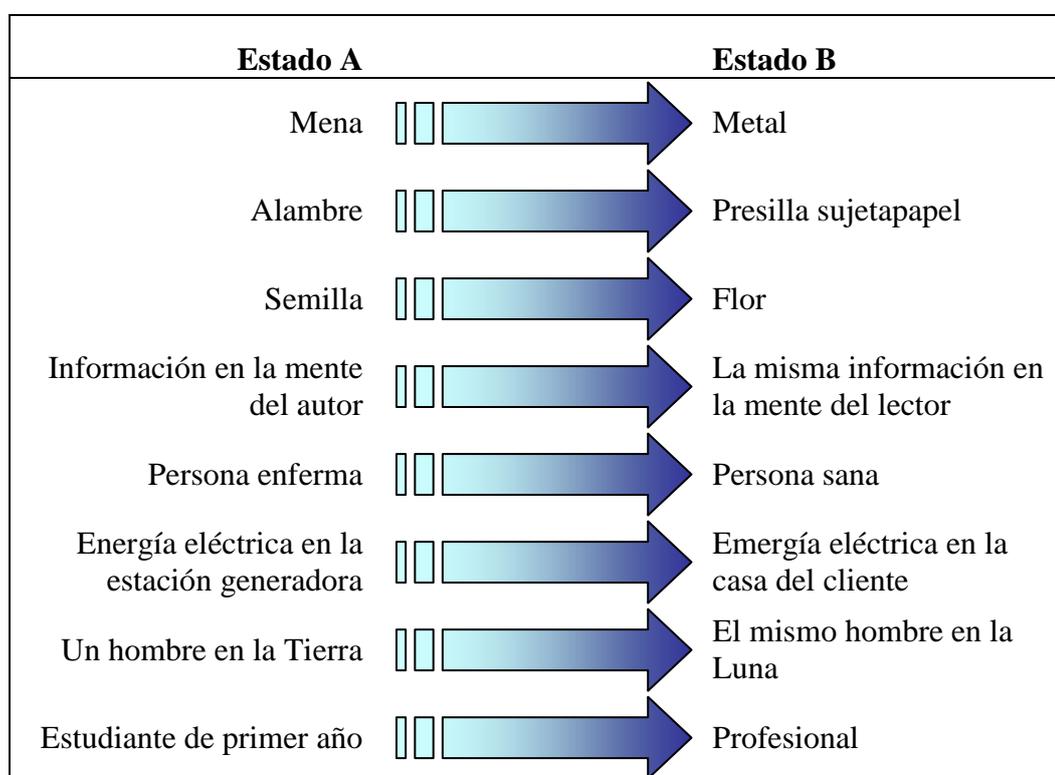


## CAPÍTULO VIII

### EL ENFOQUE INGENIERIL PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

¿Qué caracteriza la situación denominada un problema? Si este es un término de uso común, cabe preguntar: ¿Cuál es su significado? ¿Qué es lo que tienen en común todos los problemas? Probablemente, las respuestas que el lector obtenga de preguntas como las anteriores, son vagas e incompletas. Obviamente, este capítulo debe iniciarse con una introducción general sobre las características de un problema, ya que una discusión sobre la ingeniería es, esencialmente, una discusión sobre problemas y de los métodos respectivos de solución, cosa que no puede hacerse sin la interpretación específica y exacta del término.



Un problema surge cuando existe el deseo de transformar un estado de condiciones, en otro. Haciendo uso de la intuición geométrica, podemos imaginar a los dos estados como puntos del espacio, en cuyo caso, la distancia entre esos puntos puede interpretarse como "las cosas que hay que hacer". Así, por ejemplo, el problema puede consistir en cruzar un río; en trasladarse de una ciudad a otra; de un planeta a otro, o una cualquiera de la infinidad de situaciones en las que es preciso trasladarse de un lugar a otro. En otros casos, el problema involucra una transformación de condiciones; por ejemplo, de pan normal a pan tostado. En cualquier problema existe un estado original de condiciones al que, en lo sucesivo, nos referiremos como estado A; o como el insumo, o datos de entrada. Igualmente, existe un estado de condiciones (objetivo o resultado) respecto al cual la persona encargada de la solución del problema trata de hallar el medio de alcanzarlo, y al cual, en lo sucesivo, lo llamaremos estado B, resultado, producto, o salida. En la siguiente figura se muestran algunos problemas conocidos, esquematizados desde este punto de vista.

