

# ARTICULOS

## LA PROGRESIVA ESTRUCTURACION DE LA INGENIERIA DESDE LA FORMACION DEL INGENIERO

Juan Ricardo Salazar-Simpson  
Departamento de ingeniería

### RESUMEN

*Estas páginas pretenden aportar una línea de solución al problema de la ingeniería y así orientar cómo y en qué deben ser formados los ingenieros.*

*El autor saca cuatro conclusiones importantes sobre la racionalidad de la ingeniería, el detallismo que supone cualquier realización tecnológica, el carácter heurístico de la ingeniería y la transformación coherente de la realidad.*

*Después de exponer las cualidades del ingeniero plantea que la formación en ingeniería dentro de la realidad salvadoreña actual debe orientarse a la diversificación de la oferta energética, a la reducción de la dependencia respecto del petróleo, a la conservación de la energía y a la innovación energética.*

### 1. Propósito

Existen diversos modos de entender e interpretar lo que es ingeniería. Esta diversidad ha ido creciendo a lo largo de la historia a medida que la ingeniería, por una parte aumentaba sus contenidos, y por otra se contemplaba desde puntos de vista cada vez más numerosos y dispares. La ingeniería, como casi todo aquello que pretende entroncarse en la realidad, tiene una dimensión histórica intrínseca que no puede soslayarse.

Desde sus primeros tiempos, la ingeniería estuvo unida a los saberes reflexivos del hombre.

La filosofía, la geometría, los números, las matemáticas y las ciencias naturales fueron sus primeros mecenas. Entre egipcios, griegos, romanos y árabes parecen encontrarse y, de hecho se encuentran, los primeros ingenieros de los que tenemos noticia. Sin duda, otros pueblos orientales, por la magnitud de las obras que han llegado hasta nosotros, dispusieron también de estos hombres que fundamentaban sus obras en los saberes reflexivos del momento.

No es posible indicar en qué instante, los artesanos, maestros en el arte de *hacer* obras, co-

nectaron con el quehacer de los ingenieros, maestros en el arte de *pensar* obras. Pero no parece descabellado afirmar que tal conexión fue simultánea al nacimiento de la ingeniería y que los primeros ingenieros no sólo fueron filósofos, geómetras, aritméticos, matemáticos y científicos sino también artesanos. Pensar y hacer han sido en el devenir histórico los dos polos de la actividad ingenieril.

En los tiempos modernos —últimos dos siglos— la multiplicidad creciente de los objetos pensados y de las obras realizadas, hizo necesaria una sistematización de los conocimientos adquiridos. Las universidades, dedicadas desde sus inicios a la estructuración conectiva y a la sistematización de todo lo pensable, comenzaron a realizar su labor de distinción y unificación del material disponible.

A pesar de los esfuerzos realizados, no fue posible ni lo ha sido todavía en nuestros días, superar la dispersión entre el pensar y el hacer en ingeniería. Las universidades, facultades o escuelas de ingeniería se debaten todavía en la ya vieja discusión de si deben insistir más en sus contenidos tecnológicos —arte de hacer— o si deberían, por el contrario, fundamentarse más en sus contenidos filosóficos y científicos arte de pensar y analizar.

Nuestro trabajo pretende, en primer lugar, aportar una línea de solución a esta cuestión que sirva para orientar sobre el cómo y en qué deben ser formados los ingenieros.

Por otra parte, esta aportación se escribe en un contexto peculiar, El Salvador de nuestros días. Este pequeño país centroamericano tiene una extensión aproximada de 21500 kilómetros cuadrados, y una población estimada de 5 millones de habitantes. Es un país pobre en una región pobre. Su tasa de desempleo es elevada. Su enorme densidad de población, la mayor de todo el continente americano, no podrá iniciar un desarrollo económico fiable, en los próximos años si no alcanza unos niveles aceptables de industrialización y consiguientemente de comercialización industrial de sus productos. Son los ingenieros los que pueden aportar lo decisivo de este logro. Y aquí entra la segunda serie de cuestiones que hemos de plantearnos: ¿qué clase de

ingeniería hay que hacer concretamente en El Salvador? ¿Servirán los ingenieros, formados según nuestros planteamientos previos, para enfrentar la situación específica que se vive en El Salvador?

No son preguntas baladíes y su respuesta no sólo ayudará a construir El Salvador "desde dentro," aspecto indispensable para hacer de este pequeño un gran país, sino que lo capacitará para el aprovechamiento eficaz de las aportaciones que otros países pueden, deben y están dispuestos a hacerle.

## 2. Esquemas estructurales del saber en orden a conocer la realidad. El lugar de la ingeniería.

En nuestros días, cualquier actividad transformadora de la realidad de nuestro entorno físico, nos remite inmediatamente a un conocimiento tecnológico que guía las fases y modos como ha de realizarse nuestro trabajo. Aquel conocimiento nos llega ordinariamente en forma de manuales, instructivos, o conjunto de recomendaciones y consejos, de algún conocedor del trabajo en cuestión. Si el objetivo que se pretendía es alcanzado con éxito se valora en mucho el conocimiento adquirido.

Detrás de los conocimientos tecnológicos, algunos técnicos y artesanos adivinan la existencia de pacientes trabajos de observación, experimentación y análisis, llevados a cabo por otros hombres. Sin embargo, acostumbran lógicamente a valorar más la tecnología que ya conocen que los saberes que la produjeron.

Lo mismo ocurre si caminamos hacia los que están en el origen de la mayoría de los conocimientos tecnológicos actuales. Ingenieros que tienen en menos el trabajo de científicos y algunos de estos que menosprecian las , según ellos, inoperantes aportaciones de matemáticos y filósofos. Bien es cierto que en forma recíproca se les suele pagar en la misma moneda. Este hecho está en contraposición con la evolución de las estructuras del saber que, cada vez más se interfieren unas con otras, atraídas por el sentido de los logros fácticos. Detengámonos en la consideración de esta afirmación.

**El saber es conocer y pensar y, en una primera etapa, observar y reflexionar. Dentro del saber no pueden separarse estos dos elementos.**

Conocer significa, en nuestra cultura, tener conocimiento o noticia acerca de algo. La posibilidad de esta acción implica, no sólo la percepción de los contenidos sobre los que se aplica, sino una determinada capacidad de aprehensión de los mismos.

