñan un espacio virtual. Por eso, al cambiar el mundo, también cambió la enseñanza y la necesidad de las matemáticas:

1. Para las generaciones anteriores aprender matemáticas consistía en memorizar técnicas, ecuaciones y fórmulas estándar con los que resolvían problemas bien definidos y con respuestas correctas únicas. La cuestión es que ese escenario se vino abajo con el desarrollo tecnológico de finales del siglo XX y, mientras la concepción de las matemáticas se mantuvo perenne, en la industria se puede ahora ignorar ese principio de aplicación de procedimientos conocidos, porque los aparatos ya están programados para resolverlos. Por eso hay que sacar a la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas hay que sacarlos del siglo XIX e innovarlos para lograr mejores resultados en el actual, especialmente en ciencia e ingeniería. Esto ratifica el hecho de que los estudiantes no necesitan capacitarse para memorizar los cálculos extensos, porque hoy nadie calcula de esa manera. Lo que esta generación necesita es una buena y profunda comprensión de cómo y por qué funcionan las matemáticas.
2. El universo matemático, ordenado y predecible que se concebía hasta el siglo pasado parece no existir. Hoy hay caos por doquier y la enseñanza y aplicabilidad de las matemáticas no es ajena a esto; los problemas que necesitan matemáticas hoy se esconden en contextos desordenados y complejos de la realidad, por lo que los ingenieros deben ser capacitados para encontrarlos, comprenderlos y solucionarlos. Pero con metodologías, didácticas y contenidos de más de 100 años no se puede lograr este objetivo.
3. La simbología matemática tradicional, que los estudiantes tienen que aprender y memorizar, se desarrollaron en una época en la que los cálculos se hacían en papel, y de esa manera se lograba las

representaciones estáticas de los procesos dinámicos. Actualmente, esto ya no es necesario, porque los computadores, el software y los desarrollos de las Ciencias Computacionales han creado herramientas en las que esas representaciones son interactivas, inmersivas y dinámicas, por lo que esos símbolos dejaron de ser necesarios como principios de ingreso al aprendizaje de las matemáticas. Porque, de la misma forma que para utilizar un computador no es necesario aprender de entrada a programar, primero es mejor aprender los principios matemáticos y luego la representación simbólica, porque todavía ese es el lenguaje de la ingeniería y la ciencia.

4. Hay que entender que las matemáticas tienen limitaciones, es decir, bajarlas del pedestal de intocables y fuente infinita de soluciones, porque se podría asemejarlas al sol, es decir, es básico para la existencia, pero puede ser inmensamente destructible.

7. CONCLUSIONES

El mundo ha cambiado y con él el dinamismo de las interrelaciones entre la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas en ingeniería. La capacitación de ingenieros debe buscar el desarrollo de habilidades para:

- *Comprender y resolver problemas*, porque debe ser capaz de diseñar y formular preguntas e investigaciones; buscar, recopilar, analizar y organizar datos; llegar a conclusiones; desarrollar la observación; ser lógico y, posteriormente, gestionar el conocimiento para responder a situaciones nuevas y complejas.
- *Innovar*, es decir, utilizar el conocimiento de forma creativa para vincular los principios de la ciencia, las matemáticas y la tecnología a los procesos ingenieriles.
- *Inventar*, porque para reconocer, comprender y resolver las necesidades sociales debe ser capaz de crear y aplicar nuevas e innovadoras soluciones.
- *Auto-aprender, tener iniciativa, auto-motivarse* y desarrollar el ingenio para lograr la confianza necesaria que necesita el mundo de un ingeniero.
- *Desarrollar la capacidad lógico-interpretativa y abstractiva*, mediante pensamiento lógico y procesos racionales de pensamiento científico, matemático e ingenieril.

- *Pensar prospectivamente*, aplicando alfabetización tecnológica permanente para comprender y explicar el mundo de hoy y adelantarse al que pueda venir.

Esto ha sido una preocupación social desde hace muchos años, cuando los estudiantes comenzaron a darse cuenta que las matemáticas que aprendían (o no) eran las mismas de la generación anterior, a la vez que poco o nada podían utilizar de ellas en el trabajo. Otra característica que notaron fue que las estaban utilizando para dividirlos entre aquellos buenos para matemáticas y otros que lo eran tanto, lo que generaba élites en el aula con derechos totalmente diferentes a los demás. Muchos intentaron solucionar esta situación, pero sus iniciativas lo que lograron fue agotar los estándares curriculares y crear nuevas situaciones que se salían de control. La generación de este siglo ha demostrado, y solicita prontamente, que el sistema de educación necesita un cambio drástico si la idea es satisfacer sus necesidades y expectativas educativas.

Por otro lado, entre las ocupaciones que más empleos ofrecen en el mundo se encuentra la ciencia y la ingeniería, porque la misma globalización exige personas con altos perfiles educativos para enfrentar los problemas complejos. Además, el progreso y el desarrollo de las naciones están directamente relacionados con sus capacidades para formar y emplear a estos profesionales. Entre las áreas con mayores necesidades se encuentran: la seguridad internacional, el cambio climático, las Ciencias Computacionales, la conquista espacial y la salud. Pero este panorama de necesidad de científicos e ingenieros para el siglo XXI está acompañado de una situación de la cual depende su solución: el interés de los estudiantes por tomar estas carreras universitarias. Resulta que esta generación no se siente atraída por la ciencia ni por la ingeniería, y una de las causas la atribuyen a lo aburrido de las matemáticas.

Por eso es que hay que plantear soluciones a través de iniciativas para lograr que las matemáticas y la ingeniería vuelvan a estar entre las áreas más buscadas por los estudiantes. Esta relación es y siempre será importante, pero sino se modifican los hábitos de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas de más de 100 años, la solución será fácil ni pronto. Hay que entender que esta generación, y muy seguramente las siguientes, tienen intereses y expectativas propias, no se les puede imponer una u otra área del conocimiento, tienen acceso a información y tecnología como nunca antes, desarrollan habilidades únicas para utilizar las herramientas tecnológicas, su

cerebro funciona diferente y necesitan métodos, didácticas y contenidos revolucionarios en el aula para aprovechar todo esto.

Resulta que el contexto de hoy está retando a la humanidad, porque habrá que seleccionar entre educar a los profesionales para que sigan trabajando como en el siglo XIX, o capacitarlos para que comprendan y solucionen los problemas de hoy y los que aparezcan mañana. En este reto las matemáticas son un actor fundamental para la ingeniería, pero si no se hacen interesantes se convertirá en la manzana de la discordia, porque se necesitan ingenieros bien capacitados y sin matemáticas no será posible lograrlo. El cambio debe comenzar por el propio sistema de educación, debido a que se quedó obsoleto ya arrastró con él todos los procesos relacionados: contenidos, profesores, didácticas, métodos, gobierno, familias y más, dejando a los estudiantes prácticamente aislados en medio de un torbellino en el que solamente hay una oferta que, obligatoriamente, tienen que seleccionar.

Para finalizar, nadie puede quitarles la importancia y el protagonismo a las matemáticas para la ingeniería, pero si es factible iniciar una revolución exigiendo cambios sustanciales en el sistema. El mundo necesita que los ingenieros se formen como personas y se capaciten como profesionales, dos virtudes que los mismos estudiantes exigen en su proceso formativo. El asunto es que con el sistema actual no se logra ninguna de ellas, porque las instituciones continúan estructuradas como en el siglo XIX, con administraciones verticales, con procesos centrados en el contenido y el profesor, enseñando matemáticas para el papel, desaprovechando los desarrollos tecnológicos, desconociendo las características de las nuevas generaciones y haciendo caso omiso a la realidad que traza el siglo XXI.

REFERENCIAS

[1] Ahlfors, L. et al. (1962). On the mathematics curriculum of the high school. The Mathematics Teacher 55(3), pp. 191-195.

[2] Lampert, M. (1990). When the problem is not the question and the solution is not the answer: Knowing and teaching mathematics. American Educational Research Journal 27(1), pp. 29-63.

[3] Orton, A., & Wain, G. (1994). The aims of teaching mathematics. In A. Orton, (Ed.), Issues in teaching mathematics. London: Cassell.

[4] Hoyles, C. et al. (2002). Mathematical skills in the workplace. London: University of London.

[5] Greer, B., & Mukhopadhyay, S. (2003). What is mathematics education for? Guest Editorial. The Mathematics Educator 13(2), pp. 2-6.

[6] Ernest, P. (2004). What is the philosophy of mathematics education? Philosophy of Mathematics Education Journal 18, pp. 1-16.

[7] Burton, L. (2004). Mathematicians as enquirers: Learning about learning mathematics. Berlin: Springer.

[8] Chatterjee, A. (2005). Mathematics in engineering. Current Science 88(3), pp. 405-414.

[9] Chambers, P. (2008). Teaching mathematics - Developing as a reflective secondary teacher. London: Sage.

[10] Radzi, N., Abu, M., & Mohamad, S. (2009). Math-oriented critical thinking skills in engineering. In Int. Conference on Engineering Education. Malaysia, Kuala Lumpur.

[11] Ernest, P. (2010). Add It up: Why teach mathematics? Profe. Educator 9(2), pp. 44-47.

[12] Breen, S., & O'Shea, A. (2010). Mathematical thinking and task design. Irish Mathematical Society Bulletin 66, pp. 39-49.

[13] Lockhart, P. (2009). A Mathematician's lament - How School cheats us out of our most fascinating and imaginative art form. New York: Bellevue Literary Press.

[14] Bergamini, D. (1963). Mathematics. New York: Time Incorporated.

[15] Feynman, R. (1965). The character of physical law. Cambridge: MIT Press.

[16] Schoenfeld, A. (1992). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition and sense-making in mathematics. In Grouws, D. (Ed.), Handbook for research on mathematics teaching and learning. New York: MacMillan.

[17] Alpers, B. (2010). Methodological reflections on capturing the mathematical expertise of engineers. In Araújo, A. et al. (Eds.), Educational interfaces between mathematics and industry (pp. 41-51). Lisbon: Portugal.

[18] Cardella, M. (2007). What your engineering students might be learning from their mathematics pre-reqs (Beyond integrals and derivatives). Proceedings 37th Frontiers in Education Conference (pp. S4F1-S4F6). Milwaukee, USA.

[19] Serna, M.E. (2014) Un análisis al estado actual de la formación en ingeniería. Conferencia magistral en Suma Convención Científica Colombiana. Cartagena, Colombia.

[20] Serna, M.E., & Serna, A.A. (2015). Ingeniería y matemáticas: Realidad de una relación histórica. Conferencia magistral en III Encuentro Internacional de Ciencias Básicas. Pereira, Colombia.

[21] Serna, M.E., & Serna, A.A. (2018). Mathematics in engineering: A problem or an opportunity for the digital generation? Learning, Culture and Social Interaction. In press.

[22] Wheeler, D. (1982). Mathematisation matters. For the Learning of Mathematics 3(1), pp. 45-47.
[23] Polya, G. (2002). The goals of Mathematical education – Part One. Mathematics Teaching 181, pp. 6-7.
[24] Polya, G. (2002). The goals of Mathematical education – Part Two. Mathematics Teaching 181, pp. 42-44.
[25] Snow, C. (2012). The Two Cultures. Cambridge: Cambridge University Press.
[26] Devlin, K. (2000). The math gene: How mathematical thinking evolved and why numbers are like gossip. New York: Basic Books.
[27] Boaler, J. (2009). What's math got to do with it? How parents and teachers can help children learn to love their least favorite subject. New York: Penguin Books.
[28] Gladwell, M. (2005). Blink: The power of thinking without thinking. Boston: Little, Brown and Company.
[29] Devlin, K. (2011). Mathematics education for a New Era – Video games as a medium for learning. Massachusetts: A. K. Peters, Ltd.
[30] Nardi, E., & Steward, S. (2003). Is mathematics T.I.R.E.D? A profile of quiet disaffection in the secondary mathematics classroom. British Educational Res. Jou. 29(3), pp. 345-367.
[31] Smith, A. (2004). Making mathematics count: The report of professor Adrian Smith's inquiry into post-14 mathematics education. London: Dep. for Education and Skills.
[32] Ernest, P. (2009). Values and the social responsibility of mathematics. in Ernest, P., Greer, B., & Sriraman, B. (Eds.), Critical issues in mathematics education (pp. 207-216). Charlotte: Information Age Publishing.
[33] Rubenstein, H. (2009). A national strategy for mathematical sciences in Australia. Australia: Australian Council of Heads of Mathematical Sciences.
[34] Russell, V., Mackay, T., & Jane, G. (2003). Messages from MYRAD (Middle Years Research and Development): Improving the middle years of schooling. Melbourne: Independent Association of Registered Teachers of Victoria.
[35] Runnesson, U. (2008). Learning to design for learning: The potential of learning study to enhance teachers' and students' learning. In Sullivan, P., & Wood, T. (Eds.), Knowledge and beliefs in mathematics teaching and teaching development (pp. 153-172). Rotterdam: Sense Publishers.
[36] Nisbet, S. (2004). The impact of statewide numeracy testing on the teaching of mathematics in primary schools. Proceedings 28th conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (pp. 433-440). Melbourne, Australia.
[37] Serna, M.E., & Londoño, C. (2014). Los Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA) y la formación en Estadística. Medellín: Fondo editorial ITM.
[38] Duderstadt, J. (2010). Engineering for a changing world – A roadmap to the future of engineering practice, research, and education. In Grasso, D., & Burkins, M. (Eds.), Holistic Engineering Education – Beyond Technology (pp. 17-35). London: Springer.
[39] Facione, P. (2011). Think critically. Englewood Cliffs: Pearson.
[40] NAE (2005). Educating the engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century. Washington. National Academy of Engineering.
[41] Ridgway, J. (2002). The mathematical needs of engineering apprentices. In Bessot, A. & Ridgway, J. (Eds.), Education for Mathematics in the Workplace (pp. 189-197). The Netherlands: Kluwer Academic.

[42] Kuenzi, J. (2008). Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education: background, federal policy, and legislative action. USA: Congressional Research Service.
[43] Vorderman, C. et al. (2011). A world-class mathematics education for all our young people. London: Conservative Party.
[44] Norris, E. (2012). Solving the math's problem: International perspectives on mathematics education. UK: OCR & RSA.
[45] Robinson, J. (2010). Engineering education: The future is sharpening up, not dumbing down. The Engineers Journal 64(1), pp. 59-62.
[46] King, R. (2008). Addressing the supply and quality of engineering graduates for the new century. Sydney: University of Sydney.
[47] Wood, L. et al. (2011). University students' views of the role of mathematics in their future. International Journal of Science and Mathematics Education 10(1), pp. 99-119.
[48] Katehi, L. (2005). The global engineer. In National Academy of Engineering (Ed.), Educating The Engineer of 2020 (pp. 151-155). Washington, The National Academies Press.
[49] Black, L., Mendick, H., & Solomon, Y. (2009). Mathematics relationships in education. New York: Routledge.
[50] Hockly, N., Dudeney, G., & Pegrum, M. (2013). Digital Literacies. New York: Taylor & Francis.
[51] Jones, C., & Shao, B. (2011). The Net generation and digital natives: Implications for higher education. York: Higher Education Academy.
[52] Giedd, J. (2012). The digital revolution and adolescent brain evolution. Journal of Adolescent Health 51(2), pp. 101-105.
[53] Jukes, I. et al. (2010). Understanding the Digital Generation - Teaching and learning in the new digital landscape. London: Corwin.

CAPÍTULO 8

Formación en Ingeniería

Piedad M. Metaute P.[1]
Corporación Universitaria Remington
Medellín – Antioquia

Los ingenieros de hoy abordarán los complejos desafíos sociales del siglo XXI y deberán diseñar y construir una nueva generación de máquinas, materiales y sistemas. Esto debería ser suficiente para que el sistema de educación replanteara fundamentalmente cómo se forman y capacitan para este futuro. Es decir, la formación de la nueva generación de ingenieros se deberá enfocar en las necesidades sociales y de la industria del futuro, en lugar de las que ya pasaron. La realidad es que muy pocos actores han reconocido esta necesidad e iniciado procesos para lograr esta meta, mientras que la mayoría continúa aplicando un modelo de enseñanza-aprendizaje anclado en la Revolución industrial, que solamente busca capacitar operarios. En esta formación los estudiantes no desarrollan ingenio, pensamiento lógico o capacidades comunicativas, cualidades necesarias para el desarrollo de la ingeniería en este siglo. Este capítulo presenta un análisis a esa realidad y describe la preocupante situación por la que atraviesa hoy la formación en ingeniería.