Una característica de la mayoría de los problemas es el gran -a menudo infinito- número de soluciones posibles; es decir, de formas diferentes para lograr pasar de un estado de condiciones a

otro. Como ejemplo, basta considerar que, para trasladarse de un punto de la superficie terrestre a otro, existen muchas rutas y medios de transporte posibles; algunas de ellas no merecerían consideración alguna, pero, como soluciones posibles, existen. Esta situación es de esperarse, ya que, en el caso de que sea única la forma de lograr el resultado deseado, realmente, el problema no existe.

Análogamente, cuando todas las soluciones posibles son cualitativas y cuantitativamente iguales, el problema deja de existir. Por eliminación, podemos concluir que un problema involucra algo más que hallar una solución cualquiera; requiere encontrar el mejor método para lograr la transformación deseada. A las bases que permiten seleccionar la mejor solución posible se les conoce como el criterio, bases éstas que pueden variar dentro de límites muy amplios; así, por ejemplo, la mayoría de las personas reaccionan de manera muy diferente con respecto al costo, rapidez, grado de seguridad, confortabilidad y confiabilidad de los diferentes medios posibles para viajar.

Si los estados A y B no son idénticos, debe verificarse una transformación o, como suele decirse, deben ocurrir ciertas cosas. Así, para pasar de los distintos componentes de un reloj a la forma final de este, las distintas piezas deben ensamblarse y algunas de ellas deben montarse antes que otras; para que las plantas se desarrollen, debe suministrarse agua, luz y ciertos nutrientes. Por razones físicas, esas cosas deben ocurrir o deben proporcionarse, a fin de que se realice la transformación deseada. La naturaleza no es la única fuente de los "debe", sino que algunas características ineludibles de la solución suelen provenir de especificaciones que establece una autoridad a la que está supeditada la persona encargada de la solución del problema. Ejemplos de esta naturaleza lo son el problema de cruzar un río cuando para ello se ha especificado un puente, y el problema de tostar el pan cuando se especifica que debe emplearse una tostadora eléctrica. En lo sucesivo, llamaremos restricciones a ese conjunto de cosas que deben ocurrir o verificarse en una solución aceptable de un problema dado, bien sea por razones físicas, o por decisiones previamente tomadas.

Resumiendo, se dice que un problema existe si hay un deseo de lograr una transformación de un estado de situaciones a otro, siempre y cuando haya mas de una manera posible de lograr dicha transformación, que las diferentes soluciones posibles no tengan el mismo grado de aceptación y que no sea palpable el grado de aceptación relativa de las diferentes soluciones posibles.

La característica predominante de un problema es la transformación deseada conforme a lo especificado por los estados A y B. En la Fig. 2 se muestra una manera adecuada de visualizar un problema, y que al mismo tiempo enfatiza el aspecto transformación. En esta formulación del problema mediante la "caja negra", los diversos procedimientos para efectuar la transformación deseada se visualizan como el contenido, temporalmente no especificado, de la caja negra, con entrada y salida (estados A y B, respectivamente) dadas. En el contenido de la caja hay restricciones si va a ocurrir el cambio indicado y si existe un criterio para evaluar las distintas soluciones posibles.

A diferencia de los problemas que normalmente deben resolver los estudiantes de ingeniería, los problemas reales a menudo no están estructurados y son de carácter abierto. En ocasiones, no se conocen o están disponibles todos los datos requeridos. En otros casos, es necesario buscar entre una gran cantidad de información e identificar qué partes de ésta se necesitan para resolver el problema en cuestión.

Algunas veces los ingenieros novatos se sorprenden al descubrir que un problema puede no tener una única solución definitiva. Con frecuencia, el objetivo consiste en seleccionar una cierta solución entre otras alternativas. Tal vez se requiera sopesar varias consecuencias conflictivas de una acción ingenieril y entonces seleccionar la solución que mejor satisfaga las necesidades y deseos de un empresario, cliente o del público en general.