El saber supone una connotación múltiple del conocer: es posesionarse de diversos conocimientos relacionados acerca de un todo. Según esto, el saber supone conocer y además la capacidad de aprehensión de una estructura unificadora y totalizante.

El saber es conocer y pensar y, en una primera etapa, observar y reflexionar. Dentro del saber no pueden separarse estos dos elementos. Decir "saber estructurado" es decir dos veces la misma cosa. También dentro del conocer no puede separarse la noticia de lo que es dado con ella.

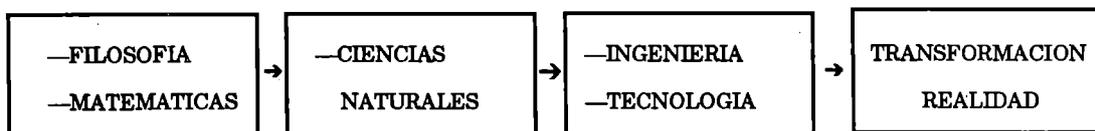
Las inquietudes reflexivas del hombre acerca de sus experiencias han producido una creciente cantidad de conocimientos que se han agrupado según las peculiaridades comunes de los objetos estudiados o conforme a modos de estudio o de acuerdo con una finalidad general. Esto ha dado origen a las divisiones y subdivisiones actuales de las ciencias. Cuando, sin embargo, se pretenden diferenciar los saberes se choca con importantes contradicciones.

Algunos conocimientos son compartidos por diversas ciencias y ninguna puede prescindir de ellos una vez que han sido estructurados. Llegados a este punto hay que resolver una disyuntiva: las estructuras del saber, o bien son cerradas en sí mismas y dotan de sentidos distintos a los mismos conocimientos, o bien evolucionan fusionándose mutuamente dando un nuevo grado de sentido a los conocimientos. Lo primero, que es perfectamente válido operativamente hablando, ha producido, en algunos, la arriesgada postura consistente en afirmar que el "saber" según una ciencia concreta puede prescindir o al menos distinguirse radicalmente del "saber" de otras ciencias. Los espíritus filosóficos nunca han hecho tan peligrosa y poco fértil afirmación. La filosofía pretende retrotraerse hacia el punto

inicial y básico de la realidad del pensar, del ser y del existir, dejando sin límites la pretensión unificadora y totalizante de su saber. Si la estructura del saber es unificadora y totalizante no cabe sino elegir la alternativa de la evolución.

Todas las ciencias naturales, diferenciadas de la filosofía en razón de lo parcial y limitado de su objeto, son, en cuanto saberes, filosóficas o subsidiarias de la filosofía. También ellas son unificadoras y totalizantes en su intento de dar generalidad a lo que captan de la naturaleza, pero al ser su objeto limitado —entorno físico— su punto de partida no puede ser concebido como un todo, universal, inicial o básico, sino que es simplemente lo que la realidad física expresa de sí misma. Esta limitación en el conocimiento de su objeto, se ha acrecentado aún más, al establecerse lo incierto de las medidas conjuntas de un experimento que diferencia ya, de modo radical, la expresión de la realidad y lo experimental y medible de la misma. A pesar de todo, no se puede negar, ni lo universal y unificador de su saber, ni el número y magnitud creciente de los conocimientos acumulados. Las ciencias, como bien nos recuerda Henri Poincaré, nos ponen constantemente en relación con algo cada vez mayor y siempre nuevo. Detrás de lo que nos muestran de grande, nos hacen adivinar algo más grandioso todavía.<sup>9</sup>

La ingeniería es un saber acerca del entorno físico. En este sentido, la ingeniería comparte su objeto con las ciencias naturales y, en razón de ello, goza de sus mismos límites y grandeza. La especificidad que incorporó la ingeniería a las estructuras del saber existentes fue la de señalarle dos finalidades o razones de ser: alcanzar primariamente una mayor utilidad del entorno físico que rodea al hombre y, en forma derivada, aunque no forzosamente posterior en el tiempo, estar orientado a la transformación coherente de dicho entorno. Tal es la importancia de estas finalidades, que el saber ingenieril no nace de la motivación contemplativa del ser pensante, sino de la necesidad de hacer más útil el medio en el que el



hombre desarrolla su existencia. De esta forma la ingeniería debe concebirse como un saber "provocado" o más claramente "reclamado" por el hombre para alcanzar una mayor utilidad del entorno físico que lo rodea y orientado, por ello, a la transformación coherente de dicho entorno. La palabra utilidad debe entenderse en un sentido más amplio que el que tiene en la misma ingeniería o economía como rendimiento energético o económico, y quiere significar aquí la creciente disponibilidad para el servicio del hombre que pretende conseguirse de los bienes naturales.

Desde sus comienzos la ingeniería completó la estructura lineal del saber que, según un único sentido, conducía desde la filosofía y las matemáticas a la transformación de la realidad.

Así es como concebimos el primer esquema de la estructura disciplinaria del saber en el cual la ingeniería y la tecnología están presentes. Nótese que ya aquí aparece la bipolaridad entre el hacer y el pensar. Hasta entonces, filósofos y artesanos no tenían nada que decirse. Incluso sociológicamente constituían grupos separados. La ingeniería no sólo fué un simple eslabón, sino que trastornó la manera en la que se autoentendían las distintas estructuras del saber existentes.

