

Ingenieros y las torres de marfil.

Práctica, enseñanza e ideales de la ingeniería.

Hardy Cross.

Prólogo del editor.

Su oficina es alargada, y está tenuemente alumbrada; dos de sus muros están cubiertos por libros e informes que llegan hasta el techo. En el fondo del cuarto hay un ventanal, cubierto en partes por hiedra que cuelga, pero que permite entrar suficiente luz para ver su silueta a contraluz sentado en su escritorio. Cientos de personas que han trabajado relacionadas en alguna forma con Hardy Cross conservan su recuerdo familiar mirando pensativamente por la ventana, con el espeso humo de cigarrillos flotando con lentitud sobre su cabeza.

Qué personalidad es la de este profesor de ingeniería en cuyos libreros están colocados, uno junto al otro, La Teoría de la Electricidad, Abraham Lincoln en Illinois, La Sagrada Biblia y Alicia en el País de las Maravillas. ¿Por qué tantos hombres han viajado desde las Américas, de Europa y de Asia para poder asistir a sus clases? ¿Cómo es que sus opiniones sobre ingeniería y sobre educación han llegado a ser reconocidas en forma universal?

Cuando Hardy Cross se graduó, a la edad de diecisiete años, fue el alumno más distinguido de una pequeña escuela preparatoria con una larga tradición de cultura liberal: griego y latín, los autores clásicos del idioma inglés, matemáticos y ciencia, filosofía e historia de las religiones. Después de breves incursiones por la literatura y la química, estudio ingeniería civil en dos de los grandes colegios, en uno en la división profesional y en el otro como alumno graduado.

Sus relaciones íntimas con la enseñanza de la ingeniería continuaron desarrollándose en los años siguientes, habiendo sido profesor en tres universidades diferentes, su último nombramiento fue el de profesor “Strathcona” de ingeniería civil en la Universidad de Yale. Así, adquirió gran familiaridad con la educación en seis centros distintos de enseñanza superior. Además, dado su contacto personal con alumnos graduados durante muchos años, ha tenido oportunidad de conocer y de tratar a personas procedentes de otras instituciones de enseñanza. Durante todo ese tiempo, sus conocimientos fueron respaldados por años de experiencia en la planificación, el proyecto y la construcción de obras de ingeniería.

El mundo ingenieril ha aclamado desde hace tiempo a Hardy Cross por sus logros profesionales, y le ha conferido honores de instituciones profesionales y académicas. La sociedad Americana para la Educación en Ingeniería señala que recibió, en 1944, su medalla Lamme.... “por su desarrollo de métodos revolucionarios en el análisis de estructuras; por su aplicación de estos procedimientos a la educación de los ingenieros civiles; por su insistencia sobre las grandes responsabilidades de los profesores individuales, y por su desprecio sobre lo superficial de la enseñanza....”

La filosofía contenida en este libro fue desarrollada por su autor en los últimos treinta años, y ha aparecido en publicaciones o fuera de ellas. El editor, cuando fue estudiante en la universidad de Yale, se hecho a cuentas la organización de la numerosa colección de trabajos del Profesor Cross.

El material original es de naturaleza técnica y no-técnica, disponible en artículos de revistas, ponencias en sociedades, discursos transcritos, apuntes de clase y conferencias a alumnos graduados. Se escribió en un principio, para muchos grupos distintos de condiciones divergentes, lo que requirió su organización, edición y ordenamiento. El libro contiene la sexta parte del material acumulado. La fraseología de

varios artículos ha sido un tanto modificada para lograr uniformidad de estilo; sin embargo en ciertos casos, el lector podrá notar que el estilo original se ha conservado con toda intención, y que, de haberlos modificado, habrá cambiado sensiblemente su significado.

Muchas personas mostraron interés, y me ofrecieron algo más que su estímulo, a medida que progresaba el trabajo sobre este libro; al publicarlo se hizo realidad el valor de su ayuda. El Dr. William S. Livingston, Profesor Auxiliar en el Departamento Administrativo de la Universidad de Texas, merece el reconocimiento especial por sus oportunas sugerencias sobre el manuscrito, así como el Profesor Frederic T. Mavis, del instituto Tecnológico Carnegie, cuyo auxilio contribuyó a realizar la publicación de este libro.

Robert C. Goodpasture

Nueva York, enero de 1952.

Prologo del traductor.

Este libro está dedicado a los ingenieros, a los graduados a aquellos jóvenes que, con inquietudes constructivas y con ansia de servir, desean serlo; a las personas que, con dedicación, perseverancia y sacrificio, enseñan a las nuevas generaciones a iniciarse en la carrera; y a los que, en el ocaso de la vida, pueden analizar en forma retrospectiva sus éxitos y fracasos, sus aciertos y sus errores, y su contribución, grande o pequeña, al progreso humano por medio de la construcción. Los ejemplos están tomados, en general, del campo de la ingeniería civil, pero los conceptos básicos son aplicables a todas las ramas de la ingeniería. Más aun, no solo los ingenieros se beneficiaran de su lectura; contiene mensajes que son comunes a todos los profesionistas, a los maestros y, de manera amplia, a aquellas personas que, por su capacidad mental, su instrucción, erudición o sabiduría, desempeñan cargos en que deben dirigir, orientar y encauzar a sus semejantes.

Hardy Cross (1885-1959), tan conocido en el mundo técnico por haber desarrollado en forma práctica y aplicable a los métodos iterativos de análisis estructural, el procedimiento de analogía de la columna, sistemas de cálculo de flujo en redes de agua potable, y otros métodos de investigación de conjuntos y estructuras menos difundidos que los anteriores, fue un gran educador, un planificador, un constructor y un filosofo. Pero en este mundo de especialización siempre creciente, su enseñanza, que recalca la importancia de generalizar los conocimientos y la investigación, se ha visto ahogada en mares sin fondo de tecnología y de tecnificación. El hombre es cada vez menos íntegro, menos capaz de comprender los problemas en su forma amplia y completa; a medida que se estrecha más el campo específico en que ejerce, su visión se angosta y limita.

El intelectual del siglo XX, y en particular el técnico contemporáneo, está perdiendo gradualmente su capacidad de contemplación; no se interesa por la naturaleza, no la admira, no hace esfuerzo por comprenderla, y se pierde las lecciones que a diario, a cada instante, nos da si sabemos tomarlas. Enseñanzas no sólo sobre la belleza suprema de la aurora y el crepúsculo, las flores, pájaros, insectos o paisajes, sino todo género de temas, técnicos y no técnicos. Quien contempla un árbol, y medita cómo es capaz de resistir las fuerzas del viento, la erosión y la perenne acción de la gravedad, tiene a su alcance doctrinas sin límite sobre diseño y comportamiento estructural; ese árbol, tan débil y flexible en sus hojas, aumenta en resistencia a medida que sus partes se acercan al tronco, se arraiga en la tierra, y al mismo tiempo que se extiende en ella para nutrirse, obtiene la estabilidad adecuada. Las universidades necesitan orientar a sus estudiantes, a sus estudiantes de ingeniería, para que busquen más en la naturaleza y menos en las fórmulas, más en los fenómenos y menos en el salón de clase y laboratorio, la sabiduría que ha caracterizado a aquellos pocos ingenieros que han descollado en forma real y efectiva como proyectistas, planificadores, constructores, innovadores o visionarios.

Es hora de hacer un alto en el camino para reflexionar sobre qué tan bien orientado está nuestro sendero. No porque lo recorramos a gran velocidad vamos a donde queremos; quizá estemos caminando en sentido contrario; los pensamientos del profesor Cross pueden ayudarnos en este análisis.

El Sr. Goodpasture, editor y recopilador del libro original, afirma en su prólogo, escrito hace ya casi veinte años, que la filosofía contenida fue expuesta por su autor en los treinta años anteriores a su publicación. Resulta asombroso observar que todo el libro tiene tal actualidad que parece haber sido escrito hoy. Tal vez éste sea uno de sus

mayores méritos: ser como otros libros de gran valer, casi inmunes al tiempo, al vaivén de la moda y al capricho de los dictadores y caudillos. Por esto he querido difundir la obra menos conocida de este maestro y me he propuesto hacerla asequible al mundo de habla hispana.

Cuando estudiaba el tercer año de la carrera de ingeniero civil tuve mi primer encuentro con la obra de Cross. En alguna ocasión varios días antes, al visitar la oficina de un renombrado ingeniero mexicano, vi en el estante el libro "Continuous Frames of Reinforced Concrete", de Cross y Morgan, al mismo tiempo que oía al profesionalista hablar de él alabándolo. Ni tardo ni perezoso, y aunque aún no cursaba materias para las que pudiera requerir el libro, pero queriéndome anticipar a mis compañeros de clase, dije a mi padre que lo necesitaba para mi preparación y él me lo consiguió.

Inicié el estudio del libro y, vergüenza me diera decirlo, pronto me decepcionó. Acostumbrado a creer en la "ciencia de ingeniería", y habiendo cursado sólo materias que hoy se llaman pomposamente "básicas y propedéuticas", me repugnó que los primeros párrafos comenzaran por preguntar, con grandes interrogaciones, qué cosa es I y qué cosa es E. Lo que en realidad sucedió fue que no tenía yo capacidad para comprenderlo, y mis estudios, hasta entonces, eran sólo teóricos y superficiales.

Todavía cuando unos dos años después estudié el "Método de Cross" en otro libro, más didáctico quizá, pero mucho menos profundo, me preguntaba cómo un autor podía descubrir un procedimiento tan práctico e ingenioso y era, en cambio, tan oscuro para explicarlo.

Pero la vida me fue llevando poco a poco por el verdadero camino de la ingeniería y, al ir madurando en la profesión, comprendí, al cabo de los años, que no era ciencia, sino arte lo que había estudiado. Fue entonces cuando, por un problema de proyecto que me inquietaba, volví a estudiar aquel libro de Cross, ¡qué distinta mi reacción esta vez! No sólo me llamó la atención y me gustó, sino que de hecho me entusiasmó. Cuánta sabiduría se encerraba en sus páginas, con qué profundidad y conocimiento trataba los temas, cómo se relacionaban con maestría los problemas prácticos del comportamiento de los materiales con la forma teórica de su análisis estructural, qué compleja y distinta resultaba la realidad respecto a la versión simplificada y estereotipada con que la acostumbran ver otros autores.

Poco tiempo después, leyendo una revista técnica, tuve conocimiento de la publicación de un libro intitulado "Engineers and Ivory Towers" (Los Ingenieros y las Torres de Marfil) escrito nada menos que por Hardy Cross. Su título me inspiró una viva curiosidad, y al ver el nombre del autor al que había aprendido a estimar, no dudé en ordenarlo a mi agente de libros. Si ya antes admiraba a este gran maestro, después de leer dicho libro le he tenido positivo respeto y veneración. Desde entonces he leído una y otra vez mi ejemplar, de tal forma que están gastadas las orillas de sus páginas, y sus pastas despintadas casi a punto de separarse. A mis alumnos les he recomendado leerlo y meditarlo; es más, creo que debiera hacerse antes de iniciar cualquiera de las carreras de ingeniería, durante su estudio, y varias veces después de haberla terminado.

Para mi sorpresa, el libro no alcanzó mucha popularidad. Fueron pocos los alumnos que lo leyeron, y al comentar su contenido con compañeros de profesión, quizá demasiado jóvenes y sin experiencia, se escandalizaron al mencionárseles temas como "el arte de la ingeniería", "la exagerada simplificación con que se acostumbraba visualizar los problemas reales para tratarlos en forma analítica", y mucho más cuando me referí a las relaciones humanísticas de la ingeniería, o cuando me atreví a decir que la mayor parte de los problemas de ingeniería son del tipo de decisiones imposibles de calcular.

Por fortuna, en los últimos años ha habido una reacción contra la deshumanización de la ingeniería; ya son muchas las universidades que incluyen en sus programas de carreras de ingeniería materias humanísticas, y ya se empieza a reconocer que un intercambio de profesores y alumnos entre las facultades que tradicionalmente enseñan humanidades con las de ingeniería es tan sano como provechoso. Si bien es cierto que todavía subsisten en la profesión algunos engréidos que, buscando nombres ostentosos a sus conocimientos, proclaman a los cuatro vientos que sus especialidades son ciencias exactas, que sólo un pequeño grupo de escogidos puede dominar y que son esenciales a la técnica actual, los verdaderos intelectuales ponen en tela de juicio tales aseveraciones.

La ingeniería debe marchar hombro con hombro y por sendas paralelas con la arquitectura; no con el falso arte que, así llamado, decoró el puente de la Torre de Londres con mamposterías feudales anacrónicas, las que forran los elementos estructurales y revelan con estridencia lo impropio de la solución, sino con la verdadera arquitectura que aprecia en las obras de ingeniería funciones de servicio, juegos de masas, de luces y armonía con el paisaje. Hermanadas estas artes, pueden producir obras útiles, bellas y siempre jóvenes como los acueductos de Segovia en España, de Zempoala, Querétaro y Los Remedios de México, el puente Severin de Colonia y el Severn de Gales, la presa Grand Coulee del Río Columbia, así como tantas obras que, bien planeadas y construidas, son monumentos vivos a la verdadera grandeza humana.

Los maestros, más que nadie, deben dar a conocer con humildad lo poco exactas que son las soluciones a la mayor parte de los problemas de ingeniería, los riesgos que se involucran y lo complejo de esos problemas. Conviene que todo hombre llegue a conocer la nobleza de esta profesión, que si bien ha sido admirada al contemplar los adelantos de la técnica, la grandiosidad de las obras mayores y el provecho práctico de las aplicaciones, también ha sido menospreciada y tratada con indiferencia.

Cuando el público en general aquilata su valor, cuando respeta y dé al ingeniero la honra que merece, ese mismo público será el primer beneficiado. Para ello, los ingenieros debemos respetar nuestro credo y reconocer que sólo el trabajo responsable y constante nos llevará a las mejores soluciones de nuestros problemas, que el genio por sí solo, si no es dedicado, activo y paciente, nada produce. Y sobre todo, necesitamos comprender la filosofía del constructor, magistralmente interpretada por Ruskin cuando, en su conocida idea, afirma:

"Toda acción humana resulta honrada, agraciada y verdaderamente magnífica cuando se hace considerando las cosas que están por venir... En consecuencia, cuando construyamos, hagámoslo pensando que será para siempre. No edifiquemos para el provecho y el uso actual solamente. Hagamos tales obras que nuestros descendientes nos lo agradezcan y consideremos, a medida que ponemos piedra sobre piedra, que día llegará en que esas piedras serán sagradas porque nuestras manos las tocaron, y que la posteridad pueda decir con orgullo, al ver nuestra labor y la esencia que en ella forjamos: "Mirad aquí el legado de los que nos precedieron."

Al preparar esta publicación, como en todas las traducciones, ha sido necesario interpretar ideas en vez de transferir palabras de un idioma a otro, es decir, hacer una paráfrasis más bien que una traducción estricta. Sin embargo, en algunos casos se ha considerado necesario conservar las características de la redacción original y, por tanto, la construcción gramatical no ha seguido del todo la sintaxis, las reglas, costumbres y modismos de nuestro idioma; pese a lo cual, nos ha parecido preferible respetar el

sentido peculiar de la expresión que cumplir rigurosamente con las normas de la gramática.

Al mismo tiempo, he querido en lo posible adaptar la obra a nuestro medio y a la vez ampliar el contenido, por lo que me he permitido citar a otros autores, hacer aclaraciones e incluir comentarios, en particular sobre aquellos puntos en que mi relativa experiencia personal me ha dado conocimientos que considero dignos de transmitir. Lo fascinante del tema, el abandono en que los ingenieros lo hemos tenido durante tanto tiempo, el entusiasmo y aún la euforia que estas discusiones provocan en mi ánimo, han hecho que me explaye en los comentarios más de lo que era mi intención, en tal forma que, usando la frase popular, la posdata resultó más larga que la carta. Por tanto, consideré conveniente que estos comentarios se presenten como notas al pie de la hoja, para que, si el lector lo desea, pueda seguir de corrido el texto original del autor.

El traductor agradece con sinceridad la valiosa cooperación de las personas que gentilmente leyeron el manuscrito y que hicieron recomendaciones y sugerencias que han quedado incorporadas en el libro. En particular, fueron importantes las observaciones del Dr. Ing. Emilio Roaenblueth, del Ing. Vicente Guerrero y Gama así como del Arq. Miguel Cervantes A.

La casa editora colaboró meritoriamente en la publicación, tanto por lo que respecta a sus características como a las facilidades para que el libro quede al alcance del mayor número posible de lectores, habiéndose convencido de la utilidad y del beneficio que obtendrán muchas personas con su divulgación.

Por último, creo prudente expresar mi firme esperanza de que, en un futuro próximo, el mundo de la ingeniería tendrá conciencia cada vez más precisa sobre su misión, el carácter general e íntegro de su labor, y el convencimiento de que la especialización no debe excluir, sino complementar, la naturaleza universal del ingeniero; confío que este libro en alguna forma contribuya a ello.

Fernando Foseas Requena.

México, febrero de 1971

Cimientos Firmes para las Torres.

INGENIERIA, CIENCIA Y HUMANIDADES.

“Ingeniería es el arte de planificar el aprovechamiento de la tierra, el aire, y el uso y control del agua; así como de proyectar, construir y operar los sistemas y las máquinas necesarias para llevar el plan a su término.”

Algunas personas hacen de las definiciones una idolatría, pero definir los conceptos no necesariamente nos conduce a ideas precisas. La ingeniería es el arte que trata sobre la aplicación de los materiales y de las fuerzas materiales. El uso de la ciencia es un medio para ese fin. El objeto de la ingeniería es dar servicio a la humanidad.

La ciencia pura analiza problemas que involucran menor número de variables que las relacionadas con la ingeniería y, en general, abarca rangos de variación más estrechos que los que se encuentran en los problemas de esta última; por tanto, es del todo impropio decir que un hombre con amplios conocimientos de física y química teóricas está capacitado como es debido para ser un buen ingeniero. La ciencia, como tal, no tiene nada que ver ni con el aprovechamiento ni con la conveniencia. La ciencia investiga las realidades acerca de los materiales y de los hechos. Muchas autoridades en la materia expresan la opinión que los grandes hombres de ciencia no siguen los mismos procedimientos cuando hacen sus descubrimientos que los aplicados posteriormente para demostrar la veracidad de los mismos. Quiere decir que cuando la ciencia es creativa se distingue con claridad en ella un elemento de arte, en la misma forma que en el arte casi siempre hay algo de ciencia o, por lo menos, algún sistema. En el fondo, en las mentes creadoras altamente desarrolladas, ambas se confunden, pero en los escritos convencionales y en los asuntos ordinarios, las dos pueden más o menos distinguirse. El procedimiento sistematizado y formalista que se conoce como ciencia, y que se considera que de una manera inevitable nos conduce a resultados incuestionables, contrasta con el instinto creador, flexible e independiente que es productor del arte. Otra diferencia es que la ciencia busca la verdad, y que debe comprobarse a sí misma sólo contra la verdad. El arte concierne a su propio objetivo, ya sea el de belleza o el de aprovechamiento. Usa todos los medios convenientes para alcanzar sus fines.

El arte es creador, lleno de vida, y puede adaptarse a nuevas ideas. La ciencia tiende a convertirse más fijamente en sus procedimientos, en sus normas de razonamiento y en sus métodos de afirmaciones; con terminología elaborada, aspira a establecer y a perfeccionar una metodología. Sin embargo, éste es el concepto popular de la ciencia y no aquel que se presenta en la mente de los grandes científicos creadores.

Siempre ha sido importante que el pueblo comprenda con claridad la naturaleza de los problemas, el tipo de ellos y los procedimientos usados por los ingenieros, quienes aprovechan cualquier hecho o teoría de la ciencia sin importar cual sea su estado de adelanto, con tal de que contribuya a su arte. Si el conocimiento de la física, la química, la meteorología o las matemáticas es de utilidad para lograr los fines fijados, los ingenieros se tomarán las molestias necesarias con objeto de dominar esas ciencias para satisfacer sus requisitos.¹

"Una prueba vale más que una docena de opiniones expertas"; por otra parte alguien ha dicho: "Ninguna prueba es digna de credulidad a menos que esté respaldada por una teoría adecuada." Los ingenieros pueden ver y sopesar la verdad sobre estos puntos de vista en conflicto, excepto en el caso de que adopten una visión distorsionada y estrecha del conocimiento, sin embargo, no son básicamente científicos. Si deben clasificarse, se consideran más humanistas que hombres de ciencia.

¹ Es decir, la física, la química, la meteorología y tantas otras ciencias son herramientas de la ingeniería, pero no son fines de ella. El profano, no obstante, como ve que los estudiantes de ingeniería comienzan por aprender estas materias y que después el profesionista las aplica a diario, confunde los útiles con el objetivo, la herramienta con el destino, los medios con el producto final; en esto radica la incompreensión de nuestra profesión por parte de quienes no han profundizado en ella.

Aquellos que dedican su vida a la ingeniería es probable que tomen contacto con casi todas las fases de la actividad humana. No solo necesitan tomar decisiones importantes sobre los lineamientos mecánicos de las estructuras y las maquinas, sino además, se ven confrontados con problemas de reacciones humanas ante el universo, y constantemente involucrados en problemas legales, económicos y sociológicos. Es una verdadera fortuna que los ingenieros casi nunca se molesten en enredar estos problemas de relaciones humanas con designaciones técnicas y académicas.

Los ingenieros se guían por los datos y resultados de los hombres de ciencia, pero sus respuestas no están controladas sólo por la realidad física. Tratan de aprovechar los hechos, de manejarlos si usted quiere, de ensamblarlos para formar nuevas relaciones.

No ha habido un punto de vista más falso que aquel que visualiza a los ingenieros llegando inevitablemente a una conclusión única de sus problemas por medio de las matemáticas o de procedimientos de laboratorio; sus soluciones muy raras veces son únicas. La ingeniería no es ciencia matemática aunque sí aprovecha muchos de los procedimientos matemáticos.² Casi en todas partes y en todos los tiempos los ingenieros han tenido una característica que los identifica: quieren anotar algunos datos, hacer una grafica, dibujar un plano. Los ingenieros toman muchos datos, pero lo hacen como una guía de sus razonamientos, no como una respuesta a sus problemas. Ellos desean obtener pruebas, conocer las proporciones del problema; quieren alguna forma de plano respecto hacia donde van y que es lo que probablemente suceda cuando lleguen ahí. El trabajo del ingeniero es sintético por naturaleza aun cuando, con frecuencia, ya no se le trata así, y es imprescindible reconocer de nuevo este sistema sintético. Consiste en agrupar fragmentos de las relaciones humanas, de las ciencias, las artes y oficios para producir nuevos montajes. Hacer solamente un análisis de todos los elementos, o anotar la totalidad de los datos del problema, no quiere decir que se ha obtenido una solución. Los datos deben agruparse, ligarse para formar un nuevo montaje que involucre una gran cantidad de imaginación, colocarse con el debido respeto hacia la importancia de los elementos que intervengan y de la probabilidad de ocurrencia simultanea; todo lo cual necesita hacerse con cierta visión intuitiva de que es lo que se quiere y se desea obtener. Entonces, y solo hasta entonces, se llegara a una solución de un problema de ingeniería.

Siempre ha habido muchas formas de construir, y varias maneras de salvar los obstáculos. Algunas son mejores que otras bajo el punto de vista de la economía de los materiales, o de la mano de obra, o del tiempo requerido; algunas se prefieren porque el producto es el más útil, y otras porque el resultado se apega de la mejor manera a las demandas de la conveniencia. A menudo se justifica la construcción de un sistema de transporte, como un ferrocarril metropolitano, no porque el público debe tenerlo, si no porque lo pide. No es indispensable que los ingenieros pregunten si la gente debe tenerlo; si la demanda es real, a ellos les corresponde resolver el problema, así como valorizar los sacrificios necesarios.

Este aspecto de la ingeniería no es aquel con el cual se ha familiarizado la mayor parte de los profanos; ellos creen que las obras de ingeniería se hacen en forma

² A este respecto es pmdente recordar que, en asuntos de ingeniería, un sano juicio y una experiencia razonable son, casi siempre, preferibles a los sistemas que dependen, de manera fundamental, de métodos mecanicos o matematicos, o dicho en distinta forma, en toda investigación de ingeniería se llega a un punto en el cual el buen juicio debe ser el factor determinante para adoptar decisiones. Es muy común que los novatos en estas lides quieran apoyarse, en forma exclusiva, en procedimientos que se basan solo en sistemas matematicos, ya sean analíticos, estadísticos, combinatorios o de cualquier índole, entre otros motivos, por la uniformidad de resultados, y porque las conclusiones son las mismas no importa quien haga el trabajo; pero un método no es bueno porque conduce a resultados uniformes si esos resultados son uniformemente erróneos, y los procedimientos matematicos, como herramientas, no pueden sustituir el juicio y la experiencia en la adopción de decisiones; es preciso que estas tomen en cuenta, además de los datos técnicos, factores políticos, psicológicos y sociológicos que son incommensurables para fines practicos.

perfectamente mecánica; que esta disciplina es el resultado de la aplicación inflexible de formulas a los fenómenos físicos; tienen la especialidad de que en esta especialidad las leyes científicas se conocen con certeza y sin excepciones. Según piensan, estas leyes están contenidas en diagramas, tablas y ecuaciones, y de las que se deducen conclusiones con precisión infalible. Quienes han examinado en detalle la manera de pensar en la ingeniería, saben que casi todos los diagramas están revestidos con signos de interrogación, y que, con la mayor parte de las ocasiones, las fórmulas son tan sólo la base para la discusión. Los no científicos creen que la ciencia es infalible y, en especial, si se establece por medio de símbolos matemáticos. No saben que las leyes científicas, de aplicación universal, con frecuencia son ciertas porque los conceptos se definen en forma tal que las hacen verdaderas.

Los profanos ahora extrapolan este concepto de la ciencia y de la ingeniería. Han leído que vivimos en la era de la ciencia y que el bienestar humano ha progresado enormemente gracias a ella; su fantasía se orienta a los automóviles, los aeroplanos, al radio y televisión. El mundo material se está transformando, y lo está haciendo con rapidez. Pero la transformación no debe atribuirse en forma exclusiva a la ciencia pura. Un elemento esencial, quizá el más importante, es la habilidad del ingeniero de correlacionar, más bien que la de investigación pura del científico; estos desarrollos involucran una gran cantidad de juicios, mucha incertidumbre y bastantes ensayos cautos y correcciones de errores. La ciencia, sola, en nada contribuye al bienestar o al malestar de la humanidad.

La gloria de la adaptación de la ciencia a las necesidades humanas pertenece a la ingeniería: de hecho, causa daño la falta de distinción entre esta y la ciencia. En muchos casos, los ingenieros están tratando de hacer la labor de los hombres de ciencia porque los científicos han fallado en el desempeño de su tarea, y éstos no han cumplido con su cometido, frecuentemente, porque no llegaron a darse cuenta que los primeros la necesitaban. Se precisa de las investigaciones cuidadosas de los físicos sobre la acción de los materiales sujetos a esfuerzos. Es indudable la gran labor realizada por los ingenieros dedicados a la investigación de las propiedades de los materiales, pero algunos de sus problemas debieran turnarse, de ser posible, a los laboratorios de los físicos competentes, porque conviene relevar a aquellos del estudio de este problema, o por lo menos partes de él, a fin de que puedan dedicar su espíritu creador a otros asuntos.

Los legos, observando que los métodos científicos o los de ingeniería (y con frecuencia no los distinguen entre sí) han alterado apreciablemente el bienestar de la humanidad, se proponen mejorarla ahora por un procedimiento semejante. Este es más o menos el siguiente: coleccionan datos estadísticos mostrando el número de delitos cometidos por unidad de población de varias partes de una ciudad, y el valor gravable de las propiedades por unidad de población. A continuación dibujan un diagrama que tiene como abscisas los valores gravables, y como ordenadas el registro criminal. El resultado es una curva para la que alguien puede aún llegar a escribir su ecuación. Ahora están preparados para trabajar con esta ecuación, quizás a diferenciarla respecto al valor gravable y a encontrar los máximos y mínimos de criminalidad en relación a ese valor gravable.

Esto es una caricatura, pero el punto es el siguiente: los profanos consideran que habiendo dibujado el diagrama han obtenido una figura que es comparable, por ejemplo, con la curva esfuerzo-deformación de la resistencia del acero, y que el uso y el estudio de dicho dibujo promete resultados tan definidos y tangibles como los que se obtienen en los laboratorios de ingeniería. La mente de los ingenieros es muy escéptica cuando analiza cifras que relacionan la pobreza con los delitos cometidos; ellos reconocen de

inmediato que el aumento de la criminalidad no necesariamente es un efecto de la miseria, sino que ambos pueden ser resultados concurrentes de alguna otra variable, de tal forma que eliminando de manera forzosa la pobreza puede no tener consecuencia en el número de delitos cometidos. O bien, es posible que los datos relativos a la incidencia de la criminalidad no sean confiables debido a los métodos para determinar la cantidad de crímenes. Los ingenieros siempre ven con espíritu crítico las cifras estadísticas, y en forma sistemática preguntan si las tendencias de ellas no son inherentes al método de obtención. Los artículos sobre la fatiga³ de los metales son tan numerosos como desconcertantes. Los resultados se ven influidos por la composición del metal, por su tratamiento térmico y por sus antecedentes, lo cual es cierto, desde luego, del espécimen de laboratorio. Cuando se intenta aplicar aún los resultados más definidos al proyecto de un puente de ferrocarril, los ingenieros se encuentran con discusiones que se han prolongado por 50 años o más. Qué raro resulta entonces descubrir afirmaciones dogmáticas sobre la fatiga en seres humanos.

Algunas personas tratan de explicar cómo, en lo futuro, los métodos científicos se aplicarán al estudio y al ajuste de las relaciones humanas. Pensando de esta manera, el aprendiz demasiado optimista puede caer en tres importantes errores. En primer lugar, concebir erróneamente la naturaleza de la ciencia, ignorando la relativa simplicidad de los problemas con que trata el científico puro, comparados con la complejidad que tiene el conjunto de estos problemas en la naturaleza. En segundo lugar, confundir la ciencia con la ingeniería, y atribuirle a la primera los resultados de esta última, que en gran parte son productos de la inventiva y del poder de sintetizar. En tercer lugar, equivocarse en el concepto de cuál es el proceso del pensar y en qué forma se llega a resultados en asuntos de ingeniería y en los científicos. El cree que los ingenieros llegan a la verdad planteando diagramas, en tanto que éstos presentan distintos diagramas para que se considere como pruebas en la estimación de probabilidades. No en balde estos métodos de diagramas, fórmulas y símbolos matemáticos se usan tantas veces para fines egoístas en un mundo obsesionado por concepciones erróneas sobre su empleo.

Grupos de ingenieros auto nombrados le están diciendo a todo el mundo lo valioso y exacto que son sus conclusiones. Tomen cualquier término general, úsenlo como adjetivo y prefijo a la palabra ingeniero: ingeniero social, de transporte, economista, humanista. Estas personas intentan, a menudo de manera consciente aunque muchas veces no, dar la impresión de que tratan con cantidades mensurables de las cuales se obtienen leyes definidas y útiles para el hombre; con frecuencia llaman a esto innovación. Los verdaderos profesionistas están cansados de estos caudillos, de los hombres que desprecian los detalles.⁴ En general, los ingenieros saben que intentar hacer.

El Dr. Irving Langmuir, como Presidente de la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia, presentó una ponencia sobre este asunto. He aquí un científico distinguido y a un gran ingeniero que dirige un discurso dedicado, en principio, a

³ Aquí la palabra fatiga debe entenderse como el efecto debido a los esfuerzos repetidos, y no en el sentido de esfuerzo simplemente (carga/área) con que se ha designado en algunas traducciones.

⁴ El ingeniero no puede sustraerse a la necesidad de llegar al detalle todo aquello que proyecta y construye, a pesar del esfuerzo que se requiere, aún cuando, a veces, se trate de trabajos rutinarios y tediosos. Claro está que la concepción general de cualquier proyecto es lo más importante del mismo, pero las obras no se realizan basadas tan solo en conceptos generales; es menester estudiar todos los detalles con anticipación, primero en planos que muestren, al centímetro o al milímetro, lo que se ha ideado, y después, en el plan de construcción para materializar aquello que se indica en el papel. Es un grave error pretender resolver partes de los problemas "sobre la marcha" cuando hay posibilidad de analizarlos con la debida anticipación para lograr la solución satisfactoria de ellos. No confundamos estos conceptos; es preciso comenzar con los planteamientos globales, las ideas generales, los grandes planes, la elección de alternativas, pero antes de iniciar las obras, es necesario llegar al detalle de ellas, tanto en los dibujos como en los procedimientos y programas de construcción. ¡cuantas ideas generales que en su origen parecían muy buenas han tenido que ser modificadas o rechazadas cuando se paso al detalle, y que grave resulta percatarse de ello si se trata de una obra en proceso de ejecución!

señalar los peligrosos inherentes a generalizar lo que algunos conciben como el método científico. Recalcó, en particular, la falsa interpretación de estos procedimientos y los errores de pruebas basadas en argumentos y sistemas que no son aplicables al campo en el cual se emplean. La crítica se apuntó aparentemente a los sociólogos y a los economistas. Toda la ponencia es impresionante, en especial, cuando señala que es palpable de subestimar la capacidad humana, así como la decidida manera de propugnar para que se incluya mucho sentido común en los asuntos humanos. En la actualidad, una de las obsesiones de muchas personas es la antítesis que conciben entre el individualismo y la reglamentación. Esta antítesis filosófica es un tanto antigua: considérense los argumentos eclesiásticos sobre la predestinación y el libre albedrío. El ingeniero llega a comprender, a medida que madura que no necesariamente hay tal antítesis, que puede haber mucha libertad dentro de una estricta reglamentación, que ésta es mala si destruye la originalidad, y que la originalidad, cuando no se comprueba por medio de evidencias del pasado y por el sentido común en el presente, podría mejor quedar limitada por alguna reglamentación.

Mucho se ha escrito sobre el método científico aplicado a la ingeniería; la pregunta es si hay un procedimiento científico único en esta disciplina o en cualquier otra. Se dispone de muchos métodos para llegar a la verdad, aunque a veces ella misma es incierta, porque es preciso un criterio definido para determinar que es la verdad en los asuntos especiales a que se refiere.

La ingeniería es en esencia, una artesanía; la gloria de los ingenieros es que son artesanos y artistas, por lo que siguen métodos sistemáticos y ordenados y son⁵ altamente resistentes y antagonistas hacia el exceso de reglamentación. Ellos demandan libertad en su arte, libertad para volver a crear, para ordenar de nuevo. Los diferentes pensadores dan un grado de énfasis variable a la importancia de las relaciones humanas, al génesis, al análisis, a la síntesis, a la creación de nuevos conceptos, al estudio de fenómenos conocidos, o al ensamblar cosas antiguas para hacer otras mejores.

En la primera página de la biografía del gran líder de la salud pública, William T. Sedgwick, está escrito: “Amaba las grandes cosas y pensaba poco de sí mismo; no deseando fama ni influencia ganó la devoción de sus semejantes y fue una fuerza en sus vidas; y sin buscar discípulos, enseñó a muchos las cualidades del mundo y de la mente humana.”

