

- recto comparado con el mejor procedimiento" para resolver un problema dado. Escriba un breve ensayo sobre el tema.
2. Hay un período óptimo (en días de calendario) para la terminación de un proyecto. Trácese las gráficas (no es necesario usar escalas) que representen los principales costos conflictivos y el costo total. ¿Qué importancia tiene esto con respecto a los proyectos de llevar al hombre a la Luna y del aeroplano supersónico de pasajeros, que son ambos programas de urgencia?
 3. De uno de sus cursos actuales escoja un tipo particular de trabajo —de cálculo, de predicción, de medición, etc.— y describa el mayor número que pueda de métodos alternativos para hacer tal trabajo. Indique los criterios que utilizaría para elegir el mejor procedimiento para un caso particular.

La ingeniería y la sociedad

LAS HERRAMIENTAS o medios de trabajo, las máquinas y las construcciones generalmente tienen gran influencia sobre la vida de los hombres; muchas de ellas han estado íntimamente relacionadas con importantes eventos políticos, sociales, bélicos y económicos de la historia. Por ejemplo, consideremos las acciones recíprocas de índole comercial, cultural y política entre diversas naciones cuando fueron apareciendo navíos capaces de atravesar los grandes mares; el incremento de la productividad agrícola que resultó del reemplazo del arado de madera por el de hierro; el efecto de la imprenta sobre la preservación y divulgación de los conocimientos; el impacto militar y político de la aparición de una nueva arma, tal como la bomba atómica; la gran influencia social y económica del automóvil. Los anteriores no son los únicos efectos de estos artefactos, ni tampoco son ellos los únicos objetos que han tenido importantes consecuencias para la humanidad.

Los aparatos, estructuras y procesos tecnológicos creados por los ingenieros de nuestros días no son diferentes en este aspecto. Tales obras influyen significativamente en el bienestar físico y la seguridad personal del hombre, en su locomoción, en la facilidad con que puede comunicarse, en la educación que necesita, en la duración de su vida, en el tiempo, contenido, exigencias físicas y estabilidad de su trabajo, en sus actividades de recreo y en su ambiente físico. De hecho, nuestros sistemas económicos, sociales, políticos y militares son afectados y dependen notablemente de las obras de ingeniería.

Consideremos uno de estos aspectos, el ambiente físico. El área urbana densamente poblada, con sus altos edificios, instalaciones, ruido, congestión de tránsito y aire contaminado; las carreteras de alta velocidad; las obras hidráulicas, como presas y canales. Todos estos son aspectos de nuestro ambiente exterior del que la ingeniería es responsable en alto grado. Y

Despepitadora de algodón

Aeroplano

Motor eléctrico

Televisión

Fusil

Elevador

Estufa de gas

Computadora

Radar

Linotipo

Máquina de vapor

obsérvese que se puede tener también un ambiente interior muy próximo a lo ideal, independientemente de cuales sean las condiciones externas de iluminación, temperatura y humedad. Los efectos de este ambiente artificial no son sólo físicos. Recuérdese que el comportamiento de una persona está determinado en parte por lo que la rodea y, en consecuencia, los ingenieros influyen indirectamente sobre la conducta humana por medio de las obras que alteran el ambiente de una comunidad.

El principal objeto de esta descripción ha sido despertar en el lector su "conciencia de los efectos", es decir, hacer que se dé cuenta de los efectos tan profundos de las obras de ingeniería. *Todo lo que usted produzca como ingeniero inevitablemente afectará a la gente, probablemente a muchas personas, en numerosas formas.* Para desarrollar tal conciencia se recomienda dedicar unos minutos a la Fig. 1, en la que aparece una lista de algunas de las muchísimas obras de ingeniería que han afectado significativamente la vida de los hombres. Se sugiere reflexionar por un momento en cada una, visualizando los efectos que usted sepa o pueda imaginarse fácilmente que han tenido sobre la gente.

