
IDEAS SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA EN EL SIGLO XXI*

*Para Juan Cristóbal Romero R.
Ingeniero que conoce muy bien
el tema de este artículo*

ANGEL ZAPATA C.
Profesor titular de la Universidad del Valle

EL PUNTO DE PARTIDA

CADA SIGLO hereda de los siglos anteriores conocimientos científicos, teorías filosóficas, aplicaciones técnicas y muchos problemas que fueron previstos pero no alcanzaron a ser solucionados. En esta carrera de relevos, cada campo va dejando una secuela de dudas, de posibilidades abiertas por los mismos progresos anteriores, de tesis no suficientemente probadas que, prontamente, se constituyen en los objetos de la nueva ciencia. El progreso continúa. La ciencia, la filosofía y la técnica ensanchan sus fronteras, y la Historia de la Cultura le agrega muchos volúmenes a su interminable colección en cada siglo.

Como esta exposición se ocupará propiamente de la ingeniería, es conveniente buscar sus puntos de origen. A partir de la revolución científica del siglo XVII, la revolución newtoniana, la ciencia, y parcialmente la tecnología, aceleraron su desarrollo, hasta el punto que a fines del siglo XIX la ciencia y la tecnología newtoniana dominaban el mundo. Nos basta con observar el espectro de las ciencias funda-

mentales para la ingeniería por esas fechas: La mecánica de Newton había pasado por las manos de Euler, de Lagrange y de Hamilton, y se ofrecía a los científicos y a los ingenieros como una ciencia acabada, y de esas fuentes, con mayor o menor intensidad, bebían los ingenieros. Hacia 1895, por citar una fecha, la electricidad estaba sintetizando su inmenso campo en el desarrollo de la primera planta de generación de electricidad por método hidráulico, en el proyecto de Edison. Además, Maxwell había producido su *Tratado de Electricidad y Magnetismo*, síntesis de toda la electricidad del siglo XIX, etc. La Termodinámica era por entonces una ciencia acabada, gracias a los geniales esfuerzos de S. Carnot, de Joule, de Clausius y W. Gibbs; la transferencia de calor se fundamentaba por entonces, como hoy, en el trabajo de Fourier sobre conducción, y en la ley de J. Estefan sobre la radiación. La hidráulica venía desde el clásico estudio de Arquímedes, pasando por Pascal, J. Bernoulli, Euler, Lagrange, hasta Stokes, etc.

Los filósofos de la ciencia, al analizar epistemológicamente los aportes y significados de todas estas ciencias, concluyen sin vacilación que todas son ciencias newtonianas, porque todas sus variables tienen su origen en posición, fuerzas,

* Ponencia presentada en la decimocuarta reunión organizada por la Asociación Colombiana de Facultad de Ingeniería, cuyo tema central consistió en la "Educación para la ingeniería - siglo xxi".

momentos, energías y tiempo, que son las variables de Newton.

Ahora bien, todos los ingenieros formados en nuestro siglo XX, hasta tiempos muy recientes, fuimos formados en la ciencia clásica; es decir, la que acabamos de mencionar. Para nosotros no hubo la menor alusión a la existencia de la ciencia del siglo XX. Quiero decir que en la mayoría de las asignaturas de nuestra carrera escuchamos hablar, nunca, en forma didáctica y como una verdadera posibilidad, de mecánica cuántica, de relatividad, de los avances sobre la estructura de la materia, etc. Reconozcamos que fuimos formados en la filosofía de Newton, sin comprender, con alguna claridad, un concepto como el de cuantificación de la energía.

Miremos de cerca lo que fue nuestra formación: En los primeros años, todo fue un vórtice de problemas de física y matemáticas, de problemas cerrados, de respuesta única—como lo ha destacado nuestro colega Ph.D. Mario Llano Restrepo—. Eran problemas que enfatizaban la importancia de una respuesta numérica, cuya mayor exigencia estaba en la exactitud de las dimensiones físicas y su valor numérico hasta la tercera cifra decimal. Después, venían las materias prácticas: problemas térmicos o termodinámicos, teóricos o prácticos, sin oportunidad de pensar un modelo, sino buscando en la memoria, la ecuación apropiada para darles solución. El ejercicio de pensar, el intento por inventar una generalización, estaban prohibidos ante la urgencia de hacer el mayor número de ejercicios. ¿Cuál fue nuestro grado de comprensión de los conceptos incorporados en las fórmulas usadas? ¿Por qué, después de 100 años de ingeniería en nuestro país, hemos resultado todos tan estériles para alcanzar un descubrimiento de valor, un pequeño principio nuevo y útil para la ciencia o la técnica? Da pena hablar así, pero ante la realidad, es más sabio reconocerlo que olvidarlo. La verdad es que así nos formamos. Así buscamos un campo de ejercicio profesional, muchas veces fatigoso, rutinario, sin saber nada sobre las rutas de la ciencia, ni hacia dónde iba la tecnología.