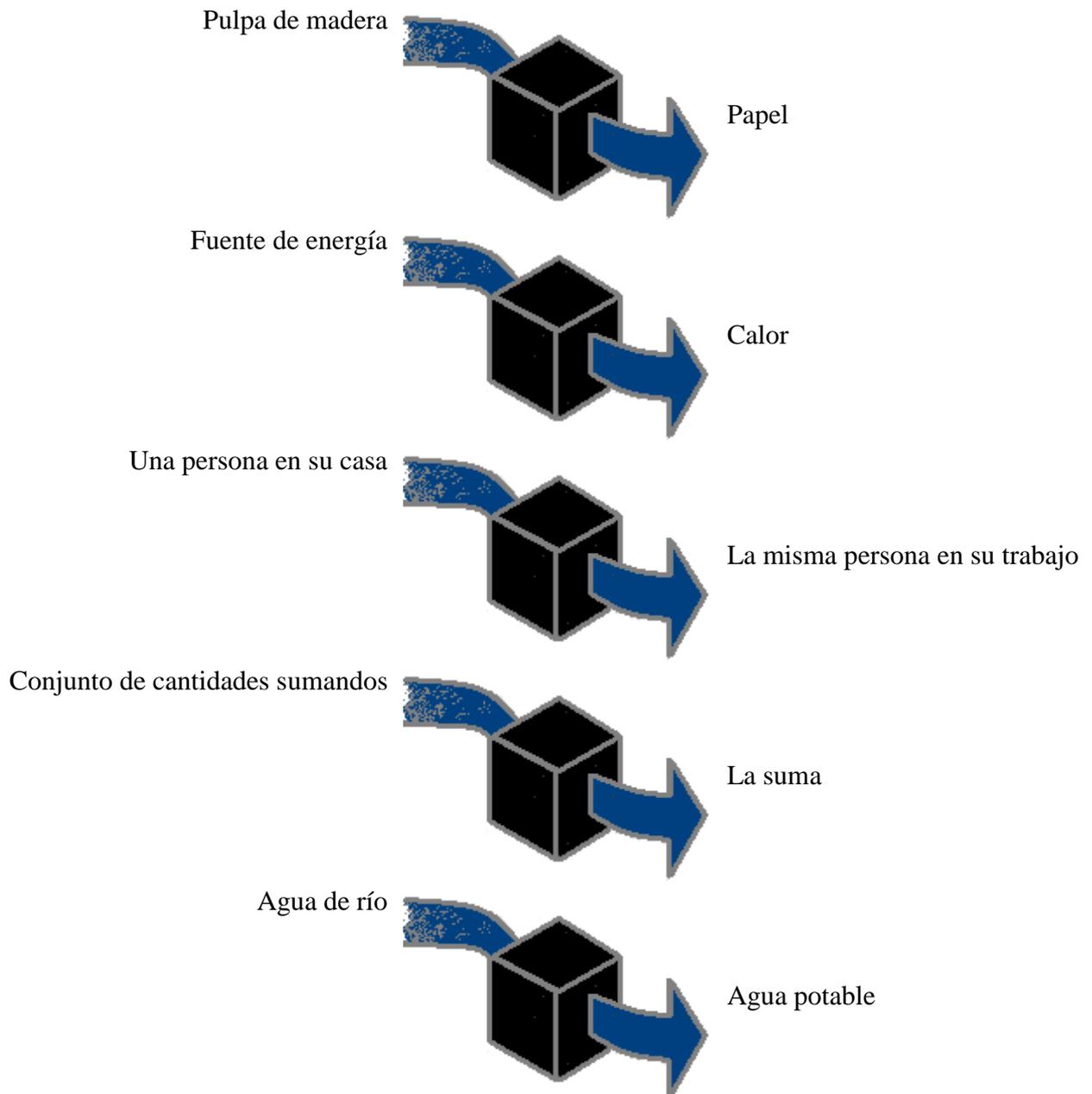


Fig. 2. Formulación de algunos problemas familiares, con ayuda de la “caja negra”

La resolución de problemas para el ingeniero normalmente implica diseñar algo. A veces el objetivo es crear un dispositivo, una estructura o un sistema para el beneficio de la gente. La solución que da un ingeniero puede ser un componente pequeño como la parte de una máquina. Puede tratarse del diseño de un edificio o un gran puente, o de un proceso para la fabricación de un producto. O bien puede ser el diseño de un sistema grande y complejo como alguno que posibilite proteger la vida del ser humano en el medio hostil del espacio exterior.

### La naturaleza del diseño en ingeniería

Históricamente, el proceso de diseño implicaba algún aspecto de tipo artesanal, que más tarde se transmitía por experiencia directa; por tanto, el proceso de diseño implicaba más arte que ciencia. Por ejemplo, se entrenaba a un herrero mediante el aprendizaje para diseñar y fabricar herramientas de metal. A su vez, tales herramientas podían ser útiles a un carpintero que de manera parecida fue entrenado para diseñar y construir estructuras de madera.

