

EL INGENIERO



Figura 1. Mafalda de Quino

No ha habido un punto de vista más falso que aquel que visualiza a los ingenieros llegando inevitablemente a una solución única de sus problemas por medio de las matemáticas o de procedimientos de laboratorio... La ingeniería no es ciencia matemática, aunque sí aprovecha muchos de los procedimientos matemáticos. Casi en todas partes y en todos los tiempos los ingenieros han tenido una característica que los identifica: quieren anotar algunos datos, hacer una gráfica, dibujar un plano. Los ingenieros registran muchos datos, pero lo hacen como una guía para sus razonamientos, no como una respuesta a sus problemas.

Hardy Cross (1885 - 1959)
Ingenieros y las torres de marfil

Ingeniero. De ingenio, máquina o artificio.
m. y f. Persona que profesa la ingeniería o alguna de sus ramas.

Morfología. Úsese también la forma en masculino para designar el femenino. *Silvia es ingeniero.*

¿QUÉ ES UN INGENIERO?

“Me han pedidos los delegados al Congreso de Carreteras que hable, y lo hago cordialmente y espero que después de esta reunión de camaradería los ingenieros americanos se olviden definitivamente de las fronteras que los separan. Por lo demás, las fronteras no son otra cosa que líneas de cruces que dividen los colores de los mapas. Nadie, que yo sepa, ha visto al natural ni un paralelo ni un meridiano, ni la línea que separa, por ejemplo a República de Argentina de Chile. Nosotros pues, ni argentinos ni chilenos, ni peruanos ni americanos; somos únicamente ingenieros.

Hasta aquí el razonamiento es perfecto, pero, ¿qué es un ingeniero?

Algunos dicen que un ingeniero es el que aprovecha los recursos de la naturaleza en beneficio de la humanidad. Esta definición es muy satisfactoria pero ha dejado de ser exacta desde el momento que muchos ingenieros han pasado a ser empleados del Gobierno, y en lugar de aprovechar los

recursos de la naturaleza, aprovechan los recursos del presupuesto nacional.

Se afirma también que ingeniero deriva de ingenio, pero esto parece demasiado ingenioso para ser cierto.

Muchos sostienen que un ingeniero es un técnico que, para dividir 4 por 2 emplea la regla de cálculo y obtiene 2,1 ó 1.9.

Yo por mi parte afirmaré que ingeniero es un hombre que estudia seis años para ser ingeniero y que al fin comienza a serlo cuando se olvidó de todo lo que estudió.

De todo lo dicho se desprende que no es sencillo definir específicamente a un ingeniero, pero es evidente que en todo caso, el ingeniero se distingue claramente de otras profesiones. Así por ejemplo:

- El abogado enreda
- El contador complica
- El médico mata
- El ingeniero construye

Pero si bien es cierto que construye, también es cierto que los costos de la construcción crecen con el cuadrado de los tiempos; así, lo que en el anteproyecto cuesta 2, en el proyecto cuesta 4, en el contrato 16 y en la liquidación 256. Esto, por lo demás no tiene nada de particular. Todos sabemos que la naturaleza sigue leyes inmutables y de

acuerdo con ellas, los costos tienden a subir, por la misma razón de que las manzanas tienden a caer, los rendimientos a bajar, las izquierdas a ascender, los empleados a jubilar y las mujeres a engordar.

Sociológicamente además, el ingeniero se distingue por una especie de concepción físico-matemática de los problemas de la vida. Si se trata por caso el amor; un ingeniero no comprendería la concepción materialista de Casanova ni la profundidad de Etendhal: un ingeniero buscaría primero una causa física del amor, lo que terminaría relacionándola con la ley de Newton, la cual daría la interpretación de que: “La materia atrae a la materia”, especialmente cuando se trata de sexos opuestos.

Explicada de este modo la causa del amor, la mentalidad del ingeniero lo llevará a intentar una medición de la intensidad del amor. Así fue que un colega mío estableció la fórmula del amor según la cual: $\text{Amor} = (T1 - T2) / d$

Siendo:

T1: la edad de él (seg.)