⁵ El término escrito en inglés es precisamente “son”. El profesor Cross ha sido muy optimista y a valuado con generosidad la capacidad de sus colegas, quizás sea más correcto decir “casi siempre son” y aún en algunos casos “deberían ser”.

La Estandarización y su Abuso.

NORMAS INTELIGENTES versus INTELIGENCIA NORMALIZADA.

“Deben enseñarse al niño las palabras que corresponden a las cosas; los que cursan estudios superiores se han olvidado de las cosas que corresponden a las palabras.”

Cuando se proyecta un aprovechamiento deben hacerse, en orden sucesivo, tres preguntas obvias: ¿desea usted algo? ¿Qué es lo que quiere? ¿Cómo lo usará? puede ser que estas preguntas no las haga o no las conteste una sola persona, pero deben resolverse inteligentemente.

Cuando se desea algo es apropiado preguntar por qué, en donde y cuando es que se desea, qué sacrificios se requieren para obtenerlo. La segunda pregunta, ¿qué es lo que quiere usted? nos lleva a los problemas sobre lo que tenemos, de si podemos obtener lo que deseamos y si es estandarizado.⁶ La tercera pregunta, el uso, involucra problemas de administración, de operación y de financiamiento.

¿Qué es lo que tiene usted? ¿Qué es lo que hay disponible? Para encarar estas preguntas necesitamos conocimientos sobre los tipos de construcción, los materiales disponibles, los posibles desafíos, las dimensiones generales.

Considere el problema: ¿puede usted obtenerlo? , que sugiere la segunda pregunta; podría llamarse planeación y es trascendente. Involucra un estudio completo, los procedimientos de construcción, los contratistas, los materiales, la mano de obra, el equipo y los elementos de tiempo. Es necesario dar la consideración debida a la apariencia, el estilo arquitectónico, a la armonía de estilo que se adopte y a los alrededores naturales. La investigación debe mostrar el uso y la conveniencia de los puentes y sus accesos, los edificios y las plantas industriales, los patios y las terminales. Es preciso revisar la economía, los costos, los valores y finalmente los elementos estructurales del problema, con objeto de asegurar la resistencia, estabilidad, rigidez y, en general, el funcionamiento satisfactorio de cada estructura sin que se deteriore en forma objetable. Todos estos factores contribuyen a la solución del problema: ¿Puede usted obtener aquello que ha decidido querer?

La mayor parte de los escritos en la rama de estructuras tratan sobre resistencia y estabilidad por la razón muy cierta, aunque no siempre obvia para el novato, de que si una construcción no tiene la resistencia suficiente, poco importa qué otros atributos tenga; casi puede llegar a decirse que la resistencia es esencial y lo contrario carece de importancia.

Varias fuentes ayudan al ingeniero para dictaminar sobre la estabilidad; ninguna de ellas es más importante que la otra: el análisis, los ensayos, la experiencia y el sentido común intuitivo que pueda desarrollar cada ingeniero en particular sobre la acción y el trabajo de las estructuras. Todos son auxiliares pero también pueden ser peligrosamente contradictorios.⁷ Las pruebas de las cuatro fuentes rara vez coinciden entre sí. Los grandes ingenieros son aquellos que pueden sopesar estos resultados y llegar a una respuesta razonable por medio de juicio sobre la confiabilidad de cada uno.

Conviene que los materiales por emplear sean de manufactura industrial; aquí la ventaja de la estandarización debe ser evidente para todos. Las cargas de proyecto, los métodos de análisis, los esfuerzos permisibles; es recomendable que todos ellos se adapten en lo posible a alguna norma, que para algunos tipos de trabajo está circunscrita

⁶ Los neologismos "standard", "estandarizado", "estandarizar" y "estandarización" ya han sido aceptados, aún por instituciones tradicionalmente conservadoras, como la Academia Española de la Lengua, la que, en el suplemento de la última edición de su diccionario, incluye dichos términos aunque con ligeras diferencias. Otras instituciones o autores aceptan el vocablo primitivo incorporándolo a nuestro idioma tal como se escribe en inglés, o sea "standard", y de ahí deducen los derivados. Aunque el español se dispone de palabras como patrón, modelo, normalizado, reglamentado o uniformado, en general se refirieron las primeramente citadas por que interpretan de manera más fiel las ideas originales del autor.

⁷ Es muy frecuente que un ingeniero "calcule" una estructura o una terracería y, basado en ese cálculo, afirme la mayor de las aberraciones, aún cuando la realidad proclame a gritos otra cosa. Algunas especialidades técnicas modernas solo han servido, a la larga, para aumentar sin necesidad los coeficientes de seguridad en la materia; si ese es el caso, estaríamos mejor sin la técnica que con ella.

de una manera estrecha, y para otros deja una considerable latitud al proyectista. Es propio estandarizar la construcción y sus métodos así como los materiales, los sistemas de fabricación y el criterio sobre la estabilidad.

Pero la estandarización tiene otro propósito, aquí y en la mayor parte de las ramas de la ingeniería; debemos pensar en esta última distinguiendo sus rasgos creativos de sus técnicas rutinarias. Es evidente que en todos los tiempos han existido hombres que promovieron adelantos físicos, no importa qué nombre hayan recibido; fueron artistas creadores: quienes construyeron en Babilonia, los que drenaron los pantanos Pontinos, aquellos que cruzaron con puentes el Támesis en Londres o el Mississippi en San Luis, o los que planearon obras en el río Merrimac o en el Brandywine. A medida que aumentaba la complejidad de los proyectos, llegó el momento en el cual había más trabajo por hacer que individuos para efectuarlo o tiempo para pensar sobre los problemas. Resultó deseable y aún necesario por hacer en el campo intelectual, lo que ya antes se había llevado a cabo en el de la manufactura: establecer una serie de procedimientos rutinarios para el análisis y el proyecto; se tradujo en la elaboración de una serie de fórmulas, reglas y normas que podían seguirse dentro de ciertos límites por hombres entrenados en su vocación, por personas que habían aplicado la fórmula en la misma forma una y otra vez hasta duplicar los resultados satisfactoriamente. Con esas formulas estandarizadas y con especificaciones y métodos fue posible el empleo de un mayor número de individuos, de personas con menos entrenamiento, para producir obras de ingeniería. Apareció entonces lo que de hecho es una línea de ensamble intelectual; tenía la ventaja de que los jóvenes profesionistas podían seguir las normas y llegar a los mismos resultados aunque viviesen en Boston o en Los Ángeles, y cualquiera que fuese su condición de salud o su estado de ánimo cuando hacían sus cálculos. En otras palabras, el trabajo podía revisarse.

En este punto, algo que originalmente era inteligente: recolectar y sopesar los datos y pensar sobre los criterios de estabilidad y rigidez se había estandarizado como una línea de montaje; los hombres podían hacer en ella repetidamente la misma operación en forma clara y definida.

Sin estas líneas de montaje, y sin el uso de mentes mecánicas, sería imposible obtener todo el volumen de trabajo que producen en la actualidad las oficinas de ingeniería. Al mismo tiempo, la mayor parte de los ingenieros están totalmente familiarizados con el resultado trágico de la estandarización⁸ cuando se usa sin discernimiento o sin control; están conscientes de esto y han establecido salvaguardas contra ello.

Lo importante aquí consiste en que algunos tipos de planificación, proyecto y experimentación pueden colocarse en una línea de ensamble, y otros solamente en la línea de ensamble. Y otros solamente en la línea de ensamble, pero gran parte del trabajo trascendental no es posible hacerlo siguiendo reglas fijas, fórmulas estandarizadas o métodos rígidos.

Examínese como ejemplo el proyecto de los puentes en arco, una materia que, normalmente, se considera como muy técnica y es estandarizada. Casi todo el mundo ha tenido interés en los arcos, aunque sea tan sólo porque ha visto el arcoíris. La selección del diseño general de un arco está sujeta al juicio particular de cada uno. Debe ser hermoso, fácil de construir, localizado apropiadamente. Después de que estas consideraciones se hayan definido es necesario tomar una decisión relativa a cargas, nadie puede profetizar con certeza cuáles son las cargas que llegarán a obrar sobre la

⁸ Otra vez el profesor Cross se expresa con optimismo sobre sus compañeros; por desgracia, creo que no son la mayor parte de ellos, sino solo algunos, que están conscientes de esos trágicos resultados.

estructura durante su existencia. La discusión de las cargas y las deformaciones que provocan nos lleva a campos muy lejanos; el desarrollo de los vehículos y del transporte, las fuerzas de viento, los cambios de temperatura. Después deben desarrollarse los esfuerzos permisibles; aquí también se tiene una gran incertidumbre. Se han acumulado numerosos volúmenes sobre datos de laboratorio, pero la práctica profesional todavía está cambiando los esfuerzos permisibles del concreto y del acero.

Muchas personas en varios lugares y en numerosas formas están estudiando actualmente los materiales, cómo mezclar el concreto, cómo falla el acero. Se acumula la bibliografía sobre el flujo y la fatiga de los metales, y como sucede tantas veces, la terminología opaca a la realidad. Se continúa especulando sobre la naturaleza de las fallas y los fenómenos que la preceden. Pero debe realizarse un puente, un puente en arco. A propósito, ¿estamos seguros de que queremos un arco después de todo?

Supongamos que todos estos asuntos se han decidido; han requerido mucho juicio, inteligencia y arte para definirlos bien. Ahora vayamos al proporcionamiento de la estructura.⁹ Los textos de ingeniería sugieren que es un sistema formalista que consiste en adivinar las dimensiones, escribir ecuaciones matemáticas para determinadas condiciones de carga y averiguar cuáles son los esfuerzos resultantes. Si con este procedimiento se encuentra que la costilla del arco está sujeta a esfuerzos demasiado intensos, deben modificarse las dimensiones, pero este sistema no nos indica en qué forma conviene cambiarla. Una solución consistiría en hacer la clave de mayor o menor espesor, pero al cambiarla habría que tomar en cuenta qué parte de los esfuerzos corresponde al peso de las costillas, cuál a la calzada y qué porcentaje a las cargas vivas así como la parte relativa a los cambios de temperatura.

Después de que se hayan discutido todos estos temas debe interpretarse el análisis. Los excesos de esfuerzos provocados por la carga muerta no se alivian por las propiedades plásticas del material, pero los ocasionados por cambios de temperatura pueden reducirse considerablemente debido al flujo plástico; los esfuerzos provocados por las cargas móviles pueden disminuir mucho o poco gracias al compartimiento plástico.

Procede hacer notar que en esta especialidad, que por lo común se considera técnica y reglamentada y donde las soluciones se estiman como certidumbres matemáticas, en realidad es preciso tener mucha imaginación, visión y curiosidad. Las soluciones pueden ser múltiples. El ejemplo podía haberse escogido para cualquier rama de la ingeniería ya que esta situación no es privativa del proyecto de puentes.

La línea de montaje nunca puede substituir a la mente que la ha creado;¹⁰ las máquinas, los métodos y los sistemas jamás podrán tomar el lugar de los hombres, algunas veces, es necesario cambiar las técnicas antiguas, y otras abandonarlas, debiendo elaborar procedimientos originales. Si se requiere crear técnicas totalmente nuevas, es preciso que los ingenieros se entrenen con anticipación; la profesión debe perfeccionar sus herramientas y tenerlas listas antes de que surja la emergencia, lo que

⁹ Antes que otra cosa, el ingeniero necesita escoger algunas dimensiones que casi todo el mundo consideraba que están predeterminadas, como el ancho de la calzada, la longitud total conveniente del puente, la necesidad de usar banquetas. Aquí es donde el exceso de reglamentación es más peligro, y debe aplicarse esencialmente una manera de pensar sin convencionalismos, amplia y generosa.

¹⁰ una vez establecido un sistema, sus partidarios mas entusiastas pretenden hacer del mismo una panacea, y lo que inicialmente es un remedio pasa a ser una enfermedad; en este aspecto, la ingeniería no es excepción y ha sufrido una serie de enfermedades crónicas: en un tiempo fue calculitis aguda. Después vino laboratoritis. Ahora nos esta afectando la computadoritis.. todas estas son malas porque son abusos de métodos y procedimientos muy utiles mientras se aprovechen con oportunidad, con modo y con medida, pero que por esnobismo, por vanidad y deseo de destacar, se aplican aunque no se requieran.

quiere decir que es necesario disponer de una medida de estandarización.¹¹ ¿Es esa la función de las universidades? No debe haber respuestas dogmáticas a esta pregunta. Una cosa es cierta, sin embargo: siempre ha habido, aún en las peores crisis, una escasez de hombre que puedan diseñar las líneas de montaje, o trabajar bien donde estas no resulten efectivas, en todos los tiempos ha habido insuficiencia de mentes creadoras en este campo, y esta situación no cambiar en el futuro.¹²

La arquitectura medieval no fue estandarizada. Es precisamente uno de sus grandes encantos. La falta de simetría está muy marcada, y parece que fue intencional en las catedrales medievales. No hay nada estandarizado en Chartres o Mont-Saint-Michel. La figurilla del alma desnuda, tan preeminente en las esculturas del día del juicio, no siempre contrapesaba al diablo y sus espíritus malignos en el capitel de una columna en Saint-Lo, el escultor, quizá padeciendo de una indigestión morbosa, invirtió el procedimiento causando así gran confusión a los futuros investigadores.

El esfuerzo para obtener resultados inteligentes por medio de la estandarización se ha llevado demasiado lejos en la rama del diseño estructural. En el concreto reforzado (hormigón armado), por ejemplo, ha sido necesario desarrollar normas muy elaboradas de este trabajo se obtuvo una serie de procedimientos estrechamente circunscritos que llamamos “la teoría del concreto reforzado” (hormigón armado) y a la cual quedan expuestos muchos desafortunados estudiantes. Muy pocos de ellos pensarán que la teoría estandarizada del concreto reforzado quizá sea el más completo de los disparates que haya concebido la mente humana; sin embargo, trabaja bastante bien como un control de los tontos, incapaces de discernir.

En la ingeniería no existen intentos de estandarizar a menos que se tengan razones para ello; algunos, no obstante, desean implantar normas en lugares en donde no se obtiene verdadera ventaja al hacerlo, y le imponen por mucho tiempo a la profesión una compleja línea de ensamble que tiene las características de una caricatura. La estandarización, como una manera de exponer a los tontos y a los sinvergüenzas, o de establecer una línea de montaje intelectual, ha servido bien al mundo de la Ingeniería.¹³

¹¹ Quizá el adelanto técnico y científico que más ha hecho progresar a la ingeniería en los últimos tiempos es el de la aplicación de la cibernética a este campo. El uso de computadoras de todo género ha permitido hacer análisis nunca antes soñados, ha facilitado el ordenamiento y la combinación de datos que orienten al ingeniero a tomar decisiones con mejores bases y fundamentos de las que disponía anteriormente; y tratándose de trabajos rutinarios la computadora ha venido a demostrar, una vez más, que la máquina es el fiel esclavo del hombre. Se ha dicho, tal vez con exceso de fantasía, o aún dentro del área de la ciencia-ficción, que en poco tiempo tendremos máquinas que serán superiores al cerebro humano no solamente en procesos aritméticos y mecánicos como sucede en la actualidad, sino que irán mucho más allá, al grado de que estas máquinas inventarán nuevas máquinas, es decir, “crearán” y, por lo tanto, tendrán capacidad humana y tal vez superhumana. Si esto es cierto, mientras estas máquinas del futuro sean servidoras del hombre y no sus amos, la humanidad progresará con ellas. Pero hasta que llegue ese día, si es que llega, debemos ver en la computadora sólo al capaz y obediente auxiliar del hombre, que le facilita el trabajo mecánico y rutinario, que le proporciona datos en forma ordenada y aplicable, que en lo relativo a lo más tangible es, por sí sola, un equipo; en consecuencia, todavía por algún tiempo por lo menos, es en el cerebro humano en donde deben reescribirse los problemas, es el hombre quien necesita crear y descubrir los procesos, técnicas y sistemas, y es él quien debe tomar, en última instancia, las decisiones más trascendentales de su vida para forjar su destino.

¹² El problema es muy delicado porque las mentes creadoras siempre han visto con recelo, y las nuevas técnicas y los procedimientos novedosos toman mucho tiempo para que se acepten por los ingenieros de edad avanzada, en quienes se arraiga con profundidad el espíritu conservador.

¹³ La situación empeora cuando muchos ingenieros resultan “más papistas que el Papa”. Tomemos por ejemplo las cargas vivas utilizadas en el proyecto de puentes de ferrocarril. Las mas usadas fueron establecidas por Teodoro Cooper allá en el año 1880; si Cooper reviviese y se diese cuenta que sus cargas siguen empleándose después de haber pasado casi 100 años, cuando ya no se fabrican locomotoras de vapor, cuando en la actualidad las cargas vivas reales que obran en las estructuras de ferrocarril son totalmente distintas que las que el considero al elaborar sus especificaciones, no dudo que sería el primero en rechazarlas. ¡que cosa tan absurda es seguir proyectando puentes, de ferrocarril para cargas que producen locomotoras y trenes que dejaron de circular y dedar servicio hace mas de 30 años!

Por desgracia los objetivos de la estandarización con frecuencia se han concebido en forma errónea fuera del mundo de la ingeniería. Estandarizar a ciegas y en gran escala puede intentarse bajo el manto del humanitarismo y acompañarse del razonamiento que, en esa forma, la profesión se ha transformado en una ciencia y ha revolucionado al mundo físico. Al fin y al cabo no dará resultados positivos, pero mientras se descubre el engaño, habrá mucha miseria hasta que llegue la redención. Cuando los ingenieros estandarizan, por lo menos se limitan a aquello que desean estandarizar una norma para puentes, otra para edificios, otra para aviones y una más para trenes aerodinámicos.

En la práctica es imposible asentar fechas en la ingeniería. En igual forma es también imposible decir que surgen problemas completamente originales; los de hoy son, en muchos aspectos, los mismos de cientos de años atrás, pero estos problemas tratan a veces con nuevos materiales y siempre en condiciones diferentes. Cuando se resuelve un problema y la respuesta se conoce en forma definida en una rama de la ingeniería, ya es tiempo de investigarlo de nuevo, porque probablemente lo que se conoce del problema, corresponda sólo a ciertos materiales en particular. Pero la novedad no debe seguirse por sí misma. Algunas veces lo novedoso consiste sólo en hacer otra cosa casi en la misma forma que se había hecho antes.

Desafortunadamente, algunos glorifican la búsqueda de la novedad por razón de ella misma. Alguien ha analizado los esfuerzos de un miembro estructural en especial por un método de computación; por tanto, un elemento de originalidad lo constituye otro dispositivo de computación. La novedad innecesaria en cualquier campo del arte, y en el de la ingeniería en particular, es una característica que requiere disculparse, pero nunca fomentarse. Muchos hombres no deben decepcionarse por desempolvar lo que está dorado en vez de alabar lo dorado sin quitar ni el polvo. Los principiantes enredan los escritos para producir la impresión de originalidad donde no hay tal, y donde ninguna se desea. Esto puede llamarse un arte, una filosofía, una literatura, un proceso económico o una religión. La demanda de novedad se usa para tapar el error, o para darle sabor a lo que es insípido.

Aun cuando mucha gente desea no adorar a ciegas en el santuario de la novedad, no necesariamente se deduce que restrinja sus intereses a aquello que es obvio. Una nueva formulación de un principio fundamental, clara y simple, puede tener una profunda influencia. La virtud aquí no estriba en lo original de la fraseología, sino más bien en la simplicidad y claridad de exposición ideológica.

La ingeniería, en la mayor parte de sus ramas, ha estado pensando de nuevo en sus problemas. No es un indicio de que las leyes de la geometría o de la estática hayan cambiado, o de que se hayan descubierto principios sobre dinámica desconocidos hasta hace poco tiempo. Sin embargo, se ha intentado la aplicación de nuevos materiales y usos originales de los antiguos; se han inventado métodos recientes para usar principios conocidos. En casi todas las ramas de la ingeniería se nota una agitada actividad para el desarrollo de la inventiva, para la investigación y su revisión. Es probable que parte de esos trabajos estén mal dirigidos. Lo que se requiere son hombres con la habilidad necesaria para orientar algunas de estas investigaciones a nuevas formas.

Las noticias, la novedad, la característica de ser única, a menudo dependen de la fantasía y de las condiciones de los tiempos. Las grandes armaduras de madera se ven más novedosas en la actualidad, que lo que fueron en el año de 1850. Brunel usó mampostería de ladrillo (tabique) reforzado hace más de 100 años. Por ningún motivo debe considerarse como nuevo el uso de modelos mecánicos; el principio involucrado en el registrador de deformaciones nos viene del siglo pasado; la mecánica de los suelos es un nombre relativamente moderno, pero el estudio de cimentaciones, de presiones en

los suelos, de su resistencia, no es una cosa nueva. En una época, la construcción en voladizo (Gerber) tuvo preponderancia, después vino un periodo de construcción tipo continua, y más tarde una reversión al sistema de voladizos.

Algunas de las investigaciones amplias y bien organizadas de estructuras son, a menudo, el resultado de un problema inmediato, tal como el gran aumento de la altura de los rascacielos de los años veintes, el temblor de Long Beach, los huracanes de Miami, el incremento del tránsito en las carreteras, las grandes presas de almacenamiento. Reparar la puerta del establo no implica construir un nuevo tipo de establo. Habitualmente un nuevo método es de importancia temporal.

En general, los objetivos (de la ingeniería) son la flexibilidad del diseño y la simplicidad de la construcción. El proyecto debiera buscar la conveniencia, o el uso, o la belleza del contorno, para obtener una construcción simple y económica. El perfeccionamiento de una solución puede deberse al conocimiento especializado del ingeniero de las formas estructurales, o a la habilidad de un constructor para cortar y soldar. Algunas veces se justifica acreditar una solución a la gracia del fabricante del equipo, o quizá a un hombre dedicado a realizar obras que es capaz de mezclar un buen concreto.

La historia de la ingeniería, como la del progreso estructural, representa el avance paralelo de cuatro elementos: Los materiales, los métodos usados en las obras y en los talleres, los conceptos usados en el diseño, y aquellas ilustraciones que hacen más definidos y claros los elementos que intervienen en el proyecto. La necesidad inmediata, casi siempre de carácter económico, dicta cuál de estos elementos progresa y cuál queda atrás en una década determinada.

El avance y el progreso dependen en gran parte de la investigación, la cual necesariamente trata sobre un estudio controlado de pequeños detalles aislados. Por lo general, se requiere que transcurra un largo período antes de que esos detalles puedan ensamblarse para hacer uso universal de ellos. Muchos se aferran a estos pormenores antes de que hayan sido digeridos y los aplican de inmediato. Lo que se supone que es el resultado de investigaciones, con frecuencia se incorpora en especificaciones y reglamentos antes de que la investigación misma se haya completado y mucho menos digerido. En ese caso hay peligro de que, como estas conclusiones no han madurado, se congelen en la práctica y por tanto se reporten como “nuevos desarrollos”.¹⁴

En verdad, ha habido avance y progreso; en algunas ramas el desenvolvimiento es lento. Los ingenieros deben aprender a pensar en forma más clara en el espacio y restringirse menos al análisis bidimensional; precisan poner más atención a los movimientos y las vibraciones, y necesitan mucha más información sobre las propiedades de los materiales. Quizá requieran reevaluar en forma seria la importancia de la durabilidad. Algunos de ellos necesitan que se les diga que seguir en pos de la novedad no siempre conduce al progreso.

En muchas especialidades ha llegado el tiempo de hacer un inventario. Existe una continua producción de herramienta analítica, una acumulación constante de datos y ensayos, una construcción innecesaria de máquinas y estructuras que se supone son más grandes y mejores. Pero ahora se requiere hacer el inventario de lo que conocemos, de lo que ignoramos, de lo que debemos conocer y por qué es necesario conocerlo. Es preciso hacer en el futuro más trabajo de este tipo. Resulta difícil realizarlo todo, y muy difícil hacerlo bien. Son indispensables los intereses y la sensibilidad del investigador y del hombre de estudio. Conviene hacerlo en beneficio de la educación por una parte y

¹⁴ Sin embargo, las nuevas normas, si son razonables, aún cuando no estén respaldadas por investigaciones completas, son mejores que normas obsoletas de las que se sabe de antemano que han resultado inadecuadas o conservadoras en exceso. Quizá el mejor sistema consista en adoptar normas provisionales las cuales queden sujetas a revisión, corrección y aun rechazo

en el de la práctica por la otra. Hacemos mal en continuar indefinidamente agregando, agregando, agregando a los útiles del conocimiento, sin la debida combinación y eliminación.¹⁵

¹⁵ En el prologo de este libro se transcribió una idea de John Ruskin, profunda, humana y noble; pero asi como Ruskin tuvo grandes aciertos, también expreso grandes errores. Cualquiera que haya leído “las siete lámparas de la arquitectura” comprenderá que la obra no fue escrita por un arquitecto, si no por un amante del arte; que el autor veía el decorado y no la función, la fachada y no la planta, el ornato y no el servicio,, la vista y no la estructura. Algo semejante con muchos de sus libros, escritos con posterioridad, los cuales tratan de arte o de sociología, y han caído en el olvido. Pero la imparcialidad de su objetivo no olvida la mayor parte de sus ideas que, como la anotada, tienen merito permanente. Lo que sucede es que , casi siempre, pedimos perfecciones a los humanos cuando en realidad solo el genio se acerca a la perfeccion. Pero si nos dedicamos a seleccionar lo bueno, apartar lo mediocre y rechazar lo malo, si hacemos verdadero trabajo de análisis seguido siempre de una síntesis apropiada, nuestro camino estará, con seguridad, bien orientado, y lo recto o lo tortuoso del mismo dependerá, apartir de ese momento, nada mas de nuestra capacidad, educación, talento e intenciones. La juventud tiende a limitarse al análisis, que en muchos casos es destructivo, sin llegar a la síntesis.

Algunas Torres de Hiedra y Algunas Torres de Marfil.¹⁶

ENSEÑANZA, ENTRENAMIENTO, INSTRUCCION

"A nadie dan alegría las flores del cacto."

¹⁶ El autor menciona a la hiedra por dos cosas: la semejanza de la palabra (“ivy” e “ivory”) y por las paredes cubiertas de hiedra en las universidades inglesas.

Procede distinguir entre la enseñanza, el entrenamiento y la instrucción; esta distinción no sólo es pedantería. Es difícil enseñar sin entrenar, e igualmente difícil entrenar sin instruir. Pero las dos cosas no son lo mismo. Todo el mundo sabe más o menos qué es la educación aún cuando todos lo interpretan de manera incorrecta algunas veces. La instrucción nos ayuda en el proceso de la educación.

Muchos en el Nuevo Mundo han crecido encerrados en la tradición de una metodología sobre organizada y excesivamente sistematizada del conocimiento. A veces el resultado ha sido la parálisis de la iniciativa y la esterilidad de la imaginación. De acuerdo con esta filosofía, cualquier caso posible debe estar formulado con anticipación. Consideren la siguiente modificación de un epigrama de Josh Billings: "Es preferible no planificar demasiado que planificar para tantas cosas que nunca llegaran a ocurrir."

El objeto de la educación es preparar hombres íntegros para una vida plena en un mundo completo. Las escuelas de una nación¹⁷ deben producir hombres con capacidad para meditar sobre los problemas nacionales en la forma de pensar de esa nación. Con este objeto deben salir de ellas los individuos que pueden ver a su país y su forma de vida integralmente, conocer la relación de ese país con todo el mundo.¹⁸

Una nación no puede darse el lujo de depender de personas que se encierran de manera intencional en sendas estrechas de la vida; es un gran requisito que nunca se llegará a satisfacer con plenitud. Pero decir que un hombre ha sido instruido para ser ingeniero, o médico, o abogado, o educador, o economista, es decir, que sólo ha sido instruido en forma parcial. Estas distinciones entre las disciplinas mentales en las que se cultivan los hombres al madurar en la vida se establecen por limitaciones locales o por asuntos administrativos. Es impropio recalcar tales distinciones.

En cierta forma, la enseñanza es un asunto relativamente simple. Gran parte de la humanidad desea mayores informes acerca de su mundo y busca medios de correlacionar e interpretar con satisfacción los informes que ya tiene. Una buena instrucción puede ayudar mucho dirigiendo la información o ilustrando la manera de correlacionar.

Pero los colegios distan mucho de ser simples y es ahí donde yace la dificultad. Las bibliotecas y los laboratorios, los edificios y la censura, los departamentos cuyos asuntos se traslapan, aparentemente relacionados en forma estrecha, pero en el fondo sin ninguna conexión, las complicadas organizaciones administrativas, los libros de texto y las técnicas -todos éstos, en mayor o menor grado, caracterizan los colegios. Mucho de ello tan sólo divierte la fantasía de los novatos sin que oriente la instrucción.

Hay poco paralelismo entre la realidad del mundo y las severas distinciones que se hacen entre las diferentes facultades de una universidad, distinciones que son el resultado de la necesaria organización que crece, crece, hasta llegar a una superorganización que el alumno graduado pronto aprende a reconocer en las grandes empresas o en las sociedades profesionales. En esta forma la diferenciación entre las facultades alcanza la condición de la bondadosa dama quien daba gracias a Dios porque, aun cuando por medio de la iglesia a que pertenecía se habían salvado solamente dos pecadores durante el año, la vieja y horrorosa congregación religiosa del final de la calle no había salvado ni una maldita alma en todo ese tiempo. Los profesores, a veces, parecen ansiosos de maldecir alguna otra rama de la enseñanza en lugar de iluminar la senda de la educación.

¹⁷ El autor se refería originalmente a los Estados Unidos de América.

¹⁸ Aquí debe distinguirse entre la manera de pensar de una nación y lo que, en algunos casos, sus gobernantes afirman que es la manera de pensar de ella. La Alemania nazi, de infausta memoria, es un ejemplo de substancia diferencia.

Es más fácil enseñar reglas que entrenar el buen juicio; por tanto, cuando los profesores se hastían de los colegios, están predispuestos a hacer énfasis en la enseñanza de reglas, las que pueden exponerse fácilmente a los estudiantes y permiten examinar sobre el conocimiento de las mismas y otorgar grados académicos basados en ellas. Pero se requiere un arte supremo para enseñar el buen juicio y para examinar sobre la capacidad de juzgar bien; que cualquiera que lo dude trate de hacerlo. En consecuencia, los programas de las facultades, ya sean los que se refieren a diseño estructural o crítica literaria, tienden a degenerar en una recopilación de reglas, reglamentos, casos particulares, y clases, a menos que esos programas se revitalicen constantemente. Lo mismo puede decirse de las actividades fuera de los colegios.

Sin embargo, se necesita enseñar las reglas así como el buen juicio, y las facultades son lugares apropiados para hacerlo. La maduración del juicio viene solamente con la experiencia. El hombre que reflexiona acepta que es provechoso para el estudiante, el profesor y el ingeniero práctico ponderar a menudo la definición de Tredgold de la ingeniería: "El arte de dirigir los grandes recursos y fuerzas de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre." Es menester recordar a quienes, en su desmedida ambición de mando, tratan de ignorar la penosa necesidad de una información precisa, que no podrán dirigir bien aquello que poco conocen; no, ni siquiera por los medios más optimistas.

Una universidad está influida por la siguiente trinidad: los profesores y la labor que desempeñan; la vida universitaria de los alumnos, sus sociedades y publicaciones; y, por último, algo que debiera ser más profundo, más antiguo y estable: el espíritu y la tradición que prevalecen en la universidad, las aulas y los laboratorios.

El espíritu que persiste en la búsqueda de la verdad es producto de la grandeza acumulada de un grupo de académicos quienes han aprendido que es muy importante que las cosas se hagan bien o se hagan mal, y a quienes interesa en extremo que el trabajo realizado sea útil o inútil. Asimismo, han aprendido a juzgar sobre la verdad sin necesidad de requerir del voto popular o de los dictados intelectuales.

Si los jóvenes pueden ir muy lejos, déjeseles ir. Los cuidados constantes y la guía precisa en las universidades no son una necesidad evidente, sino más bien, una gran luz impersonal que dirige a los estudiantes por la senda que deben recorrer. Desgraciadamente, esa luz: puede opacarse por el relumbrar de excesivas alharacas, por la abundancia de conclusiones populares, y de sentidos que son demasiado comunes.

Las universidades a veces se balancean, de períodos de desnutrición cerebral, pasando por inspiraciones de los sentidos corporales, hasta llegar a etapas de indigestión intelectual. El éxito lleva en sí mismo los elementos del fracaso a menos que dicho éxito sea en realidad cabal. Demasiadas personas maduras, impuestas en su manera de ser, están listas para guiar; y guiar con frecuencia quiere decir gobernar, suprimir, aún matar. Y así, los jóvenes se ven enviados como mandaderos con muy pocas ideas nuevas.

La búsqueda honrada de la verdad bien vale la pena por el fin que se persigue, y por el bien de la integridad intelectual. La honradez persistente que desea alcanzar aquello que es verdadero producirá mucho individualismo, el que no será ni imitador ni convencional, y que no se deja cautivar por el último grito de la moda. Una gran universidad está formada por un grupo de académicos honrados. Dicho grupo producirá otros académicos, pensadores y hombres honrados, los que no se dejarán llevar por el halago de la fantasía.

La enseñanza no debe hacerse formalizada, pero los educadores necesitan aclarar sus objetivos y mantener la libertad indispensable para alcanzarlos. El progreso de los estudiantes a veces se ve sobrecargado con excesivos detalles del aprendizaje. Algunos

ingenieros van tan lejos que dicen que la función de las escuelas técnicas es la de enseñar al hombre a hacer un trabajo específico en una forma definida. ¡No! El objetivo de las escuelas es satisfacer las necesidades de industrias en particular, y en esto se tiene el respaldo de muchos directores de empresas industriales. La función de las universidades consiste en producir personas inteligentes con algunos conocimientos de los campos prácticos más bien que entrenar individuos sin inteligencia para que adquieran conocimientos detallados de especialidades determinadas.

Mucho de los hombres mejor educados nunca vieron el interior de una universidad hasta que asistieron, al final de su vida, para dirigir el discurso inaugural, o para sentarse como miembro del consejo universitario. Pero en la actualidad se manifiesta una obsesión creciente de créditos académicos y de certificados de conocimientos, y una confusión cada vez mayor entre enseñanzas generales, entrenamiento, conocimiento y sabiduría. Estandarizar fuera de las áreas de la ingeniería parece ser un atributo propio de la naturaleza animal; el hábito y la imitación son inherentes a la condición humana. Pero la mayor parte de la gente ve con agrado el rompimiento de esta estandarización; muchos pueden llegar, a la larga, al extremo de odiarla intensamente.

La enseñanza debe dar oportunidad a las personas con algún propósito específico para que su inteligencia evolucione con libertad, piensen por sí mismas sobre las cosas y lleguen a conclusiones que sean nuevas, por lo menos, para esas personas. Los libros de texto son de poca ayuda para este fin; muchos de ellos se escriben en terminología estancada, contienen demasiadas definiciones elaboradas en exceso y afirman los llamados principios fundamentales que no existen en la realidad.