Los problemas que afronta la humanidad en nuestros días son muy diversos y técnicos. Los rascacielos se diseñan para soportar terremotos; se conciben aeronaves para que vuelen en el espacio exterior, y los implantes artificiales se diseñan para reemplazar órganos vivos. Hoy, el proceso de diseño implica principios de ingeniería y métodos que requieren una comprensión plena de muchas materias altamente técnicas. Es probable que el diseño de ingeniería requiera técnicas cuantitativas de resolución de problemas, las cuales es posible obtener mediante un entrenamiento de aprendizaje práctico. Sin embargo, dicho conocimiento se enseña con más frecuencia en un aula de clase, en donde diferentes expertos pueden ordenar sus disciplinas para enseñar mediante exposiciones. En resumen, la versión moderna del proceso de diseño abarca mucho más que el mero aspecto práctico.

En la actualidad, los problemas de diseño se presentan en muchas formas diferentes, por ejemplo, diseño electrónico, de máquinas, arquitectónico, óptico, de transductores, de software e industrial. Podría llenarse una página entera con todos los tipos posibles de diseño de ingeniería. Dado el amplio conjunto de posibles aplicaciones, un ingeniero de diseño puede ser requerido para efectuar un gran número de actividades.

En algunas situaciones, un proyecto de diseño puede resolverse mediante la aplicación sistemática de métodos analíticos y experimentales conocidos. Sin embargo, rara vez se tiene el caso de que todos los métodos encajen como las piezas de un rompecabezas. Los inevitables vacíos en la metodología requieren que el diseñador haga innovaciones. Así mismo, los problemas de diseño a menudo implican diferentes componentes. Unos individuos pueden supervisar los diseños de los componentes separados, en tanto que otros pueden responsabilizarse de que todas las piezas se ajusten o interactúen adecuadamente. Esta última actividad se conoce como diseño de sistemas o integración de sistemas.

El diseño de una aeronave es un buen ejemplo para ilustrar la diversidad de aplicaciones del diseño de ingeniería. Es posible diseñar estructuras mecánicas y electrónicas, sistemas de propulsión, sistemas que posibiliten la vida, presentaciones visuales y transductores, sólo por nombrar algunas de las muchas posibilidades. Existen miles de componentes mecánicos y eléctricos diferentes, y cada uno es diseñado por un equipo de ingenieros, ingenieros técnicos o técnicos. Todas las piezas deben unirse y funcionar apropiadamente en todas las condiciones de vuelo esperadas. Esto significa que el sistema de propulsión debe proporcionar el empuje adecuado. Las alas deben permitir un despegue controlado y también funcionar como apoyo de las partes estructurales, como los tanques de combustible y el tren de aterrizaje. La instrumentación de la cabina del piloto debe proporcionar el control necesario de todos los sistemas electromecánicos, etc. Finalmente, cuando todas las piezas encajan, el avión debe volar, lo que puede presentar una multitud de condiciones peligrosas inesperadas.

Las soluciones de diseño por lo general son concebidas y evaluadas como resultado de dos diferentes conjuntos de circunstancias. En el primero de éstos, un ingeniero de diseño encuentra una idea, como consecuencia de experiencias o intereses anteriores. Aunque originalmente no haya estado buscando la solución que tenía a la mano, la concepción y su potencial comercialización motivan al ingeniero a terminar el diseño. En el segundo, y más común, el ingeniero recibe la asignación de una tarea por parte de un empresario o de un supervisor. Otros trabajadores pueden haber establecido la necesidad y la posibilidad de comercialización de la idea, y ahora el ingeniero debe aplicar su capacidad para resolver el problema que se le asignó.

¿Cuáles de las anteriores circunstancias conducirá más directamente a la producción de un nuevo diseño, revolucionario y rentable? Este aspecto del proceso de diseño es difícil de predecir. Ciertamente, muchos grandes diseños se han concebido de manera fortuita para luego llevarse a cabo en cocheras. Por otro lado, el diseño por asignación generalmente implica la contribución de otros trabajadores así como de las instalaciones de investigación y desarrollo de la compañía. Las instalaciones de apoyo pueden hacer que el proceso de diseño sea más eficiente, pero, al fin y al cabo, la diferencia entre un diseño útil y uno que no lo es estriba en la intuición del diseñador.