El primer esquema lineal permaneció inalterado durante varios siglos. Los conocimientos tecnológicos e ingenieriles, aun alcanzando grandes logros, en el campo de la construcción, de la hidráulica y de la navegación, no cuidaban suficientemente de la abstracción y del pensar. Desde la extinción de la cultura griega la ciencia y la ingeniería se detuvieron. Sólo los técnicos permanecieron atareados, aunque sin avanzar. El único esfuerzo por estructurar el saber durante más de mil años, se debió a los religiosos. Las cuestiones filosóficas y científicas se hicieron, en gran parte, subsidiarias de la teología. Los árabes, sucedieron a los griegos en el arte de pensar y el mundo occidental se benefició de sus aportaciones. En el año 800 se fundó una escuela de ciencias en Bagdad. En Córdoba, España, floreció la cultura de los árabes. La primera universidad fundada en Europa fue la de Salerno (Italia), en el siglo XI. Alcanzaron gran fama las de Bolonia (1119), París (1250), Oxford (1168) y (1168) y Cambridge (1224). Las ciencias y todavía en mayor parte la ingeniería, no eran sino un conjunto de conocimientos inconexos y desordena-

dos. A partir de 1215 cuando se establecieron los estatutos de la universidad de París, empezaron a hacerse débiles esfuerzos por estructurar de nuevo los conocimientos acumulados. La ciencia física volvió a interaccionar fuertemente con la filosofía. La imprenta era el más importante logro tecnológico aportado por J. Gutenberg de Maguncia entre 1448 y 1457. Leonardo da Vinci (1452-1519) preocupado en todas las áreas del saber, produjo ingeniosísimos diseños, pero todavía la interacción de ciencia y tecnología no tenía sino muy escasos representantes.

En el siglo XVI, aparecieron nuevos aportes a la ingeniería en el campo de las máquinas térmicas. El marino español Blasco de Garay intentó, en el puerto de Barcelona, impulsar una embarcación con una eolípila de gran tamaño. Su intento no llegó a convertirse en una realización práctica. Sin duda alguna, se necesitaba una mayor dosis en el pensar que hiciera posible el hacer. En 1560, se fundó en Nápoles la primera academia para el progreso de las ciencias.

El siglo XVII es rico en el pensar científico y en el quehacer tecnológico. Puede decirse que entonces la ingeniería recuperó su carta de naturaleza, adquirida con Arquímedes, y se proyectó hacia un futuro cada vez más construido y pensado desde ella. En Inglaterra, se creó, en 1660, la Royal Society de Londres. En 1666, nació en París, la Académie des Sciences. Era el siglo de Galileo G., R. Descartes, I. Newton, B. Pascal, E. Torricelli y también el de C. Scheider, P. Vernier, Otto Von Guericke, T. Savery y T. Newcomen. Este último, herrero de Dartford, construyó en 1712 la primera máquina de vapor; en 1698, T. Savery patentó una máquina para extraer agua por medio del fuego; Otto Von Guericke inventó, en 1654, la bomba de vacío; P. Vernier construyó el nonio en 1631 y el padre C. Scheider, jesuita, ideó el pantógrafo en 1603. Los logros de los científicos no cumple que los mencionemos puesto que son numerosos y mejor conocidos, al menos, en alguna de sus aportaciones.

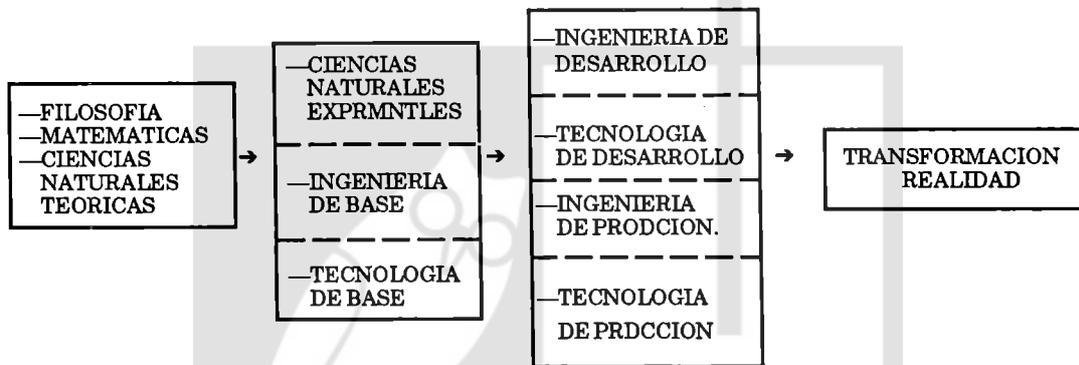
En el siglo XVIII, se acrecentó la unión entre científicos e ingenieros. Un médico escocés, James Black, interesado por la química y la física, empezó a hablar del calor como una entidad física que podía medirse. Fue el creador de la teoría del calórico, fluido imponderable que pasaba de unos cuerpos a otros al ponerlos en contacto. Su teoría era provisional y falsa, pero lo llevó a establecer las fértiles nociones de

capacidad calorífica y calor latente. Nació, en este siglo, la Ecole Polytechnique de París y, en 1784, en Barcelona, la Real Academia de Ciencias. Era el siglo de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794)<sup>1</sup> quien sentó las bases de la química moderna en su tratado elemental de química aparecido en 1789; de A. Celsius y D. G. Fahrenheit, quienes establecieron escalas para la medición de temperaturas; de Smeaton, quien mejoró el rendimiento de la máquina de Newcomen y de J. Watt, quien en la universidad de Glasgow se dedicó a la mejora sistemática de la máquina de vapor, llegando a construir más de quinientas.

Después de estos logros, en los que intervinieron científicos de diversa procedencia, ingenieros y técnicos, iba a darse el salto espectacular en la interacción de los diversos conoci-

mientos y, consiguientemente, en el avance de nuevas realizaciones que supuso el siglo XIX y el aún más extraordinario que supuso lo que llevamos recorrido del siglo XX.

El esquema lineal primero, manteniendo su disposición de sentido único se desarrolló merced a las aportaciones tecnológicas de la revolución industrial. Toda la estructura disciplinaria del saber se vio atraída por el polo del hacer. Nacieron la ingeniería y la tecnología de base, la ingeniería y tecnología de desarrollo y afloró tímidamente la ingeniería y la tecnología de producción. Este último aspecto, a raíz de las dos grandes guerras europeas, alcanzó una destacada importancia. En lo científico, se hizo indispensable la división entre ciencias naturales teóricas y ciencias naturales experimentales. El esquema se resistía a ser roto.



Es inútil, listar siquiera en pocas líneas, los nombres de quienes más han contribuido a la irrupción de la ciencia, de la ingeniería y aún de la filosofía y de las matemáticas, en la transformación directa de la realidad. Baste mencionar para nuestros propósitos, la descomposición electrolítica concebida por M. Faraday, aprendiz de encuadernador y más tarde notable físico y químico, los inventos de T. A. Edison, técnico genial, y el nacimiento de la ciencia de las grandes potencias derivadas del calor que, sin duda, ha de atribuirse al ingeniero francés Nicolás-Leonard Sadi Carnot y que recibe el nombre de termodinámica.