1. INTRODUCCIÓN

A través de los tiempos la Ingeniería se ha concentrado en crear, diseñar, ejecutar y evaluar proyectos, procesos, productos y servicios que pone a disposición de la sociedad, pero muchas veces descuida aspectos importantes relacionados con la preservación de la vida, el ecosistema y el medio ambiente. En estas áreas es que hoy se debería concentrar la ingeniería para generar otros medios en los que se procure remediar los daños irreversibles de épocas anteriores. Por ejemplo, utilización racional de la energía solar, preservación del agua, infraestructuras urbanas auto sostenibles o creación de productos para la salud, que no perjudiquen a los humanos y demás seres vivos.

Las instituciones educativas tienen la responsabilidad de formar personas y capacitar profesionales que desarrollen su ejercicio ingenieril en constante

[1] Ingeniera de Sistemas, Esp. en Finanzas, Ms.C. en Educación y Desarrollo Humano. *piedad.metaute@uniremington.edu.co*

cooperación con el medio ambiente. Este tipo de formación desempeña un papel importante en el desarrollo económico de las naciones, porque los ingenieros son los encargados de realizar diseños, construcciones, máquinas, obras, productos, servicios, que son la base sobre la que se desarrollan las demás profesiones. Esto se debe a que requieren recursos en infraestructuras, tecnologías y procesos estandarizados desde la ingeniería, donde los avances técnicos y científicos se generan desde hace mucho tiempo. En ese tiempo, las dinámicas cambiantes del desarrollo socioeconómico de las regiones generaron necesidades que se materializaron en el siglo XX, donde la ingeniería debió diversificarse en especialidades y crear nuevas ramas para encontrar las soluciones esperadas.

El objetivo de este capítulo es analizar las necesidades de formación del ingeniero que se requiere en el siglo XXI, desde las iniciativas de la academia, el sector productivo y el Estado en los que se plasma la esperanza del desarrollo social, económico y político de los países, con una visión de globalidad y el interés común de conservar los recursos naturales. Por lo tanto, se presenta un breve recuento de la ingeniería y de algunos de los avances tecnológicos que hicieron historia desde la primera y segunda revolución industrial; se presentan temáticas relacionadas con la formación en ingeniería y se analizan aspectos que tienen que ver con las falencias actuales y que afectan las soluciones que el talento humano ofrece a la sociedad actual, así como la incidencia del sistema de educación en la formación de estos profesionales.

También se describen las habilidades, destrezas y capacidades que debe desarrollar el ingeniero en este siglo, mediante la formación que orientan las instituciones, donde la interacción directa entre teoría y práctica constituye un factor importante en la calidad de las soluciones a problemas reales. En este sentido, la formación en el ser se convierte en la base para el desarrollo profesional, con componentes claros desde la vocación innovadora que le permita al ingeniero generar proyectos autosustentables, orientados al bienestar social y el medio ambiente. Por eso es que los problemas globales de la ingeniería requieren la incorporación de políticas de estado, que busquen despertar el interés y satisfacer las expectativas de los jóvenes, motivándolos para que tomen carreras ingenieriles y hacer posible que se cubra la demanda de estos profesionales. Pero hay que tener claro los retos y desafíos de la ingeniería para el siglo XXI, una disciplina enmarcada en rápidos cambios

políticos, científicos y tecnológicos, en medio de la globalización y de compromisos sociales sin precedentes, donde la formación de calidad juega un papel determinante.

2. LA FORMACIÓN INGENIERIL HASTA HOY

La ingeniería evolucionó de una cultura a otra a través de un proceso en el que el hombre aprendió a ser ingeniero, sin saberlo, pero motivado por la necesidad de resolver problemas en los que requería creatividad e iniciativa. En la historia han quedado diversas manifestaciones de su trabajo en culturas como la egipcia, la mesopotámica, la griega, la romana, la oriental y la europea, donde se construyeron ciudades, templos, monumentos, carreteras, puentes, murallas, diques, canales, armas, acueductos, edificios, coliseos, pirámides, redes de abastecimiento de agua, drenajes, y mucho más.

Asimismo, se conocen escritos relacionados con ingeniería, por ejemplo, el tratado de geología y minería de Georgius Agrícola de 1560, la descripción de la técnica de construcción de caminos de Guido Toglieta de 1587 y carreteras del imperio romano de Nicolás Bergier de 1622. Pero fue desde 1675 cuando se comienza a tratar el asunto de la formación en ingeniería y en Francia se conformaron sociedades con este objetivo, en los que se convocaba a los ingenieros a dar testimonio sobre los proyectos que desarrollaban.

En 1794, bajo el mandato de Napoleón, se funda la primera escuela de ingeniería, École Polytechnique, que sigue funcionando actualmente; luego se crearon otras instituciones académicas relacionadas con la formación en ingeniería, tales como Sisches Polytechnicum en Zurich y las escuelas politécnicas de Delft, Chemnitz, Turín y Karlsruhe. En 1865 se funda en Estados Unidos la primera institución relacionada, Massachusetts Institute of Technology MIT, en 1880 se crea la American Society of Mechanical Engineers ASME, seguida de la American Society of Electrical Engineers, el American Institute of Chemical Engineers y el American Institute of Industrial Engineers (ver Figura 1).

Los primeros ingenieros civiles y mecánicos [5] se formaron con bases y estudios científicos e influenciados por el método científico expuesto por David Hume [5]. De esta manera se originaron las escuelas de ingeniería como tal, en las que, además de pensamiento científico, se formaba con un enfoque pragmático, motivados por las necesidades de aplicar los principios ingenieriles en el desarrollo de Primera Revolución Industrial. Esta nueva

manera de ver a la ingeniería modificó a la sociedad de la época, proveniente de una cultura agrícola y artesanal, que pasó a desarrollar procesos industriales utilizando máquinas y cambiando en el proceso la cultura y la economía en todo el mundo (ver Figura 2).

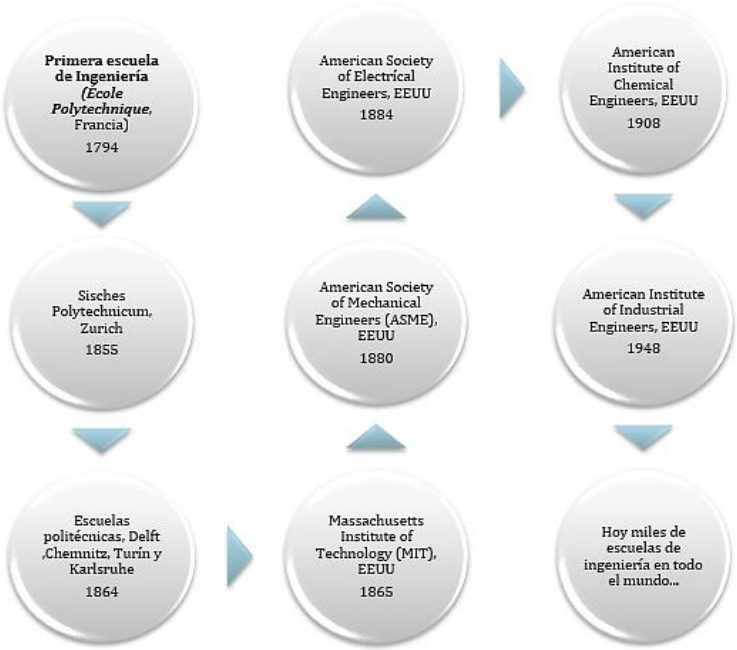


Figura 1. Primeras escuelas de formación en Ingeniería

Figura 2. Máquinas en la Primera Revolución Industrial

Para la Segunda Revolución Industrial la técnica, la creatividad y el diseño que aplicaban los ingenieros en todas las disciplinas, generó cambios sustanciales en su formación, porque surgieron campos que antes no se consideraban, tales como la química, eléctrica, de petróleos y el acero, en los que había que integrar los mercados, medios de transporte, comunicaciones, motores, materiales de construcción, sistemas de producción y una amplia diversidad de máquinas. De esta manera se fortaleció la tecnología y el papel del agricultor y el artesano comenzó a perder importancia, porque ahora se requerían obrero y operarios para utilizarla. Esto obligó a la sociedad a buscar la manera de capacitarse en este nuevo mundo, si querían ascender y percibir mejores salarios en cada una de las especialidades que surgían en el desarrollo de la revolución. Surge entonces un ingeniero que debía asumir el rol de

responsable por el diseño, desarrollo, ejecución, control y ajuste de cada invento que surgía y de ponerlo a disposición de la sociedad industrial (ver Figura 3).

Figura 3. Algunos inventos de la segunda revolución industrial

Esta generalización de necesidades exigía cambios permanentes en la formación en ingeniería y el cálculo sustituyó al arte, por lo que los métodos matemáticos y científicos se convirtieron en el fundamento para la resolución de problemas prácticos y fue la metodología propia de la enseñanza de la ingeniería en el siglo XVIII. En el siglo siguiente surge otra necesidad en los procesos formativos en ingeniería debido a que la industria se había posicionado y diversificado, por lo tanto, los nuevos ingenieros tenían que aportar una visión desde el método científico, relacionando teoría, práctica e innovación técnica para generar las transformaciones que exigía el desarrollo económico y social.

El siglo XX estuvo marcado por profundas transformaciones sociales que incidieron en la formación de los ingenieros [6], pero que no impactaron como se debía los procesos formativos en las ya establecidas universidades por todo el mundo. Por el contrario, el método se mantuvo como en el siglo pasado, con ideas conservadoras y poca innovación. La acumulación de errores y el surgimiento de nuevas maneras de ver el mundo, han hecho que, para el siglo XXI, se madure una inminente revolución de los procesos formativos, que no solamente va a impactar a la ingeniería, sino que tendrá que derrocar el oxidado sistema de educación. Todo esto se sustenta en el hecho de que la Sociedad de la Información manifiesta necesidades muy diferentes a la anteriores, porque vive en un contexto nuevo donde el profesional en ingeniería se debe formar para la diversidad e integralidad en medio de una sociedad que evoluciona permanentemente.

3. PROBLEMAS DE LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA

Rugarcía [18] realiza una crítica al proceso de formación en ingeniería al referirse al *culto al conocimiento* en relación con la formación de los ingenieros en México, donde el conocimiento se ha convertido en información y el

profesor en transmisor de lo que sabe. Este último también aprendió de forma memorística en su proceso de formación y ahora multiplica este escenario en sus estudiantes, dándole poca importancia a las habilidades intelectuales y emocionales, que deberían convertirse en el motor para el desarrollo del conocimiento. Por otro lado, la investigación en esta formación se enfoca principalmente en la difusión en revistas internacionales, donde la investigación aplicada aún sigue quedando en un segundo plano, careciendo de estímulo y reconocimiento. En lo que tiene que ver con los procesos educativos, el aprendizaje memorístico poco reflexivo se convierte en información temporal aplicada en la solución de exámenes y que al poco tiempo se olvida, porque el objetivo principal es aprobarlos para avanzar en la consecución del título. Por eso es que el principal clamor de los graduados es que no encuentran una estrecha relación entre lo aprendido y la práctica, lo que les dificulta asumir retos personales y profesionales (Figura 4).

Figura 4. Problemas en la formación en ingeniería

En este sentido Magoha [9] realiza un paralelo entre los países desarrollados y los países en desarrollo, encontrando que mientras en los primeros utilizan TI

para transferir conocimiento haciendo uso extensivo de sistemas multimedia modulares para prácticas en formación, destinan suficiente recurso humano y financiero para la generación de nuevos programas, ofrecen variedad de especializaciones con horarios flexibles, poseen desarrollo en telecomunicaciones con infraestructuras suficientes para el avance en la cualificación en ingeniería y aplican normas internacionales para garantizar la calidad en esa formación; los países en desarrollo utilizan poco las nuevas tecnologías, poseen restricciones para el uso de sistemas modulares para la generación de prácticas, destinan recursos limitados en relación con la parte humana y financiera para la aplicación de nuevos programas, tienen pocos recursos especializados, la flexibilización en los calendarios académicos es escasa, no tiene desarrollo en infraestructuras para la formación en ingeniería y hay poca o no utilizan normas internacionales aplicadas a la calidad de los programas en ingeniería (Figura 5).

Figura 5. Limitación de recursos en países en desarrollo

3.1 Capacidades del docente y aportes a la formación del Ingeniero

Las habilidades y capacidades de los profesores juegan un papel importante en la formación en ingeniería en la sociedad actual. Molina [13] plantea que la educación en la ingeniería se puede resumir en que los profesores aún siguen aplicando enfoques pedagógicos eficientistas, similares a los de la sociedad industrial, con funciones concretas y predefinidas, poseen una formación pedagógica insuficiente y siguen *enseñando* con planes de estudios desarticulados entre el conjunto de saberes de la propia carrera. Esto hace que el estudiante tenga pocos alicientes que lo motiven a aprender de cuenta propia; a que el proceso evaluativo se enmarque en resultados conceptuales y procedimentales; y a que no aprenda a convivir y, sobre todo, a no aprender a ser. Además, existe escaza consolidación de procesos investigativos, deficiencia en la evaluación de procesos pedagógicos institucionales y de la propia carrera, generando desarticulación de la academia con los sectores productivo, ambiental y social. De igual forma, esta autora afirma que el profesor debe abordar rápidamente los retos que demanda la nueva sociedad,

cualificándose en aspectos como la formación cultural, pedagógica, dirección de procesos, investigación y valores humanos. Para ella es importante fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje y orientarlos a desarrollar y potencializar las capacidades, habilidades y destrezas integrales que necesita un profesional en ingeniería.

En este camino, y mucho tiempo después, otro estudio llega a conclusiones similares [19] en relación a la crisis de la Ingeniería en Colombia. Estos investigadores encontraron que existen causas profundas que llevan a la ingeniería a tal crisis, tales como son la falta de dinamismo en los procesos formativos, la concentración de los docentes hacia aspectos teóricos debido a la poca o ninguna experiencia profesional aplicada al campo de la ingeniería, contenidos curriculares desarticulados entre las diferentes asignaturas del programa, así como desarticulación de la teoría con la práctica que requiere el sector productivo, además del facilismo de los estudiantes para asumir retos y responsabilidades. Los autores proponen conformar administraciones universitarias dinámicas, actualizar constantemente los currículos y el conocimiento de los profesores, incrementar la práctica mediante la formación basada en problemas, integrar materias y contenidos para darle relevancia a las matemáticas, elevar los requisitos de contratación profesoral en cuanto a experiencia profesional y entablar un diálogo permanente entre la academia, la industria y el Estado.

Para analizar esta necesidad de fortalecer las capacidades y habilidades de los profesores, se encuentran estudios como el realizado en ocho universidades españolas [20], en el que se concluye que las habilidades y capacidades que debería desarrollar de mejor forma los profesores son: interpersonales, metodológicas, comunicativas, de planificación y gestión de la docencia, de trabajo en equipo y de innovación.

Asimismo, la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería ASIBEI [3] hace alusión a que la instrucción profesoral en didáctica y pedagogía, el uso de TI y la virtualidad para la enseñanza de la ingeniería son elementos fundamentales para la formación de profesores en Iberoamérica. Entre los objetivos de formación se destacan: aportar los conocimientos y herramientas para ejercer la labor del profesor de ingeniería, compartir información y experiencias alrededor de la formación de profesores y constituir una red de profesores que trabajen e investiguen en la enseñanza de la ingeniería.

Esto indica que las instituciones que ofrecen formación en ingeniería deberían repensar, rediseñar y replantear sus procesos curriculares, didácticos y pedagógicos, así como la cualificación del profesional en docencia que se requiere para atender las demandas actuales y futuras. En el escenario actual estas falencias en las capacidades de los profesores obedecen, muchas veces, a deficiencias estructurales de las instituciones y a un escaso acercamiento con el sector productivo. La industria se ve obligada a cualificar el personal que contrata, porque sus necesidades difieren de la academia, existiendo de alguna manera desarticulación entre ambas entidades.

3.2 Mejorar la formación en ingeniería

En estos comienzos del XXI se vienen desarrollando estudios relacionados con la educación en ingeniería desde un contexto global y, de acuerdo con Vega [21], para que un cambio en el sistema genere impacto social necesita por lo menos una década, Por lo tanto, propone incluir en la formación mecanismos que generen vocación innovadora y emprendedora en los que, a través de la generación de empresas auto sostenibles y auto sustentables busquen el bienestar social y la conservación de los recursos ambientales. En lo que tiene que ver con la formación de los profesores, se espera que se cualifiquen en estudios de posgrado de calidad, donde asuman la responsabilidad de orientar la formación en ingeniería hacia proyectos de I+D, involucrándose en redes de innovación internacionales. Además, se necesita incrementar la movilidad de los estudiantes y egresados, donde tengan la oportunidad de realizar estancias en universidades y empresas extranjeras e incorporarse en redes de conocimiento, para lo cual también se requiere que aprendan otros idiomas.