La sensibilidad de un ingeniero al efecto de sus soluciones es importante por dos razones. La gente interviene *directamente* en las obras que produzca, como usuarios, operadores y conservadores de ellas. Así, son las *personas* quienes pilotean aeroplanos, utilizan los medios de transporte, reparan automóviles y manejan máquinas en las fábricas. *De la efectividad con que los diseños de uno satisfagan a la gente dependerá especialmente el concepto que se formen de uno como ingeniero.*

Pero un aeroplano de reacción produce un ruido que molesta a los habitantes de muchos lugares; la utilización de máquinas en las minas ha afectado a los mineros, a sus familias y a comunidades enteras; el puente de Verrazzano-Narrows ciertamente significa algo más para los residentes de Staten Island (que antes formaban una comunidad relativamente aislada) que sólo un medio más conveniente de ir a otras partes de la ciudad de Nueva York; la construcción de una fábrica para manufacturar el desalador de agua (véase la pág. 19) en una zona semirrural afectará de seguro a esta región, pues creará nuevos empleos, aumentará el tránsito y producirá "inflación local"; un túnel o puente que cruce el canal de la Mancha acentuará notablemente la interacción de los pueblos de varias naciones. Así, pues, las obras de ingeniería afectan *indirectamente* a la gente en diversas formas. *También de los efectos secundarios, buenos y malos, de las*

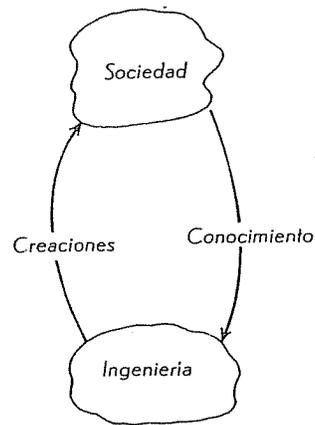


FIGURA 2.

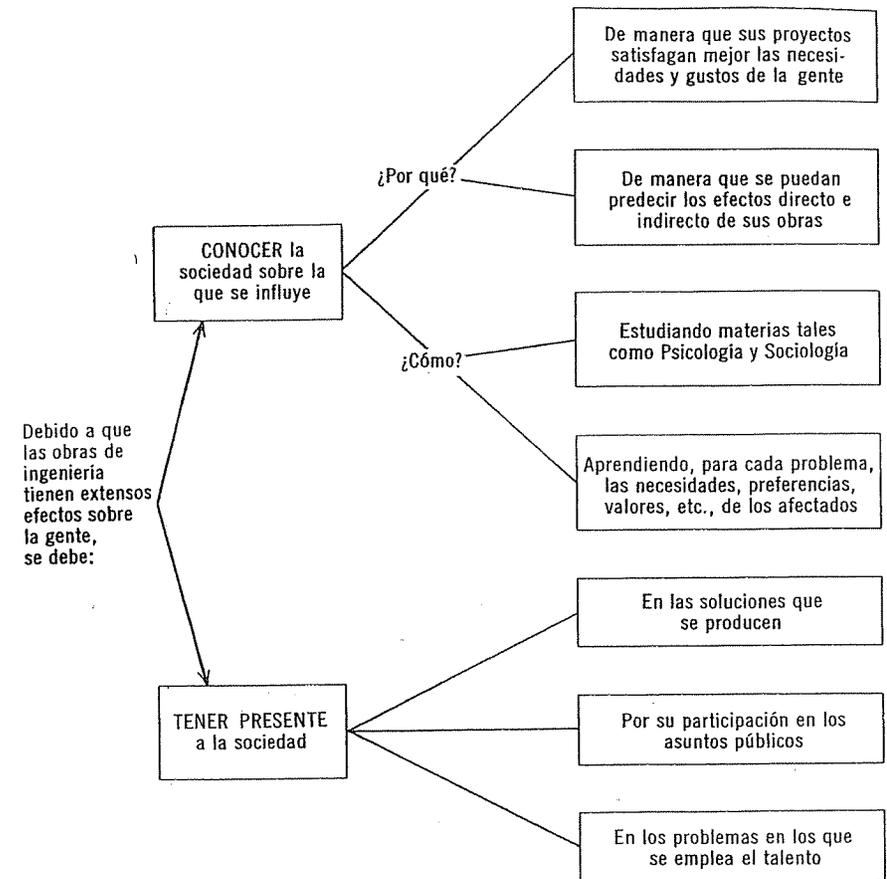


FIGURA 3. Resumen del capítulo 14.

soluciones que se creen, dependerá el juicio que tengan de uno como ingeniero. Si sus obras han de servir bien a la gente y usted ha de ser juzgado favorablemente en ambos aspectos, deberá "conocer" la sociedad a la que afectarán sus soluciones y *tener en cuenta* el bienestar de ella (Fig. 3).