Uno de los últimos lemas es el de "educación para el desarrollo de la ciudadanía". Díganme, por favor, cuándo la enseñanza no fue otra cosa que estímulo y progreso de la ciudadanía, pero ¿esto significa una ciudadanía estandarizada? y si es así, ¿es al estándar de usted o al de algún burócrata? ¿Debe adoctrinarse al estudiante con toda una serie de dogmas cuyo conocimiento se necesita considerar como un requisito previo para ser un buen ciudadano? William Graham Sumner, en su libro: "El hombre olvidado" fue un inconforme, una persona ordinaria que atendía sus negocios tan bien como podía, sin ningún requisito técnico, y tomando sus propias decisiones. Pero tales hombres, estos pequeños hombrecillos, llegan a ser el foco del ridículo y el punto de ataque de los entusiastas que insisten en la estandarización. La obra de Sumner termina con la apropiada observación de que "el hombre olvidado, con frecuencia una mujer, trabaja y es posible que implore, pero puede usted estar seguro de que siempre paga."

Lo anterior no constituye una crítica en particular de alguna forma de educación. Es probable que no pueda hallarse una forma única apropiada. Es un error para un individuo ir a una universidad con objetivos vocacionales estrechos, a menos que reconozca con franqueza que lo que va a obtener es un entrenamiento y no una educación. La enseñanza de la ingeniería estructural no necesita ser más estrecha que los estudios clásicos de terminaciones gramaticales. Puede aceptarse que una mala educación es peor que ninguna, y que más mala educación es peor que menos, lo que debe afirmarse una y otra vez.¹⁹

Es peligroso enviar personas carentes de propósitos definidos a las universidades, nada más para que aprendan formas estandarizadas de conocimientos fragmentarios. Hitler le enseñó al mundo cuán peligrosa puede ser la educación

¹⁹ La mayor parte de los déspotas y los tiranos han sido personas a quienes les ha llegado una educación mala y tardía, que se tragarón y se les indigestó, y cuya filosofía es el producto de conocimientos superficiales, incompletos y marcadamente egocéntricos. Si hubiesen aprendido a realizar una autocrítica honrada, por elemental que fuese, habrían actuado en forma muy diferente, y en vez de seres despreciables y odiados, la historia los tendría como individuos nobles y generosos.

simulada, no en la anticuada acepción, sino en el espantoso y terrible sentido de la guerra moderna en la Europa actual. Esta educación rechaza el concepto de un hombre libre reflexionando en el mundo en que vive, como Dios le ha dado su intelecto para hacerlo. Muchas personas todavía tienen la inquebrantable fe de que el sueño de un hombre libre y des estandarizado aún persiste, pero se ven imitados con facilidad por el estudiante incircunscripto que busca la luz donde no hay. En los grandes colegios, no los colegios grandes,²⁰ los hombres libres trabajan en una atmósfera de ideas magníficas, fe inquebrantable y sueños colosales; pero los pensamientos no necesitan estar alojados en un lenguaje estancado o artificial o técnico; no es prudente que la fe quede depositada en los caprichos de los dictadores, los sueños no precisan ser pesadillas. La educación liberal está todavía indeterminada para muchos; se han elaborado definiciones de ella demasiado frecuentes y excesivamente variadas. Muchos, que argumentan a favor de esta educación liberal, de hecho están muy lejos de la misma. No es correcto que el sueño de un hombre íntegro en un mundo completo se lo trague la palabrería, la especialización desmedida o la nomenclatura extravagante. El propósito de la enseñanza debe ser de servicio y no de autopromoción. El sueño de un individuo que pone sus pies sobre la tierra, cuya inteligencia es independiente de los dictados y de los dogmas, y que busca con fe en el futuro y en las sonrisas, es el sueño que llevó a la nación americana a atravesar el Continente y no debe perderse. La arrasadora marea del progreso llega siempre lentamente, desde atrás, por arroyos angostos y por los vericuetos del pensamiento individual.

El fariseo rezaba así: "Oh Dios, te doy gracias porque no soy como los demás hombres." La mayor parte de nuestras universidades están de acuerdo con las grandes tradiciones del Nuevo Mundo y reconocen su obligación de guiar e inspirar el pensamiento racional. No olvidemos que estas universidades son el centro general de educación, y que, aún cuando los intereses especializados puedan proporcionar ímpetu para alcanzar el conocimiento, es al hombre íntegro a quien debe enseñarse a vivir una vida plena. Algunos tratan de encontrar en las universidades lo que no es propio buscar ahí, en la misma forma que aquel hombre que buscaba un objeto perdido donde sabía que no lo había extraviado, simplemente porque en ese lugar había buena luz para buscarlo. Algunos creen en el bautismo porque lo han visto aplicar, y se olvidan de la sabiduría interna implícita en la educación admirando solamente sus manifestaciones externas. Junto al fariseo en el templo el publicano rezaba así: "Dios, se misericordioso conmigo porque soy un pecador," Dios, ilumina nuestra inteligencia, mantén en forma simple nuestra manera de pensar, conserva nuestra enseñanza por el camino recto. La universidad que mantiene esa fe educará en realidad; la que la olvida fallará en su cometido. Por medio de la humildad podremos continuar con la "instrucción de la juventud en las artes y las ciencias para que, con la bendición del Todopoderoso, sean capaces para el servicio público, tanto en la iglesia como en los asuntos civiles"; este concepto de una universidad todavía es muy cabal.

²⁰ El juego de palabras "gran colegio" vs. "colegio grande" no es del todo semejante en inglés y en español. Es triste, sin embargo, ver a una universidad que, al ampliar el número de sus educandos, pasa de una gran universidad a una universidad grande. Y no porque en ella no se hagan estudios e investigaciones progresistas y necesarias, sino por la forma tan lamentable en que decae el nivel educacional del promedio de sus estudiantes. Los alumnos distinguidos de las universidades dan nombre y gloria a ellas, pero es conveniente analizar si el aumento del número de educandos en una universidad determinada resulta justificado aún cuando la preparación de la mayor parte de los egresados no sea satisfactoria del todo. Por otra parte, las autoridades deben ser muy precavidas para determinar el número máximo de profesionistas que conviene que cada año produzcan las facultades y escuelas de las universidades. La cultura de un pueblo a veces puede medirse por el número relativo de profesionistas y técnicos de que dispone, pero, como advirtió Eisenhower cuando fue rector de la Universidad de Columbia, no es correcto que se anime a los jóvenes a invertir tiempo, dinero y esfuerzo en el estudio de una carrera sin mercado, que obligue al profesionista a dedicarse a una actividad distinta de la que estudio, o lo que es lo mismo, es indebido promover esos estudios porque equivale a vender a la juventud una mercancía falsa o adulterada.

Las características generales de la inflación pueden reconocerse fácilmente. Trata de conseguir que una realidad –los bienes- parezcan más valiosos haciendo más abundante el objeto –dinero- que se cambia por los bienes. Se dispone entonces de más dinero, y la gente se siente más rica porque recibe y posee más dinero.

Muchos educadores lamentan la falacia de la inflación y, al mismo tiempo, son entusiastas de ella en la enseñanza. En el mundo educativo los bienes consisten en el entrenamiento de los individuos, y el objeto con el cual adquieren éste es el equipo, el personal y los planes de estudio. Tal parece que algunos profesores piensan que si el número de cursos y clases disponibles se incrementa, el entrenamiento mejorará y será más valioso.

Muchos maestros ya empiezan a darse cuenta que las universidades mejorarán en vez de empeorar cuando adopten una escala menos costosa y menos pretenciosa de llevar a cabo las cosas. Puede que usted admire al hombre que hizo crecer dos hojas de pasto en donde antes crecía una sola, pero no si este pasto ahogaba las flores del jardín. El que establece dos cursos donde antes se impartía uno solo, por regla general, se cree una persona progresista, y mira con desprecio a los reaccionarios que preguntaban si ambos cursos no quedarían mejor combinados en un curso único.

Los profesores tienen una doble responsabilidad hacia sus alumnos: una de ellas, la de darles suficiente información y una educación vocacional que les permita conseguir un trabajo y conservarlo hasta que se arraiguen en este mundo altamente competitivo, y la otra, la de entrenarlos en los métodos del pensamiento y de la investigación para enfrentarse a las demandas de un mundo siempre cambiante, demandas cuyos detalles nadie puede alcanzar a prever. Es muy cierto, sin embargo, que los recursos necesarios para afrontar los cambios, el desafío de usar la jerigonza de moda, serán los mismos en lo futuro que en el pasado.

La inflación de los planes de estudio no es algo original, muchos ya la han observado en lo pasado; han visto traer a un nuevo animal al parque zoológico de la universidad el cual pronto resultó ser un elefante blanco y después una vaca parda. Pero como ya se habían construido pesebres nuevos para estos animales, y adquirido un grupo de costosos guardianes, dichos animales rara vez, si es que hubo alguna, se enviaban de regreso al corral adonde pertenecían. Al revisar la correspondencia oficial relacionada con estas materias y especialidades, por regla general, se encuentra que un joven ambicioso, respaldado por un administrador agresivo, demostraba que los cursos eran absolutamente necesarios para el progreso y señalaba, además, que no costaría nada, “que no significan un aumento presupuestal”, es tal vez la frase académica correcta. Y sin embargo, al pasar el tiempo, uno se pregunta porque se establecieron los cursos después de todo. La vaca nunca, o casi nunca, se devuelve al corral, y es normal que los animales que se amontonan en el zoológico sean muy prolíficos. Los programas de las carreras de ingeniería en sus divisiones profesionales se están reduciendo a pichoneras cada vez menores, ya es hora de tomar en cuenta las ventajas de abandonar los antiguos escritorios modernos de cubierta plana en el mundo de la educación.

El entrenamiento más difícil de adquirir, y por lo general el más valioso, es el que capacita al alumno para hacer una síntesis, para juntar los diferentes fragmentos de su conocimiento en un cuadro inteligible. La especialización del plan de estudios profesional se orienta precisamente en la dirección opuesta. Al estudiante no se le estimula para que sintetice, o bien, se le permite hacerlo en forma poco efectiva, sin guía ni entrenamiento en este tipo de trabajo. El propósito debería ser educar al

estudiante, no informarlo. El dispositivo inflacionario de cursos de información no puede servir para esta finalidad.

Algunos piensan que esta multiplicación del número de cursos es necesaria para propiciar una actitud de investigación entre los jóvenes profesores y entre los alumnos aun no recibidos. De hecho, toda la ingeniería es investigación si esta palabra significa la solución de un problema que no se había resuelto anteriormente, o bien, obtener una nueva solución a un problema antiguo. Sin embargo, la ingeniería no es, en esencia, el método organizado de investigación en el laboratorio.

Pueden presentarse argumentos muy encomiables para incluir todo género de cursos especializados en el plan de estudios siempre y cuando se acepten los siguientes dogmas: a) que las universidades deben resolver todos los problemas mundiales dentro de sus cuatro paredes en vez de entrenar a los individuos que puedan encontrar la solución de sus problemas, y b) que la especialización diferencial jamás resolvió algo en forma muy efectiva, o que nada muy lógico salió del razonamiento puro. Ambos dogmas son inaceptables. El producto efectivo de un hombre, por productivo que él sea, es insignificante en comparación con la producción acumulada de grupos de personas entrenadas por un gran maestro.

Es muy deseable que las universidades encaucen el pensamiento de la gente. A veces a i lo hacen. Pero en cada universidad existen profesores tratando de alcanzar a los grupos que intentan dirigir, solo para encontrar que ese grupo es uno que se desprendió y se perdió del cuerpo principal. Cuando analizamos retrospectivamente los cursos que fueron nuevos en lo pasado, resulta aparente que muchas veces esos cursos fueron solo disgregaciones del camino real, que no fueron nuevas rutas del progreso, y que la contribución que hicieron al progreso vino después de que los habían llevado de nuevo al camino principal.

Podrán justificarse digresiones específicas del objetivo principal de entrenar a los alumnos profesionales de ingeniería por una de las cinco razones que se dan para beber vino: “para hacer buenos amigos, o porque se dispone de buen vino, o por tener la garganta seca, o por el miedo de seguirse de paso, o por cualquier otra razón.”²¹ Algunos lo aprendieron hace años cuando la ingeniería estructural paso a ser la de estructuras de acero, o la de marcos rígidos, o de construcción de mampostería o concreto (hormigón). Las cimentaciones fueron a las escuelas superiores y regresaron a casa de etiqueta y con chistera, la hidráulica regreso después de la gira como mecánica de los fluidos y todo el grupo de las estructuras indeterminadas se ha vuelto un tanto esnobista.²² Todos ellos, en algunas universidades, se han burlado de los viejos miembros de la familia. ¿Es que estas nuevas materias requieren tener su suite privada con ballet y con baño? O ¿no estarían mejor si se sentasen en la mesa familiar de vez en cuando para tomar una comida de sencillo bistec sin caviar?

Estas observaciones no se refieren a una institución o grupo de instituciones en particular; son muestras representativas. La tesis principal es que, quien desdobra en dos cursos lo que con anterioridad se impartía en uno solo, probablemente sea el enemigo del progreso en el mundo de la educación. El Dr. James B. Conant se refiere al “sentimiento generalizado de que el espíritu separatista del último cuarto del siglo ha

²¹ En el texto original en ingles lo anterior esta en verso

²² Aunque los programas de cada materia academica no corresponda entre si en su totalidad, mucho de lo que anteriormente se enseñaba bajo los nombres comunes de estatica y de resistencia de materiales, ahora se conoce con el erudito calificativo de mecánica del medio continuo de los solidos. Uno temas que se incluían en el sencillo calculo practico ahora se desvulgarizaron al son de métodos numéricos; los modestos estudios de campo ahora se imparten con los distinguidos nombres de geotecnia y geofísica y, asi, otros cambios similares. Es posible que los nuevos nombres sean correctos, pero no correspondan a la forma llana, sencilla y sin complicaciones en que conviene enseñar en el area subprofesional. Esto me recuerda los menus de lagunos retaurantes de lujo, en donde, para justificar su elevado presio, al demócrata pollo asado se le llama, al ponerle algunos condimentos y tapanlo para que no se enfrie, “le poulet Lagardini garni sous cloche”.

ido demasiado lejos”. Es cierto en el campo general de la enseñanza, y empieza a resultar verdadero en el de la ingeniería. En su sentido más amplio, la función de las universidades es producir hombres con inquietudes de carácter universal y que, teniendo presente el perpetuo cuarteto de preguntas: porque, que, donde y cuando, puedan aprender a conocer el mundo en su forma más amplia. Y así, el objetivo de las universidades es entrenar a esos hombres cuyos intereses están relacionados con el control y la adaptación de las fuerzas naturales, para que lleguen a ser buenos ingenieros, se enorgullezcan, se alegren y tengan la esperanza de que la salvación se encuentra en la excelencia de aquello que se produce para uso y conveniencia del hombre. Con el objeto de producir para uso y conveniencia del hombre, los ingenieros necesitan saber algo de ese uso y de esa conveniencia del hombre, los ingenieros necesitan saber algo de ese uso y esa conveniencia así como de los métodos que se emplean en la producción. Estos se llaman, en la jerga de los colegios, “entrenar en los principios básicos”, el conocimiento del uso y la conveniencia “entrenamiento en forma amplia”. La lucha continua, y continuara de época en época imprevisible, sobre cómo hacer de un mal estudiante uno que tenga conocimientos amplios y profundos; la discusión sobre esto parece implicar que el resultado será siempre el mismo para todos los estudiantes, y el tiempo maldito que esto requiere.

Es una realidad que muchos de los escritos técnicos actuales tienen la tendencia de ampliar las bases. Una escuela superior en particular presentaba su catalogo de clases en el que explicaba que los cursos técnicos enseñaban las teorías básicas que soportaban los principios fundamentales en los cuales estaba cimentada la ciencia. Ahora bien, cuando se excava debajo de la cimentación se encuentra usted que ha hecho un gran agujero, y aumentar esta base significa mover mucha tierra. El agujero puede ser tan grande que el estudiante nunca pueda salir a tomar el aire fresco, o que la excavación se haga en un suelo tan deleznable que el tablestacado del conocimiento se derrumbe sobre él en detrimento propio y permanente. Es muy difícil conseguir estudiantes que se acostumbren a que los tablestacados se derrumben sobre ellos.

En las especialidades de la ingeniería, los principios básicos conocidos no son muy numerosos: son relativamente fáciles de enunciar y de comprender. La dificultad viene cuando se aplican y es aquí donde se requiere una gran cantidad de entrenamiento; nadie puede decir cuánto tiempo debe durar éste. Muchas personas ya ancianas todavía no han terminado de educarse. Pero los colegios pueden iniciar a los estudiantes en el largo camino del entrenamiento (y de hecho lo hacen), y tienen medios para decirles algo sobre las condiciones, las desviaciones, los puentes angostos y las señales de tránsito.

A los profesores se les dice que es menester hacer de sus estudiantes personas de amplia visión. Y, ¿cómo puede hacerse esto? ¿Dándoles mayor número de cursos de sociología, economía, historia, psicología y literatura? No necesariamente, a menos que se tenga algún interés en ellos. Todas estas disciplinas aparecen cuando se aplican los principios de la ingeniería en la planificación de obras de esta naturaleza.²³ Y si es que en realidad aparecen, se ha creado el interés de los estudiantes, los que, en ese momento o después, pueden buscar en libros, o en las clases, a quienes tienen capacidad de

²³ No olvidemos que la ingeniería se enseña en universidades y, en consecuencia, lleva innato el carácter de universal. El divorcio que ha existido entre las diversas facultades de las universidades debe desaparecer; el sano intercambio de alumnos y profesores entre las facultades es una necesidad para el progreso legítimo de la enseñanza. Para que las universidades cumplan con la función, y para que tengan el destino, que la Patria de ellas reclama. Por esto es preciso que la enseñanza moderna del arte de la ingeniería vuelva sobre sus pasos. Debemos tener presente que, si son los recursos de la naturaleza los que están en juego, es al hombre a quien se va a servir. que si deben conocerse las leyes naturales que rigen al mundo, también se necesita que el ingeniero conozca a sus semejantes. La enseñanza de materias humanísticas a los ingenieros nos daría algo de ese conocimiento.

ayudarles para satisfacer sus intereses. Tal vez encuentren el tiempo necesario en los cursos subprofesionales que permitan que el estudiante inicie su investigación siempre y cuando las materias propias de ingeniería sean las que hayan motivado este interés.

La enseñanza es un arte; no una ciencia. En la actualidad se ha difundido la idea desintegradora de que todas las actividades humanas pueden dominarse por medio de los métodos que se aplican a las ciencias físicas. Como arte que es, la enseñanza requiere ser de carácter individual, debe adaptarse tanto a quien la da como a quien la recibe y a la materia que se enseña. Puede obtenerse por medio de las clases, o de la discusión como en los seminarios. Se imparten valiosos cursos para los alumnos subprofesionales que no contienen un problema único como trabajo asignado, pero algunos profesores usan la asignación de numerosos problemas con gran éxito.

Un aprendiz preguntaba a Rafael con qué substancia mezclaba sus pinturas. El maestro respondió: "Con sesos." El rector de una universidad decía a los maestros de la misma: "considero que son ustedes buenos maestros; su clasificación conmigo depende de sus publicaciones". La franqueza de este rector es admirable, pero no cualquiera que embadurna un lienzo es Rafael.

Mucha gente cree que la enseñanza es un trabajo como cualquier otro. En cierto sentido es verdad y necesita hacerse énfasis sobre ello. El trabajo fundamental de un profesor es enseñar, no escribir ni hacer investigaciones, ni discursos, ni hacer de mandadero en los comités técnicos o académicos, sino enseñar. No confundan esto: para que un profesor pueda tener los pies bien puestos en el suelo, para que se mantenga en contacto con el espíritu del trabajo profesional que se está haciendo en un momento dado y que se distingue de la atmosfera de invernadero de una escuela, es preciso que el profesor tome parte de comités técnicos y asista a convenciones.²⁴ Es ahí en donde a veces se le dice en forma brusca que no sabe de que está hablando, y la mayor parte de los profesores necesitan seriamente que se les diga, porque su mortalidad intelectual es deplorablemente alta.

Los profesores no solo tienen obligación de estar en contacto con los progresos de las sociedades técnicas sino que, además, debe seguir las relaciones de esas actividades con otros desarrollos. Es conveniente que los profesores, en la universidad y en el mundo exterior, asistan a muchas reuniones, hablen con tantos grupos de gente como les sea posible, visiten muchas plantas industriales, consulten con cuantos laboratorios tengan contacto, con objeto de que puedan traer al salón de clases un panorama completo, un punto de vista renovado, de los problemas que ellos quieren discutir con sus alumnos. Esto crea un ambiente en el cual puede enseñarse a los estudiantes a que vean su nación y los problemas nacionales como todo, y aun de que miren más allá.

¿Academismo? Desde luego. ¿Cómo puede un ciego guiar a otro ciego? Es imprescindible que los grandes maestros conozcan sus materias en una forma peculiarmente clara y viva, entonces serán solo pensadores, sino pensadores originales.

¿Productividad? Un profesor que trata en forma constante de dominar su materia casi sin desearlo produce investigación, libros, artículos y discursos. El subproducto resulta valioso, aunque mucho no lo es, porque son muy pocos los académicos que saben cuando usar el cesto de basura. La producción tendrá valor, si es que lo posee, por

²⁴ La conveniencia de asistir a congresos y convenciones radica en ambientar y familiarizar al congresista con aquellos asuntos a los cuales han estado dedicados los colegas de especialidad en los años inmediatos anteriores al evento, así como el beneficio del trato humano y casi fraternal con compañeros que tienen las mismas inquietudes y problemas. El fruto de la enseñanza ligada a los congresos y las convenciones viene después, con el estudio y discusión de las memorias de los mismos, y cuando el lector descubre progresos y aplicaciones insospechados.

su calidad y no por su cantidad. Pero todo esto no afecta a la verdad fundamental: labor de un profesor es enseñar.

¿Investigación? Oh, sí, es un complemento del academismo. El estudio inteligente y tenaz en un tema cualquiera casi siempre nos lleva a la investigación, si con estas palabras queremos decir averiguar las cosas en forma sistemática; de hecho la distinción entre academismo e investigación no está muy bien definida. Si el trabajo tenaz está guiado por el equivalente intelectual del ayuno y de la oración, si en realidad quiere saber y si en realidad le importa lo suficiente saber y pensar de manera profunda, con frecuencia será investigación valiosa. Pero esta condición es un incidente en la labor del profesor; él quiere saber no con objeto de ser un “investigador”, si no con el de enseñar bien; esa es su tarea fundamental.

La enseñanza es un arte. La función de un profesor es enseñar. ¿Qué es lo que debe enseñar? La cantidad que se enseña seguramente no es muy importante. Cualquier persona bien entrenada puede tomar uno o dos libros sobre casi cualquier tema y obtener de ellos en un fin de semana más información que la de un novato en un curso semestral, y mucho más de lo que podrá recordar; más información sí, pero no más conocimientos. Si la persona ha sido bien entrenada sabrá qué parte de esta información es fundamental y qué parte no lo es, cuál es la parte importante y cuál es la incidental. Trabajando bajo un gran maestro habrá formado las bases para un juicio crítico en la rama de que se trata.

¿Qué es lo que deben enseñar los profesores? Una de sus grandes responsabilidades es determinar aquello que necesita enseñarse, lo que debe dejarse fuera y lo que es preciso enfatizar, pero, en especial, lo que conviene dejar fuera. Esta responsabilidad no recae en el director de la escuela, y es seguro que tampoco en el alumno; es muy fácil dar a este último lo que él quiere: un curso popular. Pero no hay escape; el profesor tiene la responsabilidad de decidir qué es lo que va a enfatizar y qué es lo que va a omitir. Su labor es enseñar y aquí puede agregarse que la obligación del estudiante es aprender.²⁵ Tomen nota, por favor, que el estudiante asiste a la escuela para aprender a investigar; es muy malo decirle que ya es un investigador.

¿El plan de estudios? Es preciso ser muy cuidadoso para no enfatizarlo con exceso, por lo menos en lo que se refiere a la enseñanza. Por regla general se renueva en pocos años, y es muy común que la revisión se alabe como una nueva era de la educación. Pero todos los temas y materias de carácter reciente podrían encajar en los programas de hace treinta años tan bien como en los planes más modernos. El hecho que la revisión de los planes de estudio sea deseable por motivos administrativos o publicitarios es otro asunto.

¿Como debe enseñar un profesor?²⁶ Ganándose el afecto de sus alumnos, que gratamente lo seguirán a donde él los guíe, para que sus mentes puedan florecer en la

²⁵ es muy frecuente que los alumnos quieran que el profesor lo haga todo, y pretenden (aunque solo lo reconozcan de manera tácita) que lo único que ellos necesitan hacer es sentarse a escuchar la clase. Algunos creen que los conocimientos les llegara por inspiración divina transmitida por los maestros en calidad de profetas. Aprender bien es una labor ardua, que requiere disciplina, tenacidad, esfuerzo constante y sostenido. Y además, no son tan solo conocimientos simples lo que el estudiante necesita adquirir; pasando de lo mas tangible a lo menos tangible, el alumno empezara por adquirir habilidades y conocimientos sencillos para que, teniéndolos, pueda captar el sentido de los conceptos, lograr entendimiento y aplicarlo todo a la resolución de los problemas que se le presenten ; y, finalmente, habiendo madurado, tendrá apreciaciones propias a sus conocimientos, intereses congruentes con su capacidad y actitudes nobles y elevadas. Al estudiante se le debe inculcar desde muy joven la idea de que el profesor lo va a orientar, le tratara de estimular para que reflexione, le ofresera su experiencia,, pero que la mayor parte de la laor del aprendizaje recae en el estudiante mismo. El mal estudiante elude su responsabilidad y pretende culpar al profesor, porque no puede aprender. No es asi; el mal profesor dirige mal, pero el esfuerzo de aprender corresponde al alumno.

²⁶ el profesor se encuentra con el siguiente dilema: o enseña para el nivel intelectual del estudiante promedio de su clase, o bien para los estudiantes mas adelantados. En el primer caso, su curso parecerá insípido, aun infantil, para las mentes privilegiadas. En el

agradable perfección de los rayos del sol que son el amor y el entendimiento? Muy bien, pero como dicen los matemáticos, no es ni necesario ni suficiente. Esto es una discusión sobre la enseñanza, no sobre cómo llevar una guardería intelectual. Algunos de los profesores más populares son muy malos maestros; muchos de los más grandes educadores generalmente no han sido apreciados. Los estudiantes casi siempre son tan claros y tan formales como sus profesores; seguirán la dirección del maestro que ha dominado su materia y su arte. Puede que no lo aprecien, pero no se requiere que así lo hagan. Muchos de los llamados instructores populares obtienen esa popularidad por la prostitución de su arte; los estudiantes lo saben, pero es una puerta fácil.

Otra vez: ¿Cómo debe enseñar el profesor? No darse una respuesta concluyente a esta pregunta. La uniformidad del método es, con seguridad, lo último que debe desearse. No es necesario que todos los cuadros de muchachas sean los de Gibson; unas cuantas Mona Lisa son aceptables. Se conocen muchas clases de profesores, muchos campos del pensamiento. Aun en el mismo campo, distintas personas llevan su materia por diferentes senderos; hay varias maneras aun de atacar las materias mas especializadas. Si pueden trazarse los caminos del entendimiento sin excesiva confusión, el sistema es bueno, pero normalmente no es posible hacerlo.

¿Y cómo es que puede identificarse a un gran maestro? Bien, muchas veces no es posible. Rafael fue un gran pintor, pero nadie ha oído decir que lo haya sido, porque secaba sus pinturas hasta que obtuviesen un alto grado de dureza Brinnell. Este arte, como cualquier otro, con frecuencia se satisface a sí mismo. Es inevitable que la mente de tipo administrativo sea sensiblemente diferente a aquella dispuesta para la enseñanza, y que muchos excelentes administradores tengan problemas para reconocer a los grandes maestros. También es cierto que muchos educadores son como el demente del asilo que le explicaba a sus compañeros por qué no podía ser Napoleón. Algunas veces, todo el mundo coincide en la grandeza de algún profesor inspirado.

Medios de enseñanza: ¿lámparas especiales, magníficos escritorios, hermosos edificios? Muy bien, pero obsérvese que un gran profesor, para usar una frase popular, enseñara "contra viento y marea". Los edificios espléndidos y los costosos laboratorios nunca podrán hacer una gran universidad; los grandes profesores sí.

Ha habido muchos buenos profesores y algunos verdaderamente eminentes, aunque son más escasos que monedas de oro. Se reconocen diferentes clases; unos han sido magníficos maestros de posgraduados, otros dotados en la división profesional. Se puede identificarlos por su misión, por su inspiración, por su entrega a quienes están entrenando. Hay personas que creen que estos grandes profesores son, con mucho, los hombres más importantes en el mundo de la educación.

Quienes han enseñado por muchos años a menudo observan las ventajas y limitaciones de diversas disciplinas, tanto como en la realidad como en las esperanzas de los partidarios interesados. Pero la educación debe ser la de un hombre integro en un mundo entero: las humanidades, las urbanidades, las banalidades. Quien no está deseoso o es impotente para correlacionar las fases de la experiencia intelectual, es probable que contribuya muy poco a la educación, la propia o la de otros.

El profesor emplea relativamente poco tiempo en contacto directo con sus alumnos. En general, el estudiante de una profesión no emplea más de una o dos semanas de tiempo efectivo de trabajo en el salón de clase en contacto con un profesor

segundo, no quedara al alcance de la mayor parte de la clase, sus enseñanzas serán un enigma para todos excepto unos cuantos; solo un gran maestro es capaz de enseñar bien a un grupo muy disimil de mentalidades. Balancear los dos niveles de educación quizá sea uno de problemas mas difíciles que el profesor debe resolver.

determinado. Puesto, en esa forma, la afirmación es un tanto asombrosa. Muchos mirando retrospectivamente, reconocerán la enorme influencia que algunos profesores ejercieron en su desenvolvimiento y, sin embargo, raras veces recordaran con exactitud qué fue lo que se les enseñó. El profesor actúa, en parte, como un catalizador: un material que forma parte de una reacción química; después que se ha producido la reacción y el nuevo material, el catalizador permanece tal como existía antes, con igual desinterés, pero con la misma fuerza y listo para catalizar repetidamente en forma indefinida. A los estudiantes se les enseña por medio de una acción catalítica siempre y cuando el profesor tenga la personalidad necesaria para producir la reacción. Casi siempre están rodeados de una atmosfera intelectual que conduce a la maduración; de un ambiente de laboratorios, museos, bibliotecas, ilustraciones y grupos de discusión. Todos estos son efectivos y serán fáciles de encontrar. Las universidades deben tener la capacidad para decir a sus estudiantes: “pedid o se os dará, buscad y encontrareis, tocad y se os abrirá.” Por ello los profesores desean muchas cosas para crear el ambiente intelectual. En algunas ocasiones los alumnos piensan que los profesores exigen demasiado, pero pueden encontrarse que la amplitud con que un catedrático desea las cosas a veces una medida de su valer. Mientras más energía tiene, mas interés pondrá; mientras más amplios sus intereses, mas cosas querrá.

Los individuos pasan por tres etapas para alcanzar la maduración completa de sus capacidades. Al principio usan ciertas rutinas, formulas, y especificaciones fijas. No es honrado quien profesa en el entrenamiento de los ingenieros, para que salgan al mundo frio de la realidad, sin enseñarles algún conocimiento en el uso de los procedimientos normalizados en los que se basa la industria moderna. Pero los estudiantes siguen adelante y tienen la esperanza de llegar a ser jefe. Cuando lo logran están en una posición en que pueden revisar, descartar o inventar rutinas para que otros las sigan. El propósito de las mentes mecánicas en la evolución de la industria ha sido semejante a la línea de montaje en la manufactura. Los procedimientos formalistas se establecen como guía para las personas de menor experiencia. A la larga, se espera que los jóvenes alcancen la tercera etapa y sean capaces de unirse al grupo científico, al de economistas y al grupo social y puedan ponerlos a trabajar juntos. Su problema deja entonces de ser un problema formal de ingeniería y se transforma en uno de carácter nacional, de las industrias, del uso y la conveniencia del hombre.

Los ex alumnos de las universidades se inclinan a que los educadores preparen con todo cuidado alguna parte en especial de este largo camino que los jóvenes seguirán, y desean que se concentre la atención en los tramos del camino que ellos mismos están recorriendo en este momento. Así, un joven egresado de 30 años de edad a menudo piensa que debería haber recibido más detalles técnicos en su educación. A los cuarenta comúnmente se queja de que no le dio suficiente atención al estudio de leyes y al de administración: a los cincuenta el ex alumno desea que hubiese estudiado mas las lenguas vivas o leído mas la literatura clásica; a los sesenta ya ha madurado lo suficiente para conocer que las universidades tratan con jóvenes de veinte años y no con ancianos de más de sesenta, y se da cuenta que lo mejor es armonizar y dar la debida atención a todas las etapas de su carrera.

La Educación de un Ingeniero.

VIVIR UNA VIDA PLENA EN UN ANCHUROSO MUNDO

“quien, con la bendición del Todopoderoso, pueda ser apto para el servicio público.”

Se acostumbra considerar a la ingeniería como parte de una trilogía: ciencia pura, ciencia aplicada e ingeniería. Necesita hacerse énfasis en que en esta trilogía es solamente una de un conjunto de tres trilogías en las que encaja la ingeniería. La primera es la ya apuntada; la segunda es teoría económica, finanzas e ingeniería; la tercera es relaciones sociales, industriales, ingeniería. Muchos problemas de ingeniería están más ligados a los de carácter social que a la ciencia pura. Las limitaciones de las clasificaciones académicas son notorias. En el mundo de trabajo diario no corresponden a la realidad las llamadas ramas del conocimiento que se acostumbran clasificar por los sistemas académicos. Es el hombre completo el que trabaja, la comunidad entera la que vive, y es función de la universidad ver por encima y más allá de las clasificaciones que son un tanto estériles.

La mecánica, por ejemplo, es un diamante de muchas facetas que cintilan diferentes colores para un matemático, un estudiante de ciencia pura, un estudiante de física cósmica o para un ingeniero. En la naturaleza es, sin duda alguna, la misma mecánica, pero parece inútil tratar de pensar en esta como una unidad cuando se analiza intelectualmente, tal como la abordan los diferentes investigadores. H.M. Westergaard escribió: "debe hacerse notar que la teoría de la elasticidad es, esencia, ciencia física, dirigida a comprender el comportamiento de la materia. El desarrollo del proceso fundamental de la teoría, a lo largo de los últimos cien años, ha sido el trabajo combinado de físicos, matemáticos e ingenieros. Las aplicaciones a la teoría molecular y a la del sonido se han presentado por sí mismas. Al mismo tiempo, las aplicaciones al análisis estructural han sido la causa de un contacto continuo con la ingeniería. Estas aplicaciones prácticas a la ingeniería han salido al frente durante los últimos años."