El estudio de Rugarcía [18] se fundamenta en la importancia de integrar el saber con el ser y recalca la necesidad de tratar el saber de forma integral, donde en ingeniería se debe capacitar al ser para seguir aprendiendo, resolviendo y tomando decisiones, acorde a los retos que se vayan presentando. El lugar para esto es la universidad, porque es un lugar donde se forma e investiga, donde el profesor se debe convertir en facilitador para motivar hacia el conocimiento, contribuyendo a la formación humana y profesional con métodos dinámicos acordes a los cambios de la misma sociedad. Pero debe tener claro que no todo investigador es educador, porque éste último requiere de vocación y cualificación para orientar procesos de formación en áreas como la ingeniería.

Las capacidades y habilidades en Ingeniería giran alrededor del desarrollo de capacidades propuestos por ABET [1], que se han convertido en la referencia principal para las universidades de América. En ellas se plantea que el profesional en ingeniería debe desarrollar capacidades para analizar e interpretar datos; diseñar sistemas, componentes o procesos en temáticas económicas, ambientales, sociales, políticas, éticas, salud, seguridad, manufactura y sostenibilidad; trabajar en equipos transdisciplinares; identificar, formular y resolver problemas de ingeniería; tener responsabilidad profesional y ética; comunicación eficiente; formación necesaria para comprender el impacto de la ingeniería en el contexto global, económico, ambiental y social; participar en el aprendizaje a lo largo de la vida; conocimiento de los temas contemporáneos y habilidades para usar las técnicas y herramientas de ingeniería modernas.

Martínez [12] también plantea que la función principal de un ingeniero en la sociedad es concebir, diseñar, poner en práctica y explotar soluciones innovadoras (productos, dispositivos, procesos, sistemas), además de ser competitivo para resolver problemas y proponer alternativas que permitan mejorar la calidad de vida de las personas. El mismo autor afirma que, de acuerdo con estudios en varios países, los graduados de ingeniería presentan falencias para relacionar la teoría con aspectos prácticos que impliquen la solución de problemas reales; falta de capacidades en matemáticas y de trabajo transdisciplinar para integrarse a grandes equipos y tomar decisiones, así como dificultades en habilidades comunicativas para abordar trabajos cooperativos, tanto locales como globales.

De igual forma, y en relación con la importancia de las matemáticas, el rector de la Universidad Nacional de Colombia [11], manifiesta que la sólida base matemática de los nuevos profesionales es una de las mayores riquezas, pues gracias a ella podrán proponer modelos matemáticos para la solución de problemas teóricos y prácticos en diversas áreas para describir comportamientos poblacionales y problemas sociales o predecir necesidades de salud pública y anticipar posibles soluciones, por lo que debe ser la base para cualquier ingeniería.

Para Palma [16] el sector productivo requiere personal cualificado en ingeniería, pero que posea cualidades como iniciativa, liderazgo, tener buena comunicación, trabajo y dirección de equipos, negociación, toma de decisiones y aspectos administrativos. Por lo que tiene especial importancia que la

academia y la empresa estrechen lazos de cooperación. Por su parte Flórez [8] argumenta que la participación conjunta en proyectos de investigación y extensión brindan a profesores, investigadores y estudiantes un acercamiento a la realidad, permitiendo aplicar la teoría a situaciones reales e incrementando el desarrollo del pensamiento crítico.

En todo caso, la principal falencia en el proceso de formación de ingenieros es el distanciamiento que existente entre la academia y el sector productivo, lo cual impide que los estudiantes, desde el inicio del pregrado, tengan claridad sobre la aplicación de asignaturas como, por ejemplo, que componen las ciencias básicas, generándose altos índices de deserción en los primeros semestres o, peor aún, que los estudiantes de la educación media no se interesen por ingresar a programas de ingeniería, por el temor a las matemáticas y porque se han convertido en una tortura durante la educación básica y media, generándose desmotivación para elegir carreras que tengan como fundamentación dicho componente.

4. DÉFICIT DE INGENIEROS

Existe una fuerte demanda en todo el mundo por profesionales en ingeniería, tal como lo demuestran diversos estudios. Por ejemplo, Manpowergroup [10] entrevistó a 41.700 directivos de recursos humanos de 42 países acerca de la escasez de talento y encontró que, dentro de los perfiles más difíciles de contratar están los ingenieros. De acuerdo con este estudio las razones que dificultan el proceso (ver Figura 6) son la ausencia de candidatos 35%, falta de capacidades y habilidades técnicas 34%); experiencia 32%, habilidades personales 17% y la expectativa salarial 13%.

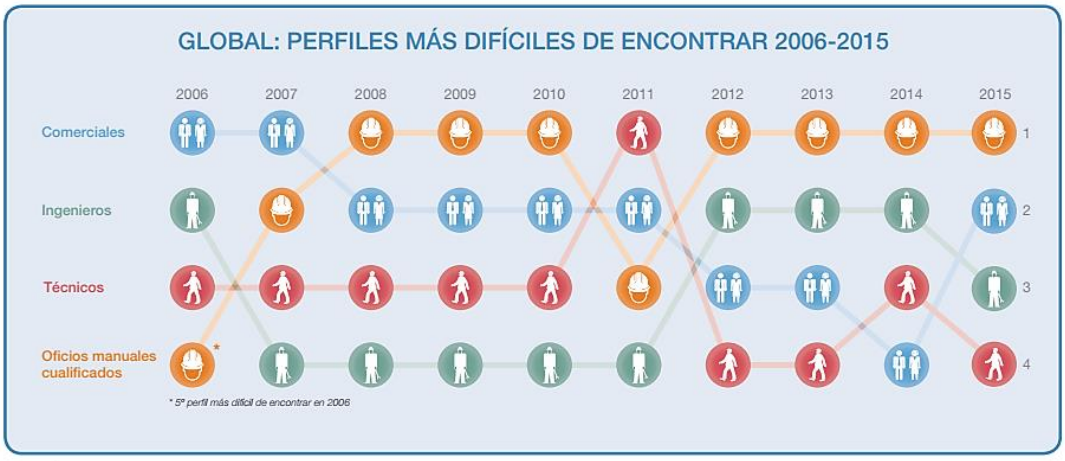
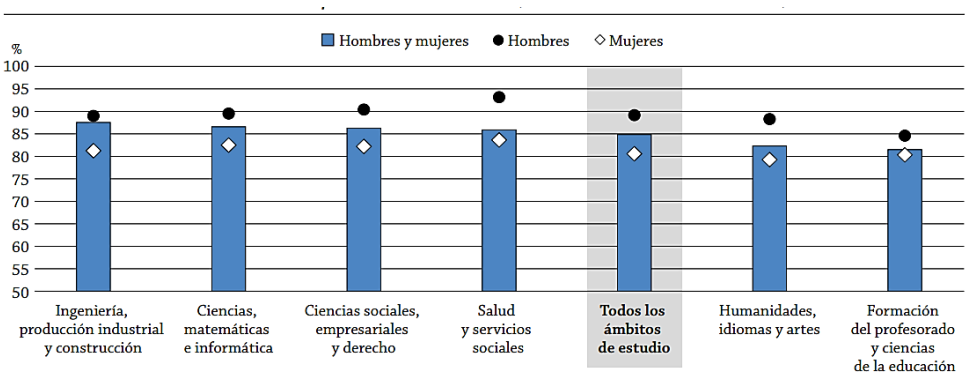


Figura 6. Perfiles más difíciles de encontrar entre 2006-2015 [10]

También se consultó a alrededor de 14.000 directivos de recursos humanos en Argentina, Brasil, Canadá, Colombia, Costa Rica, Estados Unidos, Guatemala, México, Panamá y Perú, se encontró los países que tienen más déficit de ingenieros son Colombia, Argentina y México. Por otro lado, para más de 7.700 directivos de recursos humanos de Australia, China, Hong Kong, India, Japón, Nueva Zelanda, Singapur y Taiwán, los países que tienen más déficit de ingenieros son Japón, Hong Kong, Nueva Zelanda, Singapur, Taiwán y Australia. Este panorama no cambia mucho en Europa, Oriente Medio y África, donde para más de 20.000 directivos de recursos humanos los países que tienen más déficit de ingenieros son Bulgaria, Israel, Noruega, Polonia, Reino Unido, Rumania, Sudáfrica, Turquía, Eslovenia, España, Hungría, Irlanda, Grecia y República Checa.

En alineación con lo anterior y según algunos indicadores [15], la tasa de empleo es alta en ingeniería, producción industrial, construcción, ciencias, matemáticas e informática, y baja en ciencias de la educación, humanidades, idiomas y artes. Las variaciones de las tasas de empleo están influidas en parte por las diferencias de sexo en el porcentaje de personas que han cursado estudios dentro de un ámbito determinado, como se observa en la Figura 7.



Nota: Chile, Eslovenia, Grecia, Israel, Lituania, Nueva Zelanda, Singapur, Turquía y Yakarta (Indonesia): Año de referencia 2015. Los demás países: Año de referencia 2012.Año de referencia 2012.

Figura 7. Tasas de empleo de adultos con educación terciaria por ámbito de estudio y sexo [15]

Además, los salarios también varían de acuerdo con la profesión, por ejemplo, los graduados en medicina son los que reciben mayor remuneración, seguidos de los que tienen un posgrado en empresariales, ingeniería, TI y derecho; mientras que los graduados en humanidades, ciencias sociales y artes son los que tienen menos ingresos, lo que representa oportunidades de desarrollo para los profesionales en Ingeniería, pero de igual forma un reto hacia el desarrollo de las capacidades que exige el contexto nacional e internacional.

5. RETOS DE LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA

Según la proyección sobre la educación a 2030 de la OCDE [15] en el cuarto objetivo, de Desarrollo Sostenible, se busca una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos. Por eso en los Estados Unidos se proyecta incrementar para 2022 a 1 millón los graduados en ciencias e ingeniería y en la Unión Europea, a través del programa *Ciencia con y para la Sociedad*, se busca captar el talento para conectar la excelencia científica con la conciencia y responsabilidad social.

En todo caso, es indiscutible el nivel de competitividad que se requiere del profesional en ingeniería para el siglo XXI, porque los cambios económicos, sociales, políticos y tecnológicos siguen avanzando. A este respecto, Arenas y Ramírez [2] hacen alusión a un conjunto de características que dicho profesional deberá desarrollar en cuanto a capacidades para proyectar, diseñar, fabricar, operar, mantener y renovar sistemas, procesos, ambientes y artefactos, además de aplicar la ciencia y la tecnología en la solución de problemas complejos para satisfacer las necesidades y demandas, y trabajar con efectividad en equipos transdisciplinares y multilingües. En este orden de ideas y según National Academy of Engineering [14] existen grandes desafíos para los ingenieros del siglo XXI:

- Conseguir que la energía solar sea accesible
- Suministrar energía a partir de la fusión
- Desarrollar métodos de secuestración del carbono
- Gestionar el ciclo del nitrógeno
- Suministrar acceso al agua potable
- Restaurar y mejorar las infraestructuras urbanas
- Avanzar en la informática para la sanidad
- Diseñar mejores medicamentos
- Hacer ingeniería inversa del cerebro
- Prevenir el terror nuclear
- Proteger el ciberespacio
- Enriquecer la realidad virtual
- Avanzar en el aprendizaje personalizado
- Diseñar herramientas para el descubrimiento científico.

Por su parte la empresa alemana Continental AG [7], líder mundial en la producción de neumáticos para la industria automotriz y sistemas electrónicos de seguridad y asistencia, presenta una experiencia relacionada con pasantías

de estudiantes de seis países de varios continentes por un lapso de un año. Los cuales provienen de países que reflejan las principales economías del mundo en sus aspectos económicos, talento humano, recursos, formas de gobierno, sistemas educativos; donde se realizan revisiones a la mano de obra en ingeniería, educación y enfoques internacionales. Su objetivo fue mejorar estrategias para la ingeniería del futuro y sus hallazgos se resumen a continuación.

Encontraron que los países e instituciones universitarias deberán formar ingenieros donde las capacidades globales se conviertan en una calificación clave para los graduados de ingeniería, generando estrategias que fomenten la movilidad transnacional para estudiantes, investigadores y profesionales, teniendo en cuenta que la excelencia mundial en ingeniería depende fundamentalmente de un compromiso mutuo con la intermediación de alianzas. Además, se debe vincular la educación en ingeniería con la práctica profesional, teniendo claro que existe una necesidad urgente de investigación sobre ingeniería en un contexto global, lo que debe ser el fundamento en los comportamientos y modelos de aprendizaje, así como en los procesos organizativos y métodos de gestión enfocados en formar a los ingenieros que se requieren en el mundo de hoy y del futuro.

De igual forma, que los ingenieros de talla mundial deberán enfrentar retos globales, entre los que se pueden enumerar:

- Sostenibilidad, seguridad y desarrollo económico
- Integración de instituciones transnacionales y comunidades multiculturales
- La aceleración de avances tecnológicos
- Desarrollos de trabajos en el extranjero y/o en casa
- Colaboración entre profesionales en ingeniería
- Integración de programas de ingeniería
- Integración de la ingeniería con campos como la medicina, las finanzas, el derecho, la política pública, entre otros.
- Conocimientos amplios sobre la comunidad mundial, al igual que experiencias
- Capacidad de adaptase a comunidades globales
- Habilidades y conocimientos técnicos, con capacidad de realizar reingeniería en cualquier momento
- Capacidad de trabajo en equipo

Además, encontraron que no existen suficientes investigaciones que documenten si los programas que ofrecen las universidades realmente preparan para escalas o trabajos globales, con el agravante del insuficiente número de estudiantes para cubrir las demandas existentes hoy en los diferentes campos de la ingeniería.

Por su parte, y de acuerdo con ASIBEI [4], en Iberoamérica las tendencias en la formación de ingenieros se deberán orientar hacia el desarrollo de capacidades para abordar problemas estratégicos del planeta, tales como energía, alimentación, medio ambiente, movilidad, agua, sobrepoblación, entre otros, donde el uso de TI debe ser transversal para el apoyo a los procesos de formación. Además, que es importante la integración de las ciencias básicas a la informática, electrónica y demás especificidades de la ingeniería y en campos del conocimiento que giran alrededor de dicha profesión, tales como Ingeniería Ambiental, de Alimentos, Bioquímica, Genética, Sanitaria, de Materiales y Ciencias Sociales que conlleven a la experimentación y la práctica, donde se evidencie su aplicabilidad. Lo que le dará a la ingeniería alto valor en innovación y emprendimiento con conocimientos transdisciplinares y globales, donde el desarrollo de una segunda lengua facilita la interacción internacional (ver Figura 8).

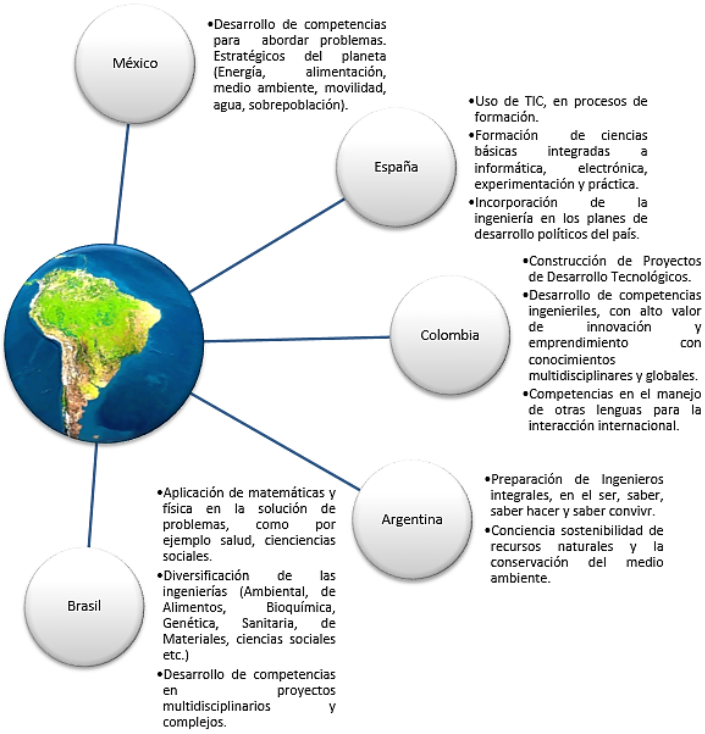


Figura 8. Tendencias en la formación de ingenieros en Iberoamérica

Además, es importante que los países integren la formación en ingeniería a sus planes de desarrollo, buscando cubrir una demanda por estos profesionales que cada día se diversifica en nuevos campos del conocimiento. La idea es buscar la formación de seres integrales desde lo humano y lo profesional, pero con alta conciencia de sostenibilidad de los recursos naturales y del medio ambiente.

6. CONCLUSIONES

La innovación, la creatividad, la capacidad para tomar decisiones, el trabajo transdisciplinar, la conciencia social y ecológica, los principios éticos y las relaciones entre pares nacionales e internacionales desde la formación del ser serán la esencia sobre la cual deberá girar la formación en ingeniería. Por eso es que hay que integrar la disciplina científico-tecnológica, convirtiéndola en la principal responsabilidad de las instituciones educativas, ya que la consolidación de los profesionales en el ser, saber, saber hacer, saber convivir permitirán la integralidad del ingeniero que requiere la sociedad del siglo XXI.