## El método de la ingeniería

La naturaleza de los problemas que deben resolver los ingenieros varía dependiendo de las diferentes ramas de la ingeniería. De hecho, un solo ingeniero puede afrontar un gran número de problemas durante el curso de sus actividades diarias. Debido a la variabilidad de los diseños de ingeniería, no existe un procedimiento o una lista de pasos definitiva que se adapte siempre a los problemas que surgen. Sin embargo, los ingenieros tienden a tratar los problemas de una manera determinada. Ciertamente, el método de ingeniería para enfocar y resolver los problemas difiere notablemente del utilizado por la mayoría de los otros profesionales. Los ingenieros están capacitados para pensar en términos analíticos y objetivos, y para enfocar los problemas de manera metódica y sistemática.

Varios autores que se dedican a escribir sobre ingeniería han establecido una lista de pasos o fases que comprenden el "método de diseño de ingeniería" (se asemeja al más difundido "método científico"). Normalmente la lista incluye:

- 1. Identificación del problema.**
- 2. Recopilación de la información necesaria.**
- 3. Búsqueda de soluciones creativas.**
- 4. Paso de la idea a los diseños preliminares (incluye el modelado).**
- 5. Evaluación y selección de la solución óptima.**
- 6. Preparación de informes, planos y especificaciones.**
- 7. Puesta en práctica del diseño.**

Mientras hacemos la descripción de los pasos, es importante tener en mente que en muchos casos pueden no aparecer uno o más de estos pasos. En otros, puede ser necesario repetir el protocolo completo varias veces en un intento de converger hacia una solución deseada. Examinemos los diferentes pasos o fases del diseño de ingeniería.

### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Existe una tendencia a creer que esta fase del proceso de solución es trivial y carente de importancia, pero no es así. Una definición incorrecta o impropia del problema ocasionará que el ingeniero desperdicie tiempo, y le puede llevar a una solución no apropiada o incorrecta. En este sentido, Pearson (1) establece: "Un problema definido de manera adecuada es un problema parcialmente resuelto. Plantear correctamente el problema es un paso importante hacia su solución."

Es importante que las necesidades establecidas sean reales. Un diseño verdaderamente grande puede no tener valor si copia otros diseños conocidos o si resuelve un problema que no le concierne a mucha gente. Si lo que se va a diseñar es un producto, puede resultar difícil predecir el interés masivo y la comercialización resultante del diseño propuesto. Un análisis preliminar de mercado normalmente identificará a los usuarios potenciales, así como las estadísticas sobre dispositivos semejantes o métodos y volúmenes de ventas.

Las necesidades que se satisfarán deben estar ampliamente definidas y diferenciadas de las posibles soluciones. En esta fase debe tenerse cuidado de no perjudicar la solución definiendo incorrectamente el problema. Considérese el siguiente ejemplo.

Durante décadas, en Estados Unidos se consideró que la muerte de conductores y pasajeros en accidentes automovilísticos era uno de los problemas de salud pública más serios de la nación. Los especialistas en seguridad vial definieron el problema en términos de prevención de accidentes en vez de reducción de pérdidas. Hablaban en términos de la necesidad de prevenir accidentes más que de reducir las pérdidas a causa de los accidentes. Al hacerlo, presuponían la solución del problema y enfocaban su atención exclusivamente en el comportamiento del conductor, predeciblemente, su "solución" al problema era capacitar al conductor para efectuar una aplicación más estricta del reglamento de circulación y campañas de "Conduzca con precaución". Pasaron por alto los posibles

beneficios que se tendrían con vehículos más resistentes a las colisiones y una red de carreteras más seguras.

En la medida de lo posible, el problema debe definirse en términos objetivos. Aquí tenemos un ejemplo de un problema que está definido en términos objetivos.

Diséñese un sistema de atenuación de energía que controle la energía del choque de un automóvil de 1200 Kg. que viaja a 95 km./h en el momento del impacto. El dispositivo no debe tener una longitud mayor que 3 m y no debe costar más de 10 000 dólares por unidad. La desaceleración no debe exceder los 6g (60 m/seg<sup>2</sup>).

Contraste esta definición con la siguiente situación:

Diséñese un sistema de atenuación de energía que controle la energía de un automóvil que viaja a una velocidad alta en el momento del impacto. El dispositivo debe ser corto y económico de construir. La desaceleración no debe causar daño al conductor.