Conozca al ser humano y su comportamiento individual y social. Lo que la gente necesita, prefiere y tolera, debe influir marcadamente en las características de sus diseños. Si usted diseña un nuevo sistema de tránsito de alta velocidad para una población y busca satisfacer al mayor número de personas, es conveniente que conozca sus necesidades y deseos. ¿Adónde querrá viajar la gente y en qué momento? ¿Qué importancia conceden las personas a su privacidad o aislamiento en un auto en relación con la frecuencia de las paradas de un

ómnibus y a su comodidad en relación con otros criterios? ¿Hay suficientes personas dispuestas a ceder la privacidad e independencia proporcionada por los automóviles para hacer factible un nuevo sistema de tránsito de alta velocidad? ¿Cómo reaccionarían ante la construcción de estructuras de soporte para ferrocarriles elevados que crucen zonas suburbanas? ¿Qué intensidad de ruido tolerarían? El hallar respuestas a estas preguntas es parte del proceso de conocer a la gente que será afectada directa e indirectamente por el sistema. Durante el diseño se utilizará esta información para predecir cómo reaccionará la gente a las alternativas que se están considerando (es decir, ferrocarriles elevados o subterráneos, vehículos individuales o colectivos) en el intento de maximizar la satisfacción y minimizar la oposición o resistencia.

Si se tendrán que predecir completamente las influencias económicas, sociales, culturales y políticas de las soluciones alternativas, conviene aprender de estos asuntos en la universidad. Se recomiendan para este objeto los cursos de economía, psicología, sociología, ciencias políticas y humanidades. Asimismo, se debe estudiar a fondo la influencia de algunos artefactos como los enlistados antes. Será una provechosa experiencia para el lector analizar cómo influyen varios de ellos, incluyendo los efectos directos e indirectos, tanto adversos como benéficos. Desafortunadamente esta clase de cursos raramente se incluyen en los planes de estudios de ingeniería, de modo que es algo que debe hacerse por iniciativa propia.

Atención al bienestar del hombre. Es de esperarse que se tenga interés en algo más que en los efectos de gran alcance de las obras de ingeniería; también tendrá uno que estar realmente interesado en la gente afectada. Una cosa es saber que los habitantes de muchos pequeños poblados sufrirán grandes trastornos por la construcción de una presa, y otra cosa es saber lo anterior y tratar efectivamente de reducir al mínimo los daños y perjuicios, y facilitar los ajustes económicos, sociales y personales.

Por ejemplo, un ingeniero consultor prepara recomendaciones para un proyecto de renovación urbana. Una de las alternativas principales consiste en restaurar las viviendas existentes en el área; otra sería despejar toda el área y construir nuevos edificios. Los costos de construcción de las alternativas son relativamente fáciles de estimar. Pero hay otros factores que se deben considerar: las consecuencias sociales, que son enteramente distintas de las alternativas disponibles. Sería conveniente que el ingeniero considerase estos efectos sociales secundarios, junto con los costos tangibles, al formular sus recomendaciones. Es de esperarse también que, sin importar cuál

sea el plan que proponga, incluya en sus recomendaciones sugerencias para minimizar los costos sociales y maximizar los beneficios del proyecto.

Se ha criticado a los ingenieros el mostrar insuficiente interés sobre las implicaciones totales de sus obras, en especial en los efectos indirectos y a largo plazo. Muchas de estas críticas están mal dirigidas; cuando una compañía fabricante de automóviles eleva la potencia de sus autos sin ninguna razón, a los ingenieros que diseñaron el motor sólo puede culparse por seguir las órdenes de los dirigentes de la empresa que tomaron esa decisión. Sin embargo, tales críticas están suficientemente justificadas para merecer una seria consideración de las recomendaciones hechas en este capítulo.