Pero, de pronto, más o menos hacia 1950, empezó a aparecer la revolución tecnológica de nuestro siglo. Primero fue la gran revolución instrumental en todos los campos, tal vez, como una consecuencia de los esfuerzos bélicos al terminar la Segunda Guerra Mundial: aparecieron los detectores de ondas electromagnéticas, detectores perfeccionados de impulsos eléctricos; detectores de minerales desde el espacio, los instrumentos eléctricos de control de proceso, la

reducción de los tamaños de los equipos de producción industrial y, de pronto, nos invadió la electrónica, la microelectrónica, los transistores, y rápidamente los computadores, las técnicas de simulación, etc. Hoy, a cinco años de concluir el siglo XX, estamos sumergidos en la automatización y en la robótica, en los métodos más sofisticados de las comunicaciones, con cámaras de luz infrarroja minúsculas, espectrofotometría molecular, rayos láser para medir distancias interplanetarias, rayos láser para operaciones quirúrgicas, espectroscopia de resonancia magnética nuclear para diagnósticos de enfermedades, luz homogénea para transportar imágenes... ¡y el mundo se nos cambió en 40 años, con el pesar y la nostalgia de los ingenieros, que ni siquiera alcanzamos a comprender tantos progresos!

Hagamos un alto en este momento, y pensemos un poco en las consecuencias de estos desarrollos para un país subdesarrollado.

El primer efecto es de deslumbramiento. Es una admiración primitiva. Algo que se ubica en la franja de lo milagroso. Para el hombre común, todo es ciencia. Nadie quiere entender que solamente se trata de aplicaciones, muchas veces elementales, de principios, leyes o teorías científicas, que fueron enunciadas desde la época newtoniana, o son leyes enunciadas en la ciencia del siglo XX. Pero para el hombre común, ese que camina con un radio transistor pegado al oído, escuchando salsa, un cohete de los que transportan hombres al espacio, se le convierte en ciencia. Esto no es asunto grave, si no fuera porque el ingeniero lo acepta también. Sin embargo, las consecuencias pueden ser graves, porque pueden significar: a) que no hay diferencia entre la ciencia y la tecnología; b) que el concepto de interfase entre las dos actividades no existe; c) que es indiferente que los ingenieros olviden o desconozcan los principios de las ciencias, si conservan unos saberes mecánicos que les proveyó su formación profesional; d) que siempre estaremos dispuestos a pagar altas regalías por un artefacto o un instrumento, porque no podemos descubrir la diferencia entre un principio científico y cualquier envase que lo oculte; e) que nuestro subdesarrollo reside en otra parte, y no en nuestra incapacidad para distinguir la interfase, etc. A estas situaciones nos conduce el actuar como *el hombre del transistor*.

Permítaseme insistir un poco más en este asunto. Cuando se habla de ciencia, se piensa en principios, en leyes y en teorías que sintetizan investigaciones profundas sobre la forma más probable como se comporta el mundo físico. Se trata de un conocimiento lógico y racional, verificado por el solo pensamiento lógico, o mediante unos experimentos verificados, contrastados muchas veces y ajustados a una realidad que siempre los verifica. La ciencia es la más alta expresión de la inteligencia humana, y su progreso señala el nivel de nuestra propia evolución.

La tecnología es otra cosa. Esencialmente es una aplicación de uno o varios principios o leyes científicas, en la construcción de algún aparato, con fines de utilidad. Es una aplicación, y hablando en terminología de ingenieros, es como la primera derivada de la ciencia. Pero, en ningún caso, una *imagen especular de la ciencia*, como afirman algunos epistemólogos de la tecnología. ¿Por qué? Veamos esto: a) La tecnología nace no de una curiosidad científica sino, casi siempre, de una necesidad inmediata. b) El producto de la tecnología puede ser, y a menudo lo es, transitorio. Puede llegar a ser lábil y perfeccionable y también, puede *pasar* como una moda. c) Ninguna ley científica se agota en su aplicación. Esta puede desaparecer, mientras la ley perdura para nuevas aplicaciones. Es verdad, por supuesto, que muchas teorías científicas han sido desplazadas por nuevas teorías, pero esto no significa lo mismo, porque de una teoría desplazada en el campo científico siempre permanece la naturaleza de su primera inspiración.

La relación que tienen las ideas anteriores con el tema de esta conferencia, espero que sea obvia: Quiero decir que la formación de un ingeniero en el futuro debe estar más cerca de la ciencia que de la tecnología.