Finalmente, el problema no debe restringirse en exceso. Si son muchas las limitaciones que se ponen al problema, su solución podría ser muy difícil y hasta imposible. De hecho, un examen cuidadoso del problema ejemplo, basado en la segunda ley de la mecánica de Newton, muestra que las restricciones son excesivas. El dispositivo tendría que ser de longitud mayor a los 3 m para que cumpliera con las otras condiciones del problema.

## **2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN NECESARIA**

Una vez que el problema está identificado y que las necesidades se han definido de manera adecuada, el ingeniero debe comenzar a reunir la información y los datos que necesita para resolverlo. El tipo de información que se requiere dependerá, por supuesto, de la naturaleza del problema por resolver. Puede consistir en mediciones físicas, mapas, resultados de experimentos de laboratorio, patentes, resultado de encuestas o cualquier otro tipo de información. Esta fase del proceso de resolución de problemas implica la recopilación y evaluación de la información que ya está disponible. Si el ingeniero trabaja para una empresa grande o departamento público, probablemente deseará buscar en viejos archivos y entrevistar a otros empleados para ver si alguien más ha realizado algún trabajo parecido. Posteriormente, tal vez se requiera completar esta información efectuando mediciones adicionales o realizando más experimentos de laboratorio, encuestas y demás.

En esta fase del proceso, los ingenieros normalmente emprenden una investigación bibliográfica para determinar lo que otros han aprendido sobre problemas relacionados. Tal vez acudan a bibliotecas técnicas y consulten libros de texto, artículos y catálogos de fabricantes. Los bibliotecarios pueden brindar ayuda localizando libros de texto y referencias de artículos, además de que la mayoría de las bibliotecas ahora tienen acceso a servicios de búsqueda por computadora que son rápidos y relativamente baratos. Algunas bibliotecas tienen también reducciones de los catálogos de los fabricantes en microfichas, con un índice temático para facilitar la búsqueda de los componentes que fabrican.

Finalmente, vale la pena efectuar una investigación de patentes, sobre todo si existe una biblioteca de patentes cercana. La mayoría de las "trampas para ratones" nunca se comercializan o llegan a la prensa; en consecuencia, hay infinidad de diseños magníficos descritos con intrincados detalles legales, que pueden encontrarse en las listas cronológicas de las patentes.

## **3. BÚSQUEDA DE SOLUCIONES CREATIVAS**

Después de completar los pasos preparatorios del proceso de diseño, el ingeniero está listo para comenzar a identificar las soluciones creativas. En realidad, el desarrollo de nuevas ideas, productos o dispositivos puede ser consecuencia de la creatividad, un esfuerzo subconsciente, o de la innovación, un esfuerzo consciente.

Existen varias técnicas operacionales que pueden utilizarse para ayudar a un grupo o a un individuo a producir ideas originales. Estas técnicas están diseñadas para capacitar a tal grupo o individuo a vencer los obstáculos para el pensamiento creativo.

### **Lluvia de ideas**

Una de las técnicas más populares para la resolución de problemas en grupo es la lluvia de ideas. Normalmente, ésta consiste en una reunión de entre seis y doce personas que de manera espontánea proponen ideas concebidas para resolver un problema dado. En tales sesiones se deben alentar todas las ideas, incluso aquellas que parecen ser totalmente impracticables. Se hace un esfuerzo por generar tantas ideas como sea posible. Se anima a los participantes a que combinen las ideas de otros o traten de mejorarlas. En las sesiones de producción de ideas no se permite someter éstas a crítica o evaluación.

Se sugiere que los participantes en las sesiones procedan de diversas áreas y que se incluyan personas con poca experiencia directa con el problema. Las sesiones, por lo general, no duran más de una hora. Las ideas producidas se registran y posteriormente son evaluadas por el mismo grupo, o por otro grupo o individuo.

Un solo individuo puede utilizar también una variante de la lluvia de ideas. La persona en cuestión sigue las mismas reglas que se usan en una sesión de grupo: combinación de ideas, aplazamiento de la evaluación y énfasis en la obtención de un gran número de ideas. La sesión individual no necesita más allá de unos cuantos minutos. De la misma forma, las ideas se registran y se evalúan más tarde.

### **Listas de verificación**

Una de las ideas más simples para generar nuevas ideas consiste en hacer una lista de verificación. Ésta impulsa al usuario a examinar varios puntos o áreas y a concebir posibilidades. Por ejemplo, supóngase que se intenta mejorar determinado dispositivo.