La formación en ingeniería deberá abordar problemáticas nuevas que son producto de la misma evolución social y tecnológica, y que pueden llegar a representar consecuencias nefastas sobre la misma vida. Además de solucionar lo que las generaciones anteriores le han dejado como legado al planeta: lluvia ácida, contaminación de los mares, ríos y lagos, calentamiento global, cambio climático, problemas respiratorios, extinción de especies en flora y fauna, erradicación de bosques, desaparición de tribus ancestrales, y todo aquello que atenta contra el sostenimiento del planeta para la vida.

A este respecto Rodríguez [17] plantea que la ingeniería ha sido propulsora de la intervención humana en la naturaleza, generando en muchas ocasiones impactos negativos en los ecosistemas. Pero de aquí en adelante deberá avanzar hacia la producción de tecnologías, no solamente para prever y mitigar los impactos ambientales, sino también para ofrecer orientación al gobierno, al sector privado y al tercer sector, sobre las diferentes alternativas que permitirían crear un futuro que sea más sostenible desde la perspectiva ambiental. En este escenario la formación en ingeniería deberá aportar, desde los principios éticos, la constitución de una consciencia sobre los efectos que se generan en relación con los impactos positivos y negativos de los desarrollos ingenieriles. La idea es buscar que los cambios que se generen en la sociedad, como resultado de las innovaciones propuestas, desarrolladas y

ejecutadas desde una ingeniería consciente, impacten lo cultural, político, económico y ambiental, a la vez que se proyecten en el tiempo para minimizar los impactos negativos en el futuro de la humanidad.

REFERENCIAS

[1] ABET (2014). Criteria for Accrediting Engineering Programs. Baltimore: Engineering Accreditation Commission.

[2] Arenas, A. & Ramírez, D. (2010). Visión prospectiva de la formación en ingeniería. Eighth Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology LACCEI. Arequipa, Perú.

[3] ASIBEI (2016). Competencias y perfil del ingeniero iberoamericano, formación de profesores y desarrollo tecnológico e innovación. Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería.

[4] ASIBEI (2014). Tendencias en la formación de ingenieros en Iberoamérica. Bogotá: Arfo Editores.

[5] Baca, G. et al (2014). Introducción a la Ingeniería Industrial. México: Patria.

[6] Capote, G. Rizo, N. & Bravo, G. (2016). La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria. Revista Universidad y Sociedad 8(1), 21-28.

[7] Continental AG (2006). Final report of the global engineering excellence initiative. Educating the next generation of engineers for the global workplace. Hanover, Germany.

[8] Flórez, Y. (2015). Retos de la formación en ingeniería. Iteckne 12(1), Editorial.

[9] Magoha, P. (2002). Effective methods and tools for training engineers and technologists: Regional trends. World Transactions on Engin. and Technology Education 1(2), 209-216.

[10] Manpowergroup (2015). Estudio Manpowergroup sobre escasez de talento 2015. Online [Sep 2017].

[11] Mantilla, I. (2016). Ciencias de la Computación para el país. Online [Dec 2017].

[12] Martínez, A. (2014). Las competencias y la formación de los ingenieros en el siglo XXI. Ingenierías 17(62), 3-9.

[13] Molina, A. (1999). Problemática actual de la enseñanza de la ingeniería: Una alternativa para la solución. Ingenierías 2(3), 10-15.

[14] NAE (2008). Engineering: Grand challenges for the 21st Century. National Academy of Engineering. Online [Sep 2017].

[15] OCDE (2016). Panorama de la educación 2016 Indicadores de la OCDE. España: Santillana.

[16] Palma, C. (2012). Nuevos retos para el ingeniero en el siglo XXI. Buenos Aires: Editorial Universidad Don Bosco.

[17] Rodríguez, M. (2007). Ingeniería y medio ambiente. Ingeniería 26, 56-63.

[18] Rugarcía, A. (2000). El culto al conocimiento y la formación de ingenieros. Ingenierías 3(7), 3-9.

[19] Serna, M.E & Serna A.A. (2015). Crisis de la Ingeniería en Colombia – Estado de la cuestión. Ingeniería y Competitividad 17(1), 63-74.

[20] Torra, I. et al. (2012). Identificación de competencias docentes que orienten el desarrollo de planes de formación dirigidos a profesorado universitario. Revista de Docencia Universitaria 10(2), 21-56.

[21] [Vega, L. (2013). La educación en ingeniería en el contexto global: Propuesta para la formación de ingenieros en el primer cuarto del Siglo XXI. Ingeniería Investigación y Tecnología 14(2), 177-190.

CAPITULO 9

La ingeniería en Colombia

Yolfaris N. Fuertes A.[1]
Roberto C. Guevara C.[2]
Corporación universitaria Remington
Medellín – Antioquia

La ingeniería no se ha desarrollado de la misma manera en todas las regiones y países del mundo. A este respecto es posible mencionar los procesos que ha vivido esta disciplina en Asia, Europa y América, donde cada cultura tuvo necesidades y oportunidades diferentes que debió solucionar utilizando ingenio y recursividad propios de la zona en la que vivía. En Colombia la ingeniería tuvo un desarrollo propio de un país colonizado, en el que la influencia de los invasores, primero desde Europa y actualmente desde la globalidad, ha sido el principal factor. Aunque se pueden mencionar algunos trabajos propios de los nacionales, se formaron con la influencia de procesos extranjeros que se apoderaron de la visión con la que se diseñaron y diseñan las obras ingenieriles en el país. En este capítulo de describe el desarrolló la ingeniería en Colombia desde la óptica de análisis de sus autores.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus diversas ramas o campos del saber la ingeniería aporta un conjunto de conocimientos científicos, que pueden ser utilizados en el desarrollo de innumerables inventos tecnológicos, innovadores, creativos y prometedores de novedosas transformaciones. En Colombia y desde mediados del siglo XIX, esta disciplina ha tenido un alto impacto y participación en la sociedad, lo cual se evidencia en el desarrollo de propuestas que conllevan avances tecnológicos en campos como el transporte ferroviario, navegación fluvial a vapor, industrialización, obras públicas, obras sanitarias, industria de procesos, entre otros.

La ingeniería del siglo XX en Colombia se orientó al avance de proyectos viales, reflejando la importancia que tiene para el estado la aplicación tecnológica

[1] Ingeniera de Sistemas, Ms.C. en Educación. Docente investigadora. *yolfaris.fuertes@uniremington.edu.co*
[2] Ingeniero de Sistemas, Esp. en Redes corporativas e integración de tecnologías, Ms.C. en Automatización y control industrial. *roberto.guevara@uniremington.edu.co*

desde lo experimental y práctico, direccionado al beneficio de la sociedad. Desde entonces se han alcanzado logros impresionantes, pero al analizar los retos del nuevo siglo se puede concluir que los ingenieros están en medio de una revolución que los desafía en cuanto a proyecciones y horizontes definidos y por definir en el área. Porque la ingeniería de este siglo, aunque prometedora, es absolutamente demandante en campos diferentes al anterior. Hoy se vive en medio de una sociedad adaptada y, se podría decir dependiente, de los desarrollos que la ciencia y a ingeniería ponen a su disposición.

En este orden de ideas y teniendo presente los campos en los que se puede desenvolver el ingeniero de hoy, y de acuerdo con el estudio de Universia [1] para el periodo 2013–2014, la demanda en programas de ingeniería en Colombia se variado de áreas orientadas al desarrollo industrial, a campos en los que se requiere ingenio y lógica para solucionar problemas complejos. De este y otros temas se tratará en este capítulo, tal como se puede observar en la Figura 1.

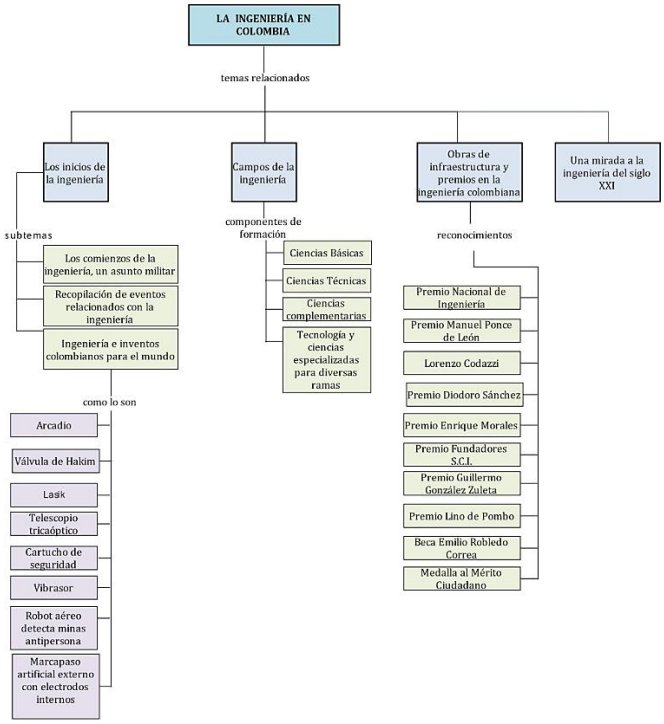


Figura 1. Mapa conceptual del capítulo

2. INICIOS DE LA INGENIERÍA EN COLOMBIA

La herencia cultural colombiana, como en toda Latinoamérica, es una malgama de la europea, la negra y la indígena, no sólo desde lo étnico sino también en

aspectos de las costumbres, comidas y, por supuesto, la ingeniería. Esta disciplina en el país es una mezcla con influencia española, pero también francesa, inglesa y, en menor medida, por pueblos del medio oriente. En todo caso, es indudable que la ingeniería civil y la arquitectura son las áreas que han recibido mayor aporte.

Por ser un país de regiones, en las que cada pueblo recibió influencia particular de una u otra cultura, la ingeniería colombiana se adaptó a las costumbres regionales y tuvo un desarrollo desigual en cada una de ellas. De acuerdo con Rangel y Aguilar [2] y desde el punto de vista climático Colombia se divide en las regiones de la costa caribe, costa pacífica, Orinoquia, Amazonía y Andina, cada una claramente diferenciada por su topología, vegetación, temperatura ambiental y cultura, por lo que la ingeniería se adaptó a esas mismas características. Ya que la civil y la arquitectura son consideradas como la expresión más notable de la ingeniería en un país, debido a que sus obras son más evidentes que las de otras áreas, las edificaciones y puentes en las regiones colombianas reflejan esa influencia multicultural a las que fueron sometidas.

En la historia la ingeniería ingresa formalmente a Colombia en el siglo XIX, sin embargo, ya existían grandes construcciones realizadas principalmente por españoles, pero incluso antes de la llegada de éstos los aborígenes tenían sus propias formas de construcción. Se habla de este siglo porque en esa época el general Tomas Cipriano de Mosquera tomó la iniciativa de formar ingenieros civiles en Colombia, al igual que lo hacia Francia en la época de Napoleón Bonaparte. La idea era capacitar a los oficiales del estado mayor como ingenieros civiles y, posteriormente, a pocos años de la construcción de las líneas ferroviarias en Europa, los ingenieros colombianos se hicieron cargo del trazado y construcción de ferrocarriles que llevaran los productos del centro del país a los puertos para su posterior exportación.

La falta de experiencia de los nacionales obligó al Estado a contratar especialistas extranjeros, como el cubano Francisco Javier Cisneros que, con el apoyo del gobierno nacional y con capitales nacionales y extranjeros inicio los grandes proyectos de ingeniería que buscaban intercomunicar un país extenso como Colombia y con una geografía única a través de líneas ferroviarias. Posteriormente, y con la introducción del automotor, los esfuerzos cambiaron en pos de la construcción de vías asfaltadas y puentes metálicos, dejando a un lado la construcción de ferrocarriles, dejando este medio de

transporte de personas y mercancías casi en el olvido, y cerrando así un capítulo en la historia de la ingeniería en Colombia.

2.1 La ingeniería como asunto militar

El progreso de la ingeniería de finales de 1800 se debió principalmente a la necesidad militar de formar ingenieros. De esa época se puede mencionar a la escuela de ingenieros de la Universidad Nacional, una continuación razonable del colegio militar, a quien años antes Tomas Cipriano de Mosquera hubiera encomendado la labor de formar ingenieros. Para entonces, los programas de estudios del colegio militar y la escuela de ingenieros eran muy similares, básicamente se enfocaban en la construcción de fortificaciones militares y su base era la aritmética, la geometría y el cálculo.

La concepción era de un estudiante práctico y además directo y orientado al quehacer, que atendía asignaturas como construcciones civiles, específicamente caminos y puentes, presupuestos de tiempo, trabajos hidrográficos, topografía y dibujo [3]. De hecho, los programas militares tenían un doble propósito: formar oficiales profesionales para el ejército y preparar ingenieros para hacerles frente a las demandas de profesionales capacitados en la Colombia del siglo XIX. Según la historia, durante el siglo XIX la ingeniería en el país fue impulsada por instituciones militares, en las que, con profesores extranjeros, se formaba al mismo tiempo a los profesionales en ingeniería a los profesores nacionales. Es de entender que, aunque había ingenieros extranjeros en Colombia, estos se limitaban mayormente a desarrollar las obras de infraestructura que tenían a cargo.

Estos profesores extranjeros dejaron la semilla del conocimiento en sus estudiantes, que posteriormente se replicaba por profesores colombianos. Con el tiempo, la nación comprendió que la motivación de los extranjeros para formar ingenieros en el país había decaído y que se requería mayor capacitación para resolver los problemas propios del país. Entonces, se toma la decisión de contratar ingenieros con experiencia para que los nacionales la adquirieran y aplicaran en las obras del territorio. A este respecto, el rector de la Universidad Nacional Antonio Vargas Vega afirmaba en 1872:

> *No se puede esperar que un país tan atrasado como el nuestro, donde la vida carece de atractivos, donde los ingenios no tienen ni a aún el estímulo de la gloria, puedan tomar vivo interés en su prosperidad y riqueza de los que, dejando en Europa comodidad y porvenir vienen a ocupar entre nosotros puestos precarios y escasamente remunerados [...] Cuanto más útil y menos*

costoso sería educar jóvenes identificados con la patria e interesados en su gloria y progreso y a quienes satisficieran los aplausos de sus Compatriotas y la moderada ganancia que alcanzan sus trabajos de ingeniería [3].

Aunque estas ideas no eran compartidas por todos, muchos creían que se debía aumentar la credibilidad de los ingenieros colombianos a través de una labor compartida con extranjeros. Un pensamiento que se materializó en el informe del nuevo rector Francisco de Zaldúa, donde mencionaba que bajo la dirección de ingenieros europeos se habían logrado la construcción de ferrocarriles y obras públicas de envergadura.

En 1876 el país se sumerge en una guerra civil motivada por la oposición del partido conservador que, entre cosas, intentaba detener lo que se consideraba una educación *neutra* y otras medidas anticatólicas [4]. Como consecuencia se cerró la escuela de ingenieros de la Universidad Nacional y, aunque fue reabierta al año siguiente, disminuyeron drásticamente los estudiantes matriculados y fueron destruidos gran parte delos edificios. En los años sucesivos los adelantos en las telecomunicaciones y en la construcción de vías y puentes, hicieron que las universidades tratarán de incorporarlos a la ingeniería local, sin embargo, para los ingenieros todavía era importante trabajar en la construcción de ferrocarriles [3]. Fue un período amargo en el que Colombia estaba en un dilema, por un lado, la necesidad de adoptar e imitar la ingeniería de otros países y, por el otro, el nacionalismo que quería expulsar a los extranjeros.

En 1814 se había creado la primera escuela colombiana de ingeniería, llamada academia de ingenieros militares, que fue dirigida por Francisco José de Caldas, y en 1837 se implementó la cátedra de química y mineralogía en el colegio académico. Para 1856 se propuso crear una escuela de ingeniería en esta misma institución y que al año siguiente expedía diplomas de ingenieros civiles, aunque no contaba con estudios formales. En 1871 surge la Universidad de Antioquia como un centro de estudios de secundaria y superior de carácter público y gratuito, donde, en 1872, se abre la facultad de ingeniería [5] y que, al igual que la escuela de ingenieros de la Universidad Nacional, tuvo que cerrar sus puertas en la guerra civil.