No sólo por las censuras a equivocaciones pasadas está uno obligado a tomar en consideración tales asuntos. Después de todo, los ingenieros *son* creadores tanto de cambios sociales como de cambios físicos, y *deben* conocer y tomar en cuenta a los beneficiarios y a las víctimas de sus obras. Es muy necesario que los diseños satisfagan en el mayor grado necesidades y deseos humanos, que uno prediga inteligentemente las consecuencias completas de las soluciones que considera, que minimice efectivamente los inconvenientes sociales y maximice los beneficios de igual índole de las obras de ingeniería, y que se resista a las presiones para especificar una solución que aumente las ganancias de particulares a expensas de la seguridad pública.

De paso diremos también que hay más de una forma de expresar el interés social (Fig. 3). También puede manifestarse por la participación en las funciones públicas, que van desde los cargos desempeñados en dependencias gubernamentales, hasta las actividades informales del ciudadano preocupado por el bienestar público. *Hay una gran necesidad de todas estas formas de participación de los ingenieros en los fenómenos sociales.*

Los funcionarios públicos realizan muchas decisiones difíciles de índole ingenieril en que intervendrá el dinero de los ciudadanos que pagan impuestos; decisiones relativas a la construcción de presas, carreteras, aviones supersónicos, sistemas de cohetes o misiles balísticos, trenes de alta velocidad, exploración de la Luna, sistemas de computadoras, servicios de abastecimiento de agua, medios de combatir, la contaminación ambiental, sistemas de control de tránsito, satélites meteorológicos, etc. Puesto que hay muchas alternativas de ingeniería y los fondos públicos *son* limitados, los dirigentes gubernamentales deben decidir qué proyectos pueden propugnar y cuáles otros tendrán que abandonar o posponer. Las decisiones mili-

tares también han llegado a ser técnicamente muy complejas. Comprenden refinados sistemas de armas, grandes sistemas de computadoras, redes de vigilancia constituidas por estaciones de radar, satélites y aviones especiales, complicados sistemas de comunicación, grandes obras de construcción y otros elementos similares. Estos son también problemas principalmente de ingeniería, que comprenden muchas alternativas y decisiones muy difíciles, y en estos aspectos son semejantes las situaciones militares y civiles. La diferencia entre las dos es que la organización militar emplea bastantes ingenieros, directa o indirectamente, para que la auxilien a tomar tales decisiones, mientras que en los organismos civiles muchas veces se carece de ellos. Las dependencias gubernamentales necesitan la participación de más ingenieros en las obras y servicios públicos, y otros más que contribuyan activamente, con sus conocimientos y aptitudes especializadas, como ciudadanos interesados en el bienestar público.

En algunos casos hay muy pocos ingenieros al servicio del Gobierno y autoridades estatales y municipales. En vista del creciente contenido técnico de las disposiciones legislativas, administrativas y jurídicas en todos los niveles del Gobierno, cada vez hacen falta más ingenieros que trabajen en tales funciones. De manera que en estos casos hay grandes oportunidades de empleo.

Otra forma en que pueden servir socialmente los ingenieros es en asociaciones civiles o de ciudadanos. Son obviamente importantes las aportaciones que pueden realizar como miembros de juntas escolares, comisiones de renovación y mejoramiento urbano, comisiones de desarrollo industrial y agrupaciones semejantes. Sin embargo, no es tan obvia la necesidad de ingenieros para comunicar al público general las potencialidades de la ingeniería moderna, los fines a que se destinan en esta área los impuestos recaudados y las diversas oportunidades que existen. Es sorprendente saber cuántos ciudadanos ignoran casi totalmente la magnitud de los recursos financieros que derrochan los gobiernos en el desarrollo de determinados proyectos de ingeniería, y ni siquiera se dan cuenta que para tal fin se emplea el dinero de los impuestos que pagan. ¿Cuántos saben en los Estados Unidos, por ejemplo, que un aeroplano VTOL es factible y está en la etapa de prototipo, y que este proyecto recibe sólo una pequeñísima fracción del dinero asignado al desarrollo del avión supersónico de pasajeros? ¿Sabe la gente en realidad lo que le costará finalmente una exploración lunar enviando hombres al satélite? ¿Se da cuenta del incremento en el costo por tratarse de un programa de urgencia? ¿Se percata de que la Luna podría explorarse a

un costo mucho menor enviando máquinas e instrumentos controlados desde la Tierra?