LA CIENCIA COMO CONCEPTO FUNDAMENTAL

Todo parece indicar que nuestra propia incapacidad de crear ciencia y ser originales, tanto en el campo de la ciencia como en el de la tecnología, radica en el nivel de comprensión de las leyes y teorías científicas. El grado de comprensión de un concepto científico no depende del número de

veces que lo repitamos. Más bien, parece depender de la fortaleza con que el nuevo concepto entre a formar parte de nuestra conciencia cognitiva. Un concepto que no se afianza en nuestra conciencia, que no encuentra otros conceptos similares con los que se pueda relacionar; es decir, nociones ya acomodadas en nuestro substrato cognitivo, no pueden hacer parte activa y útil en nuestra inteligencia. Nuestros bachilleres repiten que el átomo, en el modelo de N. Bohr, por ejemplo, está formado por electrones, protones y neutrones; esto lo repiten como loros, ¿pero se hacen preguntas inteligentes acerca de este modelo? En algún momento quieren saber cosas como: ¿Cuáles fuerzas mantienen en equilibrio esas partículas? ¿Cuál es la verdadera diferencia entre ellas? ¿Piensan en la existencia de fuerzas repulsivas o atractivas en su interior? ¿Piensan en la magnitud de tales fuerzas?, etc. Sucede que ningún concepto científico es una noción aislada, que se recuerda como las palabras de un diccionario. Todo concepto científico trabaja encadenado a otros, y mientras mayores relaciones podamos establecer con él, mayor es su arraigo y mayor nuestra comprensión de él. La comprensión es un proceso de asimilación. Esto nos lo vienen repitiendo los psicólogos del conocimiento, pero por un oído nos entra y por el otro nos sale. Sucede, hablando desde el punto de vista psicológico, que la conciencia de un alumno de primer año de ingeniería, por ejemplo, es un campo muy rico en conceptos, en nociones, en experiencias, en imágenes, y que es muy posible que cualquier nuevo concepto científico que queramos fijar en esa conciencia puede encontrar mucha compañía. Las nociones de relación, semejanza, contraposición, identidad y tantas más no parecen tan difícil de despertar. Pero si el profesor no es capaz de despertarlas, si las exposiciones son formas más o menos veladas de repeticiones nemotécnicas, parece imposible reconocer este recurso.

La ciencia no es un catálogo infinito de principios. Recordemos: Hay una ley de la conservación de la masa que, después del aporte de Einstein, es la misma ley de la conservación de la energía. Hay una sola ley de la entropía que, después de la interpretación de L. Boltzmann, es la misma ley del orden y del desorden en la naturaleza. Hay una ley de atracción universal de Newton que, después de la teoría general de la relatividad, es una singularidad de la geometría de cuatro dimensiones. Hay una ley de transferencia genética que, después del descubrimiento del DNA, se redujo al comportamiento de una sola molécula, etc.

Las leyes científicas son relaciones entre conceptos establecidos por la investigación. Todo lo que hacemos es parafrasear

tales conceptos. Por lo tanto, si somos capaces de comprender los conceptos, entonces estamos en la vía de comprender y servirnos de la ciencia.

Las mismas grandes teorías científicas pueden ser sintetizadas en sus leyes fundamentales; lo que nos resta es comprender los conceptos enunciados en tales leyes. Veamos tres ejemplos:

Ejemplo No.1: Las leyes de la dinámica de Newton

- A₁ “Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas”.
- B₁ “El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza”.
- C₁ “Para toda acción hay siempre una reacción opuesta o igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias”. (I. Newton. Principia.)

Ejemplo No.2: Las leyes de la termodinámica

- A₂ “El cambio de energía de un sistema durante cualquier transformación es igual a la cantidad de energía que el sistema recibe desde sus alrededores”. (E. Fermi, *Thermodynamics*.)
- B₂ “Una transformación cuyo único resultado final es transformar en trabajo el calor extraído de una fuente que está a la misma temperatura uniforme, es imposible”. (Lord Kelvin, citado por Max Planck en *Thermodynamics*.)

Ejemplo No.3: Las leyes de la mecánica cuántica

- A₃ “Las posibles funciones de estado, ψ , de un sistema, están dadas por las soluciones de la ecuación diferencial,

$$H\psi = -\frac{\hbar}{i} \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

donde H es el operador hamiltoniano de energía del sistema”.

- B₃ “Los únicos posibles valores que se pueden observar para una variable dinámica en un ensamble de sistemas son los valores propios, λ , en la ecuación

$$\alpha\phi = \lambda\phi \quad (2)$$

donde α es el operador de la variable y ϕ es cualquier función propia bien comportada de α ”.

- C₃ “Cuando se obtiene un gran número de mediciones de cualquier variable dinámica en un ensamble de sistemas cuya función de estado es ψ , el resultado promedio es,