3. DESARROLLO DE LA INGENIERÍA EN COLOMBIA

Si bien a comienzos del siglo XIX gran parte de las obras de ingeniería en Colombia y del trabajo de los ingenieros se centraba en la construcción de

infraestructura vial, en esta época se destacaron obras como el ferrocarril del Atlántico y el de Barranquilla, cuya construcción se terminó en 1873 y fue el primer ferrocarril de la región, después del de Panamá cuando aún era parte de Colombia. El ferrocarril del Atlántico, que unía a Barranquilla con puerto Salgar y puerto Colombia, incluyó la construcción de un muelle en este último. Para finales del siglo XIX el país contaba con más de 600 km de vías férreas en servicio, los cuales se incrementaron y en 1934 ya eran 3262 km.

En 1899 Carlos Coriolano Amador trajo desde Francia el primer automóvil a Medellín y en 1903 Ernesto Duperly hace lo mismo a la ciudad de Santa Fe de Bogotá. Estos hechos dieron inicio a la masificación de este transporte en el país, lo que cambio las necesidades de infraestructura [9]. A finales de la década de 1930 se inició el desmantelamiento de las vías ferroviarias, dando paso a la construcción de vías terrestres como la que une a Cúcuta con los Cauchos, entre 1865 en 1875, y la que va de Cali a Cartago, entre 1910 y 1920. De esta manera las vías terrestres crecieron rápidamente en el país y para 1930 ya se contaba con 9365 km de carreteras construidos por la nación, 21.633 en los departamentos y 76.617 en los municipios, para un total de 107.615 km entre pavimentadas y no pavimentadas [7, 8].

Otro hecho para resaltar en el desarrollo de la ingeniería civil en Colombia son la construcción del puente de occidente en Santa Fe de Antioquia, entre1887 y 1895, obra realizada por el ingeniero José María Villa, quien había trabajado en el puente de Brooklyn en Estados Unidos. La importancia de este puente de tipo colgante radica en que fue el más largo de Latinoamérica en su época y permitió la comunicación y el desarrollo del país, porque permitió atravesar el río Cauca, hasta entonces una barrera para el transporte de mercancías y personas entre el occidente y el oriente colombiano. José María Villa era ingeniero civil e ingeniero mecánico que hizo sus estudios en New Jersey, y en su construcción desarrolló cuatro torres de once metros cubiertas por láminas galvanizadas para proteger su estructura, que soportan cables rígidos de diez centímetros de diámetro; además, empleó técnicas de construcción como las usadas en el puente de Brooklyn [5, 18].

Por otro lado, la ingeniería química en el país se remonta a 1886, cuando los comerciantes y empresarios empezaron a ver la necesidad de mezclar compuestos y recurrieron a profesionales especializados en el área de la química. Como respuesta a esta nueva demanda se crea la escuela nacional de minas en Medellín, dando inicio formal a la ingeniería química colombiana. Por

otro lado, empresas manufactureras colombianas, como Bavaria, crearon escuelas propias para capacitar técnicos cerveceros [5] que, posteriormente, se expandieron a los ingenios azucareros, capacitando en conocimientos químicos en cada una de las áreas que necesitaban.

En 1922 se construye el primer oleoducto y la primera refinería de petróleo en Barrancabermeja, un complejo que tiene hoy la responsabilidad de generar el 75% de la gasolina, el ACPM y demás combustibles que el país requiere, así como los productos petroquímicos [6].

La ingeniería en Colombia y el sector industrial habían crecido muy lentamente entre 1905 y 1929, a causa de la masiva importación de productos. Por ejemplo, entre 1927 y 1928 el 80% de todos los textiles en Colombia eran importados. Pero la gran depresión [7] y la devaluación del peso colombiano desestimuló la importación y fomentó el proceso de industrialización nacional. Un hecho que, sumado a políticas de protección ante la competencia extranjera, trajo como consecuencia la necesidad de nuevos profesionales en las áreas de la ingeniería a medida que la industria los iba necesitando. Entre los años 1929 y 1932 el país tuvo un gran crecimiento en el campo industrial, debido a que sectores como el de alimentos, materiales de construcción, siderurgia y maquinaria agrícola tenían alta demanda, lo cual generó la necesidad de formar ingenieros con estos conocimientos.

Posteriormente, entre 1930 y 1934 la producción industrial en Colombia creció a una tasa promedio anual cercana al 6%, una de las tasas más altas de crecimiento industrial entre las economías más grandes de América Latina [8]. Pero luego de que el mundo se repuso de la gran depresión siguió creciendo, aunque a una tasa menor, lo que ocasionó que entre 1934 y 1953 no hubiera ningún tipo de promoción directa a la industrialización por parte del estado, por lo que solamente el comportamiento creciente fue impulsado por la dinámica del mercado [9].

En este periodo las empresas colombianas que importaron maquinarias iniciaron la industrialización del país, creando asimismo la demanda por nuevos ingenieros. Este es el caso de la Compañía Colombiana de Tejidos Coltejer, creada en 1907, que importa más de 200 telares desde Inglaterra y produce la primera tela de algodón estampada hecha en el país, el crespón Carmen [10]. Otra empresa que floreció en esa época fue la Fábrica de Hilados y Tejidos del Hato Fabricato, creada en 1920, y que, en 1932, inicia la producción de telas a cuadros, toallas y telas de fantasía. Por otro lado, en

1940 se comienzan a hacer estudios para construir una hidroeléctrica propia que surta de energía a las plantas de producción, denominada la García y que puso en funcionamiento en 1951. En 1968 Fabricato inaugura una planta de no tejidos apoyados en el capital humano y la ingeniería colombiana [11].

Otro hecho en la histórico de la ingeniería colombiana se relaciona con la energía eléctrica, que llegó a Bogotá en 1890, a Bucaramanga en 1891 y a Barranquilla en 1892. Al principio se utilizaba básicamente para el alumbrado público, luego a las familias pudientes y al comercio en general. Aunque inicialmente las empresas eran extranjeras, la nación entró al mercado creciente son la primera empresa eléctrica con ingenieros colombianos, la Bogotá Electric Light Co, que era propiedad de inversionistas colombianos. Posteriormente se crea la eléctrica de Bucaramanga, que construyó la primera hidroeléctrica del país.

En Antioquia y con la participación del departamento, el municipio de Medellín y capital privado, se crea en 1895 la Compañía Antioqueña de Instalaciones Eléctricas, que utilizó para la generación de energía una hidroeléctrica situada sobre la quebrada Santa Elena, y que fue la antecesora de EPM [12]. Aunque la maquinaria era 100% importada y los ingenieros que dirigían las obras eran extranjeros, los ingenieros colombianos aprendían de forma empírica, porque una cosa era tener los conocimientos académicos y otra muy diferente hacer el montaje de una máquina específica.

Antes de que entraran en vigencia estas hidroeléctricas, las empresas de energía habían hecho intentos de iluminar las ciudades colombianas, al menos en lo público, en Bogotá, Panamá y Medellín. En el caso específico de Medellín, el consumo de energía de Coltejer podía ser hasta el 48% de la energía generada, y con la construcción del sistema de tranvía eléctrico se inauguraron otras plantas de generación de energía [13]. Los logros de estos ingenieros llevaban orgullo a la región, al punto que en esa época se acuñaron frases como la que utilizó el bobo Marañas tras la inauguración del alumbrado eléctrico en Medellín un día, o mejor, una noche de 1898 [12]: *¡Ahora sí te fregaste luna; te vas a tener que ir a alumbrar a los pueblos!*

En 1930 el país contaba con 45 KW por cada mil habitantes, pero hoy la demanda ha aumentado sustancialmente al punto que se requieren 300 KW para los requerimientos energéticos de los mismos mil habitantes. Un hecho que sobresale en el desarrollo de la ingeniería en Colombia, es que la ciudad de Bogotá contó con energía eléctrica sólo 8 años después que Nueva York.

Otra área de injerencia ingenieril, las comunicaciones, se inicia formalmente en Colombia con la instalación del servicio telegráfico en 1865, un esfuerzo de la ingeniería por comunicar a las personas. Si bien el telégrafo y su sistema eran importados, se requirió personal colombiano para la operación y, al igual que con la electricidad, los ingenieros colombianos aprendían empíricamente. En 1847 el general Tomás Cipriano de Mosquera inicia gestiones con empresas inglesas para implantar un nuevo medio de comunicación, el telégrafo. En 1872 se abre en Bogotá la primera escuela telegráfica con seis estudiantes y se establece la comunicación telegráfica entre Bogotá y Zipaquirá. En 1873 se nombran las primeras mujeres telegrafistas y se implantan los protocolos en el secreto de los mensajes. El telégrafo agilizó las comunicaciones en el país, por ejemplo, en 1875 un terremoto destruyó Cúcuta y rápidamente todos los colombianos se enteran de la noticia gracias al telégrafo.

En 1878 se realiza la primera comunicación telefónica experimental en el país, pero sólo hasta 1885 empieza a funcionar como tal este servicio en Bogotá y Barranquilla y 1891 en Medellín. Para esa ápoca la cobertura aun no era muy amplia, por ejemplo, 1886 la central telefónica de Bogotá prestaba servicio a unos 500 abonados y en 1909 eran 1250 usuarios en toda Colombia. En 1916 se establece la empresa de teléfonos de Santander y el número de teléfonos en la nación asciende a 4473.

En este mismo campo de las comunicaciones, en 1945 se crea la Empresa Nacional de Radiocomunicaciones y en 1950 la Empresa Nacional de Telecomunicaciones Telecom; el servicio de televisión se inaugura en Bogotá en 1954 y para 1957 ya se cuenta con una televisión educativa en Colombia. En 1963 y en respuesta al decreto que especificaba que el servicio público de radiodifusión estaría a cargo del Ministerio de Comunicaciones y se prestaría por un establecimiento público con autonomía patrimonial y administrativa, se crea el Instituto Nacional de Radio y Televisión Inravisión. En 1968 y gracias a la ingeniería colombiana se emite la primera transmisión de televisión a color, un servicio que se inaugura con la visita del papa Pablo VI [14].

4. INGENIERÍA COLOMBIANA PARA EL MUNDO

Los ingenieros e inventores colombianos en el mundo tienen en general amplio reconocimiento, sin embargo, sus grandes logros son muchas veces desconocidos por los propios colombianos. A continuación, de describen algunos aportes de la ingeniería colombiana al desarrollo del mundo.

4.1 Arcadio

Se trata de un robot desarrollado para detectar y desactivar explosivos bajo tierra [15], a control remoto y que permite la remoción de explosivos sin poner en peligro la vida humana. Fue creado en la Universidad Javeriana de Bogotá y ha sido de invaluable colaboración en campos minados alrededor del mundo, donde las confrontaciones dejan miles de minas sepultadas que ponen en riesgo a civiles y militares [16].

4.2 Válvula de HAKIM

Es una válvula, invento del doctor Salomón Hakim, que les permite a los pacientes con hidrocefalia drenar el líquido cefalorraquídeo. Fue ideada y fabricada en su taller de la ciudad de Bogotá, para lo cual tuvo que aprender principios y saberes de varias ingenierías. Aunque existen otras válvulas similares, es mucho más eficiente y segura, al punto que fue patentado en Estados Unidos y se fabrica en muchos países del mundo [21, 22]

4.3 Marcapaso artificial externo con electrodos internos

El ingeniero electrónico colombiano Jorge Reynolds Pombo mejoró el marcapaso tradicional y desarrolló el Marcapaso Artificial con Electrodos Internos que genera impulsos transmitidos al corazón. En 2011 el doctor Reynolds anunció que en el futuro los marcapasos tendrían un tamaño equivalente a un tercio de un grano de arroz y que no necesitarían baterías; además, que podrían ser monitoreados desde Internet y se recargarían con la misma energía del cuerpo [17].

4.4 LASIK

José Ignacio Barraquer Móner, un médico oftalmólogo de origen español que desarrolló la mayor parte de su vida profesional en Colombia, desarrolló el Laser Assisted in Situ Keratomileusis LASIK, un aparato láser que se utiliza en cirugías refractivas para la corrección de miopía, hipermetropía y astigmatismo, con el objetivo es cambiar la curvatura del ojo [18].

4.5 Telescopio Tricaóptico

El profesor Carlos Albán, nacido en Popayán, fue un inventor, matemático médico, militar, político, periodista, abogado e ingeniero civil, que tuvo en su haber inventos como el ludión doble, el reloj universal y el telescopio

Tricaóptico, consideraba uno de los aparatos de visión a distancia más avanzados de su época [15].

4.6 Cartucho de seguridad

Es un inventó de la ingeniería militar colombiana previene accidentes por el uso de fusiles y que se ha implementado en el ejército colombiano. Se trata de una creación de Carlos Miguel Farías Malagón, militar colombiano, y consiste de una bala artificial de plástico que evita disparos accidentales. El cartucho es fácil de retirar, por lo cual muchos ejércitos a nivel del mundo desean invertir en este invento. El cartucho es amarillo y queda a la vista, para que tanto el soldado como el comandante lo puedan identificar fácilmente; además, según los militares del ejército colombiano, después de su implementación se han reducido los accidentes causados por la manipulación de fusiles [19].

4.7 Vibrasor

El Vibrasor fue inventado por las paisas Isamar Cartagena y Catherine Fernández, estudiantes de secundaria con dificultades auditivas, y es un aparato que permite transformar el pito de un carro o de una moto en señales lumínicas y de vibración a través de un dispositivo puesto en la muñeca [15]. Se trata de una manilla parecida a un reloj que comienza a vibrar antes señales de alarma como el pito de los carros, lo que promete ser de gran ayuda para las personas que sufren hipoacusia severa o sordera profunda. El objetivo de las inventoras es graduarse como ingenieras y, con el respaldo de Ruta N, generar una comunidad de científicos junior [20].

4.8 Robot aéreo para detectar minas antipersona

Dos estudiantes de Ingeniería de la Universidad Javeriana, Juan Pablo Rodríguez y Carolina Castiblanco, crearon el robot aéreo no tripulado UAV, diseñado para la detección de minas antipersona. El dispositivo emplea un sistema de reconocimiento visual para inspeccionar las minas que están visibles en el campo [21].

5. CAMPOS DE FORMACIÓN EN INGENIERÍA

De acuerdo con el ingeniero Gabriel Poveda Ramos [22] los campos o ramas de la ingeniería se agrupan en cuatro componentes de formación, tal como se observa en la Figura 2. Estos componentes permiten planificar alternativas de

decisión o de acción, llevando a la resolución de problemáticas generales y cotidianas relacionadas con el área de aplicación formativa del ingeniero.

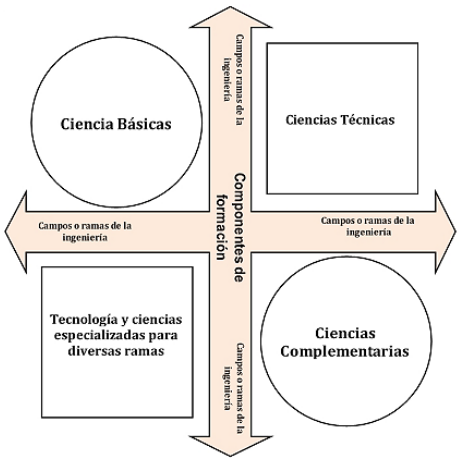


Figura 2. Componentes de formación en ingeniería

De acuerdo con este autor, en la Tabla 1 se relaciona la conformación de cada uno de estos componentes.