Se podría hacer una lista de verificación que incluyera:

Formas en que el dispositivo puede usarse para otros fines.

Formas en que el dispositivo puede modificarse.

Formas en que el dispositivo puede reordenarse.

Formas en que el dispositivo puede agrandarse.

Formas en que el dispositivo puede reducirse, y así sucesivamente.

### **Listado de características**

Otra técnica que puede usarse individualmente para producir ideas originales para la resolución de problemas es el listado de características. En esta técnica se aíslan y ordenan en forma de lista todas las características o atributos principales de un producto, objeto o idea. Después, por cada característica, se hace una lista de las formas en que ésta se puede cambiar. Se incluyen todas las ideas, sin importar lo irreales o poco prácticas que puedan parecer. Una vez que se han listado todas las ideas, cada una de ellas se evalúa, sacando a luz las mejoras posibles que se pueden hacer en el diseño del producto o sistema.

Considérese el siguiente ejemplo de cómo podría utilizarse la técnica para mejorar el diseño de un teléfono (2).

Característica Ideas

#### 1. Color

Puede ser cualquiera

Puede ser transparente

Puede usar diseños a cuadros

Puede ser un diseño personalizado

#### 2. Material

Puede ser metal

Puede ser vidrio

Puede ser madera

Puede ser plástico

### 3. Marcador

Puede ser un diseño de 10 botones

Puede ser un sistema de palanca

Puede usar un sistema tipo ábaco

Pueden ser botones en línea

### 4. Auricular y base

Hacerlo en forma cuadrada

Hacerlo en forma redonda

Hacerlo en forma de óvalo

Usar una base vertical

Usar una base horizontal

Eliminar el auricular mediante el uso de un micrófono y una bocina

## **Técnica de relación forzada**

Otro grupo de técnicas operacionales que los individuos pueden utilizar para generar ideas se conoce como técnicas de relación forzada. Esto es, se fuerza una relación entre dos o más ideas o productos, normalmente independientes entre sí, para comenzar el proceso de generación de ideas. Una de tales técnicas consiste en seleccionar el elemento constante de la relación forzada, que puede ser el producto o dispositivo que se va a diseñar, o una idea relacionada con el planteamiento del problema. Enseguida, la atención se enfoca en algún otro elemento escogido al azar. Después se establece una relación forzada o artificial entre el elemento constante y el elemento escogido al azar. Esto es la base para una lista de flujo libre de asociaciones, de las cuales pueden surgir ideas nuevas y originales.

Por ejemplo, supóngase que estamos interesados en el diseño de una cortadora de hierba. El objeto de estudio es dicho aparato. Supóngase que escogemos de manera arbitraria una rueda de automóvil como el otro elemento. Algunas de las ideas que pueden ocurrírse nos, basadas en las características de la llanta, son:

Una cortadora redonda.

Una cortadora de ruedas de goma.

Una cortadora que rueda.

Una cortadora con rayos en la llanta.

Una cortadora con ruedas neumáticas.

Una cortadora con frenos.

Una cortadora que no se detiene, etcétera.

Nótese que comenzamos el proceso tomando las características de la rueda: redondez, goma, capacidad de rodar, etc., y las aplicamos a la cortadora. Luego se pueden desarrollar otras ideas basadas en simples asociaciones verbales o palabras que suenen parecidas. Por ejemplo, la palabra "frenos" condujo a la idea de una cortadora que no se detiene.

Esta técnica toma poco tiempo. Si la relación forzada que se utiliza no parece de provecho, simplemente se puede seleccionar un nuevo elemento al azar y repetir el proceso. Del mismo modo que con las otras técnicas de generación de ideas, se pueden obtener muchas ideas impracticables y hasta absurdas. La evaluación de estas no debe hacerse durante la etapa de generación de ideas.

## **Análisis morfológico**

Una técnica operacional para la generación de ideas, implica hacer un listado de todas las soluciones concebibles teóricamente. En esta técnica primero se define el problema en términos de sus dimensiones o parámetros y se idea un modelo que permita concebir cada solución posible. Para una solución con sólo dos parámetros, el modelo toma la forma de un cuadrado dividido, a su vez, en otros más pequeños. El eje horizontal deberá mostrar varias alternativas posibles para un parámetro; el eje vertical deberá mostrar alternativas posibles para el otro parámetro. Esta

disposición permite al usuario examinar los efectos combinados de las características de las variables.