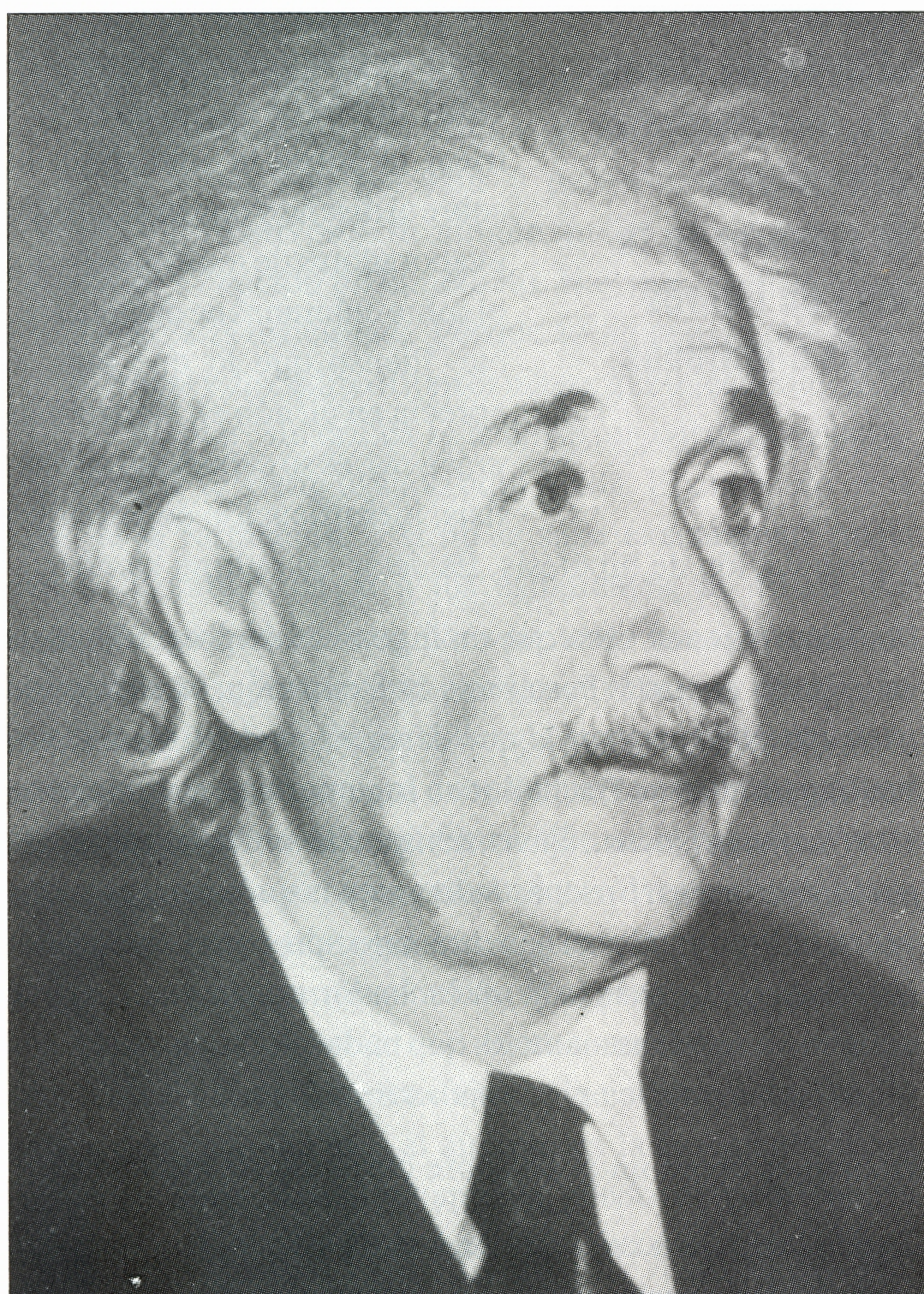
$$\bar{\alpha} = \int \psi^* \alpha \psi d\tau \bigg/ \int \psi^* \psi d\tau \quad (3)$$

donde α es el operador para la variable dinámica medida, ψ^* es la conjugada compleja de la ψ ; y τ es el espacio de configuración”. (Walter Kauzmann, *Quantum Chemistry*.)

Cuando decimos que nuestro trabajo es el de parafrasear los conceptos de la ciencia, nos estamos refiriendo al más profundo significado de tales conceptos. No se trata de parafrasear los mismos axiomas, sino profundizar y alcanzar conclusiones de los hechos que la ley expone. Newton, por ejemplo, fue capaz de aclarar sus leyes, en una primera instancia, con ejemplos sencillos, como aquél con el que explica su tercera ley, con el caso del caballo que hala una piedra mediante una cuerda; pero no todas las leyes son así de fáciles de explicar. Las leyes de la mecánica cuántica son más profundas y elaboradas. Veámoslo:

La tercera ley, por ejemplo, lo que dice es que si nosotros hemos obtenido un gran número de mediciones de cualquier variable dinámica, entonces, el valor utilizable de tales medidas es el promedio estadístico de las mediciones de la variable dinámica en cuestión. Pero preguntémonos: ¿Cuáles son las variables dinámicas de la mecánica cuántica? Esta pregunta nos plantea el problema de conocer cuáles son las incógnitas, por así decirlo, en la nueva mecánica.... Si se trata de “una mecánica”, ¿sus variables serán muy diferentes de las variables ya conocidas de la mecánica de Newton? Digamos que la ciencia, en general, aprovecha las estructuras verbales creadas en los dominios similares, y estos patrones de lenguaje se repiten en muchos campos.