A.E.H. Love explica: "La historia de la teoría matemática de la elasticidad nos demuestra con claridad que la evolución de esa teoría no se ha guiado, en forma exclusiva, por consideraciones de su utilidad para la mecánica técnica. La mayor parte de los hombres, gracias a cuyas investigaciones ha sido posible fundamentar y darle forma a la teoría, se interesaban más bien en, filosofía natural que en el progreso material, e intentaban comprender al mundo en vez de tratar de hacerlo más cómodo.... Aún en los problemas más técnicos como el de la transmisión de fuerzas y el de resistencia de barras y placas, la atención se dirigió, en su mayor parte, más bien a los aspectos, técnicos que a los prácticos de estos asuntos. . . . Tiene bastante importancia el hecho de que mucho progreso material es el resultado indirecto del trabajo ejecutado sobre esta base. También es una verdad significativa que muchos de las grandes adelantos en filosofía natural fueron realizados por personas que tenían conocimiento directo de necesidades prácticas y de métodos experimentales como tantas veces se ha hecho resaltar: y, aunque los nombres de Green, Poisson, Cauchy, muestran que la regla no está libre de excepciones, ha quedado, no obstante, ejemplificada ampliamente en la historia de esta ciencia."

Algunos ingenieros han estudiado tanto los cursos clásicos como los más usuales en esta profesión; han asistido a las escuelas llamadas de "artes liberales", donde se vieron expuestos a un programa en gran parte disociado del problema de ganarse la vida. No obstante, un numeroso grupo de estos ingenieros reconoce que mucho de lo que recibieron del programa de clases ha ido el entrenamiento más práctico que han, adquirido en su carrera, aunque en el plan de estudios no se explicaba que las copias azules no se hacen con tinta blanca.²⁷ Los colegios, con su respaldo de educación

²⁷ Numerosos grupos de personas, profesores, estudiantes y profesionistas, creen que la enseñanza y la educación que conviene dar a los estudiantes de ingeniería es muy distinta de la enseñanza y el entrenamiento que recibirá el egresado por experiencia en su vida profesional. Es cierto en un sentido: que la manera de pensar de un estudiante es, o por lo menos debería ser, desinteresada, ya que solamente en los colegios esta un hombre libre de las relaciones que existen entre su trabajo y sus medios para ganarse la vida.

liberal ²⁸ deben dar a los estudiantes de ingeniería una base que complemente y apoye su entrenamiento técnico; es preciso que los trabajos realizados dentro de esos colegios, como suplemento de la enseñanza que en ellos se imparte, estén libres de manchas y de corrupción por el deseo de llevarlos a la práctica.

Además de los intereses clásicos necesarios, los ingenieros requieren tener verdadera personalidad (cultura y don de gente), lo mismo que cualquier otro ser humano. Probablemente no haya un camino más seguro para desarrollar el carácter que el pensamiento recto, firme y valeroso. En lo que se refiere al don de gente, los colegios no tienen monopolio: un estudiante cualquiera que con justicia se compare a sí mismo, o a sus compañeros de clase, con personas de iguales facultades mentales y privilegios sociales que ingresaron al mundo de los negocios directamente desde la secundaria, podrá darse cuenta de esto; es un principio bastante conocido en el terreno de los negocios. Quienes no cultivan su espíritu, viven sin el conocimiento y la apreciación de la belleza que nos ha legado el pasado, y la que se engendra y existe en la actualidad, vivirán solamente a medias; es un error muy común considerar que las personas de auténtico valer son grandes por su cultura; lo cierto es que estos hombres son cultos porque tienen intereses cosmopolitas que los ayudan a ser grandes.

Si cultura significa realización, apreciación y goce de la plenitud de la vida, de todos los factores materiales, mentales, estéticos y espirituales que forman el mundo de la humanidad, entonces los ingenieros están en una posición particularmente favorable para lograrla. Si entran de lleno en la ciencia y en las humanidades involucradas en adaptar las fuerzas naturales para uso y conveniencia del hombre, bien, eso es cultura; en ese caso, los ingenieros viven por la cultura, la crean y la hacen realidad.

Ese es su privilegio, vivir la vida con entereza, ver el principio y el final de la influencia de su labor; conocer el nacimiento, la evolución, la declinación y el renacimiento de los ferrocarriles, los cambios de la navegación terrestre, el trabajo de

Fuera de esto, lo propio es que las escuelas de ingeniería sean la iniciación a la vida profesional, y los problemas que resuelva el estudiante deben ser, sobre todo, reales y simples relativos a la naturaleza y al hombre concernientes a la profesión que escogió.

28

Aquí el significado del vocablo "liberal" es opuesto al de tendencioso, adoctrinado, y que ahora también se llama "indoctrinado". El sistema de la "indoctrinación" ha tenido un auge increíble en lo que va del siglo XX y no debe creerse que esta corriente es característica exclusiva de los países llamados socialistas o comunistas o totalitarios, los que tienen Ministerios de Propaganda y Oficinas de Censura; también es un principio muy aplicado y generalizado en los países capitalistas y democráticos, tanto en lo que se refiere a la promoción de ventas como a la manera en que los gobiernos justifican su política y sus actos. En lo relativo al comercio, véanse, por ejemplo, los anuncios de los fabricantes de automóviles; cuando sale al mercado el modelo de un año, no es raro que hagan declaraciones como ésta: "el nuevo modelo tiene 30% más área de frenos, es más ancho, más bajo, más largo y más rápido". Lo primero que pregunta cualquier persona que no acepta que se le adoctrine es ¿más frenos, más ancho, más etc... que qué? Y si medita, sólo encuentra la respuesta de que todos esos atributos son comparaciones con el modelo anterior; o lo que es lo mismo, si los atributos son ventajas positivas, o sea cualidades, queriendo ensalzar el modelo del año en curso para lograr ventas, los fabricantes automáticamente reconocen los defectos o las insuficiencias de los modelos anteriores. La imposición de doctrinas políticas, a veces en forma muy sutil y otras de manera abierta, es aún más grave. La mayor parte de los gobiernos en todos los niveles, así como las dependencias de estado, tienen oficinas de prensa o de información para dar las noticias, las que entregan a los reporteros de "la fuente", en forma sintética y altamente tendenciosa, lo que "recomiendan" que se publique; y los reporteros, directores de diarios y revistas, así como organizadores de programas de radio y televisión, no teniendo otro medio fácil para obtener noticias, difunden las que han recibido tal como se las han proporcionado. Así, los diarios en todo el mundo están saturados de informaciones y opiniones de los gobiernos sobre sí mismos, que por la fuente de donde provienen, nada valen, pero que constituyen la mayor parte de nuestra ración cotidiana de noticias. Los pensadores auténticos rechazan de antemano elevar cualquier doctrina a institución, no porque pueda ser falsa o interesada, sino por el hecho de que obstaculiza la reflexión y la inventiva, limita la visión y coarta la libertad. Así Konrad Lorenz a dicho: "La única ideología científica es no tener ninguna." Recordemos que Galileo fue obligado a abjurar de sus descubrimientos porque se dictaminó que eran contrarios a las "doctrinas" de las Sagradas Escrituras; que los libros de Darwin fueron combatidos por una causa semejante, y que el régimen nefasto de la Alemania Nazi se estableció y fortaleció por su imposición doctrinaria de aparentes y falsos ideales sobre la superioridad racial. Los científicos de valer llaman a sus descubrimientos, en forma modesta y sin pretensiones, "teorías"; los grandes pensadores se limitan, con humildad y sencillez, a exponer sus ideas, explicar posibles soluciones y, si acaso, dar interpretaciones sobre fases aisladas y casos especiales del universo y sus relaciones. En nuestro mundo no puede haber verdades absolutas ni conocimientos perfectos. Cross reconoce tacitamente la libertad de cátedra, una de las diferencias esenciales entre los países que en realidad son democráticos y los totalitarios, pero al mismo tiempo, hace notar que solo en los colegios, si de veras son "liberales", se está al margen de las enseñanzas tendenciosas y dogmáticas. En esta verdad puede hallarse una de las causas más importantes de la mal llamada "rebelión" de los estudiantes, los que no se han visto obligados a seguir y aceptar la doctrina y los postulados en que se pretende que vivan y se desenvuelvan, ni por necesidad económica, ni todavía por la fuerza de la costumbre.

los arquitectos, abogados, economistas, estadistas, así como los materialistas y humanistas. Pocos hombres (si es que algunos han podido) viven una vida con plenitud, pero la oportunidad y el derecho están ahí para el ingeniero.

También hay una obligación. La ingeniería, por necesidad, afecta profundamente a la cultura. No es propio que los ingenieros sean desarticulados; necesitan decir a los demás, no a sus colegas, cómo obtienen sus resultados; no los detalles técnicos y fastidiosos y los procesos matemáticos que muchos profanos conciben erróneamente, sino explicar que su labor es el resultado de sopesar las pruebas, examinar las muchas soluciones posibles, y que sólo después de una discusión juiciosa que involucra la experiencia del pasado, las condiciones del presente, y la probable evolución futura, es que se aceptan las soluciones. Es importante que los demás hombres sepan que los ingenieros no construyen solamente con concreto y acero, o con fórmulas y diagramas, sino más bien con fe, esperanza y caridad: fe en sus métodos, en su entrenamiento, en los hombres con quienes trabajan, fe en la humanidad y en el hecho de que la vida vale la pena vivirse, esperanza de poder encontrar el personal, el dinero, los materiales y los métodos para sus realizaciones, no deseos ciegos sino esperanzas juiciosas, caridad que involucra una comprensión bondadosa del elemento humano y disposición para trabajar con las debilidades humanas y para tolerarlas. Los ingenieros deben rechazar los intentos de llevar al cabo empresas que no estén soportadas por la fe, que tengan esperanzas vagas, y muy pocos ingenieros deben tolerar la caridad sin distinciones.

Esta discusión sobre la cultura puede excusar una digresión a un fascinante campo complementario de la ingeniería estructural. Casi todo el mundo adquiere la costumbre de coleccionar algo; la mayor parte de los estudiantes profesionales tienen la pasión de reunir fórmulas, y los ex alumnos y profesionistas recién egresados están predispuestos a hacer acopio de todo género de métodos de análisis. Ambas variedades de coleccionistas pueden llegar al vicio, por lo que se recomienda a los ingenieros, como salida de estas actividades filatélicas, ensayar una excursión en alguna otra rama, como la colección de puentes. Con fotografías y descripciones, con la acumulación de asociaciones históricas y detalles artísticos, uno puede llegar a construir un museo que no tiene interés exclusivo como una afición, sino además, un valor como un respaldo del trabajo profesional. Es una gran satisfacción cambiar el análisis matemático preciso o del detalle de las conexiones a un punto de vista más amplio sobre la función de las estructuras de los puentes. Un conjunto de ilustraciones permitirá al ingeniero ver los puentes no como fórmulas, sino como estudio de luces y sombras.

Un puente debe ser estructuralmente sano, correcto en cuanto a su forma, adecuado en lo relativo al detalle; construido de buenos materiales empleados con propiedad; pero también debe armonizar con el paisaje con gracia y dignidad y llevar la calzada, de calle a calle o de colina a colina. La distinción entre arquitecto e ingeniero es bastante reciente en lo que concierne a la arquitectura de puentes y es casi imposible llevarla a la práctica. Quien diseña un puente hermoso necesita haber concebido correctamente lo que es el trabajo estructural; el artista debe, tener algo del ingeniero, y éste debe ser artista y planificador.

Uno de los murales de Maxfield Parrish tiene una inscripción en lengua gálica que dice: "He aquí el puente que sirve para que crucemos." Para eso sirve un puente, para que cruce la calzada, pero puede hacerlo en muchas formas. Los puentes son parte de la calzada, y también del paisaje y del río o del valle que atraviesan.²⁹ Conviene que

²⁹ Muchos ingenieros que proyectaron puentes en lo pasado se olvidaron de que estas estructuras no son elementos aislados, sino que precisamente forman parte de la calzada; por tanto, deben estar integrados a ella y alinearse conforme a lo que ésta requiere. Todavía En la actualidad nos topamos con numerosos puentecillos que obligan a la calzada a tener curvas innecesarias en los accesos, que provocan accidentes, y que dan fe de que el ingeniero de puentes nunca estuvo de acuerdo con el localizador, es decir, que jamás trabajaron en equipo.

armonicen con los alrededores, y estén asociados al espíritu que los crea. En un parque, puede ser un puentecillo jovial, que juega, como en el pequeño puente, colgante sobre un lago que parece retozar en los jardines públicos de Boston, pero debe ser serio y consciente cuando sirve para llevar una vía férrea sobre una barranca. Si está construido en medio de bosques de pinos, posiblemente convenga que se haga de Madera, para que se sienta en una vecindad apropiada, pero las barrancas con cantiles de roca piden mampostería bien labrada o concreto, y en los grandes claros, se requiere la resistencia y la gracia del acero.

Paris, con toda su fascinación como centro de arte, asiento del saber, ciudad de grandes vistas, magníficos jardines, es también una ciudad de hermosos puentes. El artista, el arquitecto y el ingeniero encuentran la seducción de la belleza cuando caminan a lo largo de las riberas del Sena. El puente Alejandro III, el de la Concordia, el Puente Real y todos los que conectan las dos islas del Sena con las riberas se ajustan con gracia y armonía entre las vistas magníficas desde Notre Dame hasta el Trocadero (hoy Palacio de Chaillot). En Paris, como en otros lugares de Europa, la acumulación de bellos puentes se ha logrado por medio de una larga selección. Un puente hermoso es aquel que está bien diseñado, que es, por regla general, durable. A medida que pasan los años, se integra con la vida y con los afectos del pueblo, se transforma en parte de la ciudad y es el foco del desarrollo cívico; cautiva la fantasía de los artistas y de los poetas y se hace amar de tal manera que se le permite que sobreviva con pocos cambios a medida que pasan los años.³⁰

Europa tiene muchos ejemplos de arquitectura de puentes hermosos y extraños, porque los europeos han podido preservar lo mejor de sus construcciones antiguas. Sin embargo, la arquitectura de sus puentes recientes no es superior a la del Nuevo Mundo.³¹ Esto puede verse en las estructuras más modernas sobre el Sena y el Marne. En Chateau-Thierry por ejemplo, el nuevo puente de concreto reforzado se ve de calidad mediocre y armoniza muy poco con los antiguos edificios a lo largo del río o con los castillos que lo dominan desde las alturas; uno siente cierta compasión para este nuevo material encajado en una compañía tan antigua como distinguida.

El Nuevo Mundo está obteniendo excelentes calidades de arquitectura de puentes. En años anteriores, los ingenieros de las Américas estuvieron tan ocupados en la construcción que a veces se olvidaron que la belleza es una propiedad tan importante como la utilidad; pero en aquellos lugares en que el puente ha sido "adecuado", de materiales que evidentemente armonizan dentro de la comunidad y que su proyecto ha sido estructuralmente correcto, las puentes de las Américas tienen una dignidad que no la sobrepasan los europeos.

Europa tiene pocos puentes que pudieran considerarse grandes en cuanto a su tamaño; el que cruza sobre el Elba en Hamburgo y el de Forth son de los pocos que, nada más por su tamaño, llamarían la atención de las publicaciones técnicas americanas, a éstos deben agregarse unas cuantos sobre el Rhin y quizá sobre el Danubio. Pero algunos de sus puentes mayores fascinan más bien por el cuidado con que se han

³⁰ a los que amamos los puentes, y les hemos consagrado una parte importante de nuestra vida, nos da tristeza que las hermosas estructuras situadas en los caminos y en las vistas ferreas sean vistas unicamente desde la calzada, y nada mas en contadas ocasiones, gracias a las curvas del camino, puedan observarse bajo otro punto de vista. Se dice en tono burlesco que en un parque de la población de Lagos, en el estado de Jalisco, se ha puesto la inscripción: "este es un puente y se pasa por arriba". Quien aprecia la belleza y la utilidad inherente de estas construcciones quisiera que, de cuando en cuando por lo menos, los puentes se pasasen por abajo o por un lado para así aquilatar su utilidad, valor y sus cualidades estéticas. Mas aun, como mucho del atractivo de estas estructuras se encuentran no solo en la obra terminada sino en su ejecución, desearía que, como la música y la danza que se realizan tanto en el espacio como en el tiempo, los puentes pudieran verse siempre en sus diversas etapas de ejecución.

³¹ Recuérdese que este libro fue escrito inmediatamente después de la segunda guerra mundial, y que muchos de los conceptos vertidos por el profesor Cross se refieren a la época anterior a esa guerra.

construido que por su belleza. El del Forth se despatarra sobre el estuario como un dinosaurio anti diluviano, colosal en lo relativo a su tamaño, pero carente de distinción en lo que se refiere a proporciones. En este sentido, las Américas son el hogar de los puentes grandiosos.

Los puentes presentan una vista a los que viajan por el río, otra a los que hacen sus jornadas por las riberas, y una tercera vista a los que vagan a lo largo de los parapetos para pescar o para descansar o aún soñar. Se han preparado bellos estudios de arte en el proyecto de los accesos, las formas de las pilas y los detalles de las balaustradas (barandales). Cada puente tiene su propio vecindario; puede ser simplemente una prolongación de una calle y quedar dominado por los edificios adyacentes, como en el caso del de la Santa Trinidad; o bien, puede él mismo dominar el paisaje como lo hace el del Resurgimiento.

Los puentes que en realidad son magníficos tienen una personalidad propia El de Lars Anderson en Cambridge, encanta por la manera en que armoniza con el río; los de Venecia forman parte de un conjunto glorioso de la arquitectura renacentista; el de James B. Eads sobre el Mississippi tiene al mismo tiempo la suficiente gracia y resistencia para armonizar con la dignidad del "Padre de las Aguas"; el puente San Carlos sobre el río Moldavia, en Praga, nos fascina con sus cruces hebreas y con sus excelentes estatuas; algunos parecen jugar dentro de un parque, otros salvan en forma majestuosa los grandes ríos, pero todos los puentes que impresionan nuestra imaginación siempre armonizan adecuadamente con los alrededores o el paisaje. El Ponte Vecchio es encantador sobre el Arno, el Ponte di Rialto forma parte del Gran Canal de Venecia, pero el río de Chicago es otra corriente con diferente tono.

Parece que los europeos han amado más sus ríos y sus puentes que los americanos. Las riberas del Sena, del Támesis, del Tíber, o del Alster todas ellas reflejan el hecho de que las orillas de los ríos de Europa se han desarrollado en forma más completa y con mayor encanto para el solaz de aquellos que toman una pausa para disfrutar de la hospitalidad de los puentes. Los americanos han apreciado los ríos de sus propias ciudades mucho menos de lo que debieron haberlo hecho, y menos quizá de lo que lo harán en lo futuro. La ciudad de Boston ha realizado maravillas con su río Charles; la de Chicago está modificando su río para que se transforme, de una gran cloaca, en una faja de descanso; la de Pittsburgh comienza a descubrir las vías fluviales en cuya confluencia se estableció un centro de comercio; y la de Indianápolis se ha dado cuenta de que el río White puede ser un objeto de belleza así como la causa de las inundaciones de la población.

La ingeniería no es sencillamente la ciencia matemática. Debe abordarse con un sentido de la proporción y de la estética. En tanto que los ingenieros tratan con hechos que son mensurables, ellos usan la herramienta matemática para combinarlos y deducir conclusiones; pero, en muchas ocasiones, los hechos no están sujetos a mediciones exactas, o bien, las combinaciones de ellos son, de por sí, inconmensurables. No tiene dificultad alguna comparar dos distancias, pero muchos conductores de automóviles discuten con sus familiares sobre el valor relativo del kilometraje recorrido contra las ventajas de escenarios naturales. La labor de los ingenieros está íntimamente conectada a las costumbres de los humanos así como con los hechos materiales. La ingeniería municipal nos proporciona ejemplos familiares la importancia relativa de los parques y de los espacios para los estacionamientos de vehículos, la conveniencia de comercios distribuidos en los diferentes barrios y la zonificación en los distritos residenciales, los ferrocarriles urbanos y la iluminación del sol. La trascendencia de estos problemas enfatiza la necesidad, la muy práctica necesidad, de que el ingeniero tenga

conocimientos de historia y de literatura, una clave de cómo ha trabajado la mente humana en lo pasado y cómo reaccionará en su nueva vecindad.

Una obligación muy importante de los profesores es la de forzar a sus estudiantes a que regresen repetidamente al campo de la realidad y, más aún, la de esforzarse ellos mismos a regresar a este campo. Algunos de los estudiantes próximos a terminar su carrera se olvidan que son las leyes de la mecánica las que los hacen caer y golpearse la cabeza, que son las calorías las que les queman los dedos, que la energía puede causar la muerte. De hecho, es difícil concebir un absurdo con el cual no estarán conformes estos estudiantes si se presenta con suficientes letras griegas y con buen número de signos de integral. Algunos de ellos han perdido por completo la voluntad de comprobar sus conclusiones contra la realidad del mundo diario en que viven.

Muchos profesores intentan subsanar esta dificultad en el laboratorio. Pero el modelo de laboratorio no es lo mismo que la estructura real, y en general difiere mucho de ella. En cierta ocasión un ingeniero describió determinada prueba de material como aquella que se aplicaba con objeto de saber si el material pasaba o no la prueba. Con frecuencia, el sentido de la realidad decrece a medida que aumenta la complicación del equipo para los ensayos y al fin, termina desapareciendo del todo en el trabajo de laboratorio.³²

La utilidad de los dispositivos técnicos debe medirse, en su mayor parte, por el grado con que se basan en el mundo de la realidad y de la experiencia. No debe permitirse, como se hace a menudo, que en los cursos profesionales, las pruebas estandarizadas, los símbolos, las fórmulas y los términos técnicos suplanten la realidad.

Es fácil, como muchos ingenieros saben, ir demasiado lejos persiguiendo esta esquivada realidad en los colegios es una falla común suponer que si los estudiantes visitan suficientes puentes y ven ilustraciones de ellos, no requieren conocer mucho sobre su análisis. Los cursos llamados "prácticos" que tratan sobre cómo-se-hacen-las-cosas, y que excluyen el por-qué-se-hacen y el, cómo-pudieran-hacerse son, en gran parte, un desperdicio de tiempo.

Lo que realmente le sucede a una estructura con frecuencia no es tan importante como lo que pudiera llegar a sucederle. Lo que puede llegar a suceder es posible que no acontezca; la probabilidad es un concepto, no un hecho. Esta elusiva ilusión de la realidad, no obstante, no es la dificultad con que se encuentran los alumnos subprofesionales. Ellos han perdido aún la ilusión de la realidad. Si se les pide que dibujen una estructura deformada por las cargas, dibujarán una línea sinuosa que

³² Las pruebas de laboratorio que se exigen a los materiales de construcción para que puedan utilizarse en las obras deben ser no solo simples, sino típicamente representativas del trabajo real que debe desarrollarse el material. Así, la prueba de tensión de barras de acero, que por sencilla y fácil de hacer se aplica en forma muy usual, es ideal para los materiales sujetos fundamentalmente a cargas estáticas; pero si el material se va a emplear en estructuras sujetas a esfuerzos repetidos donde el fenómeno de fatiga es notorio, la prueba de tensión simple es insuficiente para proporcionar un índice apropiado del comportamiento del material en la construcción. Además, la fragilidad, en especial a bajas temperaturas, puede ser de vital importancia en el comportamiento del material en la obra, y en este sentido los datos de las pruebas comunes ya no dan resultados que sea factible correlacionar en forma simple. Más aún, cuando se hacen las pruebas Izod y Charpy, sus resultados apenas si pueden calificarse de valores cualitativos, rara vez cuantitativos. No obstante, querer representar en un modelo simplificado de laboratorio el comportamiento de una pieza real puede ser, a veces, una guía errónea y hasta peligrosa. Tomemos la prueba que se acostumbra hacer a tubos de concreto para drenajes consistente en aplicarles una carga de línea en la parte superior y una reacción de dos líneas o de cama de arena en la inferior. En primer lugar, las dos formas de carga, que muchas especificaciones aceptan indistintamente, dan, algunas veces, resultados que difieren de manera notable. En segundo lugar, la presencia de una sola piedra o un reborde irregular actuando contra el tubo en la obra puede provocar condiciones de trabajo mucho más severas que las idealizadas en el laboratorio. En tercer lugar, la acción estructural del tubo en la obra dependerá más del material de relleno que lo rodeará, y del espesor de ese material entre el tubo y las cargas concentradas, que de la resistencia propia del tubo. En cuarto lugar, el comportamiento del conjunto es variable con el tiempo, las condiciones en que se hace el relleno, la humedad del terreno circundante, la forma en que se efectúa la colocación del tubo, y de muchos otros fenómenos que no se valúan en el laboratorio. Sin embargo, ¡cuántos tubos que pudieran haber dado servicio satisfactorio se han rechazado por no pasar la especificación! Por ello, es necesario que los requisitos exigidos en las pruebas de esta naturaleza vayan precedidos de salvaguardas como "Cuando no se hagan pruebas en la obra que dupliquen las condiciones de trabajo" o "cuando no se demuestre a satisfacción del supervisor, de la obra. . . . etc., etc."

alguien con cabeza de calabaza en un trampolín sabe de antemano que no es ni siquiera aproximadamente correcta. Calculan una reacción negativa en una viga en voladizo sin que les interese lo que significa el signo negativo. Esto parece demostrar que el proceso de enseñanza ha destruido en los estudiantes algo de gran valor; no cabe duda que el estudiante o el curso ha perdido algo que es vital.

Los buenos ingenieros tienen un sentido muy amplio de la realidad. El buen juicio de un ingeniero, cuando de veras lo tiene, vale mucho más que los cálculos que hacen personas en las que el sentido del juicio está subdesarrollado. Quizá no haya cuestión tan importante para los profesores de ingeniería que reflexionar sobre los medios para estimular ese buen juicio en los alumnos.

Los ingenieros deben ser persistentes y juiciosos sobre sus necesidades. Esta aseveración combina dos conceptos: ajustar adecuadamente el individualismo con la reglamentación; uno de ellos permite que el individuo se exprese a sí mismo con su trabajo, el otro elimina la experimentación inútil y extravagante. Lo que aquí se busca no es una discusión sobre la conveniencia de una humanidad reglamentada versus la libertad absoluta de la gente en todos los tiempos. Los técnicos desean mayor cantidad de individualismo en el diseño, y estandarización más amplia en los detalles; las dos no son discordantes ni incompatibles, pero son deseables y coordinadas. Hay además, un interés constante en el uso y en la conveniencia. En el fondo los ingenieros están conscientes y preocupados con los intereses sociales y políticos de las labores que les corresponden desarrollar.³³ Si aquí existe alguna culpa, recae en los promotores y en los financieros, no en los ingenieros.

Otro elemento importante en el entrenamiento intelectual es el de la coordinación entre el análisis y la síntesis. La época actual casi siempre tiende a llevar el análisis demasiado lejos, y en la mayor parte de los casos, las escuelas de ingeniería han favorecido esta tendencia. El objetivo final de la ingeniería es la planificación y la construcción. La función del análisis es incidental a ello, pero sirve como una guía en la elaboración de los planes y en su ejecución.

Uno de los puntos más importantes en esta ilustración del diseño es el sentido de proporción (algunos individuos nunca llegan a tenerlo), la habilidad de reconocer en forma rápida que ciertos fenómenos, ciertos esfuerzos, son importantes, y otros no lo son; la habilidad muy significativa de colocar al principio las cosas que van primero; la capacidad de sopesar las consecuencias del fracaso y de adoptar un coeficiente de seguridad relativo a las probabilidades y a esas consecuencias.³⁴

³³ Cross ha puesto aquí el dedo en la llaga. Como la obligación del ingeniero es dar servicio a la humanidad y la del político también, es muy frecuente que el mérito de las obras se lo arrebatan los políticos y los ingenieros, y en este mundo en que vivimos, sobre todo cuando interviene la politiquería, los primeros llevan las de ganar. pero el ingeniero debe acobardarse ante esta situación que no es ni nueva ni especial; su objetivo debe ser siempre la obra misma y el fruto que ella rinde, entanto que la gloria, por legítima que sea, invariablemente debe estar subordinada. Más aún, al desarrollarse cada vez más el trabajo en equipo, la fama individual tiende a desaparecer, y la celebridad queda reservada a los pocos mortales que, por la naturaleza misma del trabajo que realizan, pueden sobresalir en aquello que indefectiblemente está ligado a la persona y a la personalidad de quien lo desempeña. En cambio, las grandes construcciones tienen grabada, no con letras que el tiempo borra y la intemperie desgasta y los vándalos arrancan, sino en forma indeleble por el servicio que prestan, los hombres de quienes las concibieron, las proyectaron o las llevaron al término.

³⁴ Nunca se hará suficiente énfasis sobre el hecho de que toda construcción implica un riesgo. Todos estamos conscientes de que una intervención quirúrgica, aún las que hoy son "de rutina" como una apendicectomía, tienen alguna contingencia. Sin embargo, el profano no acepta como riesgo los fracasos en las construcciones. Cuando en los siglos XII, XIII y XIV se construyeron las espléndidas catedrales góticas, y en la segunda mitad del siglo XIX en que se realizó en gran escala la construcción de puentes para el transporte ferroviario, entonces en estado de expansión violenta, en algunos países se veían como normales los fracasos que ocurrían, quizá por lo frecuente de los mismos, y aún se aceptaba habitualmente el aventurado sistema de "ensayar y corregir los errores". Los riesgos varían desde el peligro de un colapso, total hasta el de formación de grietas casi invisibles, o de hundimientos y deformaciones imperceptibles o poco notorios. Tomemos el diseño sísmico: siempre hay posibilidad de que ocurra un terremoto capaz de destruir una construcción, por robusta, bien proyectada y ejecutada que esté; lo importante es saber cuál es la probabilidad de que se presente ese sismo durante la vida útil deseable de la estructura, y que el público tenga conciencia de que dicho riesgo existe.

"Academismo", "investigación", "análisis productivo" son, muchas veces, el último refugio de los charlatanes académicos. El academismo de un ingeniero significa, primeramente, que sabe con precisión de que está hablando. Implica, como base fundamental, una completa honradez intelectual, así como un gran talento y mucha, muchísima labor perseverante realizada a solas. Implica también, como corolario, la precisión en las citas, la exactitud sobre la documentación básica. El academismo que promueve objetivos reales y verdadero amor a la cultura es un ideal muy elevado, pero siempre será verídico que los individuos son cultos y que ven las cosas con latitud porque tienen grandeza interna, y no que lograron esta grandeza cuando trataban de alcanzar esa cultura.

Los ingenieros se muestran, por lo común, tan ansiosos de hacer las cosas que no resultan muy sistemáticos en sus conocimientos. Muchas veces, sus escritos están documentados en forma mediocre, sus referencias son repetidamente de segunda mano. Ahora bien, quizá no se requiera que los ingenieros sean buenos académicos, pero en realidad deben poner más atención en cumplir algunas reglas establecidas del academismo. Estas reglas a han usado en forma más sistemática en los campos que tienen una herencia tradicional en las bibliotecas que en el de la ingeniería, en donde muchas de las reflexiones y de los hechos de verdadera importancia no llegan siquiera a publicarse. Puede ser muy molesto descubrir que cierta afirmación está basada en experimentos sin que se diga dónde puede hallarse el registro de esos experimentos; con frecuencia resulta divertido leer a un escritor que se basa en la autoridad de otro, que a su vez menciona lo afirmado por un tercer autor; causa disgusto encontrar referencias a fundamentos que no han estado disponibles para el autor, o escritos en una lengua que él no comprende; son casos de violación de las reglas de la honradez intelectual. Sin embargo, algunos autores parecen no reconocerlo. La honradez intelectual lleva implícita una tradición intelectual comparable a la tradición material que respalda la honradez material.

Los estudiantes próximos a diplomarse necesitan darse cuenta que una universidad es un lugar para meterse en muchos enredos intelectuales, tantos como sea posible, un sitio en donde pueden cometerse errores, muchos errores, y que ahí deben corregirlos.³⁵ Normalmente creen saber el significado de esto, pero en realidad no lo saben. No es la cantidad de sus errores lo que debe mejorarse, hacen suficiente número de ellos, sino más bien su calidad. No se meten por sí mismos en nuevas dificultades; rara vez, se encuentra en ellos el encanto de la individualidad, o el de la originalidad en sus yerros, porque les falta el valor de intentar experimentos intelectuales. A los alumnos que comienzan la carrera se les enseña que la manera de obtener una reacción de una viga sobre dos apoyos consiste en tomar momentos respecto a unos de ellos. Nunca se les ocurre tomar momentos respecto a otros dos puntos cualesquiera para obtener así las reacciones; si lo intentasen sería un experimento que les revelaría por qué no se hace, y podrían así descubrir una triquiñuela del pensamiento que tiene amplias aplicaciones en la ingeniería.

³⁵ ¡Ah los errores! Si en la vida profesional tuviésemos el valor y la humildad de reconocer nuestras equivocaciones, y si en vez de que los colapso de las obras fuesen motivo de sensacionalismo periodístico, representasen lecciones normales e inevitables, cuántas vidas se salvarían cada año; cuánto podríamos aprender para obras futuras, qué enseñanzas podríamos tener para evitar nuevas calamidades. Por desgracia, lo primero que se oculta son los desaciertos y los fracasos; y si a ésto se aúna que cuando se produce un derrumbe es a nombre de "la sociedad" que se busca un culpable para castigar, no es de extrañarse que se pierdan tantas y tantas lecciones, que las mismas faltas se cometan una y otra vez. ¿Quién que construye está exento de errores? Sólo los que poco o nada han construido o proyectado pueden decir que no los han cometido. "El que esté libre de pecado, que lance la primera piedra." El mal no es errar, es humano. Lo que es verdaderamente triste es no obtener beneficio de los fracasos, y que, por nuestro orgullo personal, o por temor de "la ley" se pierda para siempre tanta enseñanza potencial.

¿Qué el programa de ingeniería entrena para formar dirigentes? Esta jerigonza de la capacidad de dirigir es, en su mayor parte, un disparate. La universidad puede recibir personas con una salud intelectual razonable, con ambición, carácter y talento, y colocarlos en un ambiente en que aprenderán algo sobre la dirección, sus realidades y sus fracasos. Es claro que no todos los hombres pueden acaudillar. Existe incompreensión respecto a lo que es la dirección; un cínico definió a un ejecutivo como la persona que se atribuye todas las prerrogativas y que esquivo todas las responsabilidades. El entrenamiento en ingeniería puede proveer dos cosas que son un tanto difíciles de obtener excepto en las ramas semejantes del conocimiento: la habilidad de observar y la de interpretar los fenómenos naturales con algún grado relativo a su precisión y a su forma de medir. ¿Qué tan fuerte sopla el viento? ¿Cuánto lloverá el año próximo? ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra una creciente determinada en un río? ¿Cuál es la fuerza de las olas: en una tempestad? ¿Cuál es la resistencia de la madera, de la piedra o del ladrillo? El valor de la capacidad para observar e interpretar críticamente se realza en extremo si los estudiantes aprenden a ordenar su información de tal manera que sea útil. Se les puede señalar la diferencia entre lo que es un hecho y lo que alguien pretende que lo es, o así lo desea. Mucho de lo que debe enseñarse a quienes intentan llegar a ser ingenieros consiste en la definición de términos, de principios importantes de álgebra y de geometría, en la forma de ordenar los cálculos, en la expresión y comunicación por medio del dibujo,³⁶ y aún en instruirlos en el lenguaje común y el técnico; además, conviene dar a estos aspirantes cierta información respecto a los materiales y, a veces, de los procedimientos de construcción.