T2: la edad de ella (seg.)

d: la distancia entre él y ella (cm)

Interpretando la ecuación, se deduce por ejemplo: Si T2 es mayor que T1, (la edad de ella mayor que la edad de él) el amor resulta negativo. Según donde ubiquemos los ejes de

referencia podemos considerar la distancia negativa y en ese caso el amor sería positivo en el caso que T2 sea mayor que T1. De la misma manera se deduce que a medida que la distancia disminuye, aumenta el amor y cuando la distancia se hace cero, el amor tiende infinito.

Si a estas expresiones les damos dimensiones, tenemos que el amor es igual a un cierto tiempo sobre una distancia, lo que en el sistema C.G.S. puede expresarse como segundos sobre centímetros, y he aquí como vemos que el amor se puede expresar como la inversa de la velocidad, en seg/cm.

Las definiciones y estudios psicológicos anteriores se refieren a ingeniero como unidad. Considerando los ingenieros en conjunto, en nada se diferencian de los demás hombres, y como la mayoría comienzan solteros e izquierdistas y terminan casados y derechistas. En la vida doméstica, nada pueden contra las improvisaciones verbales de su compañera, y es por eso que, acostumbrados al silencio en el hogar, se ven obligados a organizar Congresos Internacionales para tener la oportunidad de poder expresarse.”

Fuente: www.lagazeta.com.ar (Discurso pronunciado en un Congreso internacional de Ingeniería. Sin más datos)



Figura 2. Mafalda de Quino

PARA USO DEL HOMBRE DE LOS DONES DIVINOS

CONCEPTOS DEL ARTE DE LA INGENIERÍA

“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 fórmula, 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 restaurante; pero esta es una discusión de lo que debe ser un ingeniero, no de cómo usar los manuales. (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.)

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 embargo, saben que al final ninguna dificultad, esfuerzo o inconveniencia puede suprimir la necesidad que se tiene de reflexionar.

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

inacabables guerras, si no la pereza mental. El hombre profano, dotado de inteligencia con un poder creador ilimitado, acepta que le digan lo que debe hacer y creer, que debe comprar, como debe vivir. Más aún, no solo lo acepta, si no que se siente incómodo cuando no lo guían como a menor de edad o aún 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 ciegamente los dictados de la clase dominante. Y teniendo libertad, voluntad y entendimiento, renuncia a la libertad, doblega su voluntad y pervierte su entendimiento, con tal de no hacer trabajar a su capacidad esa maravilla de la creación: el cerebro humano.

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 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.

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, basándose 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.

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 pruebas.

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 esa 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 práctica se construían de madera. Como consecuencia de nuestra investigación, en la siguiente edición de las especificaciones se modificó el requisito anterior señalando en su lugar que se tomase la carga mínima real que obraría en la estructura si esa carga era favorable.

Quizá acabamos, el caso que acabamos de citar se complique por la experimentalidad. Los expertos nos ayudan mucho, pero unos cuantos, o aún varios de ellos, nos dicen un

poco. No hay una rama del estudio que requiera un entrenamiento más cuidadoso y una mente más 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.

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.

Quando un ingeniero se enfrenta a un problema profesional, lo primero que necesita hacer es tratar de comprenderlo, darse cuenta de qué es lo que tiene que resolver, cómo y cuando lo va a abordar, y hasta después, si es calculable o si sólo puede estimarse 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 más o menos estricto. Si el tiempo empleado en determinar tantas áreas, momentos y esfuerzos se aprovechan 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.

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 sazonarlos 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 encontrarán todas las características del material, porque se necesita definir antes de encontrar, e imaginarse antes de definir, lo 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, pre concepciones, preferencias, convencimientos, nociones, estimaciones y odios que les es casi imposible decir por qué piensa lo que piensa.