Ahora bien, si el lenguaje de la cuántica fuera igual al de la clásica, los problemas serían los mismos y se establecería una tautología. Por lo tanto, deben existir diferencias profundas entre una y otra mecánica. Las variables de la mecánica cuántica son: tiempo, posición, velocidad, masa, momento lineal, momento angular, energía, etc. Estas son, en principio, las mismas variables de la mecánica de Newton. Sin embargo, la masa es relativista, la energía está cuantificada, como los momentos; y se dan otras variables que no se dan en la mecánica clásica: Spin electrónico y nuclear, paridad, etc. En general, la mecánica cuántica opera principalmente sobre sistemas de múltiples partículas: electrones, neutrones, protones, átomos, moléculas, iones, etc., por eso, la tercera ley se calcula por la fórmula del valor promedio estadístico.



Lo que nos permite conocer la nueva mecánica es un conjunto muy grande de propiedades físicas y químicas de la materia, como:

1. Estructura electrónica y nuclear de los átomos.
2. La razón de la estabilidad de los átomos estables.
3. La razón de la inestabilidad de los átomos inestables.
4. La manera como están distribuidos los electrones en los átomos.
5. La manera como se forman los compuestos moleculares.
6. La fuerza, orientación y naturaleza de los enlaces químicos.
7. La estructura de los núcleos atómicos.
8. Las propiedades eléctricas de las moléculas.
9. La energía de los átomos y las moléculas.
10. La causa de los espectros atómicos y moleculares.
11. La naturaleza de la radiación electromagnética.
12. El origen de los elementos químicos en el universo.
13. La razón de que sucedan las reacciones químicas.
14. Las propiedades de la materia en cada uno de sus estados, etc.

Es apenas natural que una ciencia con tan inmenso poder de predicción, esté ocupando un lugar tan destacado en la ciencia contemporánea, y se oriente como la ciencia más importante del futuro. Recordando una vieja frase del sabio Louis De Broglie: "Nada de lo que ha sido hecho se hizo sin los cuantos".

El propósito de las ideas anteriores fue mostrar a cuánta distancia estamos de la ciencia de nuestro tiempo, y sobre todo, plantear la cuestión de si nuestra juventud universitaria está en capacidad de comprender o no los conceptos de la ciencia contemporánea.

DISCUSION SOBRE METODOLOGIA, CURRICULO Y LOS GRANDES TEMORES

La Universidad del Valle, como otras universidades colombianas, está propiciando cambios, lo más profundos posibles, sobre el arte de enseñar. Es una necesidad imperiosa que los cinco años de permanencia de un alumno en una facultad de ingeniería no se malogren en una enseñanza anticuada, obsoleta, y de temas en desuso.

Digámoslo de una vez. La enseñanza moderna es inductiva, creativa y motivante. Se tienen que acabar los profesores dueños únicos de toda la sabiduría, y cambiarlos por expositores que luchan con los alumnos por construir los conocimientos. Los grandes educadores modernos tienen en cuenta elementos psicológicos, herramientas heurísticas y motivaciones sentimentales a fin de sembrar en la conciencia del alumno un interés propio por los conceptos científicos. Nuestro arte de enseñar no puede seguir siendo un discurso mal logrado, orgulloso, ni de simple satisfacción para el profesor envanecido. La verdadera enseñanza moderna es globalizante, capaz de crear imágenes nuevas, formas críticas, apoyadas en muchos campos, y capaz de liberar la imaginación del alumno para que cree sus propios modelos, los discuta, los contraste y matematice hasta donde ello sea posible. Solamente así, el alumno se libera de las rutinas que tuvo que soportar en las formas antiguas de aprendizaje. Aprender es un placer muy grande, pero comprender es el máximo placer. Cuando profesores como J. Novak y el psicólogo Ausubel recomiendan darle al alumno confianza en sí mismo, están liberándolos de las ataduras impuestas por los métodos repetitivos y mecánicos de la enseñanza. Todo se puede comprender si existe la disposición del ánimo.

Una pregunta que se plantea a menudo en las facultades de ingeniería es, la de si lo que más nos conviene en una carrera introductoria, como es el pregrado, es el énfasis en lo teórico o en lo práctico; en lo analítico o en lo operativo. Hay profesores, respetables, que aducen en defensa de lo práctico, la situación nacional. Es decir, que los alumnos de ingeniería del pregrado están *obligados* a dar la respuesta rápida a nuestras carencias: de agua potable, de energía eléctrica, de comunicaciones, etc., como si ellos fueran los verdaderos responsables de tales falencias. Mi concepto personal es, que esta exigencia anula el esfuerzo de aprender, y de proyectar la personalidad del alumno. Produciendo expertos en artes mecánicas jamás despegaremos hacia un país libre. Por muchas razones, que no es posible mencionar aquí, un alumno de pregrado, en cinco años de formación

La enseñanza moderna es inductiva, creativa y motivante. Se tienen que acabar los profesores dueños únicos de toda la sabiduría, y cambiarlos por expositores que luchan con los alumnos por construir los conocimientos. Los grandes educadores modernos tienen en cuenta elementos psicológicos, herramientas heurísticas y motivaciones sentimentales a fin de sembrar en la conciencia del alumno un interés propio por los conceptos científicos.

básica como ingeniero, lo que debe aspirar a tener es una visión actualizada del mundo de la ciencia y de la tecnología modernas. Distinguir claramente esa *interfase* de que se habló antes. Poseer una formación matemática moderna y suficiente para poder leer y conocer las rutas actuales de la ciencia; comprender la física y la química modernas; tener información suficientemente fundamentada sobre lo que son la investigación científica y tecnológica. Poseer una

cultura científica e histórica sobre la evolución del mundo, y una fe profunda en el valor de la ciencia.