La tecnología, que nació simultáneamente con la ingeniería, agrupó las técnicas y oficios que se convirtieron en los inmediatos instrumentos transformadores del entorno natural. Tal ha sido la expansión tecnológica y su capacidad para cambiar lo que vemos, lo que

hacemos y aquello de lo que nos servimos, que la ingeniería e incluso las ciencias naturales, aunque éstas en menor medida, se reestructuraron de una forma continua para dar cabida a nuevas posibilidades e inquietudes tecnológicas. En la actualidad, las ciencias naturales, la ingeniería y la tecnología se agrupan en un todo, de forma que cualquier hallazgo científico, se convierte en objeto de estudio para la ingeniería a fin de aprovecharlo en la transformación útil del entorno y, consecuentemente, en un problema tecnológico que hay que resolver con la utilización de nuevas herramientas, nuevos productos o nuevos procesos. Recíprocamente, la tecnología suscita cuestiones para ser resueltas por la ingeniería y las ciencias, y ya, con creciente frecuencia, es la creadora de las directrices de los proyectos de ingeniería y la conductora de las ideas científicas hacia lo que deben ser sus nuevos objetos de estudio.

Polo del *Ser*  
y del *Pensar*

Polo del *ver* y del *hacer*

—FILOSOFIA  
—MATEMATICA

—CIENCIAS  
NATURALES  
TEORICAS

—INGENIERIA  
DE BASE

—TECNOLOGIA  
DE BASE

—CIENCIAS  
NATURALES  
EXPERIMENTALES

—INGENIERIA  
DE DESARROLLO

—TECNOLOGIA  
DE DESARROLLO

—CIENCIAS  
NATURALES  
APLICADAS

—INGENIERIA  
DE PRODUCCION

—TECNOLOGIA  
DE PRODUCCION

↓ ↓ ↓

— TRANSFORMACION DE LA REALIDAD —

Ya no puede pensarse en un único esquema lineal. La transformación de la realidad ha pasado a ser preocupación de filósofos y matemáticos, de científicos, ingenieros y técnicos.

La bipolaridad no se ha perdido. Pero las ciencias del *ver* y el *hacer* encuentran, cada vez más, su razón de ser en el polo del *ser* y del *pensar* y, desde éste último, se accede ya de forma cuasi-directa, a través de las ciencias sociales, a la transformación de la realidad.

Este nuevo esquema no está cerrado ni definitivamente logrado. La realidad del hombre y de su entorno se presenta múltiple o al menos disfrazada, desde el punto de vista de la ingeniería de múltiples aspectos. Ha sido, es, y será de buenos ingenieros descubrir, ante un problema de transformación de la realidad, si existe un pensamiento y una ciencia acerca del mismo. En caso afirmativo, ordenarlo concretamente al fin pretendido y, en su ausencia, crearlo o contribuir con filósofos y científicos a hacerlo. Lo mismo ocurre si el eslabón tecnológico no existe. Debe instruirlo ordenadamente y planificarlo.

Una primera conclusión importante que es necesario hacer, se refiere a la racionalidad de la ingeniería. Dada la universalidad de la filosofía y la generalización de sus conocimientos que hacen las ciencias, puede encontrarse ordinariamente en el polo del pensar, algo previo, una idea directriz y/o conductora. Si el ingeniero no mantiene la agilidad de su racionalidad que le permita pensar filosóficamente, si no está al día de los hallazgos científicos, desistirá fácilmente en la búsqueda de aquella idea, y esto mismo lo incapacitará para poder instruc-

cionar ordenadamente y planificar las opciones a realizar por la tecnología. Se habrá realizado insensiblemente hacia el polo del hacer que, con toda certeza, lo mantendrá ocupado y cada vez más desconectado de su ingenio. Sin darse cuenta, se le hará imposible o muy difícil recuperar su forma de ingeniero. Es fácil, si se dispone de alguna habilidad, exitoso y gratificante pasar del pensar al hacer, pero es difícil, trabajoso y, con frecuencia, tedioso y poco valorado, pasar del hacer al pensar. El estudiante de ingeniería debe ejercitarse en el pensar y en analizar acerca de cómo pensaron quienes han sido maestros en ese arte. Nada de lo que consiga debe quedar sin una reflexión previa y sin otra posterior a su logro. El hacer se convertirá así en motivo para pensar y el pensar en el fundamento de su hacer. Se habrá entrenado para ser ingeniero.

Una segunda conclusión es en orden a enfrentar el detallismo que supone cualquier realización tecnológica. Pocos son los que ante hechos corrientes diarios como accionar un interruptor, abrir un grifo, afeitarse, ponerse una ropa, escribir con un instrumento, etc... son capaces de adivinar la cantidad ingente de detalles que se han debido considerar para producir todos esos medios. Para la construcción de un puente, para la regulación eléctrico-electrónica de un proceso, para la fabricación de un amortiguador o de cualquier simple pieza de un mecanismo, es preciso atender generalmente a la justificación, descripción y organización de procesos, movimiento de materiales, conformación de piezas, tratamientos específicos, mecanización, montaje, funcionamiento orgánico de con-

troles y temporizadores, análisis y cálculos, planos y especificaciones, estudios económicos, etc... Un ingeniero debe tener facilidad para discretizar y ordenar la labor a hacer, en una sucesión de bases. Caminar intelectivamente desde la idea general del funcionamiento de una máquina, hasta la construcción y ensamblaje de sus piezas, es una capacidad que no se adquiere, sino aprendiendo a autopreguntarse por la razón incluso de lo que parece evidente. Nunca hay un conocimiento totalmente adquirido. Es indudable que no pueden ser analizados todos los detalles y que unos son de mayor importancia que otros. También esto debe ser objeto de análisis, sabiendo, que si en la fase de diseño se infravaloró un detalle, en la fase de realización, será, con frecuencia, muy costoso o quizás imposible resolverlo.