La ingeniería cambia -el carácter de los escritos, la naturaleza de los problemas, el tipo de las estructuras y de las máquinas- y se ha creado una fuerte presión para modificar en forma radical el entrenamiento que se imparte a los ingenieros, presión que es especialmente fuerte cuando proviene de tres grupos: los humanistas, los laboratorios de investigación, y las escuelas de posgraduados.

La ingeniería es un arte conocido desde la antigüedad. Siempre ha exigido habilidad para sopesar las pruebas, obtener conclusiones que tengan sentido común, formular una síntesis que sea simple y satisfactoria, y después, para ver que esa síntesis se lleve a cabo. Debido a que este arte se adapta al uso y a la conveniencia del hombre en forma constante, y a que este uso y esta conveniencia cambian, el énfasis en el progreso del arte varía de generación en generación, de década en década permanentemente se adapta a sí mismo para el cambio y, sin embargo, mientras más cambia, más permanece siempre el mismo -lo cual es cierto también en lo relativo a la educación de los ingenieros.

Los jóvenes del nuevo mundo serán capaces de adaptarse a los nuevos problemas y a los materiales modernos si aprenden la importancia que tienen las necesidades juiciosas, se les entrena para asimilar las pruebas y se les enseña a estudiar las costumbres y la conveniencia de la humanidad.

³⁶ En nuestro medio, los ingenieros tenemos la tendencia a despreciar el dibujo; muchos dicen: "que dibujen los dibujantes". Pero, ¿Cómo puede el profesionalista expresarse si no lo hace en el lenguaje que le es propio y natural? Muchos de los descubrimientos, las invenciones y creaciones de la ingeniería nunca salieron de la fase individual por la sola razón de que su autor no tuvo la capacidad, la habilidad, el deseo, o la diligencia, para expresarse por medio del dibujo. Está bien que, en cosas de rutina, baste que el ingeniero se exprese por medio de croquis, de diagramas, o del lenguaje ordinario, y que el dibujante, como su auxiliar, exponga las ideas, pero tratándose de las creaciones, es el propio autor quien debe desarrollarlas con el dibujo; sólo así puede en forma verdadera, planificar. Algunos consideran que el verdadero adelanto en el ejercicio de la profesión viene cuando se cambia la mesa de dibujo por el escritorio. Pero esto obedece a una razón funcional: es más propio efectuar los trabajos administrativos sobre el segundo que sobre la primera. A partir del momento en que el ingeniero deja la mesa de dibujo y la cambia por el escritorio, tendrá a su cargo el desempeño de labores administrativas, que en la mayor parte de los casos están mejor remuneradas que las técnicas, y dejará estas funciones para que las realicen otros bajo sus órdenes. Eso es todo.

¿Deben entrenarse los estudiantes para que sean personas conservadoras? Ellos necesitan aprender que las leyes y fuerzas naturales no pueden modificarse. ¿Es preciso enseñarles que no pueden obtener algo a cambio de nada? ³⁷ Todo diseño en ingeniería hace énfasis sobre este principio, y siempre se ha basado en él. ¿Debe impartirse a los alumnos resistencia a la propaganda y a la estadística dirigida?

Los profesores son importantes, muy importantes. No pueden arruinar totalmente a un hombre capaz, ni tampoco hacer un sabio de un cabeza-hueca, pero sí lograr mucho en una o en otra dirección. Es indudable que, si se lo proponen, serán muy valiosos para indicar los métodos del pensamiento y del estudio que normalmente son inútiles, o de hecho son perjudiciales. Tienen la facultad de ayudar a un hombre a comprender la idea que la ingeniería no es una rama de las matemáticas, aún cuando las matemáticas son útiles para el que ejerce esta profesión. Pueden descorazonar los estudios puramente especulativos y que no tienen finalidad específica; tienen la capacidad para hacer que los hombres se den cuenta que los ingenieros preguntan: "¿Qué de ello?" tan aprisa como "¿Qué es esto?"

Quizá el entrenamiento más valioso que le corresponde dar a un colegio sea el uso de los libros. Muy pocos estudiantes saben cómo usarlos, y sólo un reducido número se da cuenta de la meditación con que un autor que discierne selecciona su material, o qué reacio sería decir: "todo esto debe tragarse y no es preciso hablar más sobre el asunto". La información que contienen los libros es de segunda mano para el estudiante, y la información de segunda mano lleva los mismos peligros de gérmenes de enfermedades como la ropa de segunda mano. Conviene orientar al estudiante para que proceda con cautela antes de aceptar esta oferta.

Los críticos de la educación que se imparte a quienes desean ser ingenieros no ayudan mucho cuando comienzan con la siguiente tesis: "Azúcar y confitura y todo lo bueno, de ello están hechos los humanistas; ratas y caracoles y colas de animales, de ello están hechos los ingenieros". ³⁸ Normalmente, su crítica se basa, en conclusiones a las que han llegado aplicando erróneamente métodos de pensar que obtuvieron de los ingenieros. Condenan la educación de la ingeniería, porque consiste en información miscelánea e inconcluyente y en "datos estadísticos" que un ingeniero rechazaría de inmediato debido a que están formados por definiciones sueltas, colección imprecisa de datos o clasificación confusa.

En la actualidad, algunas personas preferirían que se entrenase a los ingenieros como a psicólogos, sociólogos, economistas o políticos -cada quien en forma exclusiva y cada quien con el disfraz de adaptar a los ingenieros al mundo en que viven. Otras personas sugieren que los jóvenes ingenieros se especialicen en investigación, experimentación o en física. Todavía otros apremian que debe dárseles carácter, sentido

³⁷ Esta verdad evidente, de que nunca en este mundo puede obtenerse algo a cambio de nada, parece no ser tan evidente para muchos de la actual generación, particularmente los más jóvenes. El caso es palpable en varias universidades latinoamericanas; el no querer dar algo a cambio de la educación que se recibe comienza por el pago de colegiaturas (la mayor parte de las universidades más conocidas de estos países no cobra, o cobran cantidades nominales, por matrícula y por derechos), y ni siquiera se hace distinción entre alumnos becados y alumnos que pagan el valor comercial de las colegiaturas, lo que equivale a que todos los estudiantes tengan los derechos que crean las becas y ninguna de las obligaciones relativas. El resultado es lamentable, pues todo aquello que no se paga, no se valoriza en la forma debida y a la larga estas universidades, que nada reciben de sus alumnos, ni siquiera el pago en dinero por la enseñanza que en ellas se imparte, acabarán también por darles nada. Los profesores que no reciben un sueldo remunerativo terminan despreciando la enseñanza, y si la siguen impartiendo, es porque obtienen de la misma compensaciones quizá intangibles o que no pueden reconocerse fácilmente. Es indispensable que las universidades sean retribuidas en alguna forma por sus estudiantes: ya sea por medio de la investigación que en ellas efectúen, por los escritos y estudios útiles y productivos que provengan de sus laboratorios, aulas y seminarios, o en el peor de los casos, del pago en dinero por los derechos de lo que ahí se aprende. No podemos, en forma indefinida, continuar explotando algunas universidades, pues si así lo hacemos, el nivel académico de las mismas llegará tan bajo que serán el hazme-reír del mundo educacional, sobre todo en lo que respecta al promedio de los profesionistas egresados de ellas.

³⁸ Lo anterior está en verso en el original en inglés y es una conocida rima infantil adaptada por Cross.

común y tendencia conservadora Algunos parecen confundir al profesor con el Todopoderoso. En consecuencia, cada grupo que sigue una filosofía en particular tira hacia sí los planes de estudio para que se impartan materias de su especialidad. Un grupo enfatizará la investigación, otro los elementos creativos, y otros grupos quisieran incluir tantos conocimientos generales de otras disciplinas en tal forma que dejarían poco espacio para el entrenamiento que es esencial. Hay una demanda para cursos generales sobre la civilización, sobre la continuada elaboración de la mecánica matemática; también hay demanda para el entrenamiento en la técnica de laboratorio, la de diseño y la de detalles. Este conflicto de demandas es muy amplio; la vida misma, si es íntegra y dinámica, es así. Todas estas cosas, o al menos parte de ellas, debieran estar -y casi siempre están- en los programas de estudio, pero no se deduce de ello que sea forzoso que se incluyan como cursos separados.

Establecer nuevos cursos no satisface necesidades antiguas y jamás lo hará. Se puede aprender mucha sociología, mucho sobre economía material y economía política en relación con cursos de ingeniería sanitaria, o de caminos, o en casi cualquier otro de los cursos tradicionales.

Si en algún lugar se enseña la ingeniería (incluyendo diseño detallado, análisis o síntesis), todos estos asuntos quedan involucrados lo que se hace en cuatro o cinco o seis años importante sólo en tanto que se da entrenamiento para los restantes treinta o cuarenta años de ejercicio profesional. A veces se tiene el temor de que la técnica científica, la orgullosa sirvienta del arte de la ingeniería, está tratando de devorar a su amo. En relación con la multiplicación de cursos en el programa, se ha dicho que algunas personas parecen pasar por alto la invención de Gutenberg.

Quienes dirigen la enseñanza que se imparte a los ingenieros deben tener en mente los objetivos a largo plazo, y recordar que es preciso reconocer varias etapas en el desarrollo de los ingenieros, si tienen la suerte de completarlo. Comienza, como lo sugirió Shakespeare, en brazos de la niñera -los brazos protectores de su Alma Mater- con una analogía completa. Cuando se gradúan obtienen puestos para hacer cosas francamente específicas en formas determinadas del todo. Durante esos primeros meses, nadie espera de ellos muchos pensamientos constructivos, se les pide que lleven a cabo procedimientos que están absolutamente definidos. Antes de que pasen muchos años, avanzan a otra etapa en la que pueden agrupar información de varias fuentes, y llevar a su problema los valores humanos que lo afectan. Más tarde aún, empiezan a crear el problema ellos mismos, de tal manera que maduran, de jóvenes ingenieros a directores de industrias o de grandes empresas, en cuyo caso tal vez ya ni siquiera se llamen ingenieros.

Es probable que pocas personas duden sobre la importancia del entrenamiento adecuado de los individuos que planificarán o que estarán asociados con la planificación de las obras de ingeniería en el Nuevo Mundo.³⁹ América es la tierra de los grandes ingenieros, hombres que requieren saber cómo usar la ciencia para incrementar el bienestar humano, aún cuando no necesariamente deben ser científicos en un sentido estrecho, ni especialistas académicos ya sea en definir el bienestar o en clasificar a los hombres. Su trabajo está afuera de los muros cubiertos de hiedra, ahí donde, en última

³⁹ Si el responsable de la marcha de una unidad social en cualquier escala de magnitud (llámese dirigente, organizador, político, empresario o funcionario) está consciente de la importancia y el valor de la planeación, es claro que se habrá percatado de la trascendencia que tiene la educación y el talento de quienes la realizarán. Por desgracia, tratándose de obras de pequeña magnitud relativa, algunas personas ajenas a la profesión no han advertido la importancia que tiene planificar de manera apropiada cualquier obra, y a veces pretenden que se realicen éstas prescindiendo de la labor de los técnicos y profesionistas especializados. A este respecto conviene recordar la idea bastante conocida, aunque nunca suficientemente repetida, que los servicios de ingeniería siempre se pagan, ya sea que se utilicen o que no se haga uso de ellos, y que el precio que se paga es mucho más elevado cuando se elude el empleo de esos servicios!

instancia, se hace el trabajo de este mundo y en donde, en su nivel más amplio, se reflexiona sobre la forma de llevarlo al cabo.

La ciencia y los sistemas, las leyes y las costumbres, los hombres y las idiosincrasias. Las universidades no correlacionan estos asuntos, pero tienen una gran obligación, una gran oportunidad para mostrar a los estudiantes que más tarde, ellos mismos, deben intentar esta correlación, y que mientras más pronto empiecen, será mejor. El programa de enseñanza de ingeniería está lleno de ciencia y de sistema; no es propio incluir más materias en ese programa disfrazadas de sociología, estadística, o matemática formalista. Los ejemplos de construcciones, de máquinas y de procesos que no están bien adaptados a la gente, y los de costumbres y usos que presentan conflictos con el progreso mecánico, enseñan que es preciso orientar la naturaleza que no cambia a la vida que sí se transforma. "El arte de dirigir los grandes recursos de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre" -arte, no meramente ciencia, dirigir, no nada más observar; conveniencia así como uso; el hombre, imperfecto y en apariencia no sujeto a perfeccionarse pero sí muy lleno de vida. La definición sigue siendo correcta; es una lástima que se olvide tan a menudo.

Minaretes Sobre la Hiedra.

ESTUDIOS DE POSGRADUADOS, DISERTACIONES,
INVESTIGACION

"Escuche con credulidad los susurros de la fantasía y persiga ansiosamente el fantasma de la esperanza."

El plan de estudios de las carreras de ingeniería debe modificarse periódicamente, no tanto para que esté al día - ¿a qué día? - sino para mantenerlo vivo y conservarlo fuera de los museos. Mientras más cambie, más permanecerá el mismo, como el viento, las olas y el fango. En los años más recientes, los planes de estudios profesionales de las carreras de ingeniería han estado sujetos a una influencia que casi no existía hace treinta años: las escuelas de posgraduados. Aunque algunos todavía se muestran escépticos respecto a su utilidad, están aquí para quedarse permanentemente. Puede ser un estimulante poderoso de la vitalidad del programa profesional, pero, como casi todos los estimulantes, es peligroso. Hace cuarenta años las escuelas de posgraduados, en el área de las artes liberales, iban a salvar de la inanición al plan de estudios profesional, y muchos las han visto arrastrar a la vieja muchacha mientras pretendían que la estaban despertando de su sueño.

Los estudios de posgraduados son relativamente nuevos en ingeniería y, por esta razón, la profesión tiene una oportunidad de salvarse de los males observados en otras ramas de la enseñanza. Algunas organizaciones que han tenido éxito en ingeniería consideran que el haber obtenido un título de maestría es tan importante que casi es una necesidad para la promoción de sus integrantes; incluso exigen tener personal con el grado académico de doctor. Conforme pasa el tiempo, las solicitudes para profesores requieren, cada vez con más frecuencia, que el personal para cubrir estas plazas haya realizado estudios en escuelas superiores y que tenga el grado correspondiente. Muchos de los escritos en las revistas de las diferentes sociedades de ingenieros son transcripciones y modificaciones de trabajos de tesis que fueron presentados para obtener títulos de posgraduado. La productividad de los grandes colegios de posgraduados es enorme en lo relativo a su volumen; poco de ello vale la pena de publicarse, pero no quiere decir que no ha cumplido con su propósito.

Es injusto alimentar en su totalidad a los estudiantes con información de segunda mano. De cuando en cuando, los instructores de los colegios debieran tener la capacidad para decir a los alumnos que esto y aquello es cierto porque lo han. Visto hacer en su propio laboratorio. Es preciso llevar a los estudiantes a las proximidades de las fuentes originales del conocimiento. Muchas veces llama la atención el darse cuenta que algunas personas que han recibido una larga enseñanza no conocen que hay tal cosa como la fuente original del conocimiento. A los estudiantes debe enseñárseles que no es propio saltar a conclusiones porque alguien desea que así lo hagan, ni aceptar en forma inocente todos los datos de ensayos que se les presenten, ni intentar hacer a ciegas aquello que no es posible realizar en lo absoluto. Algunas veces puede lograrse cuando se les pide que revisen los escritos de los grandes autores que contienen fallas identificables con facilidad -mientras más grande es la autoridad es mejor la lección. Los colegios de cada país tienen la responsabilidad moral de no vivir a costa de trabajos mentales prestados de otras partes, sino pagar sus derechos en el mundo de la intelectualidad en cualquier rama del saber que ellos patrocinan. No es propio que estos colegios vivan en forma exclusiva a base del producto intelectual de otra institución. Al mismo tiempo, las grandes universidades le deben al país la contribución colectiva por medio de la investigación, de una acumulación de conocimientos tal que el presente pueda pagar su deuda con el pasado; es un programa ambicioso, pero ya se ha cumplido anteriormente y es posible hacerlo otra vez.

Los estudios superiores deben formar parte del proceso general de la educación, cuyo propósito es preparar al hombre para que sea íntegro, y viva una vida plena en un mundo completo. La aseveración es demasiado amplia para que tenga utilidad al formular el programa de estudios, o al establecer disposiciones para el otorgamiento de

grados académicos, pero es esencial no olvidarse de este ideal.⁴⁰ Hay una diferencia importante entre los estudiantes al nivel profesional y los posgraduados, la que no se refiere a sus objetivos finales, sino más bien al hecho de que es necesario guiar a los alumnos profesionales, en tanto que los posgraduados deben comenzar a guiarse ellos mismos, es decir, animarles a que desarrollen su responsabilidad personal. A veces, el estudio al nivel superior avanzará en forma más lenta que el profesional, porque debe darse el tiempo necesario para que se examinen en forma crítica todas las hipótesis;⁴¹ en otras ocasiones, avanzara con más rapidez, porque los estudios inferiores ya terminados hacen posible echar a un lado algunos de los detalles.

En la enseñanza profesional se puede impartir un entrenamiento individual en forma superficial, si es que se llega a dar; en el trabajo de los alumnos posgraduados se les otorga más y más responsabilidad hasta que, al final, acaban por tener idea de lo que significa precisión en las aseveraciones, y han aprendido algo de humildad discerniente. Cuando se enseña sólo en forma poco profunda se producen individuos que discutirán sobre muchos aspectos de las cuestiones y, sin embargo, no pueden resolverlas ni siquiera en forma tentativa; la excesiva complejidad de la enseñanza produce eruditos peligrosos y pedantes torpes. Estos extremos pueden -deben- reconciliarse.

Se ha dicho: "En la investigación no existen normas". Es cercano a la verdad tratándose de estudios de posgraduado; pero aquí también "todas las generalizaciones son falsas". Los objetivos finales de dichos estudios son los de indicar el amplio horizonte del conocimiento práctico, proporcionar la experiencia necesaria para presentar las conclusiones, y estimular la imaginación, el valor y la honradez. Para hacerlo todo se requiere un programa bien balanceado, y un profesorado que tenga variedad de personalidades, de experiencia y de manera de ver las cosas. En el entrenamiento de posgraduados, así como en una biblioteca bien seleccionada, "deben probarse muchas cosas, parte de ellas tragarse, y algo de las mismas masticarse y digerirse vigorosamente".

Los estudios de posgraduado pueden considerarse desde el plinto de vista del público en general, de la institución interesada y su profesorado y del individual de los estudiantes. Todos están relacionados íntimamente, y es probable que ninguno de ellos pueda considerarse en forma exclusiva por el profesorado de un país; bajo cualquiera de estos puntos de vista es el estudiante entrenado quien, a fin de cuentas, es valioso para el mundo.

⁴⁰ Cuando se inicia la operación de una escuela, departamento o división de estudios superiores en alguna facultad de una universidad que con anterioridad decia de ella, siempre se presenta el peligro de que decaiga la calidad y el nivel de la enseñanza profesional con el pretexto de que, si en la división profesional los estudiantes no se gradúan con los conocimientos necesarios, invariablemente tendrán el lugar a donde ocurrir para adquirir los que les falten. Las consecuencias de este sofisma son desastrosas, pues en vez de que los estudios superiores vengán a reforzar y a mejorar la enseñanza profesional, la hunden, debilitan y reducen su categoría. Y así, a la larga, puede resultar que la calidad académica y técnica de profesionistas que antes se producía en cuatro o cinco años, después requiera de los mismos cuatro o cinco más uno o dos de maestría. Deben seguirse los ideales de que la enseñanza superior es un complemento, nunca un sustituto, de la instrucción profesional; que estos estudios superiores son anticipaciones académicas a trabajos profesionales reales y prácticos de alta envergadura; que lo que se produzca en la universidad como resultado de la investigación de posgraduados es de importancia secundaria en comparación con la meta de esta educación la cual consiste en entrenar al aspirante al grado superior para resolver después, en el ejercicio práctico y por sí solo, todos los problemas que no podía haber resuelto sin este entrenamiento adicional; y, en fin, que las escuelas superiores son lugares en donde los profesionistas en ejercicio puede volver a su Alma Mater para perfeccionarse en aquella rama a que ya está dedicado de lleno y a su gusto. Sólo en casos verdaderamente especiales es recomendable que el alumno recién graduado de una profesión pase de inmediato a realizar estudios superiores.

⁴¹ El punto más importante de cualquier análisis consiste en determinar la validez de las hipótesis necesarias para realizar ese análisis. Los fracasos más graves en ingeniería no se pueden atribuir, por regla general, a equivocaciones en el cálculo o a defectos de ejecución, sino a consideraciones erróneas respecto a las hipótesis fundamentales en que se ha basado el proyecto. Este es el tema más trascendente, pero el más difícil de enseñar a los estudiantes, y el que no siempre se puede lograr en los proyectos de obras. En conexión con este asunto, Newton afirmó en su celeberrima Principia: "Todavía no he sido capaz de deducir, de los fenómenos naturales, la causa de estas leyes de la gravitación, ni de inventar las hipótesis. Porque todo aquello que no puede deducirse de los fenómenos debe llamarse hipótesis."

Es forzoso que los estudios de posgraduados en todas las áreas se dirijan sanamente hacia el interés de la comunidad -estatal, nacional o internacional- dependiendo de la institución y de la naturaleza del estudio.

Para la institución, el trabajo de los posgraduados promueve diversas funciones que están relacionadas. Obliga al profesorado a reexaminar en forma crítica los principios fundamentales del conocimiento, puesto que ningún profesor que labora en el campo de posgraduados puede dormirse en sus laureles por mucho tiempo. Los profesores de ingeniería se obligan a sí mismos a estar informados sobre el progreso de la investigación en su especialidad, y conviene que ellos mismos hagan continuamente algún tipo de investigación original -experimental, analítica o interpretativa- si es que quieren enseñar con propiedad. Pero el profesor necesita discernir cuando presenta los resultados de estas investigaciones a los alumnos; la universidad debe ser un filtro, no un surtidor, no sea que llegue a ahogar en vez de educar.

Los estudios de posgraduados también proporcionan un campo poco trillado para la experimentación en la educación: ahí pueden elaborarse métodos de pensamiento y de instrucción para aplicarse en los cursos inferiores; estos estudios elevan los niveles del pensamiento en la vida académica de la universidad. Las investigaciones pueden realzar la reputación de la institución en el mundo académico y profesional, y a veces así lo hacen, aún cuando este aspecto del estudio de posgraduado ha sido demasiado recalcado; en general, son los subproductos del entrenamiento o del adelanto de la técnica los que tienen valor real y positivo.

Es preciso que los estudios superiores se basen en la teoría de que el hombre mejor entrenado es el más capaz de combinar, en forma íntima, una habilidad crítica en uno o en muchos aspectos de su especialidad, sabiendo apreciar su amplitud.

Es muy cierto que los hombres no pueden saber un poco de muchas cosas hasta que conocen ampliamente una materia en particular. Así, una de las cualidades de los estudios de posgraduados es que los estudiantes profundizan en un asunto por el cual muestran interés, en vez de diseminar sus energías en forma superficial en muchos asuntos, como algunos intentan hacer de una manera desafortunada. El verdadero valor yace en esto, en que si los estudiantes realmente son de calibre de posgraduados, capaces de pensar sobre problemas originales en formas nuevas, y se interiorizan con profundidad en los métodos de pensar en un aspecto de la ingeniería, se habrán interiorizado en numerosas fases de ella.

La ingeniería estructural puede escogerse como ejemplo de esta materia de concentración. En esta rama, los datos -procedentes del análisis, de los laboratorios, de los escritorios y de la experiencia- han sido clasificados con precisión. Aquí es donde puede hacerse un estudio cuidadoso en lo relativo a los métodos de reunir las pruebas y aquilatarlas, de interpretarlas y de correlacionar los datos de tipo técnico con otros de índole legal, económica, o los concernientes al gobierno o al uso social. Obviamente no significa que la ingeniería está restringida al campo de los trabajos estructurales, pero sí quiere decir que los métodos de correlación y de síntesis que se estudian en un área determinada pueden extenderse con rapidez a las otras áreas.

Para evitar una especialización demasiado estrecha, puede correlacionarse en forma íntima un curso de carácter general relativo a planificación con los trabajos particulares en ingeniería estructural y en mecánica. Es conveniente que el curso general que se elija aborde la planificación del uso de la tierra en las ciudades, o en los sistemas de caminos y de ferrocarriles, en las terminales de transporte marítimo, de vehículos terrestres y aéreos, y además, los proyectos para uso y control del agua para el abastecimiento de servicios domésticos e industriales y la eliminación de aguas negras,

la protección contra inundaciones, así como el control de los ríos para el aprovechamiento de fuerza hidroeléctrica.

Los cursos que tratan sobre proyecto estructural, normalmente están relacionados con la recolección, correlación e interpretación de los datos; se requiere mucha imaginación para usarlos en forma constructiva, y esta imaginación puede estimularse realizando proyectos de ingeniería que conciernen a la distribución de las ciudades y de sus dispositivos para el saneamiento, el transporte y la fuerza usada en la industria. Esos estudios tomarán en cuenta las regiones geográficas en que se localizan las ciudades, en tal forma que las cualidades naturales relativas a los estados o provincias, los litorales y los distritos de la nación puedan aprovecharse de manera efectiva y adecuada para ventaja del público. Las estructuras, en la acepción más amplia del término, son uno de los factores más importantes en el desarrollo de tales valores.

El entrenamiento en las técnicas de laboratorio y en la interpretación de los resultados provenientes de los laboratorios es esencial para juzgar la utilidad relativa de los datos que deben usarse, a fin de adoptar decisiones sobre problemas de ingeniería. Es posible lograr dicho entrenamiento cuando se estudia ese material tan común como variable: la tierra. Un curso sobre cimentaciones puede tener mucho éxito cuando se trata de obtener una educación de carácter amplio en ingeniería.

Un curso sobre métodos de investigación puede ofrecer oportunidades muy variadas a aquellos que desean satisfacer intereses de índole más individual. Es una falla común de las escuelas interesarse demasiado en problemas excesivamente eruditos. Insisten en realizar Experimentos con E mayúscula y desprecian la experiencia con e minúscula;⁴² promueven la Investigación con I mayúscula excluyendo la reflexión con r minúscula. Charles F. Kettering, uno de los grandes investigadores de la industria, afirmaba: “Todo el dinero y toda la gente del mundo no pueden resolver un problema a menos de que alguien sepa cómo hacerlo. Los problemas se resuelven en la cabeza de alguien.”⁴³ (43) No se solucionan absolutamente en el laboratorio, pero se requiere un gran esfuerzo para lograr que algo obvio quede organizado en forma adecuada en el cerebro de una persona.” Y nuevamente señala: “La única razón por la que usted realiza un experimento es para cultivar su manera de pensar. A veces usted afirma que un experimento fracasó; esa está sólo su coartada; lo que en realidad fracasó fue su manera de reflexionar.”

Todo lo cual no afecta el hecho de que los principiantes hacen mal en considerarse a sí mismos como especialistas cuando lo hacen, quedan en desventaja al principio de la carrera, porque los especialistas padecen muchas inconveniencias. Si ven más allá de su materia particular, encuentran nuevas ideas y amplios puntos de vista en otros campos y, si estimulan su imaginación, pueden aplicarlos, con la debida modificación, a ideas de gran valor en su propia materia.

⁴² Todos los resultados de los análisis químicos, cualitativos, aproximados o precisos, y todos los libros del mundo, por bien escritos y por amplios que sean, no podrán darnos a conocer el sabor de un terrón de azúcar como lo hace el probarlo nosotros mismos. Así la experiencia personal es insustentable, y aunque la experiencia de los demás es fuente inagotable de datos, pruebas, testimonios y consejos, no podemos prescindir de adquirir la nuestra, propia, única e inconfundible. Por tanto, es un grave error pretender enseñar una materia porque se conoce muy bien de libros o de cursos especializados, cuando no se ha tenido la práctica necesaria y completa de su ejercicio. Los peores toreros en el ruedo son los que mejor lo hacen desde la barrera.

⁴³ la técnica del concreto (hormigón) preesforzado (en otros países “pretensado” y también “precomprimido”) ha alcanzado su madurez en los últimos veinticinco años. Sin embargo, sus principios analíticos se conocieron desde que se desarrolló la técnica del concreto reforzado hace ya casi un siglo, pero en la práctica no pudo emplearse satisfactoriamente el concreto preesforzado en tanto que el reforzado alcanzó grandes adelantos y fabulosas aplicaciones. Se requirió de la mente genial de Freyssinet para dar la clave de la aplicación del preesfuerzo en el concreto que consistió en el uso de acero de muy alta resistencia para inducir los esfuerzos de precompresión en ese material. Esta clave, tan simple y tan evidente, y al mismo tiempo factor económico muy importante, no pudo descubrirse en el curso de varias décadas, hasta que el modesto Eugenio Freyssinet dijo cómo debía hacerse. Otra vez con este ejemplo se hace resaltar que las grandes soluciones a problemas de ingeniería son siempre simples y prácticas, carentes de complicaciones y de elaboraciones impropias e improcedentes.

Sin embargo, la ingeniería no trata sobre la descripción de la naturaleza, sino de su control y no se divide convenientemente en pequeños compartimentos de tal manera que un individuo pueda decir: "Voy de paseo y caminaré sobre roca, pero no sobre arcillas, o caminos de concreto, o sobre puentes". Los problemas de las bases en vías férreas no difieren de los relativos a cimentaciones de edificios; conviene que los ingenieros noten las semejanzas sin despreciar las diferencias importantes. Cuando escriben una tesis, a menudo se expresan en forma vaga sobre las posibilidades, los objetivos y los métodos. Una tesis –algunos catálogos, en forma ofensiva, llaman a una tesis de doctorado una “disertación”- no difiere, o por lo menos no debiera diferir, de los escritos que hacen a diario las personas entrenadas adecuadamente en asuntos prácticos. Para preparar estas tesis, los estudiantes deben plantear el problema que se proponen estudiar y recolectar los datos propios del mismo, interpretarlos, y presentarlos resumidos en forma de pruebas. Se requiere dar a los estudiantes la oportunidad de buscar estas metas basados, en su mayor parte, en su propia iniciativa y responsabilidad.

Es necesario emplear mucho tiempo explorando el campo de la investigación, buscando lo que ya se ha hecho, lo que falta por hacer y lo que puede realizarse. No es tiempo mal gastado el que se emplea en ello, porque del aprovechamiento juicioso de lo anterior dependerá posteriormente la manera de exponer el tópico, sólo que la productividad no es inmediata. La recolección de datos provenientes del laboratorio, las bibliotecas y los estudios es el siguiente paso; es, a menudo, la parte más fácil del trabajo, porque si los estudiantes saben lo que quieren y en dónde encontrado, por regla general no presenta problemas ir a buscarlo ahí, y obtenerlo. Es evidente que la gran dificultad consiste en saber qué es lo que se quiere, a pesar del adagio popular, hacer preguntas adecuadas normalmente requiere más inteligencia y esfuerzo que contestarlas con corrección.

Parece tan sencillo, pero en realidad no lo es, plantear preguntas de ingeniería en tal forma que sea posible investigarlas. Una de las cosas más difíciles de enseñar a los estudiantes ya recibidos es el gran valor que tienen los individuos que son capaces de hacer preguntas significativas, aquellas que puedan investigarse por medio de técnicas o procedimientos disponibles. Un hombre con experiencia ve muy gris la lista de los títulos de tesis de posgraduados; probablemente sea inevitable, porque los principiantes deben aprender a caminar antes que a correr. No obstante, los estudiantes ya graduados necesitan conocer que la pregunta convencional, en la mayor parte de los casos, no es la importante.

Reunir los datos y las pruebas en asuntos de ingeniería involucra el conocimiento de los escritos y los métodos que pueden suministrar alguna cifra aprovechable en la materia de que se trata; el análisis y la síntesis, las matemáticas, la experimentación, la observación y el sentido común son todos importantes, y los datos pueden tener el carácter de originales o provenir de los archivos. La importancia relativa y la confiabilidad de la fuente de donde provienen las pruebas varían con la rama del estudio y con la naturaleza del problema. Valorizar esas pruebas con inteligencia requiere conocer la confiabilidad y el origen de los datos, y se necesita gran independencia e intrepidez para formarse un juicio; se requiere una precisión académica, la que proviene tan solo de un entrenamiento arduo.

El desarrollo de la honradez debe ser la primera lección que conviene impartir a los estudiantes recibidos; no se llega a ello de una manera natural, es necesario mucho trabajo y entrenamiento. Los novatos afirmarán en forma definida una generalización técnica; si se les pregunta cómo es que lo saben contestarán que todos los libros así lo asientan; muy bien, si están dependiendo de los libros será mejor que lo digan. Más adelante reportarán que algunas investigaciones lo demostraron. Mucho después estarán

preparados para decir que buscaron en los reportes de los experimentos, y que su autor afirma que la generalización parece ser correcta, no necesariamente exacta, y que sus resultados tienden a confirmar la conclusión. Desde luego que la vida es muy corta para hacer esto con los detalles diarios, pero es obligatorio tratándose de una especialidad, donde otras personas dependen de la precisión. Muchos individuos no solamente no lo intentan, ni siquiera saben que es posible realizarlo.

Ordenar y asimilar las pruebas requiere de práctica auxiliada por el estudio y por buenos reportes y modelos. La manera en que se hace el ordenamiento depende de la escala del entrenamiento y de la habilidad, porque casi cualquiera puede recolectar unos cuantos datos, pero se precisa de capacidad para ponerlos en forma adecuada y útil. Más aún, conviene descartar o descontar algunos de estos datos, o darles menor importancia relativa. Uno de los útiles disponibles más valiosos para el investigador es el cesto de basura. Por desgracia, muy pocos tienen el valor de afirmar con franqueza que algo que buscaron con mucha paciencia y esfuerzo ha resultado, después de un estudio cuidadoso, que no es muy confiable, carece de valor, o que es inconexo con el propósito inmediato. Los datos, después de que se han recolectado y clasificado, deben ser presentados; no es tan simple como puede parecer al principiante. La presentación de pruebas requiere del dominio de la técnica, de buenos modales y de buen gusto en la manera de exponerlos. Los ingenieros emplean cuatro métodos para exhibir las pruebas: el gráfico -dibujos, ilustraciones, croquis- el estadístico -diagramas, tablas y figuras diagramáticas- el simbólico -las matemáticas en el sentido más amplio de la palabra- y la presentación verbal. Para usarlos es forzoso ejercitar mucho el buen sentido. Dibujar diagramas que no pueden comprenderse con rapidez demuestra incompetencia; faltas de ortografía, de composición gramatical, o mala puntuación, un estilo excesivamente elaborado, o falta de unidad o de coherencia, enfatizan defectos serios; la documentación y la edición necesitan ser uniformes y apegarse a una norma razonable; la brevedad es siempre un atributo deseable.