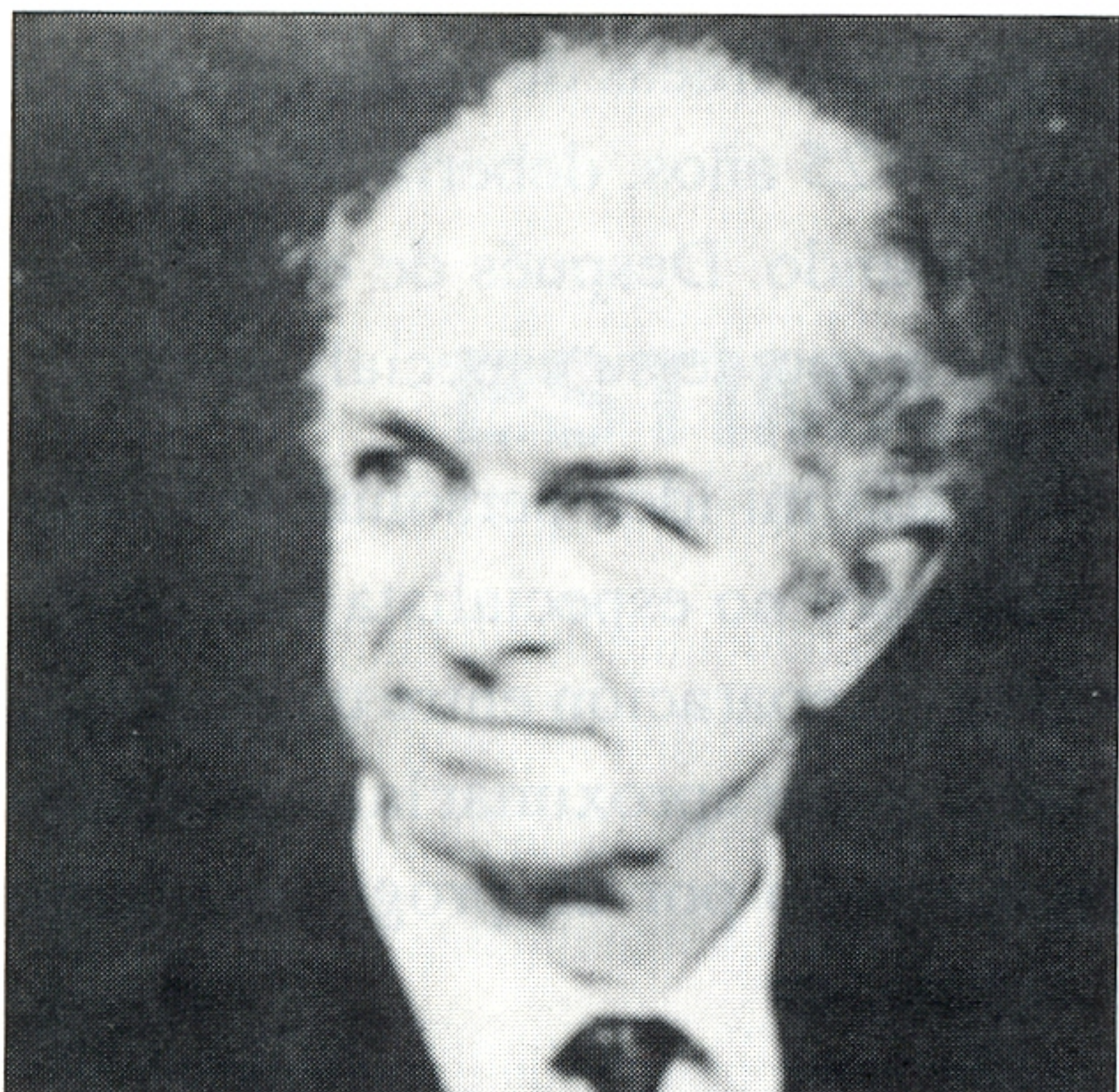
Digamos, con mucha franqueza, que estos fundamentos le son suficientes, inclusive, para acceder a un empleo práctico. Lo que se aprecia en un ingeniero joven no son sus profundos conocimientos prácticos sobre electricidad, diseño de maquinaria eléctrica; ni sobre la soldadura, ni sobre el diseño y construcción de evaporadores de múltiple efecto, ni sobre columnas de destilación, etc. Pienso que lo que más se aprecia en él, aún en situaciones prácticas, es su capacidad de análisis, identificación de variables

y formulación de hipótesis. Es decir, su cultura científica.