¿Cuántos, si es que lo saben, querrían que este dinero se gastara mejor en más servicios educativos, o en mayores y más confiables abastecimientos de agua, o en alguna de los cientos de alternativas pendientes? En el pasado, la mayor parte de la gente sabía adónde iban sus pagos de impuestos y cuáles eran las escasas alternativas para su destino; por ejemplo, para construir caminos, recolectar escombros o desechos, proporcionar protección contra incendios o comprar fusiles para el ejército. Pero ahora la situación es enteramente distinta: se tienen muchas más alternativas, éstas son más complejas y muchas de ellas son menos obvias y, de hecho, desconocidas por el grueso de la población. Precisamente ahora la mayoría de los ciudadanos tienen sólo una vaga idea de cómo se están utilizando en la ciencia y la ingeniería las contribuciones que pagan, y conocen aún menos las numerosas alternativas en que tales fondos podrían emplearse. Deberían ser informados para que pudieran expresar sus preferencias u opiniones a sus gobernantes. Por lo tanto, se recomienda que todo ingeniero, por cualesquiera medios posibles, haga su parte ayudando a instruir al público sobre estos asuntos. Esta *es* una situación grave, pues a medida que pasa el tiempo más y más decisiones que importan muchísimo dinero son tomadas por un puñado de personas sin que la ciudadanía se entere siquiera de ello.

Hay todavía otra forma en que los ciudadanos-ingenieros participen en los asuntos públicos: *tomando partido* en la opinión pública crítica y *dando a conocer* sus puntos de vista. Por ejemplo,* como quizá se haya advertido, el aeroplano de transporte supersónico no tiene una posición muy elevada en la lista de prioridades del público general sobre los gastos realizados por el Gobierno, comparándolo con el desarrollo de medios de transporte sobre tierra más rápidos y seguros, con los aviones VTOL y con numerosas otras alternativas. El autor leyó con agrado que el director de una revista de ingeniería escribió:

Dado que menos del 15% de la población de los Estados Unidos ha estado a bordo de un aeroplano y que quizá sólo el 3% de ella viaja regularmente por aire, me parece que todo mundo está obligado a intervenir al respecto. Consideremos el muy debatido caso del avión de transporte supersónico. Como una amplia aplicación de nuestra tecnología más avanzada, tiene pocas objeciones. Pero aunque puede darnos mucho prestigio internacional, lo que necesitamos

* Aunque lo que se menciona aquí se refiere exclusivamente a los ciudadanos de los Estados Unidos, tiene bastante importancia y sirve para formar un criterio general. (N. del T.)

en realidad es un mejor transporte masivo. Además, no se ha tomado en cuenta en el grado necesario cómo afectará el avión supersónico de pasajeros la vida de los habitantes de las zonas urbanas y suburbanas.**

Tales expresiones resultan del agrado del autor porque desea que un mayor número de ingenieros haga oír su voz, ya sea que esté o no de acuerdo con ellos (aunque en este caso coincide totalmente con la opinión citada). Sin embargo, el autor con frecuencia lee o escucha quejas como ésta:

Recientemente se produjo una controversia acerca de un plan para construir una carretera a lo largo del frente del lago de Chicago. Es interesante observar que cientos de individuos y una veintena de organizaciones manifestaron su opinión: haciendo comentarios, solicitando cambios o buscando la oportunidad de participar en el planeamiento de esa obra. No puedo recordar que un solo ingeniero (fuera del Gobierno) hablara en pro o en contra. Y según sé, ninguna sociedad local de ingenieros manifestó interés alguno. ¡No sucedió así con otras profesiones! Los arquitectos y los planificadores urbanos fueron muy pródigos en sus opiniones, algunas de ellas bastante volubles.***