Tabla 1. Componentes de formación en la ingeniería

Campos de formación	Áreas que lo conforman
Ciencias básicas	Matemática, física, química y estadística
Ciencias Técnicas	Mecánica general, hidráulica o mecánica de fluidos, metalurgia, resistencia de materiales, termodinámica o termotécnica, electrotecnia general, fisicoquímica, geotecnia o mecánica de suelos, computadores, investigación de operaciones, geología
Tecnología y Ciencias especializadas para diversas ramas	Agrimensura, estructuras, fundaciones o cimientos, diseño estructural, metalografía, diseño de máquinas, procesos metalúrgicos, operaciones unitarias de fabricación, diseño de plantas, tecnología (o explotación) de minas, electroquímica, geofísica, análisis químico, procesos químicos industriales, arquitectura naval, radiocomunicaciones, tecnología electrónica, técnicas digitales, ergonomía, logística de materiales, hidrología, aerodinámica, meteorología, aerofotogrametría, teoría de la elasticidad, oceanografía, geodesia
Ciencias Complementarias	Economía general, administración

De acuerdo con Poveda, estas son las áreas de formación con las cuales se debería preparar al profesional en ingeniería para competir fuera de la academia, conforme a su campo de actividad, lo cual aporta al fortalecimiento de las siguientes capacidades:

- Razonamiento lógico
- Toma de decisiones
- Proposición
- Desarrollo de las dimensiones de razonamiento

- Argumentación
- Interpretación
- Fluidez verbal y escrita
- Comprensión lectora
- Comunicación interpersonal
- Trabajo colaborativo
- Trabajo multidisciplinario
- Compromiso ético
- Compromiso ambiental
- Emprendimiento
- Desarrollo social
- Responsabilidad social
- Investigación
- Uso de las tecnologías
- Liderazgo
- Originalidad
- Análisis y gestión de la información
- Iniciativa
- Elaboración y ejecución de propuestas de solución
- Manejo de personal
- Gestión de procesos

El desarrollo tecnológico es uno de los aspectos que ha venido a fortalecer el campo de acción del ingeniero, desde un proceso social y cultural. Gabriel Poveda y en relación con la tecnología afirma lo siguiente:

> *La tecnología moderna apareció en Colombia y en América Latina, no como resultado de un proceso endógeno de producción autóctona de aquélla, ligada a un desarrollo también autóctono de formas de producción (como fue el caso en Europa y en Estados Unidos), sino como un componente implícitamente contenido en los inventos extranjeros que se iban incorporando a la vida de nuestros países en su difícil y lento desarrollo para integrarse a la economía mundial y para ampliar su actividad económica. La enseñanza y el ejercicio de la ingeniería surgieron como un requisito interno para poder aplicar la tecnología mundial que se importaba. Así sucedió en Colombia, donde si bien la ingeniería civil apareció con la Comisión Corográfica, luego se consolidó con el proceso de construcción de ferrocarriles en el último tercio del siglo XIX.*

Es así que a desde mediados del siglo XIX el mundo tecnológico entró a impactar en los diversos campos de la ingeniería colombiana, posibilitando la

transformación de supuestos en realidades ejecutables y contribuyendo al avance científico. A este respecto Jorge Dettmer [23] afirma que muchos de los logros obtenidos en el transcurso de los tiempos han sido gracias a la existencia de la ingeniería, la cual abrió las puertas a la creación de nuevos retos que han revolucionado el mundo tecnológico. Así mismo, de acuerdo con Poveda [22] en Colombia se hace reconocimiento al trabajo de los ingenieros desde diferentes campos. En la Tabla 2 se relacionan algunos de los premios otorgados al ejercicio de la ingeniería en el país.

Tabla 2. Premios otorgados a los ingenieros colombianos

Reconocimiento	Detalles
Premio Nacional de Ingeniería	Creado por la Ley 100 de 1937, es meritorio de este premio el ingeniero colombiano que se haya destacado en altos cargos directivos dentro del país en el año anterior a la otorgación del estímulo
Premio Manuel Ponce de León	Otorgado por la Sociedad Colombiana de Ingenieros es un reconocimiento a la excelencia de los egresados de la Universidad Nacional de Colombia.
Premio Lorenzo Codazzi	Este premio se le otorga al autor del mejor trabajo que tienda al conocimiento del país
Premio Diodoro Sánchez	Para ser meritorio a este premio el ingeniero colombiano debe haber terminado sus estudios en el país. Se le otorga a aquel Ingeniero que se destaque por obras y publicaciones de libros sobre asuntos técnicos, económicos o históricos direccionados a la Ingeniería del país
Premio Enrique Morales	Se le otorga al ingeniero que se destaque por la elaboración del mejor trabajo sobre Electrónica y obras de Ingeniería Eléctrica en del país
Premio Fundadores S.C.I.	Otorgado por la Sociedad Colombiana de Ingenieros a aquel profesional, Sociedad o Asociación Regional que se haya destacado por trabajo continuo, su alto grado de cooperación, iniciativa, ejecutorias a favor de la Ingeniería colombiana
Premio Guillermo González Zuleta	Premio que se le otorga al ingeniero o empresa de ingeniería que se haya destacado por ejecutar los diseños, o la construcción de una o varias obras de excelencia, reconocidas en el diseño o construcción de estructuras, en las categorías metálica, de concreto reforzado, preesforzado o de materiales compuestos
Premio Lino de Pombo	El requisito para obtener este premio es que el postulante obtenga el mayor promedio académico entre sus compañeros de grupo. Lo cual es aceptable en cualquiera de los dos últimos semestres de la carrera.
Beca Emilio Robledo Correa	Premio que se le entrega a aquel estudiante que se destaque por su excelente promedio académico desde su ingreso hasta el sexto semestre del programa de Ingeniería Civil de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
Medalla al mérito ciudadano	Para ser acreedor a este premio el ciudadano nacional o extranjero debe haberse destacado por sus ejecuciones y logros en bien de la comunidad y de la ingeniería colombiana
Premio I^{n}NGENIO	El premio se otorga anualmente durante la Conferencia Internacional de Ingeniería I^{n}NGENIO, y su objetivo es reconocer y exaltar la labor de un ingeniero, colombiano o extranjero, en pro del desarrollo y el progreso de la Ingeniería

6. INGENIERÍA SIGLO XXI EN COLOMBIA

No se puede negar que la ingeniería realiza innumerables aportes al desarrollo tecnológico de los países y el mundo, y Colombia no es la excepción. Además, y gracias a los desarrollos tecnológicos, la humanidad avanza en el camino de su existencia. A su vez, ambas áreas van unidas a las evoluciones científicas del conocimiento, que buscan el mejoramiento de la calidad de vida del hombre y resolver los cada vez más complejos problemas de la sociedad.

En ningún otro siglo precedente se ha podido disfrutar más de esta relación en el actual, porque los inventos científico-ingenieriles-tecnológicos le han brindado a la humanidad una vida más práctica y recursiva, al mismo que tiempo que le facilitan el desarrollo actividades cotidianas. Es aquí donde los ingenieros adquieren mayores responsabilidades, porque que sus contribuciones deben ir más allá de las expectativas que tenían y discutían los ingenieros del siglo pasado. Por consiguiente, para el ingeniero el siglo XXI está lleno de retos, responsabilidades, metas trazadas o por trazar, que lo llevan a asentar su sello personal dentro de la evolución y para abrir nuevas puertas a las generaciones que deseen participar de los avances ingenieriles, por supuesto, en función de dejar su sello en la evolución del conocimiento científico.

De acuerdo con Amparo Camacho Díaz y Mayilin Moreno Torres [24], para 2020 o 2025, el 40% de la fuerza de trabajo estará en un empleo distribuido y la inteligencia artificial florecerá como ayuda para los profesionales, como asistente de los trabajadores, como reemplazo en los trabajos rutinarios y como herramienta de enseñanza y entrenamiento. Además, y según Yaiza Martínez [25], en el siglo XXI se enfrentarán 14 retos principales que deberá resolver la ingeniería:

1. Conseguir que la energía solar sea accesible
2. Suministrar energía a partir de la fusión
3. Desarrollar métodos de secuestración del carbono
4. Gestionar el ciclo del nitrógeno
5. Suministrar acceso al agua potable
6. Restaurar y mejorar las infraestructuras urbanas
7. Avanzar en la informática para la sanidad
8. Diseñar mejores medicamentos
9. Hacer ingeniería inversa del cerebro

10. Prevenir el terror nuclear
11. Proteger el ciberespacio
12. Enriquecer la realidad virtual
13. Avanzar en el aprendizaje personalizado
14. Diseñar herramientas para el descubrimiento científico

Teniendo presente todos los temas tratados en el capítulo se observa que la ingeniería, desde sus diversas ramas, ha aportado a la evolución social y científica del país, y que seguirá contribuyendo con el avance tecnológico nacional en la medida que la universidad, la industria y el estado asuman esta disciplina como baluarte del progreso alcanzado y del que se plantea a futuro.

7. CONCLUSIONES

Desde mediados del siglo XIX hasta hoy la ingeniería colombiana ha venido marcada de prometedores avances que, en su mayoría, han contribuido en la mejora de la calidad de vida del ser humano. Sin embargo, es claro que este siglo está lleno de retos más exigentes, porque el avance de la tecnología, la ciencia y la evolución del conocimiento científico conformarán la columna vertebral de los nuevos caminos que soportarán la ingeniería del futuro. Este progreso de la ingeniería se sincroniza completamente con el desarrollo de la tecnología y, por supuesto, con la evolución científica del conocimiento, lo cual le exige al ingeniero de hoy desarrollar capacidades globales para aportar a la transformación y crecimiento del país.

La creatividad de los ingenieros colombianos los ha llevado a destacarse como profesionales competitivos en el mundo, donde sus inventos y descubrimientos han beneficiado a la humanidad en diferentes momentos de la historia. Por eso Colombia, como tantos otros países, es un territorio de oportunidades, principalmente para aquellas personas que tienen la visión y la lógica para aportar al crecimiento tecnológico, científico y cultural, desde cualquiera de las ramas ingenieriles.

La sociedad colombiana es una mezcla de culturas que desde sus inicios ha influenciado los diferentes campos del conocimiento, entre ellos a la ingeniería. Se pueden mencionar influencias de españoles, franceses e ingleses, pero también de pueblos del medio oriente. Pero en el afán de construir una identidad propia, desde el siglo XIX el estado se motivó a crear academia que les permitiera a los futuros ingenieros adquirir la experiencia y el conocimiento necesario para soportar el desarrollo del país.

Estos ingenieros les hicieron frente a las necesidades desde entonces, principalmente en la construcción de líneas férreas, puertos, carreteras, puentes y edificios públicos y construcciones privadas. En la misma medida que el mundo se desarrollaba, Colombia buscó la manera de construir experiencia propia en ingeniería, al punto que en este siglo la dependencia de extranjeros prácticamente se ha desvanecido.

REFERENCIAS

[1] Universia (2017). Las 20 carrreras universitarias con mayor demanda y mejor pagadas en Colombia. Online [Jun 2017].

[2] Rangel, J. & Aguilar, P (1995). Una aproximacion sobre la diversidad climatica en las regiones naturales de Colombia. En Rangel, J. (Ed.), Colombia Diversidad Biótica. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales.

[3] Moscoso, M. (2004). Enseñanza e ingeniería en Colombia el caso de la escuela de ingenieros de la Universidad Nacional 1867-1890. Memoria y sociedad 8(17), 62-724.

[4] Biblioteca Luis Angel Arango (2005). Catálogo del Archivo de la Guerra Civil de 1876. Online [Jun 2017].

[5] Londoño, R. (2011). Aportes y perspectivas de la ingeniería en el desarrollo humano en Colombia. Revista Épsilon 16, 11-30.

[6] Cochrane, W. (1958). Farm Prices, Myth and Reality. Minnesota: University of Minnesota Press.

[7] Jaramillo, J. et al. (2015). La Gran Depresión en Colombia: Un estímulo a la industrialización, 1930-1953. Bogotá: Banco de la República.

[8] Brando, C. (2012). The political economy of financing development: Credit, capital, and industrialization. Colombia, 1940-1967. PhD thesis, The London School of Economics and Political Science.

[9] Coltejer. Historia. Online [May 2017].

[10] Fabricato. Historia. Online [may 2017].

[11] Vélez, L. (2011). Breve historia del sector eléctrico colombiano. Online [Jun 2017].

[12] Cardenas, H. (2012). Llega la luz a Medellín. Online [Jun 2017].

[13] Gutiérrez, M. (2013). Historia de las telecomunicaciones en Colombia. Online [May 2017].

[14] Pedraza, E. (2016). Ocho inventos de colombianos para la humanida. Online [May 2017].

[15] El Tiempo (2016). Este año, minas antipersonas ya dejan 74 víctimas en el país. Online [Jun 2017].

[16] Segura, J. (1968). Un hombre de corazón que se dio de lleno al estudio del cerebro. Life en Español 31(10), 46-57.

[17] Reynolds, J. (1988). 30 años de la estimulación cardiaca en Colombia. Bogotá: Andes.

[18] Medlineplus (2016). Cirugía ocular LASIK. Online [May 2017].

[19] El Tiempo (2007). Salvavidas que evita los tiros accidentales. Online [Jul 2017].

[20] Redacccion Vivir (2013). Jóvenes paisas inventan un dispositivo de alerta para sordos. El Espectador. Online [May 2017].

[21] Rodriguéz, D. (2017). Los 15 inventos colombianos más importantes. Online [Jul 2017].

[22] Poveda, G. (2009). La Ingenieria en Colombia. Revista Digital Lámpsakos 1(1), 35-46.

[23] Dettmer, J. (2003). Ciencia tecnologia e ingenieria. Revista de la educacion superior 32(128), 81-93.

[24] Camacho, A. & Moreno, M. (2005). Avances en ingeniería y retos en la educación del ingeniero del siglo XXI. En Third International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology LACCEI. Cartagena, Colombia.

[25] Martínez, Y. (2008). La ingeniería del siglo XXI se enfrenta a 14 desafíos principales. Online [Jun 2017].

CAPÍTULO 10

Ingeniería Ética

Edgar Serna M.[1]
Alexei Serna A.[2]
[1] *Universidad Autónoma Latinoamericana*
[2] *Instituto Antioqueño de Investigación*
Medellín, Antioquia

Los ingenieros son creativos, innovadores y ejecutores de ideas; inventan nuevas tecnologías y ayudan a hacer que las ideas de otros también funcionen; son capaces de resolver problemas de forma creativa y enfrentar igualmente los nuevos y complejos. La ingeniería ha tenido grandes triunfos en la creación de sistemas en la vida moderna, pero ha tenido menos éxito en anticipar y hacerles frente a las consecuencias negativas de los mismos. Por eso es que la creatividad tiene responsabilidades. En algunas circunstancias esta profesión idea soluciones que abordan necesidades aparentemente contradictorias y en otras debe poner de manifiesto las implicaciones éticas en la fabricación de sistemas y tecnologías, que pueden ser nocivas para la humanidad. Pero mientras la sociedad comprende cómo se desarrollan y utilizan las tecnologías, es posible que se le presenten opciones para aprobar o rechazar la labor ingenieril. Esto significa que los ingenieros están en una posición de responsabilidad, honestidad e integridad para crear soluciones, que influyan positivamente en la sociedad a la vez que resolver éticamente sus problemas y preocupaciones. En este capítulo se discute la *ingeniería ética* como un componente fundamental de la labor ingenieril y se hace un análisis a su relación con las responsabilidades profesionales de los ingenieros.

1. INTRODUCCIÓN

El tema de la ética en la ingeniería no es nuevo y en todo el mundo se observa un incremento de publicaciones al respecto [1-3], pero todavía carece de una definición aceptada por todos los actores y, en la mayoría de los casos, su alcance sigue siendo incierto. Sin embargo, en los códigos de conducta promulgados por las asociaciones de ingenieros en todos países se encuentra

---

[1] Ingeniero de Sistemas, Ms.C. en Ingeniería, Ph.D. en Pensamiento Complejo, Científico Computacional Teórico. *eserna@eserna.com*
[2] Ingeniero de Sistemas, Ms.C (c) en Ciencias, Tecnología y Sociedad, Investigador senior. *alexei.serna@fundacioniai.org*

un resumen adecuado de los objetivos prácticos de la ética como asignatura, algunos de los cuales se refieren expresamente a los principios éticos de la profesión. Si bien existen diferencias materiales entre los códigos institucionales individuales, todos aparecen dirigirse principalmente al interés público, mientras que su interés particular se acerca más a la seguridad y a evitar daños al medio ambiente. Pero un análisis a las obligaciones jurídicas contraídas por los ingenieros, demuestra que los códigos suponen o exigen deberes más allá de los que aplican directamente, que probablemente van en su contra o en la de otras personas.

Aun así, parece que hay poco en común en la evolución de la ingeniería ética en las diferentes naciones. Por ejemplo, aunque no se conoce un estudio sistemático es evidente que por más de dos décadas los avances en los EE.UU. han sido dirigidos por acciones judiciales relativas a intervenciones o escritos de *amicus curiae*; en Canadá y Australia el desarrollo se ha producido a través de procedimientos disciplinares individuales; en el Reino Unido hay pocos casos de tales acciones y, en América Latina, esta cuestión parece ser sólo para algunas profesiones ingenieriles y no para su totalidad. Queda claro que hasta ahora nadie se ha pronunciado en favor de un aprendizaje colectivo, o posee la experiencia para formar la base de un estudio de la ingeniería ética. Esto contrasta, por ejemplo, con el campo de la bioética médica, en la que muchos de los casos que involucran cuestiones éticas han sido llevados inclusive a los tribunales. En el campo de la ingeniería en general las cuestiones éticas se identifican como algo que surge de diversas situaciones recurrentes, y el análisis y la resolución de las mismas se aborda de manera *ad hoc* con no más que principios generales como orientación. Estas cuestiones son importantes y ameritan un estudio sistemático y la presentación de informes respectivos.

En este capítulo se presenta un análisis a la ingeniería ética con una visión crítica a los dominios y alcances que influencian a una y otra. Se parte de una definición de la misma en la que se describe su ámbito de aplicación, posteriormente se analiza desde la óptica de las profesiones y luego se presenta un dimensionamiento en la ingeniería; finalmente, se describen algunos principios de aplicación práctica de la ética en la ingeniería.