Por estas razones, creo que un ingeniero de pregrado no es un experto en nada. Pero tiene la formación, la educación y la capacidad para ser lo que desee. Cuando el gran Linus Pauling terminó su Bachellor en Ingeniería, era alguien con estas características. Tuvo tiempo de obtener su Ph.D., postdoctorarse en Europa, dedicarse a la química, ganar dos veces el Premio Nobel y ser reconocido como un creador universal de la ciencia y un luchador por la paz. Lo que definiendo en este momento es que nada es comparable a una formación científica bien fundamentada.

Hablemos ahora un poco sobre currículo de ingeniería.

Todo currículo académico es una idealización, haya sido o no diseñado por expertos. Las diferencias psicológicas de alumno a alumno son, en general, muy grandes. Es preciso siempre pensar en qué es lo más importante de un tema que pueda ser asimilado por el mayor número de alumnos, y por qué no hay que tenerle tanto temor a las reiteraciones sobre



Linus Pauling. Sus ideas abarcan todos los aspectos de la química, fundador de la química cuántica y gran educador.

asuntos esenciales. Pero un currículo es tan importante como la metodología de su enseñanza, y por estar tan relacionados, es por lo que estos dos problemas deben ser analizados casi conjuntamente. Lo que más importa de un currículo es su contenido de temas proyectables; es decir, aquellos temas que contribuyan de algún modo a darle unidad a la formación científica y tecnológica del alumno. Aquellos temas con porvenir y perspectivas, que sean difíciles y formativos y, de ningún modo, lo que pueda ser aprendido y captado de inmediato. Hay que rendirle siempre tributo a la dificultad. Porque solamente lo que no es obvio, forma y disciplina. El error mayor que puede cometerse es el de aceptar, sin crítica ni análisis, un currículo extranjero porque se viene usando aquí o allá. El currículo es la base de la formación, y si no se sabe exactamente hacia dónde queremos llevar a los estudiantes, es difícil que cualquier vestido le sirva. No vale tanto la experiencia de los profesores, porque ésta puede ser el mayor obstáculo. Puede tratarse de una estadística de errores. El diseño de la formación de un ingeniero debe ser un asunto integral, con la mirada puesta más en el futuro que en el pasado. Precisamente, por alternar este pensamiento es que el conservadurismo de muchos programas, en lugar de proyectarnos al futuro, nos retrasa más cada día. Hay planes de estudio en ingeniería en Colombia que fueron copiados de alguna parte, hace veinte o treinta años, y se siguen ofreciendo, hundiendo cada día más al alumno en la desorientación y desinformación. Anecdóticamente, puedo referir la historia de un texto de álgebra adoptado por una facultad de ingeniería y editado por primera vez en la década del 20. Este se volvió tan indispensable para los estudiantes de esa facultad, que treinta años más tarde, los alumnos sacaban copias a mano del libro, cuando ni siquiera se editaba ya el texto... La ciencia y la tecnología cambian. Los textos se

envejecen en cinco años, las revistas son más ricas y profundas cada día, y lo que ayer fue novedad hoy está obsoleto.

SOBRE LA NOCIÓN DE CIENCIA INTEGRADA: PERSPECTIVA HACIA EL FUTURO

Si la formación de un ingeniero de cualquier denominación ha de ser la de un joven formado principalmente en matemáticas-física-química-metodología de la investigación y una muy bien desarrollada capacidad para modelar problemas, con autonomía creativa, de donde pueda partir sin dificultad hacia las áreas de la especialización, es importante pensar también en los materiales de lectura, donde beberá sus ideas. Desde fines del siglo XIX hubo ya personas que vieron la necesidad de crear textos, síntesis, orientados a producir unas obras resúmenes de principios y leyes fundamentales que expusieran, con alto nivel científico, las producciones más destacadas de grandes investigadores en campos de la ciencia relacionados. La necesidad actual de tales textos es hoy mayor que lo fue en 1887, cuando el científico alemán Guillermo Ostwald reunió en el primer número de la revista *Zeitschrift für Physikalische Chemie* las más destacadas teorías sobre los problemas que hoy estudia la fisicoquímica, dando lugar al nacimiento de esta ciencia. Cosa similar sucedió con el nacimiento de la bioquímica, y hoy son famosos los textos de *Biología molecular*, con similares diseños.

La noción de ciencia integrada, en el fondo, tiene mucho que ver con la cultura científica general: rigurosa, sucinta, comprensiva, pero también inductiva. Esta noción de ciencia integrada es globalizante. Nadie alcanza un nivel de especialista sin haber mirado panorámicamente la ciencia. En 1940, por ejemplo, Henry Margenau y George M. Murphy produjeron un texto de matemáticas titulado, *The Mathematics of Physics and Chemistry*, en el que estos dos eminentes profesores de las universidades de Yale y New York, respectivamente, reunieron, en un volumen, toda la matemática moderna necesaria para comprender desde la termodinámica hasta la mecánica cuántica. Textos así podrían ser la ayuda más esencial para la formación de un moderno ingeniero, *mutatis mutandis*, por supuesto.