Hay que tomar partido contra las proposiciones de obras que pudieran contaminar la atmósfera y las corrientes de agua, poner en peligro la salud pública, desfigurar el paisaje, o bien, contra las que carezcan de sensatez, de ética, o de estética, o sean indeseables en cualquier otro modo. ¡Los ingenieros *deben hablar!*

Como se ve en la Fig. 3, una tercera alternativa para la participación social de un ingeniero corresponde a los problemas particulares que haya elegido resolver. Por ejemplo, a continuación presentaremos un tipo de problemas digno de su talento y en el cual quizá no haya pensado mucho. El avión VTOL, los procesos básicos para convertir grandes masas de agua salada en potable, el riñón artificial y una multitud de otras obras potencialmente muy importantes, están en una etapa crítica de su evolución. Tales proyectos, como la mayor parte de las obras de ingeniería, deben convertirse de ideas puramente abstractas en objetos técnica y económicamente "adaptados a las masas". Este es el momento en que son especialmente importantes la aptitud de simplificar, la perseverancia y el interés en el bien común. La energía atómica es un buen ejemplo; se necesitaron casi veinte años de esfuerzos de mejoramiento técnico y económico para llevarla al punto en

** Ford Park, "In Our Opinion" (En nuestra opinión), *International Science and Technology*, octubre de 1965.

*** John G. Duba, "Interprofessional Relationships in Environmental Design" (Relaciones interprofesionales en el diseño de obras que alteran el ambiente), *Civil Engineering*, febrero de 1966.

que pudiera competir con la energía hidráulica y la obtenida de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). O bien, consideremos el riñón artificial. Ya ha sido inventado, pero queda por resolver un gran problema: reducir su costo, de manera que nadie muera porque le sea imposible darse el lujo de adquirir uno, o no haya suficientes aparatos para todos los enfermos. Es cierto que este tipo de trabajo de ingeniería no da tanta fama como la invención de una nueva máquina o un aparato como el riñón artificial, pero verdaderamente no es menos importante para la humanidad. Estos y numerosos otros conceptos de gran potencialidad, esperan el interés y el empeño de muchos buenos ingenieros.

Muchos otros problemas resueltos insatisfactoriamente necesitan el talento del lector y son dignos de él; en el siguiente capítulo se describen muchos de ellos. Pero también hay problemas en los que un ingeniero no debe desperdiciar su tiempo ni su talento. Lo que usted elija hacer a este respecto dependerá de sus aspiraciones y evaluaciones personales. Basta decir que la profesión necesita hombres que se interesen en *la causa y en el valor* de los problemas que se les presentan, que tengan el suficiente carácter para decir ¡no! a un trabajo indigno de ellos, que sepan oponerse y resistir a ofertas contrarias a su ética profesional. Siempre habrá un puesto para ingenieros de esta talla.

Ejercicios

1. Sir Eric Ashby escribió una vez que un buen ingeniero puede "entreteter su tecnología en la tela de la sociedad". ¿Qué supone usted que quiso decir con esto?
2. Escriba un artículo en el que analice la influencia económica, social, política, militar y cultural de una de las obras de ingeniería mencionadas en la Fig. 1, pág. 187.
3. Un ingeniero cree que son inseguras algunas características de una tubería que su compañía está por instalar. ¿Qué debe hacer en este caso? (Este es un asunto de controversia, de manera que no existe tal cosa como LA respuesta. Pero USTED debe pensar muy detenidamente en lo que haría en tales circunstancias.)
4. La presa de Asuán (en Egipto) que se construyó en el río Nilo ha tenido efectos de gran alcance. Analice usted la influencia de esta obra y las medidas que los ingenieros han tomado para reducir al mínimo los efectos nocivos.
5. Uno de los más ilustres veteranos de la ingeniería exhorta a los jóvenes que ingresan a la profesión a que sigan una "política de compromisos". Escriba un ensayo sobre lo que usted crea que quiere decir él con eso.