2. LA ÉTICA DEFINIDA

Generalmente, se acepta que la ética carece de definición y alcance, pero es apropiado considerar estas dos cuestiones y señalar que una visión del

concepto de la ingeniería ética involucra amplias consideraciones de conciencia social [4]. Los defensores de esta interpretación aceptarían que, necesariamente, fusiona los campos de la sociología, la filosofía y la política, lo que constituye el fondo de muchos de las publicaciones [5]. Esta amplia interpretación se basa en la filosofía en general, particularmente en las obras de Hume y Bentham y conforma una rama denomina *ética aplicada* [6]. Sin pretender disminuir la importancia de la ética en la filosofía, los principios que dependen del juicio filosófico probablemente sean de poca utilidad para los ingenieros. Se sugiere adoptar una definición más estrecha y ligada a los objetivos establecidos en los códigos de comportamiento de las asociaciones de ingeniería, donde se establecen y consideran acciones apropiadas acerca de la ética, que sus asociados deben respetar en la práctica profesional. La cuestión se podría llamar *ética profesional* y ser vista como la definición de los principios que subyacen en el concepto de la buena práctica profesional de la ingeniería.

Por otro lado, en la mayoría de los países la ingeniería ética no se ha desarrollado al mismo ritmo y, aunque no ha sido posible encontrar un modelo claro para emular, hay lecciones de experiencias aprendidas que vale la pena tener en cuenta. Aunque un desarrollo unificado es difícil debido a la diversidad estructural de cada nación, se puede esperar que en cierta medida sigan el trabajo que se desarrolla en la ética médica [7], que se origina en las recomendaciones de órganos disciplinares y se basa en el marco judicial. Lo que parece claro es que cualquier intento por definir y aplicar la ingeniería ética depende de las actitudes y las acciones de las asociaciones ingenieriles y, aunque no son la fuente disciplinar de la misma, no habrá ninguna utilidad práctica en el deber ético a menos que la institución responsable esté dispuesta a reconocerla y ejecutarla mediante acciones apropiadas. Aun así, es necesario hacer hincapié en que las normas éticas de cualquier profesión son para sus miembros y que, preferiblemente, se deben establecer sin la intervención judicial u otras influencias externas.

Hay que aclarar que esta definición no abarca, por ejemplo, a la ética de la energía nuclear en comparación con las fuentes de energía renovables. Estos son temas neurálgicos que plantean cuestiones éticas y morales tanto para los ingenieros como para el público en general, y los deberes éticos en estas situaciones obligan a los ingenieros a involucrarse en el debate, a presentar hechos técnicos completos y directos, y a abstenerse de comunicar datos

sesgados apoyando un determinado punto de vista. Lo mismo se aplicaría a las instituciones y asociaciones de ingeniería, porque no es su función ejercer acerca de cuestiones morales o políticas, sino asegurar que la información que se presente al público sea precisa y equilibrada, que es el deber de cualquier especialista en cualquier profesión.

2.1 Ámbito de aplicación de la ética

Un estudio a los códigos institucionales de conducta indica que, además de la obligación principal contraída con el cliente, refieren cuestiones éticas en términos de obligaciones más amplias, principalmente relacionadas con el público interesado. Estos códigos hablan de un deber de *salvaguardar* o *tener plenamente en cuenta* el bienestar público, y muchos se refieren a cuestiones de salud, seguridad y medio ambiente, aunque mencionan otros específicos. Una consideración importante aquí es la relación entre los deberes éticos y los deberes legales reconocidos, porque se trata de áreas en las que ambos se podrían considerar superpuestos. Pero es claro que la existencia de un deber legal a *fortiori* no afecta la existencia de un deber ético relacionado, aunque pueda surgir la cuestión de las revisiones paralelas relacionadas.

En este sentido, los principios éticos deben influenciar la totalidad de las funciones y actividades de los ingenieros, lo mismo que sucede en otras profesiones. Porque en la práctica gran parte del trabajo ingenieril implica la concepción y ejecución de soluciones a problemas técnicos o de gestión, en los que las consideraciones éticas deben dictar, por lo menos, el cumplimiento de normas apropiadas de diseño y de rendimiento en general. Estos deberes son propensos a alinearse estrechamente con los legales contraídos con el empleador o cliente, por lo que, generalmente, se considera que la aplicación de las normas éticas es apropiada solamente en casos graves, como cuando las sanciones legales se consideran insuficientes. Aunque en la mayoría de países las asociaciones ingenieriles impulsan procedimientos para eliminar o reducir las sanciones en casos de faltas graves, algo que se considera anti-ético.

Más controversial es la aplicación de los principios éticos que crean potenciales conflictos entre los intereses comerciales del empleador o cliente y los de los demás, y ni que decir de las situaciones en las que un deber ético involucra a comunidades enteras. En estos casos hay que tener en cuenta y aplicar acciones responsables en aspectos técnicos de seguridad, como en el caso de

los accidentes ferroviarios y los desastres de la industria del petróleo y la química que, probablemente, sean los más investigados minuciosamente y donde se interponen procesos penales contra los presuntos culpables. Pero el nivel de complejidad de las cuestiones involucradas no debe impedir una mayor investigación sobre si los ingenieros, con independencia de las causas penales, han dejado de cumplir con sus deberes éticos para con el público.

3. PROFESIONES Y BIENESTAR PÚBLICO

La esencia de la conducta y las normas profesionales es que encarnan más que la lucha en defensa de los intereses del cliente o del profesional, y esta noción indica la existencia de obligaciones más importantes como el reconocimiento del impacto que tiene una actividad profesional en la sociedad. Las profesiones que justifican esta descripción comparten como objetivo la conservación del bienestar público y la naturaleza del mismo en función de sus actividades. Por ejemplo, el bienestar en la profesión médica es obvio, si bien ahora se reconoce la participación de conflictos éticos como la asignación limitada de recursos [7]. Obviamente, la profesión del ingeniero se desarrolla en condiciones diferentes, excepto tal vez porque, generalmente, evita el debate público sobre sus códigos de ética.

Un punto de partida convencional para un debate sobre cuestiones de bienestar público, podría examinar las normas de conducta profesional y los procedimientos para el mantenimiento de los estándares en la profesión. Sin embargo, estas normas y procedimientos no se pueden considerar definitivos, porque existen consideraciones que determinan la naturaleza de cada actividad profesional y desde las que deben derivar su relevancia y autoridad las normas en vigor. La tarea de los organismos profesionales debe ser identificar y reflexionar sobre esas reglas de conducta y sobre los procedimientos que exige la sociedad a la profesión. Si estos organismos se quedan atrás en este papel corren el riesgo de volverse irrelevantes, porque el público en sí mismo se puede convertir en una fuerza conductora que se expresa a través de acciones judiciales o mediante la intervención del Estado en nombre de la sociedad.

Pero una cosa es exigirles a los ingenieros que salvaguarden el bienestar público y otra muy diferente que tomen las decisiones necesarias en circunstancias particulares. Aún más difícil es definir cómo deberían actuar para salvaguardar el bienestar público en circunstancias, por ejemplo, de un

desastre inminente. Además de los problemas de interpretación hasta el momento ningún código consultado detalla los procedimientos que debe ejecutar un ingeniero al momento de cumplir con su deber social. Es evidente que tal deber no está alineado con las obligaciones legales [2], pero no se puede esperar una orientación directa desde los tribunales, porque para tomar una decisión su función principal es revisar la imparcialidad de los procedimientos disciplinares, en lugar de las razones detalladas. Lo que queda claro hasta ahora es que las normas y la conducta pertinentes, que se espera de los ingenieros, deben ser determinadas por la propia profesión a través de un adecuado sistema de conducta ética, y ahí radica el desafío al que se enfrentan las asociaciones de ingeniería. Por otro lado, la confidencialidad ha impedido que las decisiones se pongan a disposición pública como fuentes de orientación, porque solamente se publica la propia decisión, no las razones. Pero el impacto progresivo de los Derechos Humanos y el reconocimiento de la necesidad de transparencia debería hacer más accesible este tipo de material, de esta forma la sociedad podría hacer juicios de valor al ejercicio profesional de la ingeniería.

3.1 Ética y profesiones

¿Por qué la ética es una parte integral de la vida profesional y, particularmente, de los ingenieros? La importancia de la misma en las profesiones se puede entender mediante el raciocinio de *¿qué es ser profesional?* Pero el término *profesional* es difícil de definir, incluso para profesiones tradicionales como la medicina o la ingeniería, sin embargo, la sociedad está generalmente de acuerdo en las características comunes que debe compartir todos los profesionales:

- Poseer habilidades y conocimientos especializados
- Adquirirlos a través de un largo período de formación y estudio, y mantenerlos y actualizarlos a través de la vida profesional
- Como resultado de esta experiencia especializada poseer la capacidad significativa para impactar la sociedad
- Pertenecer a una asociación profesional que regule su práctica
- Como parte de esa autorregulación adherirse a los principios éticos que supervisa la asociación

Por otra parte, la experiencia de los profesionales y los dominios sobre los que la ejercen les dan la potestad de mejorar el bienestar de las personas, o de

causarles daños significativos. Esto quizás sea más evidente en el caso de los médicos, porque sus acciones pueden salvar vidas, causar la muerte o afectar la calidad de vida de muchas maneras. Un paciente tiene que saber que un profesional médico está técnicamente capacitado, pero también que emitirá juicios éticamente informados para su tratamiento, que actúa con consentimiento, que mantiene la confidencialidad, que persigue un interés superior, y así sucesivamente. Pero mientras las acciones de un profesional médico generalmente afectan solamente a pacientes individuales, las de los ingenieros tienen el potencial de impactar a cientos o miles de personas.

Como resultado de este poder sumido en sus habilidades la sociedad deposita su confianza en que lo ejerzan sabiamente, por lo que el compromiso de utilizar la experiencia en la búsqueda del bienestar público debe ser común a todas las profesiones. Esto constituye un papel fundamental para la ética, porque la adhesión de los profesionales a sus principios y responsabilidades es fundamental para emitir juicios, con los que logran la confianza del público que les proporciona razones para mantenerlos en el tiempo.

En definitiva, ser profesional trae privilegios significativos en términos de los efectos del ejercicio sobre los demás, ya sea mediante el acceso a su información o a la capacidad de afectar sus necesidades e intereses. Lo que pasa es que esos privilegios también acarrean responsabilidades importantes, por lo que las profesiones y los organismos profesionales necesitan ganarse continuamente el derecho a ser encargados de esas responsabilidades, mostrando que ejercen éticamente.

4. ÉTICA E INGENIERÍA

Los ingenieros inventan y crean el futuro y, para bien o para mal, su trabajo tiene el potencial de afectar la vida de millones de personas. Esto plantea enormes problemas éticos en todas las disciplinas consideradas ingenieriles, aunque el privilegio de contar con las habilidades y los conocimientos para contribuir a áreas tan importantes de la vida, conlleva claramente la necesidad de mantener un juicio ético prudente en el ejercicio de la profesión [4]. Por ejemplo, y como señala Richard Bowen [5], los ingenieros juegan un importante papel en diversos aspectos de la vida humana: 1) pueden proporcionar soluciones para mejorar la gestión y el tratamiento de los recursos hídricos, porque en un mundo en el que una proporción significativa de la población mundial no tiene agua potable ellos tienen la capacidad de hacer mucho bien;

2) son actores importantes en la industria de defensa y, al estar al servicio de preservar la seguridad de las personas, tienen muchas responsabilidades, pero igualmente las armas puede ser utilizadas para causar un daño considerable; 3) cuando una persona cruza un puente necesita estar seguro de que los ingenieros han equilibrado sabiamente la importancia primordial de su seguridad con las exigencias de la construcción, dentro de los costos y logrando un resultado estético agradable pero seguro; 4) la ubicación de un proyecto minero requiere buen juicio, porque se deben tener en cuenta los impactos ambientales y cumplir adecuadamente los requisitos técnicos y comerciales; y 5) los recursos materiales y energéticos se utilizan en la producción, el envasado y la distribución de productos que diseñan los ingenieros, por lo que deben tener en cuenta la sostenibilidad de sus métodos y ser responsables y estar conscientes de todas las consecuencias, por lo tanto, están obligados a actuar adecuadamente a la luz de las mismas.

Además, a través de una amplia gama de actividades humanas los profesionales de la ingeniería tienen que ganarse y reflejar confianza. El juicio ético es tan importante para ellos como para cualquier otro profesional, pero ¿cómo diferenciar la ética del sentido común? Hay muchos ejemplos concretos que muestran que las personas inteligentes y con buen sentido común pueden estar en desacuerdo acerca de los aspectos éticos. A menudo se afirma que los dispositivos electrónicos modernos para vigilancia son valiosos en la lucha contra la inseguridad, pero las personas no están de acuerdo acerca de cómo se les garantiza su privacidad. Inclusive, algunos ven la producción de energía eólica como una forma ambientalmente sostenible para satisfacer las necesidades de electricidad, pero otros afirman que el impacto de las grandes turbinas en el paisaje es perjudicial para el medio ambiente.

Estos casos proporcionan una prueba de los límites del sentido común en relación con la ingeniería ética. Por otro lado, muchos se interrogan si estos casos demuestran que las cuestiones éticas son meramente subjetivas, con respuestas correctas o incorrectas, aunque solamente demuestran que no siempre es tan obvio qué es una respuesta correcta, porque incluso los dilemas más difíciles tienen respuestas erróneas. Este es el caso de que mantener a todos los ciudadanos en las casas las veinticuatro horas del día no es un método que garantice su seguridad, o que no debería permitirse la extracción de minerales sin regulación. Por eso es que identificar cursos de acción equivocados no es cuestión de opinión, cuando el objetivo es demostrar que

se pueden identificar las consideraciones clave para llegar a juicios éticos, y de usar la razón en su despliegue.

5. INGENIERÍA ÉTICA EN LA PRÁCTICA

5.1 Precisión y rigor

Los ingenieros tienen el deber de garantizar que adquieren y utilizan, sabia y fielmente, el conocimiento relevante que requieren para desarrollar las habilidades ingenieriles necesarias en su trabajo, y que las ponen al servicio de los demás.

Probablemente la razón más obvia para que la precisión y el rigor sean importantes para los ingenieros es que aseguran mejores soluciones ingenieriles, de la misma manera que las imprecisiones y la falta de cuidado pueden significar el fracaso de los proyectos, lo que, en muchos casos, significa pérdidas financieras, accidentes, lesiones y hasta la muerte de personas. Ser profesional también implica ser honesto acerca del nivel y las áreas de competencia, y no aceptar trabajos en áreas para las que no se está preparado o para las que no se poseen las habilidades, destrezas y capacidades necesarias. La tentación de hacer esto se puede generar por consideraciones comerciales, como cuando una empresa hace una oferta en una licitación lucrativa a pesar de que sus profesionales no tienen las habilidades y los conocimientos técnicos requeridos.

El riesgo aquí es que los ingenieros van a cometer errores que, potencialmente, pueden ser catastróficos y no sabrán cómo evitarlos. Pero si utiliza sus habilidades especializadas dentro del área de experiencia puede hacer una contribución importante y positiva a la sociedad. Sin embargo, es importante señalar que muchos proyectos de ingeniería son nuevos y requerirán habilidades y métodos no probados previamente; por eso, en estos casos, es deber de la ingeniería asegurar que se gestionan los riesgos y que se toman las medidas para permitirles a los equipos adquirir las habilidades, las destrezas y las capacidades apropiadas. Pero, sobre todo, el ingeniero debe ser honesto acerca del desconocimiento que posee.

Por otro lado, los ingenieros también tienen el deber específico de mantenerse al día acerca del conocimiento en su campo disciplinar, porque la sociedad confía que les solucione sus problemas actuales y futuros. Además, deben ser conscientes del valor que tiene su opinión profesional y nunca darla a la ligera o sobre la base de pruebas insuficientes. Si la opinión de un ingeniero es errónea puede ser considerado responsable de las consecuencias negativas de

las medidas adoptadas sobre la base de la misma y, a pesar que desde su posición como *experto* y sin saberlo haya utilizado información inexacta, seguirá siendo responsable de tales acciones. Los conflictos de interés también pueden influir en la precisión de su opinión, por lo que deben asegurar que es objetiva y correcta con base en el conocimiento que poseen y a la evidencia disponible, o si podría haber otras consideraciones que influyan en su juicio, como las consideraciones comerciales o la lealtad a un empleador. Para destacar en este principio:

- Siempre actuar con esmero y competencia
- Realizar funciones solamente en las áreas para las cuales ha desarrollado suficientes habilidades, destrezas y capacidades
- Actualizar permanentemente sus conocimientos y ayudarle a los demás a lograrlo
- No inducir adrede al engaño o permitir que otros lo sean en cuestiones ingenieriles
- Presentar y revisar las evidencias y teorías de la ingeniería haciendo interpretaciones honestas, precisas y sin prejuicios
- Identificar, evaluar y, de ser posible, cuantificar los riesgos

5.2 Honestidad e integridad

Los ingenieros deben adoptar los más altos estándares de conducta profesional a la vez que imparcialidad, integralidad y honestidad.