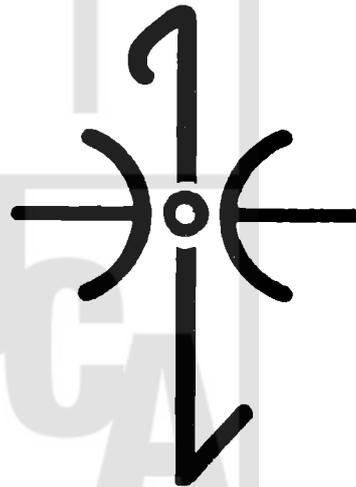
La tercera conclusión contempla el carácter heurístico de la ingeniería. La ingeniería es el arte de inventar, o siguiendo la raíz griega del término, el arte de encontrar. Fue Arquímedes, el más grande de los ingenieros griegos, el que unió esta palabra de forma concluyente al logro ingenieril. La invención nació de la tensión entre tres de los referenciales ya mencionados: la necesidad de una utilidad, bien o servicio, conjunto de conocimientos estructurados en forma de saber y la multiplicidad de ingenios, que, en forma primaria, acuden a la mente del ingeniero, para resolver aquella necesidad. La ingeniería que debe aprenderse, debe fomentar una imaginación abstracta que permita concebir algo nunca realizado, es decir, innovar. Se aprende conociendo, sin duda, las obras hechas por otros ingenieros, pero más aún analizando científicamente ingenios claves, que permitan elegir, de la multitud de ideas que una mente fecunda puede presentar, solamente aquellas que, desde una posición realista, pueden ser logradas. La ingeniería debe capacitar para hacer lo que es posible hacer y para rechazar lo que no tiene sentido hacer. Para matizar la capacidad inventiva que deben adquirir los ingenieros recogemos aquí las sabias palabras de Carnot:

Saber apreciar, en cada caso, en su justo valor, las consideraciones de conveniencia y economía que puedan presentarse; saber discernir entre las más importantes y las que sólo son accesorias; saber ponderarlas todas entre sí debidamente para llegar por los medios más fáciles al mejor resultado;

tal ha de ser la principal cualidad del hombre llamado a dirigir y a coordinar el trabajo de sus semejantes y hacerlos cooperar hacia un fin útil, cualquiera que sea.<sup>6</sup>

La cuarta conclusión que creemos que puede sacarse en orden a orientar la formación en ingeniería, se refiere a la transformación coherente de la realidad. Pensamos que han de tenerse presentes dos condiciones, en primer lugar, ha de ser exigida por una necesidad del hombre, y en segundo lugar, ha de respetar el equilibrio de la naturaleza y en cualquier caso, debe contemplar mecanismos para contrarrestar efectivamente los desequilibrios que puedan ser considerados admisibles.

El ingeniero debe formarse en dar coherencia y armonía a la transformación del medio, con la noble finalidad de producir un mayor servicio a toda la comunidad humana. Caer en la tentación de violentar el medio mismo sin dejarse impactar por las necesidades, inquietudes y preocupaciones, que, como destinatarios finales de su trabajo, tienen los hombres con quie-



nes conviven, descalificaría su labor y dejaría sin sentido su profesión.

### 3. Los ingenieros como agentes de la ingeniería

En primer lugar, es preciso decir que hay muchas personas que son capaces de hacer ingeniería y buena ingeniería sin ser ingenieros. Es lógico, dada la estructura disciplinaria del saber que hemos mostrado. Las características de los ingenieros, que ahora vamos a poner de manifiesto, pueden aplicarse a muchos hombres que las tienen incluso en un grado superior pero, con mayor frecuencia que en otros, se encuentran reunidas en los ingenieros; aunque, como es fácil suponer, en muy diversos grados.

Partamos de una definición más sintética que la anteriormente dada: ingeniería es un saber activo que se hace desde el hombre y para el hombre. A nivel mismo de definición, la ingeniería no puede separarse de aquel que la realiza, es decir, del mismo ingeniero.

Hay muchas obras de ingeniería que por su magnitud o porque pueden de algún modo considerarse únicas, van unidas al nombre del ingeniero que las realizó y no pueden separarse de las obras de un ingeniero concreto o de los logros de un ingeniero determinado. Lo mismo que no hay logros del arte sino artistas concretos que de un modo único han conseguido la expresión de su quehacer en una obra suya. Así fue concebida la ingeniería en sus comienzos académicos modernos y de esta forma, las academias, facultades, institutos o escuelas, en donde comenzaron a formarse sistemáticamente los ingenieros, se denominaron academias, facultades, institutos o escuelas de artes y oficios. Los ingenieros producían obras de arte que eran sus "ingenios" y para ello aprendían y se adiestraban en diversas técnicas u oficios. No cabe duda de que la ingeniería ya no puede considerarse así. Las obras de ingeniería no están hechas para immortalizarse sino para ser superadas en un intento permanente por mejorar su utilidad.

Lo primero a destacar en estos hombres quienes, hoy día, ya no pueden ni deben autoconcebirse como artistas, es su ingenio y osadía. El ingenio expresa la capacidad de convertir en realidad un mecanismo pensado o una idea brillante. La osadía consiste en acometer acciones cuyo resultado no puede ser previsto ni garantizado suficientemente y que, por el contrario, pueden conducir a situaciones peligrosas. Es claro, que no conviene abusar de esta cualidad.

No obstante, Arquímedes —primer gran ingeniero del que tenemos profusión de noticias y al que todos los ingenieros hemos respetado y admirado— nos da muestras de su ingenio y osadía. Su afirmación de que si hubiera otro mundo y le dieran un punto de apoyo podría ir donde él y moverlo no deja de ser atrevida. Sin duda, sabía de la imposibilidad de que le pusieran en tal prueba. Plutarco nos cuenta que la demostración que, sin embargo, hizo de su ingenioso polipasto dejó asombrado al rey Hierón de Siracusa. Pero Arquímedes además era entusiasta, paciente observador e imaginativo. Son cualidades que distinguen también a los espíritus científicos. Vitruvio<sup>7</sup> nos las recuerda cuando describe la ocasión en que Arquímedes concibió en su mente la ley de los cuerpos flotantes, de la que surgió el enunciado del principio fundamental de la hidrostática en la forma en que hoy lo conocemos. Se cuenta que cuando, en el año 212 a.c., fue capturada la ciudad de Siracusa por las legiones romanas, la ingenuidad y la capacidad de concentración, rasgos con los que también se distinguen con frecuencia los ingenieros, hizo que Arquímedes reprendiese a un soldado romano. Estaba absorto sobre el suelo trazando unos círculos, el soldado los pateó y en su escaso latín hizo que Arquímedes lo increpase diciendo *Noli tangere circulos meos* (No toque mis círculos).<sup>4</sup> El soldado, como razonada respuesta, traspasó con su lanza al ciudadano más ingenioso de Siracusa.