Dice un viejo adagio: "es de sabios cambiar de opinión". Por desgracia, mientras más viejo se vuelve uno, es más difícil cambiar de opinión: una vez que alguien ha expresado una convicción sobre algún asunto, ni el sabio más 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 más entradas en años. Es por ello que Renan afirmó: "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".

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.

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 pre concepciones, 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.

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.

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.

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 más 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.

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".

Deben mostrar una figura de la estructura en acción. Los grandes constructores han tenido necesidad de formarse en la mente tales figuras. (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.)

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.

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.). 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."

Tomado del libro "Ingenieros y las torres de marfil: Práctica, enseñanza e ideales de la ingeniería", de Hardy Cross, Ayer Co Pub, 1952.

DE LAS FUNCIONES DEL INGENIERO

La resolución de problemas es tarea común a todas las obras de ingeniería. El problema puede implicar factores cuantitativos o cualitativos, que pueden ser físicos o económicos, a demás de que exigen la matemática abstracta y el sentido común. De gran importancia es el proceso de síntesis o de diseño creativo, sumando ideas para crear una nueva solución óptima.

A pesar de los variados problemas en alcance y complejidad de la ingeniería, es aplicable el mismo enfoque general. Primero viene un análisis de la situación y una decisión preliminar acerca de un plan a seguir. En consonancia con este plan, el problema se reduce más a una cuestión categórica que se puede describir claramente. La pregunta hecha se responde entonces por razonamiento deductivo a partir de principios conocidos o por síntesis creativa, o con un nuevo diseño. La respuesta o el diseño son siempre un control de precisión y adecuación. Por último, los resultados para la simplificación del problema se interpretan en los términos apropiados del problema original.

En orden decreciente de importancia en la ciencia, las principales funciones de todas las ramas de ingeniería son las siguientes:

- **Investigación.** Usando los conceptos matemáticos y científicos, técnicas experimentales y el razonamiento inductivo, la investigación en ingeniería busca nuevos principios y procesos.
- **Desarrollo.** Los ingenieros de desarrollo aplican los resultados de la investigación para propósitos útiles. Trabajar en

aplicaciones creativas de los nuevos conocimientos puede dar lugar a un modelo nuevo de circuito eléctrico, un proceso químico o una máquina industrial.

- **Diseño.** En el diseño de una estructura o de un producto, el ingeniero selecciona métodos, especifica materiales y determina las formas para satisfacer los requisitos técnicos, y para cumplir con las especificaciones de rendimiento.
- **Construcción.** El ingeniero de construcción es responsable de la preparación del sitio, de determinar los procedimientos para cumplir con el rendimiento económico, la seguridad y la calidad deseada, de dirigir la ubicación de los materiales, y de organizar el personal y equipo.
- **Producción.** La selección de la planta de diseño y del equipo son responsabilidades del ingeniero de producción, que selecciona los procesos y herramientas, integra el flujo de materiales y componentes, y establece pruebas de control.
- **Operación.** El ingeniero de operación controla las máquinas, las plantas, el suministro eléctrico, transporte y comunicaciones, determina procesos y supervisa el personal para obtener una operación rentable y económica de los equipos complejos.
- **Administración y otras funciones.** En algunos países e industrias, los ingenieros analizan las necesidades de los clientes, recomiendan la satisfacción de necesidades a las unidades económicas, y resuelven problemas relacionados.

DEL PERFIL DEL INGENIERO

Las habilidades que un ingeniero pueda tener son la pauta para la calidad de las soluciones que pueda brindar. A menudo se conoce qué es lo que debe saber, qué tipo de conocimientos debe dominar, pero la base de su eficiencia está en las habilidades que debe poseer o necesita reforzar; algunas de éstas se enumeran a continuación:

- **Liderazgo y correcta evaluación de la información.** Son habilidades fundamentales para que un ingeniero ejerza bien su trabajo y de manera más completa.