En los escritos técnicos, cada vocablo tiene un sentido un tanto definido, y aunque las palabras se usen en este sentido es problema común lograr que la idea sea clara y precisa para el lector. Las oraciones deben tener tanto sujeto como predicado, se requiere indicar explícitamente las fuentes de información, y en general deben observarse las normas del buen estilo puesto que son reglas. En cualquier caso, el propósito es presentar los datos, las pruebas y los "hechos" en forma clara, breve y simple. Los términos técnicos innecesarios tienden a confundir y rara vez causan buena impresión.⁴⁴ Es preferible escribir con naturalidad e independencia. Muchos estudiantes parecen creer que alguna forma erudita de las palabras es esencial para el academismo; que esta manera de presentar las cosas encubrirá la imprecisión, o que el formalismo elaborado es un sustituto valioso de la graciosa simplicidad. Algunos creen que la introducción de una tesis sobre puentes colgantes sería excelente si comenzase así:

⁴⁴ El uso de términos técnicos innecesarios en los escritos demuestra que su autor es, o incompetente para expresarse, o excesivamente pedante. Los términos técnicos sólo deben emplearse cuando resultan inevitables; el abuso de ellos es un defecto grave en los escritos de esta naturaleza. Y qué decir del abuso de los símbolos matemáticos; algunos autores de artículos sobre temas de ingeniería rehúsan expresar los conceptos más simples, comprensibles aún para un niño, con el lenguaje corriente, y recurren a signos de integral, de derivada, letras griegas mayúsculas y minúsculas, matrices, y a otros símbolos que, en vez de aclarar ideas, las complican, confundiendo al lector con embrollos inútiles e improcedentes. A este respecto, conviene recordar lo que dijo Maurice A. Biot, autor del libro intitulado *Métodos Matemáticos en Ingeniería*: "La tradición primitiva y brillante en la práctica de la ciencia y de la ingeniería, que consiste en la claridad, simplicidad, comprensión intuitiva y exposición sin pretensiones, por desgracia parece estar en decadencia. Mucho de lo que hoy se denomina "matemáticas aplicadas" esté envuelto en un lenguaje ostentoso, como si su propósito fuera el de obscurecer aquello que generalmente es una materia muy sencilla y a veces trivial, rodeándolo de una aureola de misterio y profundidad El rigor y las fórmulas abstractas son los aspectos técnicos de las matemáticas que pueden, de hecho, entorpecer la invención; pertenecen a un especialista, y el estudiante de ingeniería debe someterse a ellos tan sólo para que obtenga experiencia; no es prudente que ese rigorismo y esas fórmulas obstaculicen su manera de pensar, a tal punto que inhiban sus facultades intuitivas".

"Cuando nuestros ancestros simios descendieron la primera vez de sus arbóreas mansiones, los pendientes cortinajes de las exquisitas viñas, tan familiares a sus padres, les ofrecieron medios de transporte sobre intervalos que en otra forma habrían sido infranqueables".⁴⁵

La mayor parte de los estudiantes consideran que la dificultad consiste en reunir los datos y las pruebas; la interpretación y la presentación de los mismos se dejan como tarea doméstica fácil para el fin de semana a pesar de todas las esperanzas y los ruegos de los asesores. Para interpretar se requiere usar mucho la imaginación, tener un sentido de proporción bien formado en lo relativo a la importancia de las fuentes, un conocimiento de la lógica en el campo del estudio y en los más amplios de la ciencia pura y aplicada; también se requiere del ayuno y de la oración.

La interpretación de los datos y de las pruebas es siempre difícil, y lograrla correcta y talentosamente representa la meta más elevada del académico. Nadie está exento de cometer errores graves, pero aún el principiante debe ser capaz de evitar algunos. Es un error normal intentar llegar a demasiadas conclusiones. Es común que los datos remiten inadecuados (o insuficientes) para deducir una conclusión cualquiera; mostrarlo en forma clara puede ser una valiosa contribución para el conocimiento, mucho más que seducir al lector para que acepte algún resultado que no esté garantizado como es debido. Nunca se usa suficientemente la sencilla aseveración: "No lo sé". Es claro que hacer un resumen es importante; los estudiantes aprendieren cada vez más lo difícil que es hacerlo durante los próximos cuarenta años. Un compendio breve y claro puede ser coronamiento glorioso de un buen informe de ingeniería; es muy difícil redactar un resumen satisfactorio.

El propósito principal de una tesis es el entrenamiento que los estudiantes obtienen de este trabajo: recolectar los datos, ya sean los propios o los publicados por otros, valuados y ordenarlos, sopesar las pruebas indicando las probabilidades de los acontecimientos y lo trascendental de las conclusiones, y presentarlo todo en forma conveniente y útil para el lector. Esta es la esencia de todos los informes de ingeniería, es un logro de gran importancia para cualquier persona valiosa como dirigente, ya sea en la ingeniería o en otros campos, los que frecuentemente no se llaman así, y los que pueden guiarse por conducto de la ingeniería.

Se habla mucho sobre "investigación", "contribuciones originales" y "progreso de la ciencia"; es excelente siempre y cuando los términos se interpreten en la forma adecuada. No debe presentarse como tesis de un alumno graduado una recopilación hecha sin juicio o sin discernimiento. Por otra parte, los estudios auténticamente originales en cualquier materia son raros en una generación dada si con esto se quiere decir que la originalidad con que se presentan constituye un nuevo método de reflexionar sobre el mundo y sus asuntos. No es novedosa la solución de un problema de análisis de esfuerzos cuyas ecuaciones no se han escrito antes en la forma especial empleada, pero que es el resultado de la manipulación de las ecuaciones de LaGrange por métodos bastante bien estandarizados. Al mismo tiempo, puede ser un trabajo valioso que, si se presenta con propiedad, resultará una tesis muy aceptable.

Las tesis pueden tener carácter experimental o analítico, entendiéndose por este último término un equivalente de la palabra "matemático"; pueden ser bibliográficas - algunos trabajos raros y muy valiosos se han hecho catalogando, calificando y clasificando juiciosamente los conocimientos existentes. Pueden ser lo que se llama

⁴⁵ La gracia del Profesor Cross me recuerda aquella anécdota del que escribía el conocido adagio "el que por su gusto es buey hasta la coyunda lame" en la siguiente forma: "Aquel que en uso de la facultad del libre albedrío se transforma en cónyuge castrado de la vaca, aún a la correa que le liga a su compañero de labor le aplica emanaciones salibales". Resalta lo ininteligible que se vuelven los escritos presentados con lenguaje pedante y con excesiva complicación.

"sintéticas", en tanto que reúnen datos contradictorios de muchas fuentes y tratan de "sopesar las pruebas", presentando la base sobre la cual se han sopesado. O bien, una tesis la puede constituir un proyecto; si es así, se necesitan valorar los datos relativos a la resistencia o a otras características físicas de la estructura propuesta, y estas peculiaridades deben correlacionarse con los intangibles –"utilidad", "conveniencia", "valor social"- para obtener una síntesis que sea meritoria.

Los estudiantes rara vez consideran en forma apropiada las dificultades relativas de estos tipos de trabajo. Un documento que discute un tema "amplio" parece muy fácil de escribir, pero sólo un maestro es capaz de presentar un escrito que tenga positivo valor sobre un tópico como éste. Las tesis de carácter matemático en ingeniería estructural representan, para muchos, las metas sublimes de los esfuerzos académicos. No obstante, son muy comunes porque pueden producirse satisfactoriamente con el entrenamiento que se da al estudiante carente de experiencia en el salón de clases. Lo mismo es válido para muchos trabajos de carácter experimental.⁴⁶ Todo esto nos conduce al hecho de que escoger un tema para escribir una tesis así como la redacción de la misma son, en parte, asuntos de sentido común. Los estudiantes necesitan preparar y llevar a su término un trabajo que sea útil en algún tema que les interese, y demostrar que son capaces de manejar las herramientas con que han sido dotados para realizarlo. Deben obtener una satisfacción de ello, y lo mismo sucede para quienes les dirigen el trabajo. Una tesis es algo que se escribe como parte del entrenamiento de un individuo, para olvidarla después, a menos que el trabajo se realice de manera poco usual y que realmente abra un campo de interés muy especializado. Demasiadas personas intentan proseguir con el tema de sus tesis en años posteriores cuando hay otras cosas que están requiriendo su atención; se publica un número excesivo de estas obras a pesar de que existen cestos de basura.

El tiempo empleado en las varias fases del trabajo es importante; una estimación general del que se necesita para cada una de ellas quizá lo divida en cuatro partes casi iguales a saber: definición de los temas correspondientes a la pregunta o el propósito de la tesis, recolección de los datos, estudio de los mismos, y redacción de la tesis. Por desgracia, muchos estudiantes tienen su programa completamente desbalanceado, en especial cuando subestiman el tiempo necesario para la redacción.

Con frecuencia sucede que un buen plan consiste en hacer las diferentes operaciones en forma simultánea siempre que sea posible.⁴⁷

Un problema difícil de resolver es el de la distinción que se requiere hacer entre los trabajos que deben presentarse para obtener el grado de maestría y para el doctorado. La mayor parte de los titulados de ingenieros son candidatos para el grado de maestría. Sin embargo, un número siempre creciente de ellos desean obtener el doctorado; si es

⁴⁶ Los proyectos o diseños presentados como tesis (profesional, de maestría o doctoral) rara vez son prácticos y, en algunos casos, ni siquiera realizables, pues carecen de uno de los elementos más importantes: la experiencia de construcción. Durante algunas décadas ha existido la tendencia a disociar el proyecto de la dirección y supervisión de obras, lo que parece razonable en trabajos de rutina, pero el proyectista debe tener siempre experiencia de campo (obras), ya que sólo así puede darse cuenta de la facilidad, dificultad o imposibilidad de realizar materialmente aquello que concibe y desarrolla. Al mismo tiempo, es conveniente que el ingeniero dedicado a la construcción tenga suficiente experiencia en la preparación de proyectos para que discierna y dictamine sobre qué es lo importante y qué es lo secundario de ellos, cuáles son los puntos que deben respetarse con rigor y cuáles pueden modificarse cuando lo requieren las condiciones de trabajo. Un intercambio ocasional de personal entre las oficinas que normalmente se dedican a preparar planas, dibujos y cálculos con las que se especializan en ejecutar construcciones o en supervisarlas, es una operación beneficiosa en todos los casos.

⁴⁷ Este trabajo simultáneo es recomendable siempre que se pueda hacer en forma práctica. Tratándose de proyecto, el sistema seguido ordinariamente consiste en realigar primero todos los cálculos analíticos antes de iniciar el dibujo de planos; al detallar esos dibujos, a menudo resulta que lo analizado es irrealizable, incosteable o impráctico; también debe considerarse la posibilidad de que el análisis modifique la concepción del proyecto a medida que se desarrolla, pero en todo esto no pueden darse reglas de aplicación universal.

bueno o malo nada tiene que ver con los hechos. Si la tendencia va a continuar -y probablemente sea así- conviene desarrollar una nueva filosofía para este tipo de entrenamiento. Muchos de los candidatos para obtener el doctorado tienen pensado seguir adelante con la enseñanza; casi siempre, es impropio porque quien va a ejercer como profesor de ingeniería necesita haber sido entrenado fundamentalmente para ser un ingeniero, y las conexiones con la profesión, fuera de las torres de marfil de la enseñanza, son absolutamente esenciales.

Los aspirantes a obtener el doctorado deben llegar con una actitud como ésta: "Estoy interesado en esta rama del estudio, y tengo la seguridad de que soy capaz de contribuir desarrollando algo útil que justifique el tiempo y la atención que mi entrenamiento requiere". Por regla general, no es conveniente presionar, y ni siquiera alentar a un aspirante, para tomar el doctorado. La profesión ni desea ni precisa de muchos doctores. Su entrenamiento, si se hace bien, requiere de atención personal y es, por necesidad, costoso. Es menester que los candidatos demuestren al comité de aceptación para ingreso⁴⁸ que tienen interés, y que pueden contribuir al progreso.

Las personas que estudian para obtener el doctorado adquieren una experiencia valiosa por medio de los reconocimientos orales; y al mismo tiempo, estas entrevistas tienen un fin práctico y útil para el comité examinador. Ambos exámenes para el doctorado les imponen a los candidatos una fuerte presión acerca de la confianza en sí mismos. De los dos, el primero necesita tener un carácter casi inquisitorial. Si los aspirantes no pueden defender y explicar su tesis con precisión y seguridad en el reconocimiento final, no tienen el carácter de autoridad, y no es posible que lleguen a ser maestros sobre la materia; en ese reconocimiento, la familiaridad del candidato con su tema debe hacerlo el amo de la situación.

El examen preliminar constituye un desperdicio de tiempo si dictamina únicamente sobre la información que tienen los aspirantes en cursos individuales previos; el conocimiento de las materias en particular ya debe haberse examinado en los cursos mismos. Es menester que este examen pruebe la calidad de la mente, el método de pensamiento de cada individuo en la rama estudiada, lo genuino de su interés en dicha rama, más bien que en un programa de estudios y en un título.

El procedimiento apropiado de ambos exámenes y su utilidad, presupone un comité examinador que sea honrado y resuelto; los miembros de ese comité no son muy útiles a menos que tengan la capacidad de juzgar si el aspirante puede pensar con certeza; se requiere que traten de llegar al fondo de los hechos, y no que intenten justificar una conclusión predeterminada. Rehúsar el pase a un aspirante es una de las tareas más desagradables que tendrán que desempeñar, sin embargo, se les emplea para que se formen un juicio honrado y lo emitan.

Algunos candidatos se confunden con más rapidez que otros. Así es la vida; si triunfan, estas personas llegaran a ser autoridades. Es propio que el comité tenga presente las características humanas, y se requiere que la mayor parte de sus integrantes conozcan al aspirante en persona. Deben (y por lo general pueden) llegar al fondo de las pruebas y averiguar qué parte de la confusión es producto del nerviosismo y qué parte corresponde fundamentalmente a incertidumbre.

Para los aspirantes mismos tienen mucho valor estos exámenes; saben que no pueden pasar un curso y después olvidarse de él. Necesitan organizarse, asimilar sus conocimientos y correlacionar los datos de los experimentos de una fuente con la teoría

⁴⁸ En los Estados Unidos, así como en otros países, se acostumbra que cada facultad o colegio de una Universidad tenga un comité que revise las solicitudes de admisión de aspirantes a las divisiones de estudios superiores (maestría y doctorado), y dicho comité se encarga de practicar un examen de aptitud al alumno antes de admitirlo, y un segundo examen (de rendimiento o de aprovechamiento) al terminar los estudios, antes de otorgarle el grado o título.

analítica de otra. No es recomendable que se les examine en cursos determinados sino en un campo en general, y si han quedado espacios vacíos entre las materias, estos aspirantes necesitan llenarlos con la lectura o la asistencia a las conferencias.

Hoy en día los doctorados todavía tienen mucho prestigio ligado a ellos. No existe mayor responsabilidad académica que la de aprobar a los candidatos; la ambición para incrementar el número de los graduados, o ser demasiado bondadosos con los jóvenes aspirantes, no debe cegar a los miembros del comité ni tentarlos para que pongan real a lo mediocre.

Para uso del Hombre de los Dones Divinos.

CONCEPTOS DEL ARTE DE LA INGENIERIA.

“Todos los días de la tierra, el tiempo de la siembra y el de la cosecha; el frío y el calor, verano e invierno, noche y día, jamás cesaran.”

La necesidad constante e insistente que experimentan los ingenieros de cualquier migaja de hecho o de realidad, a partir de la cual puedan predecir fenómenos naturales, tiende a fomentarles hambre por cualquier cosa que siquiera parezca como tales. Lo que, a su vez, puede llevar a una actitud voraz y glotona, que se atraganta cualquier

aseveración u opinión, ilustración o formula, sin discernimiento y en forma incesante. El resultado es, a menudo, la autointoxicación intelectual de “trozos y pedazos” de material que no ha sido seleccionado ni digerido, y que no es asimilable.

En vez de lo anterior, los ingenieros necesitan seleccionar a su dieta mental con cuidado, y cuando vayan a pescar hechos, querrán un plato de pescado y no una ensalada. Sus excursiones de pesca son frecuentemente largas y arduas, y es importante que lleven consigo los equipos más simples y útiles; en estas jornadas mentales, deben evitarse los juguetes complicados, no importan que tan hermosos sean. Las definiciones de los términos son como los nombres de las poblaciones a lo largo del camino; las relaciones matemáticas forman una resistente canoa para transportarlos, y el deseo de conocer hechos de carácter ingenieril es lo que los lleva adelante. Por fin encuentran su país, una tierra de lagos y ríos repleta de peces – hechos y realidades relativos a la naturaleza que hacen resaltar una incesante corriente de fenómenos naturales-; todo género de hechos, algunos útiles y otros inútiles. Y los ingenieros abren su red y capturan estos peces al mismo tiempo que seleccionan lo que quieren y lo usan. Todavía después, platican sobre ello como lo hacen todos los pescadores.

La red que captura los peces mentales está formada por preguntas relativas al sujeto que se estudia. Por tanto, los individuos entrenados en recopilar información comienzan primeramente por seleccionar preguntas inteligentes más bien que por obtener datos. En efecto, el conocimiento de una persona sobre una materia puede medirse mejor por las preguntas que hace que por las respuestas que da; no puede hallarse una identificación más segura de la ignorancia que la afirmación del conocimiento absoluto. Cuando se inicia el estudio de una materia, se hacen pocas preguntas; el trenzado de la red es muy abierto, y los hechos importantes se escapan sin que se note. Si el estudiante en verdad está despierto, cada nuevo hecho que se descubre trae nuevas preguntas y, si se revisan los datos, se perciben nuevas realidades que quedan retenidas por la finura de la red; al principio no está muy bien tejida, ni sujeta con firmeza, y en esta etapa no siempre lo mejor es obtener muchos datos, porque la red no puede soportar un gran número de peces aún cuando los atrape; pero si sus hilos se hacen más fuertes, las preguntas llegan a ser más precisas y mejor definidas a medida que progresa el estudio, y finalmente podrá detener todas las pequeñas realidades sosteniéndolas de las escamas. Entonces, todas las truchas y los percas y los bagres quedarán colgados de diferentes hilos para que, a la larga, vayan a la sartén del proyecto. Si se impide que se pudra la red dejándola ocasionalmente al sol, estará lista para usarse otra vez en una nueva oportunidad.

Claro está que hay más formas de obtener un plato de pescado. Una de ellas consiste en dinamitar el estanque, lo cual es enredoso y arruina la técnica de la pesca. O bien, pueden comprarse varias barricas de diversos pescados con objeto de saborearlos y escoger el que guste más. La dificultad de este procedimiento consiste en que es posible que los hechos se contaminen si se obtienen de una persona irresponsable. O también, puede usted acudir a un restaurant; pero esta es una discusión de lo que debe ser un ingeniero, no de cómo usar los manuales.⁴⁹

Para abandonar esta metáfora, las últimas tres maneras de obtener el plato de pescado corresponden, en orden inversa, a tres tendencias humanas definidas en nuestra mente, todas ellas basadas en el mismo motivo. Pueden conducir a enfermedades mentales -como lo hacen con frecuencia-, cuyas patologías son distintivas y muy importantes. Muchas personas se tomarán grandes molestias, se esforzarán y soportarán inconveniencias para evitar la suprema agonía de la reflexión concentrada; y sin

⁴⁹ Cross habla aquí en tono sarcástico de los manuales de ingeniería que, pretendiendo abarcar la enseñanza en su aspecto más general forman, si acaso, aprendices de todo y oficiales de nada.

embargo, saben que al final ninguna dificultad, esfuerzo o inconveniencia puede suprimir la necesidad que se tiene de reflexionar.⁵⁰ Y así, del temor al ejercicio mental, quedan expuestos a los males de la formulitis, traduccionitis y experimentalitis.

La formulitis aparece a cualquier edad, en todos los climas y en cualquier rama del conocimiento. Intenta reducir los casos a fórmulas, causando que aquellos que padecen esta enfermedad se feliciten a sí mismos de haber terminado con ese grupo de casos y que ya no necesiten preocuparse más por ellos. Todo el mundo trata de tener algunas reglas generales para guiarse, y para evitarse la necesidad de reflexionar sobre las cosas cada vez desde el principio. Es muy común disponer de una receta que nos diga qué debemos hacer, cuándo hacerlo y en qué forma. No es una falla especial de los ingenieros; es una condición humana, de hoy, de ayer, de siempre. Por medio del empleo de las fórmulas las personas esperan obtener resultados óptimos en el menor tiempo posible, con el mínimo esfuerzo y especialmente, la mínima responsabilidad. Si la fórmula está equivocada no es su culpa; si no la entienden de manera correcta es porque no está emitida con suficiente precisión.

Y a medida que se argumenta todo esto, los diablos farfullan y los ángeles lloran. En la vida real, las recetas no funcionan muy bien. Hay muchas de esas reglas en los sabios refranes de la gente, en los epigramas amados por el pobre Ricardo, en los consejos que ese querido y aburrido Polonius daba a Laertes; la primera parte del siglo veinte estuvo plagada de ellos.

Las fórmulas deben aplicarse cuando son aplicables y útiles para el trabajo, eso es todo. Un ingeniero afirma que fue ascendido en su trabajo porque le dijo al ingeniero en jefe que él (el jefe) no sabía lo que estaba haciendo, y otro individuo indica que estableció una marca en su oficina reconociendo que él (el individuo) no sabía lo que estaba haciendo; ninguno de estos métodos se recomienda como una fórmula de aplicación universal.

De hecho, no hay una receta universal para el éxito porque usted es usted y la otra persona es un animal totalmente diferente. Lo que constituye el éxito para un hombre es un logro relativamente trivial para otro. Aquello que parece un triunfo a los seis años de edad no constituye un resultado feliz a los sesenta; no todos los hombres de cuarenta años desean que hubiesen sido bomberos, o policías, aún cuando muchos todavía alimentan una ambición secreta ocasional de abandonar sus profesiones y convertirse en un Daniel Boone.

Si la gente sabe con precisión lo que quiere, es probable que pueda obtenerlo; pero tendrán que pagar por ello. Sacrificarán la paz, la comodidad, la felicidad, el honor, los amigos, o la libertad. La dificultad consiste en que la mayor parte de la gente no quiere pagar el precio; desean conservar su torta y además comérsela. Piensan que el vecino de al lado guardó su torta y también se la comió. No puede hacerse; siempre hay que pagar. La formulitis, aunque extremadamente común y a veces epidémica, rara vez es incurable en los ingenieros; el tratamiento que se recomienda es un ejercicio mental vigoroso en el aire fresco de los fenómenos naturales.

La traduccionitis es importada. Consiste en exagerar el valor, la importancia y la credulidad de los hechos porque provienen de una distancia considerable y porque se tradujeron al idioma propio con algún esfuerzo. Es evidente que los resultados relativos

⁵⁰ Quizá el mayor de los males que aquejan a la humanidad no sea el uso desmedido y anárquico de las drogas, ni la perversión de valores, ni siquiera las constantes e inabarcables guerras, si no la pereza mental. El hombre profano, dotado de inteligencia con un poder creador ilimitado, aceptan que le digan lo que debe hacer y creer, que debe comprar, como debe vivir. Mas aun, no solo lo acepta, si no que se siente incomodo cuando no lo guían como a menor de edad o aun como enajenado. Su cerebro, órgano que por esencia que lo distingue del animal, es empleado no para explorar el universo, controlarlo y mejorarlo, sino para obedecer iegamente los dictados de la clase dominante. Y teniendo libertad, voluntad y entendimiento, renuncia a la libertad, dobllega su voluntad y pervierte su entendimiento, con tal de no hacer trabajar a su capacidad esa maravilla de la creación: el cerebro humano.

a cualquier investigación debieran estar en las publicaciones de todos los países y a la mano de los laboratorios; no siempre es posible, pero sí es deseable.⁵¹ No obstante, como una regla aplicada en forma inconsciente, muchos pretenden medir el valor de la información por la distancia de donde viene, y el esfuerzo dedicado a la traducción, como si la ingeniería tuviera alguna similitud con los sellos de correo o con las orquídeas tropicales. En cierta ocasión un prominente ingeniero intentó investigar el fundamento de una regla importante que estaba en desacuerdo con la práctica usual; solamente logró averiguar que uno de los miembros del comité había visto la aseveración en determinado libro extranjero el cual indicaba que las pruebas respaldaban la regla, pero el comité nunca pudo encontrar esas pueblas.⁵²

Quizá acabamos el caso que acabamos de citar se complique por la experimentalisis. Los expertos nos ayudan mucho, pero unos cuantos, o aun varios de ellos, nos dicen un poco. No hay una rama del estudio que requiera un entrenamiento más cuidadoso y una mente mas alerta que la correspondiente a planear e interpretar los experimentos. El camino más corto para obtener un guisado de pescado (hechos de ingeniería) carece de promiscuidad, experimentación sin discernimiento –proceso de dinamitar el estanque del conocimiento. Muchas pruebas proporcionan pocos hechos, y a menos que estén bien concebidas, no suministran dato alguno del que cualquier persona pueda estar segura. No es bueno comer pescado revuelto con lodo y con la manera del fondo. La parte menos valiosa de un informe sobre experimentos son las conclusiones, exceptuando la labor de algunas personas con ingenio muy peculiar en la interpretación de datos de ensaye. Para usar esos datos con seguridad, cada individuo cada individuo debe obtener sus propias conclusiones. La tendencia general para hacerlo así es contraria a la idea que tienen los novatos de que esta es una manera fácil de adquirir el conocimiento; también rechaza la costumbre muy objetable de indicar sencillamente que las pruebas muestran esto y lo otro sin explicar cómo se hicieron y en qué forma demuestran lo que se supone debieran comprobar. Los estudiantes son reacios a referirse a detalles de pruebas cuando no pueden describirlas, y ni siquiera imaginarse cómo son los ensayos que justifican el hecho en cuestión; lo que quisieran decir es que han visto u oído afirmar que los experimentos lo comprueban y que no quieren saber más sobre el asunto.

Los ingenieros obtienen su propia información de diferentes fuentes: de la experiencia que adquieren al observar la acción de las fuerzas naturales o las costumbres humanas, y de los registros de observaciones de otras personas; del análisis matemático o de modelos que corresponden con esos análisis; de experimentos sobre las propiedades de los materiales o de las estructuras o de las máquinas; de corazonadas y del sentido común; de sopesar, interpretar, correlacionar y usar esa información. La experiencia es una guía que puede ser miscelánea, fragmentaria, poco satisfactoria, a menudo de segunda mano, y muchas veces imprecisa, pero ningún ingeniero dejaría de tomar en cuenta su tremenda importancia como testimonio.

⁵¹ Debemos distinguir dos tendencias diametralmente opuestas: la primera consiste en alabar, respetar y reconocer todo lo que viene de fuera, y despreciar, dejar de valorar y desvirtuar todo lo hecho en casa; la segunda tendencia es todo lo contrario, basandose en que no hay nada nuevo bajo el sol, se pretende que cualquier trabajo, descubrimiento o invención que proviene de fuera ya se conocía. Ninguno de los dos caminos es recomendable; quien discierne debe reconocer el merito de los trabajos originales, y no es recomendable que desprecie lo realizado en el país por la sola razón de que lo tiene a su alcance y de que conoce a su autor.

⁵² Una vez tuve necesidad de investigar el fundamento de una especificación de proyecto de puentes que exigía que si la carga muerta era favorable, únicamente se tomase en cuenta el 70% de sea carga en el análisis; se escribió el presidente del comité de especificaciones y su respuesta fue que esa disposición había quedado sin discutir por espacio de treinta años, y estaba basada en el hecho de que en un tiempo era común proyectar puentes con pisos de concreto y que en la practica se construían de madera. Como consecuencia de nuestra investigación, en la siguiente edición de las especificaciones se modifico el requisito anterior señalando en su lugar que se tomase la carga minima real que obraría en la estructura si esa carga era favorable.

Toda la naturaleza está tratando de decir algo sobre cómo actúan las fuerzas: la mejor información, el material más valioso, proviene de manera directa de ella; se intenta duplicar sus fenómenos en el laboratorio, pero nunca reproducimos con exactitud el verdadero problema natural, nunca descubrimos por completo sus secretos. Sin duda alguna, los más grandes ingenieros son aquellos que mejor han aprendido a hablar el idioma de la naturaleza.

El análisis matemático en todos los campos depende de hipótesis. El ingeniero dedicado a estructuras debe aceptar ciertas condiciones relativas a la acción elástica o plástica, y considerar lo que pasa cuando se está dentro de los esfuerzos de trabajo, así como las condiciones que se presentan antes del colapso. Los ingenieros necesitan anotar algunos datos, quizá escribir determinadas ecuaciones, pero siempre es menester recordar que obtienen sólo una parte de las pruebas en cada caso. Puede que este procedimiento sea francamente aproximado y tan sólo descriptivo como sucede por regla general, o bien, es posible buscar mayor precisión con el uso de matemáticas avanzadas.

El método estadístico está reconocido por los científicos y los ingenieros como una herramienta que puede ser peligrosa si se usa descuidadamente. Por desgracia, los riesgos involucrados se olvidan a menudo, y su uso inadecuado nos ha llevado a muchos errores. En cualquier caso, los que se han apartado del camino lo han hecho no por acercarse al grupo de los mentirosos climáticos de Mark Twain, sino porque se les ha olvidado lo cierta que es en ingeniería la recomendación de Josh Billings que dice: "Es preferible no saber tanto que saber sobre muchas cosas que no son así."

Hay una tendencia desafortunada de recargar a los ingenieros, por medio de una extensa bibliografía, con técnicas sin fin y procedimientos de análisis matemáticos. Pocos estudiantes saben que los mejores libros pueden proporcionar nada más una red perecedera con tejido muy abierto, con la cual comienzan a retener su información; que cada una de sus fibras debe tejerse una segunda vez por medio de la reflexión individual, así como añadirse muchos nuevos hilos si ha de ser permanentemente confiable para conservar los datos seleccionados de años de práctica en la profesión. Los libros presentan los juegos de herramientas; la comisión del ingeniero dedicado al análisis es seleccionar cuál puede usar en forma más ventajosa.

Desde luego que no puede haber una discrepancia entre la teoría correcta y la buena práctica. Sin embargo, las teorías no son ciertas del todo, porque están basadas en hipótesis que limitan su aplicación, y aquella que no responde satisfactoriamente es errónea. No obstante, la ingeniería depende de la teoría, puesto que sólo por medio de ella la profesión puede correlacionar la experiencia o interpretar los experimentos; quemar la casa para asar el cerdo resulta demasiado caro. Cualquier teoría está limitada en su aplicación, pero no puede estar libre de la relación de causa y efecto, de la experiencia por medio de los experimentos, o de despreciarse, o aún del sentido común; éste consiste tan sólo en la aplicación de principios que se han formulado y perfeccionado inconscientemente como resultado de la experiencia. Pero aquellos que consideran que primero que debe hacerse con un problema de ingeniería comenzar a calcular con afán áreas, momentos y esfuerzos, parecen tan absurdos como los pequeños jurados de "Alicia en el País de las Maravillas" los cuales comenzaban apuradamente por sumar todas las fechas en las pruebas y reducir la suma a libras, chelines y peniques.

53

⁵³ Cuando un ingeniero se enfrenta a un problema profesional, lo primero que necesita hacer es tratar de comprenderlo, darse cuenta de que es lo que tiene que resolver, cómo y cuando lo va a abordar, y hasta después, si es calculable o si sólo puede estimarse

Los experimentos de laboratorio proporcionan pruebas valiosas. Los ingenieros no pueden llevar las estructuras al interior de los laboratorios, pero lo factible es obtener pruebas en los laboratorios en lo concerniente a su forma de actuar. La multiplicidad de los factores involucrados es fuente de grandes dificultades, deberán fabricarse y ensayarse muchos especímenes de varios tipos en diferentes maneras. Es preciso que el genio de la experimentación conciba ensayos que no involucren, en su interpretación, una teoría más dudosa que aquella que el experimento debía investigar. Se ha creado en esta rama una mala tendencia a caer en aseveraciones como ésta: "Los ensayos demuestran que esto es cierto". Los ingenieros más precavidos afirman y reconocen que los experimentos muestran que a veces esto es cierto, o en forma más cautelosa, que los resultados de estas pruebas no se oponen a la conclusión. Exactamente lo mismo puede decirse de los procedimientos analíticos o de los experimentos ahora tan populares con modelos a escala. Los ingenieros saben que los análisis, ya sea matemáticos o de modelos, los ensayos y la experiencia, no son más que índices relativos al problema, los cuales deben sopesarse con cuidado al obtener conclusiones.

Todas las fuentes para obtener pruebas proveen la información necesaria. La habilidad para correlacionar estos conocimientos, para sazónarlos con un confiable sentido común, es la cualidad más rara, más valiosa y difícil que un ingeniero puede adquirir. No es posible aprender en los libros el sentido de la proporción, es decir, el juicio sobre los valores relativos, aún cuando los libros pueden guiarnos para alcanzarlo; los profesores no pueden garantizar su enseñanza, pero sí apresurar su desarrollo; no vendrá automáticamente con el desenvolvimiento académico o con la experiencia. Cada persona debe dárselo a sí misma, y si lo llega a adquirir, tendrá la marca de su propia individualidad.

La idea de que el sentido común es un don de los dioses ha sido exagerada; algunas personas nunca lo tendrán en lo relativo a problemas de ingeniería; pero puede estimularse hasta cierto punto por quienes laboran con tesón y con esperanzas y, enseguida, analizan retrospectivamente todo el tema en el que han trabajado. Deben tratar de ver las colinas y los valles, apreciar qué partes son importantes y cuáles no lo son, tratar de ser sintéticos así como analíticos, dar la debida atención a la probabilidad y desarrollar algún sentido sobre la importancia relativa. A estos hombres les llegará a su tiempo lo que parece una facultad intuitiva para obtener la respuesta. El sentido común nos suministra una visión cualitativa rápida del problema. En las manos de muchas personas constituye una poderosa fuente para la obtención de testimonios. Es cierto que muchos que creen tenerlo no lo tienen. El hecho que sea peligroso no lo hace necesario, ni tampoco deseable de abandonarlo o descuidarlo.

Cuando los ingenieros estudian un tipo de estructura que no les es familiar, acostumbran calcular todos los esfuerzos para todas las condiciones de carga. En seguida, necesitan un conocimiento de las propiedades de los materiales de las estructuras, y nadie puede estar completamente preparado para decir cuáles son esas propiedades. A un fabricante de acero o de aluminio, nunca es posible decirle en forma concluyente, y raras veces en forma fácil, cuales son las propiedades estructurales que los ingenieros requieren de su metal. No encontraran todas las características del material, porque se necesita definir antes de encontrar, e imaginarse antes de definir, lo

cualitativamente. Por desgracia muchos pretenden calcularlo todo cuando en realidad solo un pequeño porcentaje de los problemas de ingeniería son calculables o pueden someterse a un análisis mas o menos estricto. Si el tiempo empleado en determinar tantas áreas, momentos y esfuerzos se aprovechase en investigar el fondo de los problemas profesionales de ingeniería, casi siempre se obtendrían mejores soluciones que las que se consiguen por este análisis tan detallado, y que no deja de ser ficticio por estar basado en hipótesis que son simplificaciones de la realidad y, a veces, una caricatura de la misma.

que presupone la existencia de ese raro espécimen –una mente capaz de imaginar. Y después de encontrar estos esfuerzos y estas propiedades, el ingeniero debe estudiar con seriedad y conciencia el tipo probable de falla y las combinaciones de carga que lo originan. Mucho del mejor trabajo de los ingenieros es resultado de corazonadas, o de analogías vagas con otros casos con los cuales han trabajado. Sin duda es cierto que los buenos resultados provienen del trabajo pesado, pero también es extrañamente cierto que a menudo proviene del trabajo pesado hecho en otro tiempo y relativo a un problema distinto. Una labor intensa tiene una forma sorprendente de pagar dividendos inesperados por medio de inspiraciones posteriores. No obstante, uno debe darse cuenta exacta que las corazonadas son peligrosas porque son vagas, carentes de forma y de razonamiento. Una analogía no es una razón –*comparison n'est pas de raison*- ni una similitud constituye una identidad. La idea sugerida puede resultar cierta o disparatada y, sin embargo, no es conveniente tratar con ligereza un presentimiento persistente de un pensador bien entrenado. Con el tiempo uno llega a desarrollar lo que se ha llamado, con erudición innecesaria, un “poder inconsistente de raciocinio”.