Otros muchos ejemplos de ingenieros con rasgos semejantes a los de Arquímedes ha habido a lo largo de la historia. Nos hemos detenido en él un tanto por lo sugestivo de las anécdotas que nos han llegado y porque ellas reflejan en buen grado el ingenio entusiasmo, imaginación, capacidad de observación, concentración e incluso ingenuidad que presiden y configuran no sólo el quehacer, sino gran parte de la forma de ser de los ingenieros.

La capacidad de sorpresa ante lo que es aparentemente trivial o tonto es también otro rasgo definitorio del ingeniero. Bien es verdad que habitualmente es preciso acompañarlo de una gran dosis de humor porque puede ocurrir, y de hecho ocurre muchas veces, que lo que parece una tontería es efectivamente una tontería, y hay que admitir, sin miedo a caer en el ridículo, que nuestra sorpresa no tenía nada de relevante ni de profundo. Para ilustrar esta afirmación condense, a continuación, parte de una carta en la que Michael Faraday relata a su amigo Ben-

## El estudiante de ingeniería debe ejercitarse en el pensar y en el analizar acerca de cómo pensaron quienes han sido maestros en ese arte.

jamín Abbot, con no disimulada sorpresa, uno de los hallazgos de su mente más importantes: la descomposición química por medio de la corriente eléctrica.

Ultimamente he realizado unos cuantos experimentos galvánicos para aclararme a mí mismo los primeros principios de la ciencia... Yo, señor, corté por mi mismo siete discos del tamaño de medio penique e interpose siete, mejor dicho seis trozos de papel empapados en una solución de muriato de sodio. Pero no se siga riendo mi querido Abbot, más bien sorpréndase del efecto producido por este trivial aparato. Fue suficiente para producir la descomposición del sulfato de magnesio, un efecto que me sorprendió sumamente, porque no tenía ni podía tener idea de que este agente fuera capaz de este resultado..."

Faraday se sorprendía ante lo que, según sus propias palabras, debía suscitar risa. La agudeza de su observación no despreciaba ningún detalle. Toda intuición debía ser analizada. El aparente fracaso en la búsqueda de una solución no debería nunca aceptarse hasta que alguna respuesta consistente fuese encontrada.

Es creencia común que los ingenieros poseen una rápida velocidad de cálculo producida, sin duda, por un adiestramiento continuo en este campo. Es cierto que muchos la tienen, pero no puede considerarse una característica significativamente compartida por los ingenieros más que por otras personas. Lo que resulta sorprendente y característico es, en frecuentes ocasiones, la lentitud paradójica de su pensamiento, comprensión y reacción. La explicación de esto es que tan grande como su capacidad de concentración es la que tienen para perderse y distraerse en pequeños detalles tontos y sin importancia que aun sin conducir a ningún sitio, satisfacen su carácter metódico y su continua necesidad de comprender. Cuentan que Paul Adrien Maurice Dirac, ingeniero eléctrico y premio Nobel de Física, se encontraba escuchando una conferencia sobre la dispersión de la radiación de onda corta por los electrones libres que pronunciaba el físico japonés Y. Nishina, sirviéndose de una

pizarra para expresar sus ecuaciones. Dirac, que poseía una copia de la conferencia del mismo Nishina, le hizo notar que uno de los términos escritos sobre la pizarra tenía un signo menos, mientras que en la copia escrita figuraba con un signo positivo. Nishina, sin dar importancia al hecho indicó que el signo correcto era el que figuraba en la copia y que en el transcurso de la deducción habría equivocado el signo en algún lugar. "En un número impar de lugares" se apresuró a contestar Dirac.<sup>4</sup> En efecto, así debía ser lógicamente. La observación no aportaba nada nuevo al problema que se estaba tratando, pero refleja la satisfacción que sienten los ingenieros en el mismo análisis de los hechos, sin importarles que de esta manera hayan perdido miserablemente el tiempo.

Los ingenieros deberían ser entrenados para conseguir una distribución proporcionalmente adecuada de todas estas cualidades. Esta pienso que es una tarea imposible si se quiere cambiar la forma propia de ser del estudiante de ingeniería. La formación en ingeniería ha de concebirse como un entrenamiento que potencia unas cualidades, que modera otras y que, en definitiva, capacita para que la racionalidad acometa ese difícil diálogo con el entorno al que el ingeniero pretende transformar en forma coherente. Las mentes ingenieriles que nos formaron a nosotros pretendieron transmitirnos algo bien importante. Habían comprendido, después de una racionalización de su actividad y forma de ser, que el entorno —naturaleza, máquinas, personas, sociedad— los transformaba como ingenieros, dando lugar a una relación que no podía ser manejada por ellos caprichosamente, ni con un único afán de lucro, sino que debía tener la noble finalidad de producir un mayor y más universal servicio a la comunidad humana. Nuestra pretensión es la misma. El éxito, incierto.

Hemos hecho hasta aquí una serie de conclusiones y una relación de cualidades. Una y otra han de servir para la orientación de los contenidos magistrales dentro de cada materia o área de conocimientos y para el entrenamiento en laboratorios, clases prácticas, seminarios y trabajos de campo.

Pasemos ahora, a decir algo sobre cómo plantear la formación en ingeniería dentro de la realidad salvadoreña actual.

#### 4. Cómo puede concebirse el futuro de la formación en ingeniería en El Salvador

El aspecto múltiple que ya se ha destacado del quehacer tecnológico ha producido la multiplicidad de disciplinas en ingeniería.