Cuando se piensa en la noción de ciencia integrada, dos acepciones acuden a la mente: la más común es la de pensar en la unidad de la ciencia, y creer que en un problema

biológico, por ejemplo, caben la física, la química, la biología estructural, la bioquímica, la fisiología y aún las matemáticas. Por supuesto, es ésta una visión válida para la integración; pero el concepto que estoy intentando describir es menos ambicioso y busca ligar la ciencia mediante líneas continuas, pertenecientes a un mismo campo. Estas son las visiones más comprensivas y, también, las más útiles que pueden diseñarse para la enseñanza de un tema. Pensemos, por ejemplo, en la noción de partícula. Es éste un concepto que, si uno quiere, puede ubicar su origen en la concepción atómica de la materia, de Leucipo y Demócrito, entre los griegos. Pasar por el poema de Lucrecio *De la naturaleza de las cosas*; saltar al siglo XVII y recoger la noción de partícula de Boyle y Newton; descubrir el concepto de "gas" en Van Helmont; conocer el magistral trabajo físico-matemático de Daniel Bernoulli, en el siglo XVIII para deducir la presión de un gas; empezar a manejar las variables de estado (presión-volumen-temperatura) con los químicos del grupo de Gay Lussac, a principios del siglo XIX; llegar a la axiomática de la Teoría Cinética de J. C. Maxwell, a su ley probabilista de la distribución de las velocidades en un caos molecular; empezar a mirar los trabajos de Willard Gibbs y de Boltzmann que habrán de conducir al desarrollo de la mecánica estadística de nuestro siglo, para terminar con la estadística cuanto mecánica del siglo XX. ¡Dios mío!, podrán exclamar muchos, ¡pero ese es un programa para varios años! ¿Quién dijo eso? Lo que se está mostrando es una línea, una especie de cuerda que se puede adelgazar en varios puntos y engrosar en otros. Lo que importa y sirve es la visión. Muchos textos de mecánica estadística toman el problema en las leyes de distribución de Maxwell. Otros textos empiezan con Gibbs y Boltzmann, y los hay exclusivamente sobre estadística cuántica. Pero desde el punto de vista didáctico, lo que más importa es conocer el origen y flujo de las grandes líneas del pensamiento. Hay que enriquecer la imaginación y el lenguaje de los ingenieros. Hay que sacarlos de la inercia de las tuercas y tornillos. Un ingeniero joven puede y debe pensar con mayor imaginación. Pensar en líneas de pensamiento científico. De la mecánica de Arquímedes a la mecánica newtoniana y de ésta a la mecánica relativista. De la electricidad de Franklyn a las ondas electromagnéticas producidas por Hertz. Del átomo de Dalton a la cuántica de Schrödinger.

Nuestro mundo está cruzado de líneas de conocimiento, y un ingeniero joven, de 23 o 25 años, debería llevar en su mente esa estructura del mundo. Después de esto, y sólo después, podrá buscar el campo de su especialización.

Creo, finalmente, haber dado mi idea personal de lo que pienso, podría ser el ingeniero no especialista del futuro. Todos los días será mayor la separación entre un técnico y un científico. Pero el esfuerzo por aproximar la ciencia a los ingenieros se verá compensado por un progreso real en nuestra formación tecnológica ♦

Santiago de Cali, noviembre de 1994

BIBLIOGRAFIA

1. I. NEWTON. *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*. Editora Nacional, 1982. Madrid.
2. W. KAUZMANN. *Quantum Chemistry*. Academic Press, 1957.
3. E.U. CONDON., P.M. MORSE. *Quantum Mechanics*. McGraw-Hill, 1929.
4. H. EYRING, J. WALTER, G.E. KIMBALL. *Quantum Chemistry*. John Wiley and Sons, 1944.
5. E. FERMI. *Thermodynamics*. Dover.
6. M. PLANCK. *Treatise on Thermodynamics*. Dover.
7. F.W. SCHUELER. *Chemobiodynamics and Drug Design*. McGraw-Hill, 1960.
8. H. MARGENAU, G.M. MURPHY. *The Mathematics of Physics and Chemistry*. D. Van Nostrand, 1943.
9. J. NOVAK. *A Theory of Education*. 1977. Cornell University Press.
10. J. BONNER, J.E. VERNER. (Editors). *Plant Biochemistry*. Academic Press, 1985.
11. F.C. ANDREWS. *Equilibrium Statistical Mechanics*. John Wiley, 1963.
12. P. FORCHHEIMER. *Tratado de Hidráulica*. Editorial Labor S.A., 1950.
13. J.C. SLATER., N.H. FRANK. *Introducción a la Física Teórica*. Espasa Calpe, 1951.