Por lo tanto, los testimonios provienen de varias fuentes: ninguna de ellas es, por sí misma, más confiable, científica o satisfactoria que cualquier otra. Todas ellas han dado una enorme ayuda en algún tiempo; todas también han conducido, a veces, a graves errores. Es necesario hacer aquí lo que la humanidad ha hecho siempre tratándose de relaciones prácticas: ensamblar y dar la debida importancia a aquellas partes que el buen juicio indica que les podemos tener mayor confianza.

Los ingenieros que meditan, sopesan los testimonios que se les presentan de una o de todas estas fuentes, conociendo como es debido el efecto que sus prejuicios personales pueden tener en las conclusiones obtenidas de las pruebas. Cualquier persona de más de cuarenta años de edad ha adquirido una pila tan grande de prejuicios, preconcepciones, preferencias, convencimientos, nociones, estimaciones y odios que les es casi imposible decir por qué piensa lo que piensa.⁵⁴ Es muy difícil, a cualquier edad, ser honrado en lo absoluto; lo es durante la juventud, porque, aunque se tienen pocos prejuicios, se dispone de muy poca información; y presenta mayor dificultad después porque se han adquirido preferencias y predisposiciones tan aprisa o aún más aprisa de lo que se han olvidado los hechos.

Las ideas que muchos consideran haber creado, y de las que están tan orgullosos, ya sean relativa a las artes, las ciencias, las formas literarias o los estilos, con frecuencia son solo letargos de borracheras mentales, depravadas o empobrecidas –herencias de nociones griegas revividas en el renacimiento europeo, o de Franeis Bacon y la revolución cartesiana, o de Scott y los románticos, o de Addison o Smollett.

En Europa, el problema fundamental de los ríos ha sido el de su navegabilidad, no el de las inundaciones, así que sus escritos se han visto influenciados, al principio en forma intencional y después inconscientemente, por el deseo de hacer que los barcos floten en sus ríos. Cuando se estableció, la Comisión del Río Mississippi tuvo que justificar su existencia como un organismo Federal sobre la base de que intentaba mejorar las cualidades de navegación interior hasta el Golfo de México.

⁵⁴ Dice un viejo adagio: “es de sabios cambiar de opinión”. Por desgracia, mientras mas viejo se vuelve uno, es mas difícil cambiar de opinión: una vez que alguien ha expresado una convicción sobre algún asunto, ni el sabio mas sabio podrá hacerlo variar, a menos que el sujeto tenga una mente dispuesta, lo cual es raro que las sinfonías corales; solo un terrible fracaso puede, en forma normal, cambiar la manera de pensar de una persona, sobre todo, de las mas entradas en años. Es por ello que Renan afirmo: “los golpes de la adversidad son muy amargos, pero nunca son estériles,” y el legislador Licurgo escribió hace ya casi tres milenios, “El principal maestro de los hombres en las acciones de la vida es el infortunio.”

No es que los escritores e investigadores norteamericanos sobre el control de inundaciones hayan sido moralmente deshonestos, sino que muchas veces han carecido de malicia intelectual, y han tomado prestado de tal escuela de conocimientos o de tal grupo de intereses, las ideas y las teorías que los respalden en aquello en que han fundamentado sus acciones. Es una práctica tan común que debe esperarse a menudo, y cuando una persona ha expresado una opinión, algunos individuos saltan a la conclusión que pueden predecir todas sus opiniones -y a veces sí que lo pueden.

Por supuesto hay ciertas ventajas en tener prejuicios. Les da a las personas algo con qué comenzar su viaje, o alguna cosa a qué amarrarse si viene una tormenta y quieren permanecer en el puerto. Determinados individuos son tan devotos del ideal de formarse una opinión carente de prejuicios que, cuando inician el estudio de una materia, evitan cuidadosamente leer cualquier escrito relativo a esa especialidad, o discutir el tema con otras personas. El resultado es que sus conclusiones pueden tener la misma cantidad de prejuicios, pero que son todos propios. Sin embargo, lo que pudiera alabarse como un marco mental carente de prejuicios, con latitud de visión y liberalismo intelectual es, a menudo, la más desbarrada tontería -una anemia y una vaciedad cerebral.

Es muy importante reconocer e identificar nuestros propios prejuicios y preconcepciones, en especial, tratándose de trabajos de ingeniería, aún cuando es prácticamente imposible liberarse de ellos. Los ingenieros siempre tratan, tanto con las costumbres humanas como con las fuerzas naturales; sus labores, al mismo tiempo, producto y cimiento de la civilización, la cultura y la raza. Pero la civilización y la cultura no se establecen en un solo día. Algunas conclusiones y opiniones en ingeniería han sido heredadas de un profesor quien estudió con otro profesor quien a su vez obtuvo sus ideas de un académico alemán -y así la casa que construyó Jack.⁵⁵ Por otra parte, un distinguido ingeniero en una ciudad del este de los Estados Unidos proyectó un acceso por una empinada colina -una solución técnica excelente de un problema difícil- en tal forma que se estropeó la vista de una antigua y bien amada iglesia de la que todo el pueblo estaba orgulloso -un evidente descuido para condescender con los prejuicios.

Todos los ingenieros han pasado por períodos de conflicto que se repiten, entre lo que puede llamarse el punto de vista "práctico" y el "teórico" de los problemas de ingeniería. Quienes se consideran a sí mismos como hombres "prácticos" ven con poca consideración las investigaciones analíticas. Su actitud es la de que saben por intuición divina y por experiencia cómo hacer su trabajo, y consideran que muchos detalles de la labor que realizan no pueden estar sujetos a un análisis del todo racional. Opuestos a ellos están aquellos a quienes popularmente se les considera como profesores de escuelas superiores, los que creen que es posible racionalizar todos los procedimientos y reducirlos a reglas rigurosas.

Puede convenirse que en la especialidad de la ingeniería estructural -quizá algunos convengan que aún en la del gobierno- no es necesario adoptar, en forma exclusiva, ni el punto de vista del individualismo riguroso, ni el de la economía planificada. Se requiere una juiciosa combinación de ambos. El individualista, tanto por su temperamento como por su entrenamiento, es bastante inepto para la planificación, y el hombre teórico, comúnmente es torpe para realizar excursiones audaces e imaginativas en el campo de los nuevos tipos de construcción.⁵⁶

⁵⁵ Esta última frase pertenece a un juego infantil muy conocido en el que se van agregando oraciones y ademanes a medida que cada niño repite lo ya dicho y pierde el juego quien equivoca la serie de oraciones o de ademanes.

⁵⁶ cuando no se reconoce la existencia simultánea y necesaria de estas dos corrientes, se cae en el peligroso campo de la intolerancia. Los resultados no pueden ser mas desastrosos: no solo se frena el progreso, sino que se destruye en una parte importante de lo ya logrado.

A diario se publican artículos que pretenden ser novedosos en la rama del análisis; algunas veces son útiles; a menudo son perjudiciales. En esa rama son muy necesarios los métodos para reflexionar que utilizan el lenguaje común y preservan los conceptos que son familiares a los constructores, y a las personas con un don natural e intuitivo para imaginarse la acción estructural. Para avenirse a esta condición los teóricos necesitan realizar mayor esfuerzo que los prácticos; los primeros deben encontrar a los segundos más allá de la mitad del camino. En la rama de la ingeniería civil, los proyectistas y los constructores son los hombres en la línea de fuego.

Los procedimientos analíticos en la mecánica deben ser tan simples y flexibles que puedan proporcionar en forma rápida un método para reflexionar, ya sea cuantitativa o cualitativamente.⁵⁷ Deben mostrar una figura de la estructura en acción. Los grandes constructores han tenido necesidad de formarse en la mente tales figuras.⁵⁸ Si alguien tratase de explicar algunos de los "nuevos" conceptos modernos a Miguel Ángel, o a Pedro de Colechurch o a Galileo, es probable que comprendería el procedimiento en forma sorprendentemente fácil; de hecho, no llamaría la atención si ellos respondiesen que ya lo conocían de tiempo atrás.

Para el análisis formal pueden usarse sistemas que no son métodos de pensamiento en lo absoluto. Muchas veces, son muy formalistas, como un aparato de moler carne para preparar embutidos. Si se alimentan ciertos datos numéricos en un extremo del análisis y se da vuelta a la manivela, en el otro extremo de la máquina salen siempre muchos pequeños embutidos -momentos, reacciones, esfuerzos, deflexiones.⁵⁹ Trabaja muy suavemente, de hecho lo hace con una suavidad decepcionante; porque los embutidos se ven todos uniformes y regulares se presupone que la carne no puede estar podrida.

⁵⁷ Los ingenieros latinoamericanos debemos evitar la complicación innecesaria del análisis estructural. Al respecto me permito transcribir lo que afirma el Ing. V. Guerrero y Gama: "He tenido a la vista las memorias de cálculos de grandes compañías europeas, como la S.T.U.P. de Francia, y norteamericanas, como la "American Bridge Company", y he comprobado que son sistemáticamente más sencillas, más breves, que las que se suelen hacer en nuestro medio. Y no cabe suponer en los autores de tales memorias, ignorancia ni falta de acuciosidad; todo lo contrario: precisamente por conocer a fondo el valor de las hipótesis de partida (secciones planas, proporcionalidad de esfuerzos-deformaciones, funcionamiento real de las estructuras, incertidumbre en las cargas, desconocimiento de los valores efectivos de impacto, etc.), limitan la complicación de sus análisis hasta donde pueden éstos ser congruentes con dicho valor de las hipótesis básicas."

⁵⁸ Los romanos, que fueron grandes ingenieros, más aún que los griegos y que los egipcios, así debieron trabajar. Quien no lo crea, que intente multiplicar CDXLIV por XCIX.

⁵⁹ Cross se anticipa aquí a su tiempo previendo lo que sucede en las computadoras cuando se usan sin discernimiento, meditación o raciocinio. Ningún resultado es mejor que los datos que alimentan a la máquina o que el programa bajo el cual ella funciona.

Nuevas Lámparas por Lámparas Antiguas.

NOVEDAD O LUZ.

"Fantásticas por igual."

La ingeniería ha pasado del individualismo tenaz de, digamos 1850, a través de una combinación razonablemente juiciosa del individualismo tenaz con la planificación de quizá el 1900, a una era en la que se hace mucho énfasis en el análisis.⁶⁰ Tenemos tres maneras de tratar los problemas de ingeniería muy distintas entre sí; analítica, experimental, y sintética. Ninguna de ellas puede progresar en forma independiente de las otras, ni debe depender totalmente de las demás. Los constructores pueden llegar a convertirse en personas demasiado prácticas por el bien de la profesión; los analistas llegar a ser teóricos o abstraídos en extremo. Es todavía más peligroso si los analistas se vuelven demasiado prácticos, y los constructores, teóricos en exceso.

La apropiada consideración de los prejuicios no es ni más ni menos importante que la confiabilidad de los hechos. La verdad no siempre viene estampada como tal, y a menudo algunos de los llamados "hechos científicos" -con trajes de etiqueta y sombreros de copa- no son genuinos. Las falacias -ilusiones de grandes verdades y de novedades seductoras- pueden compararse con las prima-donnas y con las segundas tiples. Es menester recordar a los ingenieros que quizá sea bueno enamorar a las segundas tiples siempre que no se casen con ellas. Algunas pueden ser muy buenas muchachas, y otras llegan a ser gordas y sensatas, pero el punto principal es no casarse con ellas, o en cualquier caso, no contraer matrimonio con gran número de ese gremio o, de pérdida, no hacerlo con demasiadas y en forma muy apresurada. En otras palabras, no es necesario que las carreras estén irrevocablemente ligadas, tarde o temprano, con ideas nuevas o hermosas, pero sin comprobación, no importa qué tan interesantes sean. Conviene que los jóvenes sean cautos en extremo; los ingenieros mayores no lo requieren porque están demasiado calvos, intelectualmente hablando, para comenzar con galanteos.

En el mundo de los ingenieros, en el de los asuntos prácticos, la vida es muy real y ansiosa, y la meta está definida con precisión. La función de la ingeniería es producir riqueza humana, lo que en realidad quiere decir bienestar humano.

Pero es difícil y con frecuencia decepcionante identificar estos hechos, estas verdades y leyes que deben preceder a la producción de riqueza. Hay muchas digresiones que provienen de esta escuela de pensamiento o también de aquel grupo de pensadores.

Pocos de los sistemas de pensamiento están libres de falacias, pero las teorías que se basan en ellas no siempre son equivocadas. Allá por el año 1890 sabíamos que comer melones en el campo en un día caluroso nos hacía propensos a contraer la malaria, lo cual es muy cierto a menos que se use una red contra los mosquitos, pero la forma como se planteaba el dogma era una falacia. De hecho, es probable que la mayor parte del pensamiento o bien involucre falacias -defectos en la lógica- o esté cercanamente asociado con ellas.⁶¹ Alguien ha dicho que toda la teoría del análisis estructural está elaborada atribuyendo propiedades imposibles a materiales inexistentes.

⁶⁰ Ya antes se hizo un comentario relacionado con ese gran ingeniero norteamericano que ha sido subestimado, juzgado a la ligera y aún vituperado y vilipendiado: Teodoro Cooper. Cuando se estaba construyendo el primer puente de Quebec, de triste memoria y Cooper era el ingeniero en jefe, cayó enfermo, por lo que tuvo necesidad de dejar la obra para ir a curarse lejos. Algunas semanas transcurrieron y, a medida que progresaba el montaje, se notó que uno de los miembros de las armaduras tenía una curvatura que tendía a aumentar. Al percatarse de la irregularidad, el ingeniero superintendente indicó que iba a revisar el análisis del miembro, y en forma simultánea y por correspondencia, se informaba de lo anterior a Cooper en su lecho de enfermo. Poco tiempo después, el superintendente notificó que los cálculos del miembro eran correctos, y que se continuase la obra, sólo para morir él mismo con 81 personas más, aplastados por la estructura, en tanto que casi inmediatamente después del colapso, se recibía un telegrama de Cooper, escrito la víspera, ordenando la suspensión de los trabajos y el retiro de todo el personal fuera del puente.

⁶¹ una falacia característica la encontramos en la concepción errónea tan generalizada, acerca de la función general de los "contravientos"; el nombre mismo sugiere que se trata de elementos destinados únicamente a resistir y transmitir las cargas provocadas por los vientos, y bajo este aspecto sería mejor llamar dichas piezas con la designación más castiza de riostras; pocos ingenieros reflexionan sobre el hecho de que estos elementos son, por regla general, indispensables aun en el caso en que no se presenten fuerzas debidas al viento o a otras cargas y reacciones horizontales, que su misión fundamental consiste en limitar las reacciones de esbeltez, en hacer las estructuras tridimensionales y estables, y en lograr que trabajen como un todo en vez de un

Algunas falacias son las hermanas; y las tías, miembros íntimos de la familia, y el conocimiento de sus defectos sirve solamente para apreciar más sus virtudes. Otras son del tipo de las segundas tipes, demasiado lindas, fascinantes y perfectas por su novedad. Distraen la atención por su poca seriedad, y por su pródiga manera de lucir sus extremidades sin que venga al caso.

Muchas falacias eruditas son distorsiones de puntos de vista de algún gran pensador, de quien los discípulos menores tomaron prestados los binoculares, pero que no los enfocaron a su propia vista. Estos discípulos se pierden de la gran visión, de la noble finalidad, y dejan al mundo un registro detallado de la finalidad en siete volúmenes. Y esos siete volúmenes pasan a las manos de un cierto número de especialistas, cada uno de los cuales produce siete nuevos tomos, y establecen un rompecabezas cuyas partes nunca jamás volverán a ajustarse.

Las grandes verdades en ingeniería son simples; pueden establecerse simplemente, y aplicarse en la misma forma, es muy distinto que decir que alguien las ha presentado ya de manera simple, o que ha mostrado cómo aplicarlas con facilidad. Una descripción o explicación muy compleja de un hecho sobre ingeniería indica complicaciones de la mente del proponente más bien que una complejidad de la naturaleza. Todo aquello que no puede explicarse en el lenguaje común está guisado a medias, aunque no ha nacido todavía quien sea capaz de terminar el cocido, y un pan preparado a medias es mejor que no tener pan. Aún así, lo que está cocido a medias propende a dar indigestión.

La rama de la ingeniería estructural, por ejemplo, tiene períodos de complejidad creciente que se repiten a intervalos, un amontonamiento de Pelions de teoría sobre Ossas⁶² de experimento; derivadas parciales persiguiendo manadas de datos empíricos, módulos de finura y relaciones coloidales gritando torpemente al clamor de ecuaciones, de diagramas y de registradores de esfuerzos. Y de todo esto es normal que resulte la sanidad, simplicidad y mejores estructuras y materiales –algunas tipes han bailado su última pieza y otras se retiran por el resto de la temporada.

El período de la escolástica medieval se extiende del siglo IX al XIV. Fue una época extraña, cuando los sabios discutían con solemnidad los atributos de la omnisciencia. Y al final de este período llegaron John Duns Scotus, guía de la escuela Escotística de los académicos franciscanos, Tomás de Aquino de los dominicos, y Rogerio Bacon, predecesor de la ciencia moderna.

Scotus fue un miembro del colegio Merton, en Oxford, doctor y decano de teología de la universidad de París; su defensa de la doctrina de la Inmaculada Concepción llevó finalmente a que la universidad de París requiriese que todos los aspirantes al doctorado abjurasen de los errores tomistas y dominicos. El artero doctor barrió a un lado con suavidad las impertinencias inmaduras de sus subordinados.

Rogero Bacon también se graduó en Oxford y en París y se unió a los franciscanos, Enumeró las cuatro causas del error como sigue: autoridad, costumbre, la opinión de la masa inculta de la gente, ocultamiento de la verdadera ignorancia con la pretensión de conocimiento. De estas causas, indico que la última es la más peligrosa y el origen de todas las demás. Se le prohibió enseñar en Oxford.

Aún hoy en día, se acepta que la tesis de Rogero Bacon tiene una cierta propiedad, y se le alaba como el precursor de la curiosidad científica moderna. Y el

conjunto de piezas aisladas. El requisito de que, para proporcionar esos miembros se consideren fuerzas horizontales, reales o imaginarias, debidas a vientos o a sismos, es puramente circunstancial y no modifica su función primordial.

⁶² Frase proverbial de la Odisea de Homero (canto XI).

nombre de Duns Scotus, el gran decano en teología de la universidad de París, se ha conservado en el idioma inglés, pues la palabra inglesa "dunce" significa estúpido y tonto. Pero esto sucedió hace seis siglos, y la gente de hoy es mucho más sabia ¿o realmente lo es?

El error siempre permanece como parte y partida de la vida intelectual. Como lo escribiría el Sr. Roget, la gente tiene errores y falacias; concepciones, aprehensiones, entendimientos, interpretaciones y juicios equivocados; herejías, falsas aseveraciones, equivocaciones, fallas, aberraciones; erratas, engaños, ilusiones, alucinaciones, absurdos, imbecilidades, estupideces, puerilidades, senilidades, fatuosidades y disparates.⁶³ (63) Todos nosotros los cometemos, estamos en ellos y prosperamos con ellos.

La gran tragedia intelectual no está en las tiples de las falacias, ni en los galanes que cortejan en la puerta de artistas. Los que esperan a la salida de las artistas normalmente sufren de una enfermedad detestable que se llama juventud, pero casi todos los que viven lo suficiente se curan de ella.

La tragedia, la verdadera tragedia, es la de los galanes que se casan con una de las tiples. Los jóvenes pueden asistir al teatro de música intelectual si quieren, y revisarlas de arriba a abajo, aún sentarse en la primera fila en toda una función de "Las Falacias del Año". No obstante, deben tener el cuidado necesario para depositar su fe en algo más durable que el maquillaje, los cosméticos y las pelucas, las formas, las fórmulas o las fantasías. Cuando se sienten seguros de la veracidad de una nueva teoría, de un nuevo método, material,⁶⁴ tipo de estructura, o una máquina original,⁶⁵ deben llevar su idea novedosa a mucho más que un paseo en coche antes de acudir a un juzgado del registro civil (o un juez de paz o una parroquia).

Un viejo proverbio dice que cualquier tonto puede hacer una pregunta que ni el más sabio es capaz de contestar. Una aseveración más importante es que sólo los que son muy sabios tienen la habilidad de hacer preguntas en tal forma que cualquier tonto las pueda contestar. Si las preguntas son buenas en verdad, las respuestas probablemente puedan contestarse y si son malas, nadie pueda dar la respuesta.⁶⁶

La pregunta que hacen muchos niños: "¿A qué se parece Dios? " está mal redactada; implícitamente indica que él no es Dios. Pero han existido muchas figuras e imágenes de dioses; si los niños tratan de delinear ilustraciones de Dios tal como ellos lo conciben, puede que modifiquen su pregunta y la redacten así: "¿Qué es Dios? " -algo muy distinto de lo anterior.

Desde hace varias décadas se ha hecho una pregunta especial en diferentes formas: "¿Qué es la rigidez? " "¿Por qué es conveniente que las estructuras sean rígidas?" "¿Siempre es un atributo deseable de las estructuras que tengan esa propiedad?" "¿Cuál es la medida adecuada de la rigidez?" "¿Su medida debe ser siempre la misma?"

⁶³ Y en español podíamos agregar tonterías, ofuscamiento, seducciones, deslumbramientos y otras más.

⁶⁴ cuando se construyó el puente Bayonne sobre el brazo de mar que separa uno de los barrios de Nueva York del estado de Nueva Jersey, la compañía fabricante ofreció substituir el acero al manganeso. Después de haberse aceptado el cambio , al probar miembros a tensión se observó que el nuevo material no daba las seguridades necesarias, por lo que fue preciso modificar el proyecto cuando la obra ya estaba en construcción. Ejemplo claro de lanzar al mercado un material sin haber ensayado como es debido.

⁶⁵ hace muchos años que se habla de motores de turbina, de motores eléctricos de batería y de otras linduras para subsistir el voluminoso, pesado, sucio y costoso motor de pistones y cilindros del automóvil familiar. Y pese a que estos adelantos prometidos han estado en uso en vehículos especializados desde hace muchos años, el tiempo pasa sin que estas maquinas tengan la aplicación generalizada que han vaticinado.

⁶⁶ Una de las lecciones mas sabias y mas sutiles que pueden darse a un empresario, un funcionario y hasta a un profesor o un capataz.

Desde tiempo inmemorial los constructores han procurado que sus estructuras tengan una propiedad que es posible llamar "rigidez". Muchas veces se han seleccionado tipos particulares de estructuras sobre la base de sus rigideces relativas. Y, sin embargo, después de muchos años, nadie puede afirmar con certeza lo que la palabra significa.

Algunos ingenieros profesan que saben -creen que saben, piensan que creen que saben- que hay tal propiedad; creen que el gato que buscan es real, aún cuando no tienen seguridad del cuarto de la casa en que está. Quizá sean varios gatos, o puede ser uno solo viviendo nueve vidas en diferentes lugares. Y no obstante, el término y sus sinónimos son de uso tan general que sabemos algo sobre él: este gato no es enteramente negro.

Unos cuantos rayos de luz provienen de los sinónimos. Disponemos de muchas palabras para describir tipos de movimiento: agitar, alternar, arrollar, aventar, bambolear, brincar, contorsionar, desplazar, devanar, doblar, empujar, enredar, enrollar, estremecer, girar, lanzar, mecer, menear, mudar, ondear, ondular, oscilar, rebotar, remolinar, remover, retorcer, revolver, sacudir, saltar, tejer, temblar, tirar, tiritar, torcer, trasladar, vibrar, zangolotear.

Es obvio que la gente está muy consciente sobre los tipos de movimiento, y lo que algunas personas piensan todo el tiempo puede no ser muy significativo, y lo que todo el mundo piensa de cuando en cuando puede estar equivocado, pero lo que toda la gente piensa todo el tiempo si es importante. Es natural que los ingenieros necesiten buscar en cada uno de los cuartos porque no tienen la completa seguridad de saber si están hablando de desplazamiento, velocidad, aceleración o cambio de aceleración, o de todos ellos al mismo tiempo. No están totalmente seguros de si hablan de psicología -reacción animal al movimiento- o de integridad estructural o de durabilidad -el efecto del movimiento sobre una estructura. Tal vez debieran buscar la manera en que los golpes o la repetición de cargas afectan las propiedades de los materiales; y así, dejan raciones de "engañabobos" regadas por el laboratorio de ensaye de materiales.

Pero lo que hemos dicho es una consideración sobre preguntas, no sobre rigidez. No se llegará lejos en el estudio de la rigidez, hasta que se hagan las preguntas apropiadas en la forma adecuada y cuando se formulen correctamente, es probable que las respuestas sean simples.

Las ilustraciones son el suplemento necesario de las preguntas. Es preciso alentar a los estudiantes para que hagan más figuras sobre aquello de que están hablando. Conviene que dibujen representaciones de estructuras deformadas, de estructuras próximas al colapso, de distribuciones de esfuerzos. Cuando intentan dibujarlas surgen, o debieran surgir, cientos de preguntas, si no las pueden dibujar es porque no saben de lo que están hablando, y el grado de detalle con que hacen las ilustraciones muestra la familiaridad con la materia. Cuando se intenta delinear una figura como lo hicieron anteriormente los niños, muchas veces se encontrará la respuesta o se anulará ésta.

Ahora bien, tenemos gran variedad de ilustraciones: fotografías, caricaturas, diagramas convencionales. Y se dispone de diferentes formas para representarlas: diagramas de líneas, figuras con palabras, descripciones matemáticas, croquis. Con frecuencia es bueno, y a veces necesario para el ingeniero, presentarlas de varias maneras distintas. Nadie puede tomar una fotografía de la distribución de esfuerzos, pero hay diversas formas de dibujar ilustraciones convencionales que la representen. Se necesita mucha educación y reflexión para hacer estas representaciones. El resumen y lo importante de esto es que el conocimiento técnico de las personas puede medirse mejor por las preguntas que hacen que por las respuestas que dan, y éstas últimas pueden

valuar mejor por las figuras que las acompañan. La demanda que la profesión hace inicialmente es de ilustraciones, pero nunca antes se tuvo una necesidad mayor de personas con capacidad de hacer preguntas apropiadas en cualquier campo de estudio técnico.

Los libros de texto rara vez plantean interrogaciones de importancia; pocos profesores las hacen. Los textos y los profesores están demasiado ocupados diciendo lo que saben para hacer énfasis en lo que no saben; pero lo último es más importante -percibirse de las limitaciones del conocimiento y hacer preguntas que sean simples, y que abran claraboyas por las cuales pueda filtrarse alguna luz en los cuartos oscuros. Solo cuando tratamos de dibujar ilustraciones hacemos estas preguntas, y es necesario hacerlas porque nos encontramos que la mayor parte del paisaje está todavía oculto a nuestros ojos.

Luces en la Torre de Marfil.

FE Y ESPERANZA -QUIZA UN POCO DE CARIDAD.

Ingeniería es el arte de dirigir los grandes recursos de energía de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre."

El Instituto de Ingenieros Civiles de la Gran Bretaña se organizó hace más de un siglo. En esa época "ingeniero civil" quería decir cualquier ingeniero que no estuviese directamente relacionado con trabajos militares. Se le solicitó a Tomás Tredgold, afamado practicante de ingeniería y conocido escritor sobre tópicos de ese tema, que redactase una definición del término, la que fue aceptada y hoy en día se incluye en todas las publicaciones del instituto. "El arte de dirigir los grandes recursos de energía de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre"; nada mejor se ha escrito al propósito. Todavía es una buena definición para todas las ramas de la ingeniería.⁶⁷

"Para uso y conveniencia del hombre". Es una parte tan importante del texto de Tredgold como cualquier otra. Noten la agradable distinción que hace entre uso y conveniencia; no siempre son idénticas. La ingeniería no intenta decidir a la humanidad lo que debe querer y por qué debe quererlo. Más bien, reconoce una necesidad y trata de satisfacerla. Por tanto, los ingenieros, quizá más que otros individuos, estén interesados en el hombre mismo, en las necesidades humanas, en la forma de vivir de la humanidad y en reacción ante aquello que lo rodea.

Uso y conveniencia son términos con valor relativo. La obsolescencia es el producto del uso y la conveniencia en un grado cambiante. Para tomar un ejemplo repetido tantas veces, el automóvil en los países industrializados ha hecho que muchas carreteras no sean ni útiles ni convenientes.

El uso y control del agua es un problema de importancia permanente. Reúne factores económicos, diagramas de flujo, precauciones de lluvia e inundaciones, problemas estructurales en el proyecto de presas, problemas hidráulicos del control del agua en canales o en turbinas, y todos ellos tienen un alcance lejano en los detalles de la investigación de la ciencia pura y aplicada.⁶⁸

La ingeniería está dedicada al "uso y conveniencia del hombre." A medida que las necesidades y los deseos humanos han cambiado, el arte de la ingeniería ha progresado, y consecuentemente, el proceso histórico de las naciones y del mundo nos ilustran como es debido sobre el avance de la ingeniería.

⁶⁷) Medio siglo después, Wellington escribía: "ingeniería es el arte de hacer bien con un peso lo que cualquier chambon hace mal con dos". Ya en este siglo Hullmund afirmo: "ingeniería es una actividad distinta de la puramente manual y del esfuerzo físico, que desarrolla la utilización de los materiales y las leyes de la naturaleza para el bienestar de la humanidad". Y de la década que acaba de terminar, el Consejo de Ingenieros para el Desarrollo Profesional la definía así: "ingeniería es la profesión en la cual el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales, obtenidas por el estudio, la experiencia y la práctica, se le aplica con buen juicio al desarrollo de medios para utilizar de forma económica los materiales y las fuerzas de la naturaleza para el beneficio del hombre". Y mas recientemente todavía, Ingeniería se ha definido como: "el arte de tomar una serie de decisiones importantes dado un conjunto de datos inexactos e incompletos, con el fin de obtener la mejor solución y que funcione de la manera más satisfactoria".

⁶⁸ Es probable que la desalinización del agua, el uso, las aplicaciones y el control de esa agua desalinizada sean, en un futuro próximo, los problemas más trascendentales de la ingeniería. Recordemos que casi las dos terceras partes de la superficie terrestre en las zonas templadas del globo, las más propias para ser habitadas por la humanidad, están formadas por desiertos o regiones áridas. Podemos entonces percatarnos de inmediato de la importancia extraordinaria que tiene dotar esas tierras de agua dulce abundante. La desalinización, unida a la disponibilidad de energía casi ilimitada que ya está haciendo realidad el control y el uso pacífico del átomo, permitira cambiar de manera radical el aspecto de la superficie de nuestro planeta; contribuirá a retardar por mucho tiempo, quizá indefinidamente, el cumplimiento de las predicciones Malthusianas; y, en fin, transformará nuestro mundo en su aspecto material a tal punto que podremos confirmar el texto del profeta Isaías: "Brotarán aguas en el desierto y correrán arroyos por la soledad. La tierra seca se convertirá en estanque y el suelo árido en fuentes" (35 - 6,7).

La historia de la ingeniería en los Estados Unidos, y en gran parte la de la Unión Americana misma, puede remontarse a los obstáculos que sucesivamente impuso la naturaleza a la marcha del pueblo hacia el oeste. Los primeros colonizadores en la costa (vertiente) oriental construyeron los puertos en tal forma que no tuvieron mucho éxito, así como las rutas para el transporte terrestre y la navegación interior paralela al litoral; a principios del siglo XIX se encontraron con la cadena de los montes Allegheny. Esta barrera se extiende desde la frontera con el Canadá casi hasta el Golfo de México, distante unas 100 millas de la costa atlántica y paralela a ella. Hay pocos pasos a través de la misma, uno en la depresión Mohawk-Hudson, otro en los puertos de tierra entre las fuentes de los ríos Susquehanna y el Allegheny. En el estado de Virginia, las fuentes del río James nos llevan a las del New River. El ejército del General Sherman, durante la guerra civil americana, siguió otro bajo entre las montañas. La lucha de la ciudad de Charleston para alanzar el poniente del país es una historia de gran dramatismo. Boston está cortado en la zona poniente por los montes Berkshires, pero el estado de Nueva York encontró una ruta transitable con bajas pendientes a su puerta, y las primitivas líneas de ferrocarril ascendieron a los pasos entre montañas; así, la línea de la ciudad de Philadelphia alcanzó las laderas occidentales en el estado de Pennsylvania al mismo tiempo que la de Baltimore completaba la vía del Baltimore y Ohio hasta entrar en Wheeling; la del Chesapeake y Ohio subió por el valle del río James y pesó al poniente hacia el río Ohio.⁶⁹

El desarrollo del transporte ha seguido en forma sucesiva los medios disponibles y los métodos para viajar. Se han construido unos canales costeros, otros locales y otros más que atraviesan, como el de Erie. A su tiempo, el relativamente ineficiente canal cedió a los ferrocarriles, los que originaron los problemas de la vía, del equipo y de las terminales. Cada uno se ha elaborado en detalle por especialistas. La vía, por ejemplo, ha sido la causa de mucha investigación técnica que involucra el estudio de la flexión, la resistencia de los suelos y los rieles y el equipo para sujetarlos, de durmientes (traviesas), y del material bajo la corona de la vía; ha llegado a ser uno de los problemas críticos de los sistemas de ferrocarril.

La Unión Americana, en su marcha al poniente, alcanzó por fin el gran valle del Mississippi y su sistema tan extendido de ríos navegables. El período del florecimiento del barco de vapor en los ríos fue corto; el ferrocarril, en las manos de los brillantes ingenieros de la época, demostró ser un servidor más eficiente del pueblo.

Entonces se logró cruzar el río Mississippi por medio del ferrocarril. James B. Eads construyó la gran estructura que todavía a la fecha es un modelo de gracia y una maravilla de trabajo técnico. Los sueños primitivos de cruzamientos de este río, que parecían imposibles de realizarse, finalmente se llevaron a término. Después de Eads se construyeron puentes en Memphis, Tebas, Cairo, el Cabo Girardeau, Vicksburg y, por último, en Nueva Orleans.

A su tiempo se hicieron cruzamientos del río Missouri, túneles y pendientes para atravesar o remontar la cordillera de las rocallosas y las sierras. Las vías férreas siguieron aproximadamente las rutas de los antiguos caminos de Oregón y de Santa Fe de Nuevo México.