La formación académica del ingeniero es forzosamente limitada en el espacio y en el tiempo. Los contenidos que pueden referenciarse y aún más los que pueden aprenderse, son limitados. Los supuestos prácticos o problemas que se resuelven no son, en número, sino una muestra escasa de los innumerables que presenta la realidad física. Hay que acudir, cada vez más, a la profundización de un pequeño número de conceptos sabiamente elegidos que permita, al menos en potencia, enfrentar un número exponencialmente creciente de posibles problemas.

La formación académica no es simplemente un intercambio de datos o de información más o menos cuidadosamente elaborada; es un intercambio de procesos inteligentes entre seres inteligentes que hace posible pensar las cosas con una extensión y profundidad que supere el contenido de los libros. En definitiva, es una capacidad para enfrentarse con lo distinto y nuevo, a veces con recursos antiguos, pero también con recursos originales y novedosos. Cuando estos últimos adquieren, por su frecuencia y complejidad, importancia suficiente se hace necesario sustituir o modificar las disciplinas antiguas en virtud de los nuevos problemas propuestos por la tecnología. Así, hemos visto desaparecer las máquinas alternativas de vapor y la geometría descriptiva y, por el contrario, han surgido la regulación y control automáticos y el análisis numérico.

Las ideas orientadoras para la elección de nuevas disciplinas o áreas de conocimiento, se deben basar:

1. En un *principio de utilidad* que permita hacer frente a las necesidades, en este caso, de El Salvador.
2. En un *principio de continuidad* que establezca una conexión lógica y asimilable con las disciplinas o áreas de conocimiento existentes.
3. En un *principio de calidad* que dirija la medición del nivel, método, incidencia en los procedimientos de inge-

nería y el carácter innovador de las nuevas áreas o disciplinas.

Por agruparlas con palabras de claro sentido ingenieril, se puede decir que estas ideas, en los países industrializados, se sitúan dentro de las áreas de:

1. La energía y sus fuentes renovables.
2. Los transformadores de la energía.
3. Las telecomunicaciones y el tratamiento de la información.
4. El transporte como sistema.
5. Los procesos químicos productivos.
6. La automática y el progreso de los robots.

Naturalmente, El Salvador no puede considerarse un país industrializado. Es un país agrícola. Aunque su escasa superficie lo debe orientar hacia un cierto grado de industrialización. Cualquier incremento en su desarrollo debe comenzar en el campo, industrializándolo y comercializándolo, pero debe extenderse hacia un metódico desarrollo de otras industrias.

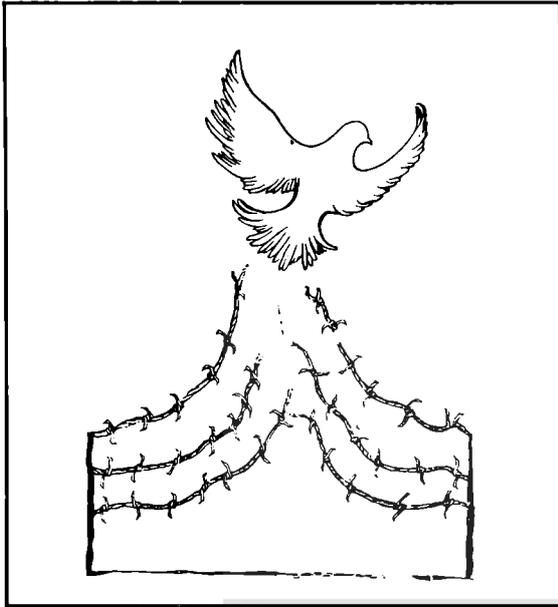
El Salvador no posee reservas naturales de energía no renovable conocidas. Aunque la escasez de investigación en este campo y en el de la minería no permite asegurar que no las haya en modo alguno.

Dado el impacto que la pobreza de energía básica disponible, en un momento dado, puede producir en la marcha del país, pensamos que un estudio sistemático y puesta en producción de las fuentes renovables de energía, supone un trabajo que no debe detenerse y que debe ser favorecido e impulsado desde el interior y desde el exterior del país.

La XII Conferencia Mundial de la Energía de septiembre de 1983 trató de las cinco líneas de trabajo siguientes que muestran claramente las tendencias de los países desarrollados industrialmente:

1. Autosuficiencia energética.
2. Diversificación de la oferta energética.
3. Reducción de la dependencia respecto del petróleo.
4. Conservación de la energía.
5. Innovación energética.

Exceptuando quizás la primera, en El Salvador todas ellas pueden ser conductoras del trabajo que se haga en este sentido.



En El Salvador, la energía hidroeléctrica puede ser más ampliamente explotada. Es un recurso que se renueva de forma natural. Es una energía limpia. La construcción de sus instalaciones productivas crea abundantes puestos de trabajo y su tecnología es de fácil adquisición. El desarrollo tecnológico está dando entrada, en este campo, a las minicentrales que aunque su aportación a un consumo total no sea muy importante, sí resolverán con ventaja problemas de suministro local. Otras tecnologías hidroeléctricas, como el aprovechamiento de mareas, olas y gradiente oceanotérmico son escasamente prometedoras. Mareas de amplitud media anual de 2 a 5 metros son tan pequeñas que no justificarían ni los elevados costes de construcción y mantenimiento derivados sobre todo de la corrosión marina, ni el deterioro del entorno que llevan consigo. Las mareas aprovechables lo son a partir de los 7.5 metros. Los riesgos económicos son elevados y por ello se tiende a rechazar los sistemas de generación de potencia a partir de las mareas. Otro tanto puede decirse del aprovechamiento de la energía de las olas o de la energía calorífica del mar; con el agravante de que en la actualidad, existen sólo algunos dispositivos propuestos y pocas instalaciones en funcionamiento<sup>11</sup>.

En El Salvador la energía solar puede tener un buen campo de experimentación. El sol ofrece una irradiación fotónica cuya cantidad varía con la posición geográfica, el clima, la

época del año, la hora, etc... En relación con un determinado emplazamiento, es preciso valorar dos aspectos:

La energía total por unidad de superficie que se recibe durante períodos de tiempo característicos y la potencia media disponible.