La honestidad y la integridad son dos conceptos distintos, pero estrechamente relacionados, por lo que es difícil imaginar a alguien que exhiba uno sin el otro. Por eso, si alguien es deshonesto es poco probable que se describa como íntegro. Los ingenieros tienden a trabajar en beneficio de personas diferentes y en muchos casos tienen la obligación de mantenerlas informadas de los hechos pertinentes, lo más completo y exacto que se pueda. La honestidad no es simplemente una cuestión de no mentir, y a veces los ingenieros tienen que revelar información no solicitada directamente que, en muchos casos, las personas pueden no querer oír. En otros, como cuando existe el deber de mantener la confidencialidad para un cliente, puede no ser ético revelar información que lo ponga en alguna situación de riesgo. En estos casos el hecho de no divulgar necesariamente no sería deshonesto.

La integridad es un concepto más difícil de definir, porque tiene que ver con actuar éticamente incluso cuando no hay ninguna ventaja personal para

hacerlo. Una persona íntegra se resistirá a la presión que compromete sus valores y principios éticos, ya sea que provenga de los empleadores, los clientes o de cualquier otro lugar. Además, toma medidas para evitar el conflicto de intereses y, cuando no es posible, los expone claramente y hace todo lo posible para evitar una influencia indebida. Las personas con integridad son consistentes y fiables, y sus acciones coinciden con sus palabras. Para algunos la integridad también puede significar *reputación ante todo* y tratan de cambiar las prácticas y las actitudes que parecen menos éticas, lo que podría significar tratar de influir para mejorar las prácticas de un empleador, de la profesión o, incluso, de la sociedad en general. Un ingeniero debería tomar medidas para prevenir la corrupción o la mala conducta profesional y no simplemente evitar caer en estas prácticas de forma individual. Para destacar en este principio:

- Estar alerta a las formas en que su trabajo podría afectar a otros y respetar debidamente los derechos y la reputación de los demás
- Evitar actos engañosos, tomar medidas para prevenir prácticas corruptas o de mala conducta profesional y declarar todo conflicto de intereses
- Rechazar el soborno o la influencia inadecuada
- Actuar para cada empleador o cliente de manera fiable y digna de confianza

5.3 Respeto por la vida, el derecho y el bien común

Los ingenieros están obligados a emprender acciones orientadas a respetar y preservar la vida, el derecho y el bien común, y evitar que otros lo hagan.

Probablemente este sea el más amplio de los principios éticos y podría decirse que es el que abarca las cuestiones comúnmente asociadas con la ingeniería ética. Obviamente, todas las personas tienen responsabilidades generales para la vida, el derecho y el bien común, pero el ingeniero tiene determinadas responsabilidades profesionales para protegerlos y defenderlos. Muchas discusiones sobre la ingeniería ética se centran en los grandes accidentes donde mueren o se lesionan personas, particularmente en casos en los que parece que no se tratara de algún tipo de negligencia. De hecho, cuando Michael Davis [8] considera la cuestión de qué significa pensar como un ingeniero, su conclusión es que el principio de garantizar la seguridad de los demás es tan importante para la ingeniería, que constituye gran parte de lo que implica pensar como como tal. Su análisis se basa en una investigación

sobre el desastre del Challenger en el que, al parecer, el ingeniero jefe quiso pensar como gerente y no como ingeniero.

Este principio no se limita a la salud y la seguridad, también abarca el respeto a la ley y el respeto y la protección del entorno natural, y la reputación y la dignidad de la profesión. Abarca todos los aspectos de las responsabilidades de los ingenieros con las personas, que pueden afectar su trabajo y el contexto social y ambiental en el que se desenvuelve. Este aspecto de la responsabilidad de un ingeniero es muy sensible a los cambios en las normas y expectativas sociales y políticas, y las medidas, que se espera que tome para proteger a los demás, cambian con el tiempo y varían en todo el mundo. Por ejemplo, hoy no se tolerarían los riesgos a los que estaban expuestos los trabajadores en el proyecto de ingeniería del canal de Panamá. Cada vez hay más conciencia sobre el impacto de los proyectos de ingeniería en el paisaje local y en el medio ambiente mundial, y de la necesidad de mitigar los negativos. Este principio se superpone significativamente con los anteriores, porque la falta de precisión y rigor puede poner en riesgo a las personas, y el deterioro de la honestidad y la integridad puede menoscabar la reputación de la profesión. Para destacar aquí para la labor del ingeniero:

- Asegurarse que todo su trabajo sea legal y justificado
- Minimizar y justificar cualquier efecto adverso sobre la sociedad o sobre el medio ambiente
- Tener en cuenta la disponibilidad limitada de recursos naturales y humanos
- Priorizar la importancia de la salud y la seguridad de los demás
- Actuar honorable, responsable y legalmente, y defender la reputación, el prestigio y la dignidad de la profesión

5.4 Liderazgo responsable: Escuchar e informar

Los ingenieros deben aspirar a altos niveles de liderazgo en la explotación y la gestión de la tecnología, manteniendo adecuados canales de comunicación.

El ingeniero tiene una posición privilegiada y de confianza en la sociedad, y se espera que demuestre que le sirve y que es sensible a sus preocupaciones, por lo que, al presentar un informe de gestión debe ser honesto y objetivo, aunque no todas las consideraciones éticas son así. Si se piensa en la ingeniería en su conjunto puede haber responsabilidades que se aplican a la profesión, pero que no atañen a un profesional en particular, o los organismos profesionales

se pueden comprometer con políticas y campañas en favor de los cambios de una ley, y así sucesivamente. Por ejemplo, la profesión médica se involucra con los debates sobre la seguridad en deportes como el boxeo o en las políticas de salud pública relativas a cuestiones como la obesidad infantil.

Es plausible pensar que esto hace parte de las responsabilidades de la profesión, pero, generalmente, no se puede afirmar que cualquier médico particular haya hecho algo malo si no se involucra en alguna de estas campañas. Puede ser perfectamente admisible para cualquier individuo no participar en ellas, pero algo se perdería si la profesión médica en su conjunto no se involucra en el debate y no desempeña ningún papel en la formulación de las políticas públicas relacionadas.

Si bien es aceptable que un ingeniero elija no participar individualmente en el debate político, puede haber una obligación para la profesión en su conjunto de participar en las actividades que le conciernen. Cuestiones como el cambio climático, la seguridad energética y la protección de los datos personales son asuntos de alta política, en los que la profesión puede hacer contribuciones importantes. Por lo tanto, aquí hay una interpretación específica de liderazgo. Este principio también podría referirse a la obligación que tienen los ingenieros de ser líderes responsables cuando trabajan con otros profesionales, por lo que *escuchar e informar* sería una referencia a la obligación que tienen de atenderlos y mantenerlos informados.

Aunque esto es importante, este principio no se refiere a la responsabilidad individual, sino a la de la profesión en su conjunto de proporcionar un liderazgo responsable para escuchar e interactuar con la sociedad. Sin embargo, los ingenieros pueden tomar la decisión individual de no seguir este principio, aunque, si no hay ingenieros que participen en los debates sociales más amplios, entonces la profesión no puede cumplir con esta responsabilidad. Como estas responsabilidades de la profesión se traducen en responsabilidades individuales, todo dependerá de cómo y qué tan bien se organiza. Para destacar en este principio:

- Ser conscientes de los problemas que la ingeniería y la tecnología plantean y escuchar las aspiraciones y preocupaciones de los demás
- Promover activamente la conciencia pública, y la comprensión del impacto y los beneficios de los logros de la ingeniería
- Ser objetivo y veraz en cualquier declaración hecha desde su capacidad profesional

6. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan posiciones y reflexiones acerca de la *ingeniería ética*, pero es necesario reflexionar que, más allá de algunos casos de alto perfil, donde los ingenieros se han salido de la línea para advertir de la inminencia de un desastre, las asociaciones solamente se han limitado a asumir un papel convenientemente pasivo en relación con el interés público. Sin una necesidad clara y urgente se han convertido en *entes problemáticos* en los que prima la burocracia y los gastos. Sin embargo, y afortunadamente, esta actitud no refleja la de la mayoría de ingenieros individualmente, porque muchos demuestran su preocupación por el interés de los demás.

Por eso es conveniente llevar a cabo un debate a la ingeniería ética a todos los niveles, teniendo en cuenta la realidad de la práctica ingenieril, porque muchos ingenieros se han concentrado en participar en discusiones, por ejemplo, sobre los beneficios de la energía nuclear frente a las fuentes de energía renovables, pero, aunque esto tiene que ver con la ética profesional, el deber ser del ingeniero debe estar más relacionado con las consideraciones prácticas. Por eso, una de las intenciones de este trabajo es presentar la variedad y complejidad de los problemas éticos que enfrentan los ingenieros, además de demostrar la necesidad de que, en su trabajo, se comprometan con las cuestiones éticas, y de que se tracen caminos claros y eviten las marañas de opiniones en conflicto.

Otra cuestión en este trabajo, que también requiere atención, son las dificultades que enfrentan las asociaciones bien organizadas para establecer coherencia acerca del actuar ético de sus miembros, porque se pueden suponer que la profesión existe sin el control ético y que existen sanciones apropiadas. En este caso, la justicia debe ser vista como un derecho para todos, y a los ingenieros les corresponde respetarla y cumplirla de la mejor forma, pensando en el bienestar social. En muchos países Latinoamericanos las asociaciones de ingeniería, como consecuencia de su carácter fragmentario, se han quedado a la zaga en la consecución de los objetivos de otros colegios y asociaciones profesionales en el mundo. Aunque esto ofrece la ventaja de que se puede aprender de la experiencia, no se debe subestimar la complejidad del marco institucional de cada país. Se ha demostrado que los sucesivos intentos para lograr la unidad de acción a través de una organización han traído sus propios problemas, en lugar de resolver los existentes. Por eso es que la acción unificada sigue siendo un reto inmenso para la ingeniería ética.

El propósito de esta reflexión no es el de apoyar o alentar disputas o procedimientos en relación con la ingeniería ética, sino llamar la atención sobre las normas vigentes de la profesión ingenieril que no han recibido suficiente tratamiento. Entre los muchos cambios que actualmente se trabajan se destacan dos desarrollos que posibilitan una mejor atención al interés público: 1) la necesidad en común con la mayoría de profesiones de configurar y operar procedimientos para revalidar las habilidades, destrezas y cualidades profesionales, y de introducir requisitos particulares de ingreso y permanencia en la profesión. Esta revalidación se basa en que la sociedad requiere profesionales que demuestren en la práctica el cumplimiento de las normas de referencia, incluyendo la presentación de pruebas de experiencia y de desarrollo profesional. La introducción de este principio en los procedimientos de interés público ofrece una oportunidad positiva para que la ingeniería ética recobre el papel social que ha perdido. 2) A pesar de la ausencia generalizada de un registro de la actividad profesional, existe una creciente demanda para que los ingenieros registren sus áreas de experticia, es decir, las que esté de acuerdo con su debida formación y experiencia personal. Esto es importante porque le ofrecería a la sociedad información suficiente para seleccionarlos, de acuerdo con sus necesidades.

En estrecha relación con el punto anterior es importante que la profesión se comprometa a abordar las cuestiones éticas, tanto desde lo organizacional como desde lo individual. Una forma de hacerlo sería buscar y reflexionar sobre el material publicado, tal como los códigos de conducta de las empresas y las guías de ética de cada disciplina. Además de estas declaraciones explícitas de compromisos éticos, también es importante pensar en la orientación ética implícita, es decir, ¿qué tipo de comportamientos son recompensados y aprobados por los empleadores? ¿Cuáles están censurados? Al adoptar una visión reflexiva de cómo se acerca una organización y se ocupa de la ingeniería ética, sería interesante e importante determinar el grado en que esas formas explícitas e implícitas se complementan o si tienen conflictos.

En el contenido de este trabajo se puede comprender que la ingeniería es una disciplina amplia y que es difícil abarcar todas las cuestiones éticas a las que se enfrenta, sin embargo, los diferentes dilemas descritos pueden ayudar a establecer derroteros de trabajo. Por otro lado, se invita a los ingenieros a desempeñar un papel más activo en la vida ética de la profesión, y a la sociedad a que tenga una clara demanda por ingenieros que tengan una visión clara

sobre las cuestiones éticas que afectan su disciplina. En este aspecto la ingeniería es diferente de profesiones como la medicina, porque para un médico sería imperdonable no tener que pensar en las cuestiones éticas en torno, por ejemplo, al aborto o la eutanasia. Sin embargo, estas cuestiones son igualmente reales en la ingeniería y algunas pueden tener consecuencias graves. Por otra parte, no es más fácil para los ingenieros que para los médicos evitar los problemas éticos.

Otro punto que se debe resaltar aquí es que los ingenieros están preocupados porque las decisiones que toman están cada vez más por fuera de su control. Por ejemplo, cada día se emplean menos ingenieros en los niveles más altos de gestión, donde se toman las decisiones más importantes, y es necesario que se revierta esta tendencia. Del mismo modo, cuando están involucrados en grandes decisiones tienen que trabajar bajo presión y estar de acuerdo con las decisiones que los gerentes quieren tomar. En estos casos puede ser difícil adherirse y considerar cuál es la decisión correcta, pero cuando son conscientes de prácticas peligrosas o ilegales y sienten que deben dar la alarma, aún puede ser difícil hacer realidad lo que sienten y deberían comunicar, porque tienen que considerar los efectos que eso puede tener en su carrera. Sin embargo, las industrias están utilizando cada vez más las técnicas de presentación de informes confidenciales como una forma de permitirles informar los problemas. Estos sistemas se utilizan en la medicina, la aviación y la ingeniería civil, y se pueden aprovechar en la ingeniería en general para fomentar la ingeniería ética en todas las disciplinas.

Para terminar, la *ingeniería ética* no es un conjunto de reglas que se pueden aprender y tomar por sentadas; tampoco es un simple marco que se puede aplicar a los problemas para hacerlos desaparecer. El compromiso con las cuestiones éticas es continuo, difícil y requiere conciencia, capacidad de razonamiento, imaginación y capacidad para estudiar y evaluar las opiniones propias, y las de los demás. Es un conjunto de capacidades, habilidades y rasgos de carácter que únicamente se pueden desarrollar con la práctica, y no solamente es necesario, sino que es gratificante, enriquecedor y de construcción confidencial. Esperamos que este trabajo sirva de inspiración a los ingenieros para aplicar un enfoque de ingeniería ética en su vida laboral y personal, para que la sociedad entienda que realizan su trabajo de forma armónica con el medio ambiente y respetando a los seres humanos.

REFERENCIAS

[1] Tomkins, B. & Howard, I. (2001). Ethics in engineering. Ingenia 10, 65-71.

[2] Uff, J. (2002). Engineering Ethics: Do engineers owe duties to the public? London: Royal Academy of Engineering.

[3] Klein, R. (2002). Ethical issues in engineering: Beyond disaster ethics. Sosyal bilimler 1(1), 23-34.

[4] Thring, M. (1992). The engineer's conscience. USA: Mechanical Engineering Publications.

[5] Bowen, R. (2009). Engineering Ethics – Outline of an aspirational approach. Berlin: Springer.

[6] Singer, P. (1994). Ethics. Oxford: Oxford University Press.

[7] Mason, K. & Laurie, G. (2013). Mason and McCall Smith's law and medical ethics. Oxford: Oxford University Press.

[8] Davis, M. (1998). Thinking like an engineer: Studies in the ethics of a profession. Oxford: Oxford University Press.

INGENIERÍA: Realidad de una disciplina

Es un libro producto del desarrollo del proyecto de investigación *Realidad de la Ingeniería: Un análisis al pasado, el presente y el futuro de la disciplina*, realizado por investigadores de Colombia, Argentina y Chile. El proceso se llevó a cabo entre 2016 y 2017, lapso de tiempo en el que el equipo de investigación aplicó la metodología de investigación que se describe en el Capítulo 1, para realizar una revisión sistemática de la literatura y aportar su experiencia y resultados de otras investigaciones, a la vez que plasmaba sus reflexiones acerca del tema.

Prof. **Edgar Serna M.**

Científico Computacional Teórico, Ph.D. en Pensamiento Complejo, Ms.C. en Ingeniería, Graduate Minor Teaching in Virtual Environments, Especialista en Computación para la Docencia, Especialista en Hardware e Ingeniero de Sistemas. Es Certified Software Test Professional (CSTP), Microsoft Certified Professional (MCP), Microsoft Test Engineer in Operating Systems Atmospheres (MTE) y Profesional en Desarrollo de Aplicaciones con Tecnología Web. Reconocido como Investigador Senior en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología SCIENTI – Colombia. Actualmente, se desempeña como investigador en las líneas de Neurocomputación, Ciencias Computacionales y Gestión del Conocimiento; es Editor General de la Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.