Las responsabilidades del ingeniero y el constante flujo de información, lo obligan a desarrollar capacidades para filtrar, separar y organizar información para definir rutas y tomar decisiones. El ingeniero debe tener habilidades para dirigir grupos de personas, delegar, escuchar, convencer y buscar el bienestar de todos.

- **Capacidad analítica.** Es una habilidad a la cual el ingeniero recurre constantemente, lo que le permite encontrar la forma de plantear los problemas de manera más sencilla, descomponiéndolos en elementos de importancia y decidiendo el punto de ataque.
- **Creatividad.** El ingeniero debe inventar, crear, descubrir, buscar ser original y no dejarse llevar por lo primero que le venga a la mente, lo que significa ser innovador. La creatividad es posiblemente una de las habilidades y cartas de presentación de un buen ingeniero.
- **Capacidad de comunicar justo lo que él quiere.** Un ingeniero nunca trabaja solo, por lo tanto, debe ser capaz de saber comunicar sus ideas, de manera escrita y oral, tal como están ordenadas en su mente, para así poder trabajar en grupo y de manera interdisciplinaria. Con esta habilidad viene de la mano el poder de convencimiento, el poder de "vender" sus ideas es de suma importancia para un ingeniero que pretenda ascender en su trabajo, demostrando que puede y que sabe, convenciendo a la gente. Generalmente el ingeniero, a la hora de trabajar, no usa el lenguaje cotidiano, debe contar con el dominio de un lenguaje técnico, un lenguaje que entiendan tanto especialistas en la materia como ayudantes u obreros.
- **Capacidad de trabajar en grupo.** Generalmente los problemas que enfrenta un ingeniero no son sencillos, por eso es necesario trabajar con más de una persona para resolverlos. Todas las personas saben que "dos cabezas piensan mejor que una". Los individuos que sean parte de estos grupos podrán contar con los mismos intereses, pero no con las mismas opiniones. El saber manejar situaciones en las que hay más de una "respuesta

correcta", puede traer resultados más rápida y eficazmente. Aquí se ubica la capacidad de escuchar del ingeniero. La habilidad para reconocer errores o aceptar sugerencias puede hacer que un problema encuentre mejor solución. A veces se trabaja con personas que cuentan con conocimientos desconocidos para nosotros, por eso el ingeniero debe contar con interdisciplinariedad, para poder trabajar con personas especialistas en otras áreas.

DE LA ÉTICA PROFESIONAL

Uno de los aspectos que cada día cobra mayor relevancia dentro de la formación del ingeniero, es la ética profesional y los valores. Aunque hace un par de décadas sólo algunas escuelas de ingeniería en el mundo otorgaban créditos académicos en materias sobre ética profesional, hoy día se ha convertido en una parte importante dentro de la formación del ingeniero. En este sentido, los medios de comunicación han desempeñado una importante función al divulgar las prácticas de empresas transnacionales y las decisiones de sus directivos, las cuales en algunos casos han tenido consecuencias lamentables.

El número de casos documentados es cada vez mayor y ha llegado al grado de que casi todas las asociaciones de ingeniería publican su código de ética. Se sugiere revisar los códigos de ética y los casos (algunos incluyen respuestas) en la dirección electrónica del *Institute of Industrial Engineers* para el caso de ingeniería industrial y la correspondiente dirección para las carreras de ingeniería electrónica, ingeniería civil, ingeniería mecánica e ingeniería química; la *National Science Foundation* y en particular *The Online Ethics Center for Engineering & Science*. Asimismo, se sugiere al lector investigar en las asociaciones e institutos de ingeniería de su respectivo país.

En términos generales, la ética profesional y los valores comprenden cuestiones de responsabilidad, solución de problemas y toma de decisiones ante diversas situaciones. Día a día, el ser humano se enfrenta a la necesidad de hacer elecciones para cada actividad que realiza, y en esto se funda la necesidad de la ética. Siempre existe una infinidad de opciones a elegir, siempre hay más de una forma de realizar una asignación,

más de una manera de resolver un problema. Así, el hombre, elige la manera que más le agrada, que más le conviene, optando por una alternativa y no por otra.