La historia de los Estados Unidos puede resumirse así: la construcción del Canal de Erie o del puente de Brooklyn, la apertura del ferrocarril de Baltimore y Ohio, la conexión directa por vía férrea entre San Luis Missouri y el oriente, la construcción del

⁶⁹ Las naciones latinoamericanas han progresado a medida que han comunicado sus territorios poco habitados con las regiones tradicionalmente pobladas; su progreso será mayor cuando las industrias de transformación se repartan en todo su territorio hasta los últimos confines.

ferrocarril Central Pacific, el canal Soo, el control de las inundaciones del río Miami en Ohio, el desarrollo del Valle del Tennessee, la torre del edificio Woolworth y del Empire State en Nueva York, los puentes Jorge Washington sobre el Hudson, el de la Bahía de San Francisco o el de la Puerta Dorada (Golden Gate).

A fines del siglo pasado, las naciones americanas tenían un gran volumen de trabajo que hacer, pero disponían de pocas especificaciones y procedimientos analíticos o datos experimentales con los cuales trabajar; para obtenerlos, algunos jóvenes salieron al extranjero por las décadas de los setentas y los ochentas. La mayor parte fueron a Alemania, y a su regreso trajeron los elaborados productos del academismo germánico, así que esos países tuvieron que digerir la compleja formalidad técnica que se les había enseñado. Para usar una frase doméstica, los países americanos tuvieron que masticar todo este pescado y escupir las espinas, y con frecuencia esas espinas se les encajaron en la garganta. La mente teutona tiene tendencia a la elucubración, muchas veces a la complejidad, y en forma repetida, cierta falta de discernimiento para interpretar las pruebas. A principios de siglo los escritos sobre estructuras en los países americanos estaban recargados con gran cantidad de técnica sin asimilar, y muchos de esos escritos son de mala calidad. Parte de ellos ha sido rechazada, y más de los mismos debe descartarse. No obstante, cumplieron su propósito porque hasta cierto punto, en ese tiempo se suprimieron algunas limitaciones de las pruebas aunque no lo suficiente.

Los hombres enviados a Europa por el 1920 para estudiar los métodos de laboratorio de la hidráulica asimilaron los conocimientos en forma más rápida y con más discernimiento. Los laboratorios de hidráulica de mayor tamaño están ahora localizados, sin excepción, en los Estados Unidos, gracias a la completa y suavizante influencia del sentido común yanqui.

En algunas ramas de la ingeniería esta etapa ya pasó. Podemos afirmar con certeza que en lo futuro no será necesario recurrir a Europa para conocimientos técnicos; los americanos podrán pescar su propio pescado; quizá lleguen a ser más expertos para escupir las espinas de lo que han sido en lo pasado.

La civilización todavía vive como en una frontera,⁷⁰ pero el tipo de frontera cambia. Quien ha viajado por las Américas se da cuenta de lo mucho que queda por hacer; para realizarlo se requerirá personal con sentido cuantitativo, entrenado para pensar con precisión donde se justifica ésta, y también para conocer las limitaciones de la precisión.

En consecuencia, el destino de las Américas se estudiará en casa. La Gran Bretaña y el Continente Europeo todavía serán la fuente de muchas ideas y sueños, pero los pueblos de América, de ahora en adelante, deben elaborar conceptos de cultura, métodos de pensamiento y filosofía de servicio a lo largo de las líneas tradicionales del Nuevo Mundo. Al principio de nuestra historia aparece el sistema de fábricas, los comienzos del transporte moderno, estudios sistemáticos de suministro de agua potable y drenaje. Las naciones americanas no impusieron los métodos modernos en una sociedad medieval, sino que se desarrollaron con los ingenieros y gracias a ellos; es importante reconocerlo cuando se interpreta la "manera de vivir en América", y se hace el contraste con los problemas de aquellos lugares en donde todavía no son familiares los beneficios de la buena ingeniería. Tal parece que, hoy en día, la historia necesita más de los conceptos filosóficos de la ingeniería que lo que ésta necesita de una perspectiva histórica.⁷¹

⁷⁰ Los norteamericanos acostumbran llamar "condiciones de frontera" a las de aquellas regiones que colindan con otras en donde todavía no se ha establecido la civilización tal como nosotros la entendemos.

⁷¹ Como la ingeniería cambia la manera de vivir de los pueblos, llega imponiendo nueva leyes; así, cada nación ha tenido necesidad de elaborar, a veces en-plan de emergencia, normas sobre vías terrestres, sobre aprovechamientos hidráulicos, explotaciones petroleras, producción, suministro y tarifas de energía eléctrica, construcciones públicas y privadas, y todo género de disposiciones

En los próximos veinte años se realizaren más aprovechamientos de los recursos naturales que los logrados en los últimos cincuenta años. Para organizar y planificar este trabajo es importante que en el lugar apropiado estén los individuos que comprenden con certeza las limitaciones físicas impuestas por la naturaleza a las actividades humanas, limitaciones de lo que puede proveerse para "uso y conveniencia del hombre."

En algunos países, las condiciones de frontera desaparecieron a principios del siglo en un sentido obvio y dramático, pero numerosas personas han actuado con lentitud para darse cuenta de ello. La frontera de la ingeniería, no obstante, nunca desaparece, los problemas son tan insistentes hoy en día como lo fueron hace cien años. Los puertos, los ríos, Las playas deben sanearse para que tengamos manera de vivir bien.⁷² Es necesario revisar los sistemas de carreteras, es urgente tener mejores controles de las inundaciones que los actuales así como de la contaminación de las corrientes. Todavía hay mucho, muchísimo, por hacer. El uso y la conveniencia se transforman, pero el arte, en sí mismo, no cambia apreciablemente. Este arte tiene un alcance en todos los aspectos de las relaciones humanas. Robert Louis Stevenson (Stephenson), hijo y nieto de ingenieros, afirma de él:

"Mi abuelo fue, ante todo, un -proyectista de obras a la vista de la naturaleza, un modificador de la misma. Un camino por construir, una torre por edificar, un abrigo portuario para realizar, un río para dominar y conservar dentro de su cauce, -éstos fueron los problemas con los cuales su mente estuvo ocupada constantemente, y por éstos y otros fines similares, viajó por el mundo durante más de medio siglo, como un artista, con su libreta de anotaciones a la mano.

El ingeniero trata con más propiedad aquello con lo que puede medirse, pesarse y numerarse... no sólo anotaciones en los libros para consultarlas apuradamente; usando la frase del actor, debe meditar sobre ellas, en las palabras de mi abuelo, ellas deben estar "fijas en su mente como los diez dedos de las manos y los diez dedos de los pies".

"Son las certidumbres del ingeniero; hasta ahí encuentra un terreno sólido y vistas claras. Pero el terreno de las fórmulas y de las constantes es restringido Para el ingeniero civil, así llamado en forma adecuada (si algo puede llamarse con propiedad en este cuño tan extraño), la obligación comienza con el principio. Siempre es un hombre práctico. Las lluvias, los vientos y las olas, la complejidad y lo adecuado de la naturaleza siempre están delante de él. Tiene que tratar con lo imprevisible, con aquellas fuerzas (usando la frase de Smeaton) que "no están sujetas al cálculo"; y no obstante, requiere predecirlas, calcularlas a su propio riesgo.⁷³ Todavía no ha realizado su labor y ya tiene que prever su influencia futura: cómo desviará la marea, amplificará las olas, represará el agua de las lluvias, o atraerá el rayo. . . . debe considerar no tan sólo aquello que es, sino lo que puede ser.

"Es claro que aquí sólo puede haber un uso restringido de las fórmulas. En esta clase de práctica profesional, el ingeniero tiene necesidad de disponer de un sentido trascendental Las reglas, por cierto, necesitan estar donde quiera: pero deben modificarse en todas partes en que aparecen por este coeficiente trascendental, en todas partes doblarse a la impresión de la visión bien entrenada y al sentido del ingeniero."

relativas a temas de ingeniería. Pero los problemas se anticipan siempre a las leyes, y éstas vienen, a posteriori, a reglamentar los desarrollos y desgraciadamente, a veces, a limitarlos.

⁷² Nótese la visión de Cross anticipándose a los problemas de actualidad. O sea los problemas de saneamiento ambiental, de contaminación atmosférica, de los ríos, puertos y playas en la década de los setentas.

⁷³ predecir. anticiparse a los hechos. tomar en cuenta lo que no ha sucedido,

La mayor parte de la vida económica, industrial y cultural de los Estados Unidos se localiza en la zona comprendida entre los paralelos treinta y cinco y cuarenta y cinco de latitud norte. El paralelo cuarenta pasa por Philadelphia, Wheeling, Colonibus en Ohio y Springfield en Illinois, y siguiendo el límite entre los estados de Kansas y Nebraska, pasa por Denver en Colorado y llega al océano Pacífico a la altura del Cabo Mendocino, ligeramente al norte de San Francisco, California. Esta zona se extiende en la costa oriental desde Eastport hasta el cabo Hatteras (para usar la fascinante fraseología de la oficina de previsión del tiempo), de Memphis a Minneapolis en el centro, de Salem a Santa Bárbara en el océano Pacífico. Las regiones adyacentes al paralelo cuarenta parecen tener una conveniencia especial para la humanidad; en Europa esta zona se desplaza hacia el norte a lo largo de la costa occidental por el calor de la corriente del

Golfo de México, y por tanto corre diagonalmente del noroeste al sureste, desde Escandinavia hasta el Levante. Si el mapa de los Estados Unidos se colocase sobre el de Europa, cubriría desde Belfast hasta Bagdad, y de Madrid a Moscú. Abarca prácticamente toda la parte del continente europeo representada por la civilización del cercano oriente y de Europa occidental. En Asia, el paralelo cuarenta pasa por Pekín, y no lejos de Tokio.

A lo largo de esta franja (la carretera federal NO. 40), el pueblo norteamericano ha tenido que resolver la mayor parte de sus problemas de ingeniería -de transporte, saneamiento, desarrollo industrial, problemas de "forja y de granjas, de minas y de torno". Para dar solución a estas cuestiones, los ingenieros experimentan y analizan, hacen diagramas de lo pasado para predecir lo futuro, plantean datos geológicos, climatológicos, meteorológicos, hidrológicos, patológicos, y estudian las teorías de la física y de la química. En alguna forma los agrupan para uso y conveniencia del hombre. Vista en conjunto, la labor ha sido bien hecha; por lo menos, es la admiración de otras naciones.

La ingeniería trata con el hombre y su medio ambiente, con las máquinas como un substituto de la fuerza humana, y con la energía para mover esas máquinas, con los materiales y sus procedimientos de manufactura. De esta clasificación un tanto obvia de hombres, máquinas y materiales, surge, en el mundo del academismo y en las clasificaciones profesionales, el desglose en todo género de especialidades. El estudio del hombre en su ambiente natural ajustaría en forma óptima en lo que en la actualidad se conoce como ingeniería civil; las máquinas y las fuerzas están representadas por la ingeniería mecánica y la eléctrica; el desarrollo de nuevos materiales por las ramas de la metalurgia y de la ingeniería química. Algunas universidades tienen escuelas de ingeniería de cerámica, agrícola, aeronáutica y así sucesivamente en forma indefinida

En general, los problemas de los ingenieros civiles se los proporciona Dios Todopoderoso, son los de la naturaleza misma. Por otra parte, los trabajos mecánicos y eléctricos presentan problemas que el hombre, hasta cierto punto, se ha creado a sí mismo. En alguna forma, esta diferencia es fundamental en relación con los temas que deben estudiarse, el método para ese estudio y el control del resultado después que el problema se ha solucionado.

En las sociedades primitivas la familia necesitaba un abrigo, agua, algunos senderos para llevar los alimentos a su cabaña y alguna forma de desechar sus desperdicios. En un estado de la sociedad un poco más complejo, puede aspirar a utilizar el agua para hacer girar las ruedas de un molino. Los ingenieros civiles construyen el abrigo, obtienen el agua y abren el sendero. El viento y las olas, las inundaciones y el fuego, los terremotos y los aludes, el lodo y la roca y la eterna atracción de la gravedad; la necesidad del hombre de dormir y de trabajar con seguridad

y comodidad, almacenar y transportar sus cosechas, desplazarse con rapidez y sin peligros en el mar y en la tierra, beber agua pura y vivir en un ambiente saneado -todos éstos son los problemas de los ingenieros civiles.

Los ingenieros estudian tanto las necesidades humanas como los fenómenos naturales deben predecir qué cantidad de lluvia caerá, qué parte de esta lluvia es factible almacenar y en dónde, pero también requieren saber cuánta agua necesita la gente y el número de personas que la usarán. Estos dos campos del estudio dan la unidad esencial a la profesión porque todos los ingenieros, no importa cuál sea su especialidad, precisan conocer tanto las costumbres humanas como las fuerzas naturales; su labor consiste en dominar y controlar estas últimas. Los ingenieros civiles, a su vez, dependen permanentemente de los ingenieros mecánicos y electricistas para que los provean de máquinas que les permitan lograr estos fines, y de los químicos y metalurgistas para la producción de los materiales de construcción indispensables.

La ingeniería es coexistente con la civilización y siempre lo ha sido. Los y las murallas de Nínive o de Babilonia, las pirámides para sepulcro de los faraones, los muelles de los mercaderes del Mediterráneo, los puertos de la Liga Hansética,⁷⁴ los acueductos y los caminos romanos, los puentes sobre el Tíber y el Támesis, el Rhin y el Hudson, la presa Hoover o la Grand Coulee, la cloaca máxima de Roma, el canal de Panamá, los muros de defensa marítima de Galveston o las escolleras del Mississippi, las laminadoras de acero y los cobertizos de los telares, bodegas e industrias, la imaginación de las razas con un panorama caleidoscópico -cada una de ellas nos relata una historia acerca de las características de los pueblos que vivieron, cómo y por qué vivieron, lo que sabían y su manera de pensar. Todos los monumentos que el hombre ha levantado a los príncipes y a los potentados, a Zeus, Júpiter o Jehová, al comercio, a la industria o al placer, fueron sueños y planes de los hombres que los construyeron, y registran la historia de la raza, el progreso de la civilización, los cimientos de lo que es hoy y de lo que será mañana.

Las legiones marchan nuevamente, la procesión eclesiástica entra, las multitudes de los días festivos ruedan en sus automóviles. Casi todo el mundo considera que es un logro reciente, pero es más bien el resultado de un proceso largo y gradual que comenzó en los albores de la civilización.

Los malos proyectos de ingeniería entrañan fracasos y desgracias, inconveniencias, sufrimientos y la muerte. Sobreestimar la potencialidad de energía de una corriente o su rendimiento de agua disponible, las obras inapropiadas de drenaje, rutas de transporte mal localizadas o mal construidas, puentes y edificios carentes de seguridad, aprovechamientos de fuerza sin un mercado apropiado, vías férreas sin tráfico; a la larga, cada uno de nosotros pagamos la cuenta de estos errores con dinero, con inconveniencias o con nuestra salud.⁷⁵ Los juicios erróneos deben ocurrir; vivimos en un mundo de malos entendidos, falsas interpretaciones, opiniones torcidas y equivocaciones. Justamente por esta razón, los ingenieros competentes, en previsión de cometer errores, retornan para comprobar sus conclusiones con verdades sencillas,

⁷⁴ Liga de ciudades y puertos libres del norte de Europa, establecida para fomentar el comercio entre esas poblaciones y defensa de las mismas.

⁷⁵ Y que decir del mayor de todos los desperdicios humanos: la guerra. Si los esfuerzos, el dinero, la técnica, y especialmente las vidas que han costado las guerras, se hubiesen empleado en provecho del hombre y no en su destrucción, no existirían ni la miseria ni el hambre. Sobre todo porque, con la ayuda de la ingeniería, se habrían construido fuentes de trabajo y de bienestar creadora de otras fuentes de trabajo y bienestar, y éstas de otras, y otras, y así una cadena sin fin, y, en cambio, las guerras destruyen las ya creadas. Es triste pensar en lo que la ingeniería ha contribuido a las guerras; como los ingenieros han inventado y perfeccionado armas de destrucción nunca antes soñadas, todo por servir a un fin prostituido -el aniquilamiento del hombre por el hombre mismo- en vez de su provecho y beneficio..

porque los grandes principios de ingeniería son siempre simples, pueden afirmarse con sencillez, y así pueden aplicarse, aún cuando, en algunas especialidades, nadie ha logrado la simplicidad. La sola comprensión y aplicación de estas verdades caracterizan a aquellos cuya labor ha sido realmente distinguida.

Cuando parten al atardecer del extremo inferior de la ida de Manhattan los transbordadores que la conectan con los otros barrios de la ciudad de Nueva York, los detalles de los grandes edificios se desvanecen en la obscuridad, y brilla el esplendor de la ciudad de ensueño; las graciosas torres del edificio Woolworth y del Singer, y las amplias fachadas del Equitable o del Whitehall parecen flotar con gloria, destacándose la silueta de las ventanas de los pisos superiores por las luces que alumbran a los trabajadores tardíos. Abajo están las columnas de acero, las trabes, los emparrillados y los cimientos de concreto que penetran hasta el esquistoso a decenas de metros de profundidad. En el interior de la isla están las tuberías, túneles, atarjeas, conductos, y los ferrocarriles urbanos; todos proyectados al centímetro, operando al minuto. Aquí yacen las entrañas y allá las torres que encabezan la civilización.

Puede objetarse que tal civilización se levanta sobre pies de barro; quizá sea cierto, pero si la sanidad y el transporte modernos nos conducen al materialismo, que esta cultura obtenga el máximo beneficio de ellos; lean el Diario del Año de la Plaga de Defoe o los escritos de viajes del siglo XVIII. Los artistas y los poetas han buscado esta visión -el genio humano incubando a la naturaleza, y que logra la fertilidad del caos, e invoca al Todopoderoso para resguardar la vida, los bienes y el hogar contra el torrente y la tempestad, el hambre y la peste- tanto el artista como el poeta a menudo no llegan a visualizar con viveza la manifestación del progreso humano, porque conciben de una manera errónea la anatomía de las formas que intentarían delinear.

Podemos discutir indefinidamente sobre la "latitud relativa de las actividades profesionales, de los estudios de las almas de los hombres, o sus mentes, cuerpos, costumbres, o lenguajes. No importa mucho que la ingeniería se llame artesanía, profesión o arte; bajo cualquier nombre, el estudio de las necesidades humanas y de los dones divinos para que puedan conjugarse, es de una latitud suficientemente amplia para toda una vida.

EPILOGO

EXITO IMPERECEDERO

Alcanza el éxito aquel que vive con plenitud, ríe con frecuencia y ama intensamente; quien se gana el respeto de personas inteligentes y el cariño de los niños, llena su nicho y cumple con su cometido; que al abandonar el mundo terrenal, deja huella de haberlo mejorado. . . . quien siempre sabe apreciar la belleza del universo, y la puede expresar, logra descubrir lo bueno de sus semejantes y ha dado lo mejor de sí mismo; cuya vida ha sido una inspiración, cuyo recuerdo es una bendición.

Bessie A. Stenley

Hemos seguido a lo largo de este libro, ordenado en forma brillante por el Sr. Goodpasture, ideas sobresalientes de Hardy Cross expresadas en el curso de su vida profesional. Estas ideas son solamente una muestra de su manera de pensar, de sus ideales, sus convicciones, su reconocimiento de las debilidades humanas y de la grandeza de Dios y de sus leyes naturales. Nos revelan que el autor, al mismo tiempo que humanista práctico e investigador metódico, fue, hasta cierto punto, un místico de la Ingeniería.

Podrían llenarse voluminosos tomos con las enseñanzas técnicas, críticas y filosóficas del autor, puesto que las anotadas aquí son una selección. Así, con toda intención se ha evitado repetir lo que ya estaba escrito en libros anteriores, como en el célebre *Continuous Frames of Reinforced Concrete*, donde señala: "La afirmación hecha tantas veces de que las estructuras de concreto reforzado no son elásticas en realidad, porque no tienen recuperación elástica total, es perfectamente cierta, y del todo intrascendente para su análisis. . . . " y también cuando afirma: "En esencia, planificar es determinar si una obra vale la pena de llevarla al cabo, y de ser así, cuáles deben ser sus proporciones generales, cómo armonizará con el medio ambiente, qué se requiere para que cumpla con su finalidad, y de qué materiales conviene construirla". O en otra parte: "Es recomendable que el ingeniero visite el lugar donde se construirán las obras que proyecta y el terreno circundante a ellas aún cuando nada más sea para sentarse varias horas en un tocón y observarlas, lo cual implica saber qué es lo que va a buscar, comprender lo que mira, y permitir que su imaginación anticipe todas las cosas que están por venir relativas a la ejecución de la obra. . . . porque es preferible afrontar lo inesperado, si es que llega, y superar las dificultades, que apegarse con obstinación a un plan preconcebido para evitarse las molestias y el costo de modificar el proyecto". Y así, tantas y tantas concepciones sabias, recomendaciones prácticas, ideas claras y actitudes nobles. Y si en algo no llega a madurar, siembra para que otros cosechen, y puede repetir con San Pablo: "de acuerdo con la gracia de Dios que me ha sido conferida, como un sabio constructor, he tendido el cimiento para que otro edifique sobre él." (1 Corintios, 3-10.)

La forma simple y llana como el autor expresa las ideas, el lenguaje común que usa, la claridad de los conceptos, nos muestra, una vez más, que los hombres de auténtico valor no son pretenciosos, sino prudentes, ponderados y con una manera de pensar sencilla y sin complicaciones. El genial Isaac Newton, con la modestia que caracteriza a las personas con educación y cultura, afirmaba: "No sé cómo me verá el mundo; ante mí mismo, parezco un niño jugando en la playa, que se divierte encontrando un guijarro liso por aquí, una hermosa concha por allá, en tanto que el grandioso océano de la verdad yace oculto frente a mí sin que lo pueda descubrir." Y también con humildad reconoce: "Si en algo he visto más lejos que otros hombres es porque me he apoyado en los hombros de los gigantes que me precedieron." Asimismo, Laplace, hombre luminoso de gran talento, poco antes de morir exclama: "Lo que conocemos es muy poco; lo que ignoramos es inmenso."

Los ingenieros que han alcanzado renombre mundial, como Perronet, los Stephenson, Eads, los Roebling, Moersh, Turneure, Leonhardt, Terzaghi, Freyssinel, Cuevas, Ammann y Steinman, para mencionar únicamente unos cuantos, han sido, a la vez que hombres prácticos, investigadores perseverantes y cuidadosos observadores de la naturaleza y del hombre.

Una obra de ingeniería como la presente no estaría completa sin reconocer el valor incuestionable, la dedicación, el esfuerzo y el sacrificio de los modestos auxiliares del ingeniero, de quienes hacen posible sus realizaciones, desde el humilde trabajador común (peón en muchos países latino-americanos) pasando por los obreros

especializados, albañiles, carpinteros, soldadores, operadores de maquinaria, a los de más conocimientos, como dibujantes, laboratoristas y maestros de obra, sin olvidar los empleados administrativos. El conocimiento de la naturaleza humana que debe tener el ingeniero lo lleva no sólo a comprender a sus semejantes a quienes va a servir, sino también a sus colaboradores, para realizar con ellos la obra de hacer más útil y llevadera de vida humana, aprovechar los recursos de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre, y, en pocas palabras, emular al Supremo Arquitecto del Universo.

Glosario bibliográfico

Addison, Joseph. 1672-1769

Alejandro III. 1845-1894

Alicia

Aquino, Tomás de, Santo 1225?-1274?

Bacon, Francis. 1561-1626

Bacon, Roger. 1214?-1294

Billings, Josh. 1818-1885

Biot, Maurice A.

Boone, Daniel. 1735-1890

Brinnell, Johan August. 1849-1925

Brunel, Isambard Kindom. 1806-1859

Cauchy, Augustin Louis. 1789-1857

Conant, James B. 1893-?

Cooper, Theodore. 1839-1910

Cuevas, José A. 1891-1961

Da Vinci, Leonardo. 1452-1519

Darwin, Charles Robert. 1809-1882

Defoe, Daniel. 1661?-1731

Eads, James B. 1820-1887

Eisenhower, David D. 1890-1970

Freyssinet, Eugenio. 1879-1962

Galilei, Galileo. 1564-1642

Gibson, Charles Dana. 1867-1944

Green, George . 1793-1841

Guerrero y Gama, Vicente. 1911-?

Gutenberg, Johannes. 1398-1468

Hitler, Adolfo. 1889-1945

Hoover, Herbert. 1874-1964

Isaias

Jehová

Júpiter

Kettering, Charles F. 1876-1958

Laertes

Lagrange, Joseph Louis. 1736-1813

Langmuir, Irving. 1881-1951

Laplace, de, Pierre Simon. 1749-1827

Leonhardt, Fritz.

Licurgo

Lorenz, Konrad.

Love, A.E.H.

Malthus, Thomas Robert. 1766-1834

Miguel Angel-Buonarroti, Michelangelo. 1475-1564

Moersh, Emil.

Newton, Isaac. 1642-1727

Parrish, Maxfield. 1870-

Perronet, Jean Rodolph. 1708-1794

Poisson, Siméon Denis. 1781-1840

Polonius

Rafael-Sanzio, Rafaello. 1483-1520

Renant, Joseph Ernest. 1823-1892

Roebing, John Augustus. 1806-1869

Roebing, Washington Augustus. 1837-1926

Poeta y ensayista inglés.

Emperador de Rusia 1881-1894.

Personaje de la Obra de Lewis Carroll.

Profesor de la Escolástica Italiana.

Filósofo y estadista inglés.

Filósofo y hombre de ciencia inglés.

Seudónimo del humorista norteamericano Henry Wheeler Shaw.

Explorador y colonizador norteamericano.

Metalurgista sueco.

Conocido Ing. Civil inglés, proyectista de puentes famosos, barcos y gran variedad de estructuras.

Matemático y físico francés.

Químico y profesor norteamericano.

Ingeniero Civil norteamericano.

Ingeniero Civil mexicano. Precursor de la mecánica de suelos.

Pintor italiano, autor de la Monalisa (también conocida como La Gioconda) y la Ultima Cena.

Naturalista inglés.

Escritor inglés autor de Robinson Crusoe.

Ingeniero norteamericano, famoso por su proyecto y construcción de puentes y escolleras.

General de la Segunda Guerra Mundial y Presidente de los Estados Unidos (1952-1960)

Ingeniero Civil Francés. Precursor del Concreto Preesforzado (precomprimido).

Astronomo italiano.

Dibujante norteamericano, autor de ilustraciones.

Matemático inglés.

Ingeniero Civil mexicano.

Inventor de la imprenta.

Dictador alemán, iniciador del Partido Nazi y causante de la Segunda Guerra Mundial.

Presidente de los Estados Unidos (1928-1932).

Profeta del Antigua Testamento.

Nombre de Dios en el Antiguo Testamento.

Figura Central de la Mitología Romana.

Ingeniero e inventor norteamericano.

Personaje de Hamlet, de W. Shakespeare.

Geómetra y astrónomo francés.

Químico norteamericano.

Astrónomo y matemático francés.

Ingeniero Civil Alemán.

Legislador Griego.

Científico alemán, uno de los iniciadores de la Ciencia llamada "Ecología".

Inglés, dedicado a la economía política.

Pintor, escultor y arquitecto del Renacimiento italiano

Ingeniero Civil alemán, uno de los iniciadores del concreto.

Célebre físico y astrónomo francés.

Pintor, ilustrador y muralista americano.

Ingeniero Civil francés.

Matemático francés.

Personaje de Hamlet, Shakespeare.

Famoso pintor italiano del Renacimiento.

Orientalista, autor y crítico francés.

Ingeniero Civil germano-americano, iniciador y proyectista del puente de Brooklyn.

Ingeniero Civil norteamericano, concluyó el puente de Brooklyn.

Roget, Peter Mark. 1779-1869

Ruskin, John. 1819-1900

San Pablo. ?-67?

Scotus, J. Dums. 1265-1308

Shakespeare, W. 1564-1616

Sherman, W.T. 1820-1891

Smeaton, John. 1724-1792

Smollett, Tobias George. 1721-1771

Steinman, David B.

Stephenson, George. 1781-1848

Stephenson, Robert. 1803-1859

Stephenson, Robert Louis. 1850-1894

Sumner, William Graham. 1840-1910

Terzaghi, Carl. 1883-1963

Tredgold, Thomas. 1788-1829

Turneare, F.E. 1866-1951

Twain, Mark. 1835-1910

Wellington, Arthur M.

Westergaard, H.M. 1889-1950

Zeus

Escritor inglés, autor del Thesaurus, libro de sinónimos del idioma inglés.

Escritor, crítico y reformador inglés.

Apostol de los gentiles.

Teólogo escolástico escocés.

Famosísimo escritor y dramaturgo inglés.

General norteamericano.

Ingeniero Civil inglés.

Novelista inglés.

Ingeniero Civil norteamericano.

Ingeniero Civil inglés, acreditado con el invento de la locomotora.

Ingeniero Civil inglés, hijo de George.

Ingeniero Civil inglés, nieto de George.

Norteamericano, dedicado a la economía política.

Ingeniero Civil en la mecánica de suelos.

Ingeniero Civil inglés.

Ingeniero Civil norteamericano.

Seudónimo del escritor y humorista norteamericano

Samuel L. Clemens.

Ingeniero Civil norteamericano.

Físico e ingeniero norteamericano.

Figura Central de la mitología griega.

Glosario Geográfico

Allegheny
Alster
Arno
Babilonia
Bagdad
Baltimore
Belfast
Berkshires
Boston

Brandywine
Brooklyn
Cabo Girardeau

Cabo Mendosino
California
Cambriadge

Columbus
Charles
Charlestone

Chateau-thierry

Chartres
Chesapeake
Chicago

Danubio
Denver
Eastport
Elba
Escandinavia

Erie

Florenia
Forth (firth o forth)
Galvestone
Golden Gate
Grand Coulee

Hamburgo
Hatteras
Hudson

Illinois
Indianápolis
James
Kansas
Lagos de Moreno
Levante
Long Beach
Madrid
Manhattan

Mame
Memphis

Merrimac
Miami
Miami (Río)
Minneápolis

Cadena de montañas del este de los Estados Unidos.
Afluente del río Elba, en Alemania.
Río de Italia que divide a Florencia.
Antigua ciudad de Mesopotamia, Asia Menor.
Capital de Iraq, sobre el río Tigris.
Importante puerto del Este de los Estados Unidos.
Principal ciudad de Irlanda, capital de Ulster.
Montañas del oriente del Estado de Massachusetts.
Puerto del noreste de los Estados Unidos, y ciudad más importante del Estado de Massachusetts.
Arroyo del Este de los Estados Unidos.
Barrio de la ciudad de Nueva York.
Ciudad del Estado de Missouri, sobre el río Mississippi.
Cabo en California, sobre el Océano Pacífico.
Estado del poniente de los Estados Unidos.
Ciudad del Estado de Massachusetts, asiento de la Universidad de Harvard.
Capital del Estado de Ohio.
Río que desemboca en el Estado de Massachusetts.
Puerto y principal ciudad del Estado de Carolina del Sur.
Población del norte de Francia, famosa por las batallas de la primera guerra mundial.
Población francesa con una famosa catedral gótica.
Gran bahía del Este de los Estados Unidos.
Ciudad del Estado de Illinois, la segunda por su población en todo el país.
Uno de los principales ríos de Europa.
Capital del Estado de Colorado.
Puerto del Estado de Maryland.
Importante río de Alemania.
Conjunto de Noruega, Suecia, Finlandia y Dinamarca.
Uno de los grandes lagos entre Estados Unidos y Canadá.
Ciudad italiana, capital de Toscana.
Estuario en Escocia.
Importante puerto del Estado de Texas.
Entrada a la bahía de San Francisco, Estados Unidos.
Presa de almacenamiento en el N.O. de los Estados Unidos.
Principal puerto de Alemania.
Cabo del Este de los Estados Unidos.
Río del N.E. de los Estados Unidos que corre de norte a sur.
Estado del centro de los Estados Unidos.
Ciudad de los Estados Unidos, capital de Indiana.
Río del Este de los Estados Unidos.
Estado del centro de los Estados Unidos.
Ciudad de los “altos” del Estado de Jalisco, México.
Llámase así al Asia menor.
Ciudad de California, muy próxima a Los Angeles.
Capital de España.
Isla que forma uno de los barrios de la ciudad de Nueva York.
Río de Francia, afluente del Sena.
Ciudad del centro de los Estados Unidos, sobre el río Mississippi.
Río del N.E. de los Estados Unidos.
Ciudad del Estado de Florida.
Afluente del río Ohio.
Ciudad más populosa del Estado de Minnesota, y gemela de la de Saint Paul.

Mississippi	El rio mas importante de los Estados Unidos.
Missouri	Importante rio de los Estados Unidos y principal afluente del Mississippi.
Moldavia	Rio de Checoslovaquia, afluente del Elba.
Mont Saint Michel	Pequeña isla y poblado de Francia, que conserva su característica medioeval.
Moscú	Capital de Rusia.
Nebraska	Estado del Centro de los Estados Unidos.
Nínibe	Antigua capital del imperio Asirio.
Nueva Jersey	Estado del este de los Estados Unidos.
Nueva Orleans	Puerto fluvial y ciudad mas importante del Estado de Louisiana.
Nueva York	Ciudad y Estado del mismo nombre.
Nuevo México	Estado del S.O. de los Estados Unidos.
Ohio	Estado y rio del mismo nombre.
Oregon	Estado y rio del mismo nombre en los Estados Unidos.
Oxford	Renombrada universidad inglesa.
París	Principal ciudad y capital de Francia.
Pekín	Tradicional capital de China.
Philadelphia	Ciudad mas importante del Estado de Pennsylvania.
Pittsburgh	Ciudad principal del Estado de Pennsylvania, en la confluencia de los ríos Allegheny y Monongahela.
Praga	Capital de Checoslovaquia, sobre el rio Moldavia.
Québec	Ciudad de Canada y provincia del nombre.
Rhin	Importante rio del Oeste de Europa.
Rocallosas (Rocosas)	Gran macizo montañoso del oeste de los Estados Unidos.
San Francisco	Importante puerto de California y bahía del mismo nombre.
Saint Lo	Ciudad de Normandia, francia.
Saint Louis (Missouri)	Ciudad norteamericana sobre el rio Mississippi.
Salem	Ciudad en el estado de oregon, en el N.O. de los Estados unidos.
Santa Bárbara	Ciudad de California sobre el Oceano Pacifico.
Santa Fé	Capital del Estado de Nuevo Mexico.
Sena	Rio de Francia que divide a Paris.
Sierras	Cadena de Montañas del oeste de los Estados Unidos, próximas a la costa del Oceano Pacifico.
Springfield	Capital del Estado de Illinois.
Sushanna	Rio del Este de los Estados Unidos.
Támesis	Rio del sur de Inglaterra que divide a Londres.
Tennessee	Estado y rio del mismo nombre en el centro de los Estados Unidos.
Tíber	Rio de Italia que divide a Roma.
Tokio	Capital de japon.
Venecia	Ciudad del noreste de Italia, famosa por sus canales.
Vicksburg	Ciudad del Estado de Mississippi, sobre el rio de este nombre.
Virgina	Estado del Este de los Estados Unidos.
Wheeling	Estado en el este de Virginia Occidental.
White	Rio que divide a Indianápolis, y afluente del Ohio.