Un mapa nacional de irradiación en el cual aparezcan al menos estos dos datos, es el paso previo para un planteamiento de la utilización de este recurso.

Dos tipos de aprovechamiento se ofrecen normalmente, el que utiliza las células termosolares (conversión: Fuente → Energía térmica) y el obtenido de las células fotovoltaicas (conversión: Fuente → Energía eléctrica). Este último, es el que ofrecería mayor flexibilidad para un mayor número de aplicaciones. El punto más problemático está en lograr una célula fotovoltaica de bajo precio.

La intensidad de la radiación total solar sobre la superficie del mar puede alcanzar al mediodía un valor de 1070 [W/m<sup>2</sup>]. Las células termosolares, sensibles a esta radiación, se utilizan para transferir calor con finalidades domésticas o para la obtención de altas temperaturas en hornos solares de concentración.

El rendimiento de la conversión: Intensidad de radiación → Energía eléctrica, puede alcanzar un 10 por ciento. La superficie fotovoltaica para conseguir un kW se sitúa en los alrededores de 1 metro cuadrado. Cualquier planteamiento de utilización de esta fuente renovable de energía requiere, por tanto, la disponibilidad de grandes superficies expuestas al sol.

La energía eólica también tiene buenas perspectivas como fuente renovable de energía. Para una evaluación de la disponibilidad de esta fuente, en relación a determinados lugares bajo estudio, es preciso disponer de los datos referentes a la potencia media anual del viento disponible por unidad de área de la sección transversal; variabilidad de la velocidad del viento con el tiempo. Este dato proporciona la información necesaria para la fijación de la potencia máxima del generador y lógicamente para obtener la variabilidad con relación al tiempo de la producción de potencia, y la variabilidad del viento con la altura.

Los mapas nacionales eólicos son de gran utilidad. Los lugares a elegir aparte de tener una buena velocidad media de viento anual, deben estar exentos de obstáculos, en altura, en una superficie de 1 kilómetro de radio, o bien que sean valles de canalización natural de fuer-

tes vientos. Normalmente, las cimas de colinas suaves y redondeadas con pendientes no fuertes o planicies abiertas o el centro de un lago o el mar son lugares idóneos. A partir de los 3 metros ya son sensibles las energías generadas.

La energía geotérmica es más problemática. Las fuentes que usualmente han sido elegidas para su explotación entran dentro de tres categorías: vapor dominante, líquido dominante y roca caliente seca. Los inconvenientes de las instalaciones que aprovechan esta fuente y que hacen arriesgada la inversión en ellas, son los elevados costos de construcción y mantenimiento; estos últimos derivados de la fuerte corrosión y consiguiente degradación, en el tiempo de la factoría productiva; la contaminación del medio ambiente, y la competencia de otras fuentes renovables más económicas.

Otras fuentes renovables han sido estudiadas: la energía encerrada en la biomasa o en la vegetación que es un lugar natural para el almacenamiento de energía solar. En esta última, el rendimiento del proceso de fotosíntesis en la conversión de los rayos del sol en forma de combustible útil es baja. Sería un sacrificio excesivo para El Salvador reservar para este fin las extensas superficies de vegetación requeridas para producir algo significativo.

En resumen, la ocupación de los ingenieros en El Salvador tendrá que atender en forma primaria, a la mecanización y progresiva automatización de la agricultura salvadoreña; al logro de fuentes de energía locales, cada vez más numerosas, de energía renovable, y a la generación de productos de baja tecnología tenidos por secundarios en los países industrializados.

El Salvador dispone, en la actualidad, de numerosos y excelentes ingenieros. Son ellos, por el conocimiento que poseen de la tecnología propia y de las de otros países, los que están planteando el difícil problema de conexión entre su tecnología y la procedente del exterior del país. La clave está en las vías de comercialización de sus productos.

En este sentido, los países desarrollados pueden ayudar a El Salvador como fuentes de documentación y soporte para la educación de sus ingenieros; como transferentes de tecnología básica generadora de puestos de trabajo y como

mercado de productos en los que vean que El Salvador puede darles un servicio óptimo y barato.

La formación de los ingenieros, en El Salvador, debe permitir por consiguiente los grandes objetivos: no perder contacto con las causas y motivaciones que han originado las nuevas áreas de conocimiento que preocupan a los países industrializados y, en no menor medida, insistir en aquella que les permitan atender a las necesidades agrícolas, energéticas y de generación de productos que hemos señalado.

Más que en otros países, en donde la ingeniería está más subdividida, en El Salvador será preciso hacer una síntesis entre el *pensar* y el *hacer*. Los ingenieros tienen la posibilidad de realizar aquí los milagros que realizaron en otros lugares, Alemania, Japón Suiza, España, etc... y si como señala Mario Bunge, todavía no se ha difundido en nuestro medio latinoamericano la noticia de que la ciencia se está convirtiendo en el núcleo de la cultura moderna, deben ser ellos, los ingenieros del mañana, quienes sin palabras, pero sí con obras, lo demuestren.

#### NOTAS

1. Babor, Joseph A. *Química general moderna*. Barcelona: Marín S.A. de Ediciones, 1959.
2. Bunge, Mario. *La ciencia su método y su filosofía*. Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte, 1973.
3. Gamow, George. *Treinta años que conmovieron a la física*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1974.
4. Gamow, George, *Biografía de la física*, Alianza Editorial, 1980.
5. Margenau, Henry: *La naturaleza de la realidad física*, Madrid: Editorial Tecnos S.A., 1970.
6. Muñoz, Manuel. *La invención del motor que hizo posible la revolución industrial*. Discurso leído en la solemne entrega de los diplomas académicos a los ingenieros industriales de la promoción 126. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, junio de 1983.
7. Newman, James R. *The World of Mathematics*. New York: Simon and Schuster, 1956.
8. Poincare, Henri. *Ciencia y método*. Buenos Aires: Espasa-Calpe Argentina, S.A., 1946.
9. Poincare, Henri. *Ultimos pensamientos*. Buenos Aires: Espasa-Calpe Argentina, S.A., 1946.
10. Scientific American. *La energía*. Madrid: Alianza Editorial, 1975.
11. Boletín de Información del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. "Nuevas energías y tecnologías para la generación de electricidad." 1985, 381.