Se sabe que una persona puede desempeñar bien o mal una tarea, hacer daño o ayudar a otro de distintas maneras, elegir una herramienta en lugar de otra, etc. Aquí es donde la ética entra en funciones: brindar una opción basada en experiencias de asuntos humanos. El hombre es libre, por eso puede elegir, con esa libertad vienen la ética y, por supuesto, muchas responsabilidades. La ética es como una guía en la toma de decisiones, estas decisiones no habían sido siempre notorias en el ámbito de las actividades técnicas.

El hecho de que la tecnología haya evolucionado tanto en las últimas décadas, ha provocado que los planes de estudio de las carreras de ingeniería cambien, y con esto ha crecido el interés por la importancia de la responsabilidad ética y social de los ingenieros, así como de los valores que deben tener.

El ingeniero lleva consigo la enorme responsabilidad de la toma de decisiones, es por eso que formar profesionales técnicamente aptos y competentes y, que además, cuenten con una sensibilidad ética y con valores, es todo un reto. Para que un ingeniero cumpla su deber tanto técnica como éticamente, necesita dominar los siguientes conceptos: tener un juicio ético, sensibilidad ética, conocer estándares de conducta y actuar éticamente (saber actuar bien sin que nadie se lo indique). Todos los conceptos anteriores coinciden en que la responsabilidad profesional está fundamentada por éstos, es decir, al adquirir estos conocimientos, se convierten en una responsabilidad moral. Así, el ingeniero debe utilizar la ética de la manera más adecuada para alcanzar sus metas.

Un ingeniero responsable tiene como objetivo la creación de un producto o servicio tecnológico seguro y, sobre todo, útil, para que el cliente se sienta satisfecho y seguro al usarlo, en caso de que tuviera algún riesgo. Esta creación conlleva una responsabilidad, un compromiso con la sociedad de mantener siempre su bienestar,

su salud y su seguridad. El problema del ser humano como individuo es que cada uno tiene intereses personales, los cuales afectan directamente la ética en la ingeniería. Actividades como lealtad a los compañeros o socios, lealtad a la empresa, entrega de cuentas claras, manejo correcto de información clasificada, podrían resultar afectadas si se incurre en actos deshonestos como sobornos, actos de cohecho, venta de información, etc.

Existen varios códigos de ética que a lo largo del tiempo se han incluido en la educación del ingeniero, pero el instrumento que más respuesta ha tenido es el método de usar y resolver casos. Estos pueden haber sucedido en la vida real o ser ficticios con supuestos definidos. Se brinda al alumno toda la información necesaria sobre los mismos, y su deber es resolverlos de la mejor manera posible, dándole, obviamente, prioridad a la ética. Esto puede ir desarrollando un sentido o habilidad ética para resolver problemas que se verá reflejado en la práctica.

Las instituciones educativas deben preocuparse porque sus estudiantes

desarrollen una conciencia social. Los jóvenes cuentan con la habilidad y motivación para realizar correctamente los trabajos o tareas que les son asignados, es por ello que en esta etapa se debe cultivar esta conciencia.

Todos los proyectos de ingeniería deben ser analizados siempre desde al menos cuatro perspectivas: la factibilidad técnica, social, económica y ambiental.

En todo el mundo se viven cambios constantemente, cambios que no siempre traen buenas consecuencias; por ello, resulta de suma importancia incrementar el número de personas capaces de aplicar todos sus conocimientos de una manera responsable, no sólo en el aspecto técnico, sino también en el ético.

En muchos países y en distintas organizaciones e instituciones se crean códigos de ética para que el ingeniero los aplique al realizar su trabajo. La mayoría de éstos incluyen códigos con principios fundamentales que consideran las actividades del ingeniero.

**HAZ PARTE DE UNA TRADICIÓN HISTÓRICA
¡SÉ INGENIERO!**