Para problemas con más de dos parámetros, el modelo se convierte en una matriz en la que cada parámetro se asigna a un eje de un arreglo rectangular. Esto se explica mejor con un ejemplo.

Refiriéndonos de nuevo a la cortadora de hierba, supóngase que deseamos examinar tres atributos o variables: el tipo de energía, el tipo de movimiento de las cuchillas y el tipo de material con el que se construirá. Listamos los posibles métodos para satisfacer cada atributo; por ejemplo:

Energía: motor eléctrico, motor de gasolina, presión de agua.

Movimiento de las cuchillas: rotatorio, alternante.

Material: acero, aluminio, plástico.

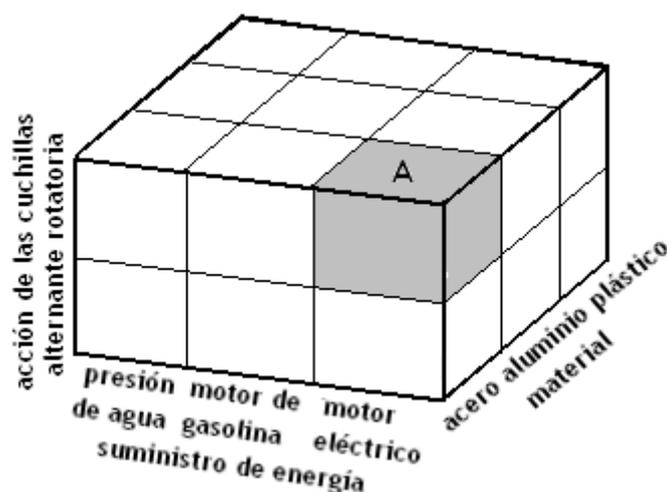


Fig. 4. Ilustración de la técnica morfológica

La combinación de estas condiciones produce 18 posibles soluciones que, ahora, deben someterse a escrutinio y evaluación. En la Figura 4 se ilustran gráficamente las diferentes combinaciones que comprenden las soluciones posibles. Cada uno de los cubos representa una posible solución. Por ejemplo, el cubo A representa una máquina de acero con motor eléctrico y hojas rotatorias.

#### 4. PASO DE LA IDEA A LOS DISEÑOS PRELIMINARES

El ingeniero está ahora listo para pasar de la idea a los diseños preliminares. Éste es el núcleo del proceso de diseño y es la fase que más depende de la experiencia y del buen juicio del ingeniero. Aquí es donde se descartan las ideas que no funcionan y las ideas que prometen se moldean y modifican para formar planos y diseños funcionales.

En esta etapa tal vez se requiera tomar muchas decisiones sobre las presentaciones, configuraciones, materiales, dimensiones y otras especificaciones alternativas. Quizá sea necesario dibujar bocetos conceptuales, hacer planos preliminares y pensar en las especificaciones de material.

Los diseños preliminares pueden evolucionar a través del análisis o la síntesis. El análisis implica la división de un todo en las partes que lo conforman para estudiarlas en forma individual. La síntesis implica la combinación de hechos, principios o leyes en una idea general que proporcionará un resultado deseado o que resolverá el problema.

En esta fase es necesario someter las posibles soluciones a un cuidadoso escrutinio. Éstas son examinadas y estudiadas cuidadosa y críticamente. Existen muchas maneras de hacer esto. En algunos casos, el boceto preliminar de un dispositivo o el análisis informal de un proceso mostrarán que no vale la pena considerar más una idea. En otros, puede haber necesidad de examinar un

componente mediante pruebas de laboratorio. Y finalmente, en otros más será necesario efectuar un programa de investigación completo y formal para examinar la validez de una hipótesis o la eficacia de una solución propuesta.

## **5. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA**

Conforme evoluciona el proceso de diseño de ingeniería, tal vez el ingeniero debe evaluar una y otra vez las formas alternativas de resolver el problema. Normalmente, el ingeniero descarta las alternativas de diseño que parecen no prometer, produciendo un conjunto cada vez menor de opciones. Pueden suscitarse repetidamente etapas de retroalimentación, modificación y evaluación, conforme el dispositivo o sistema evoluciona de concepto a diseño final. Dependiendo de la naturaleza del problema, la evaluación puede basarse en un cierto número de factores. Si se trata de un producto, con frecuencia la seguridad, el costo, la confiabilidad y la aceptación por el consumidor son de la mayor importancia.

Tal vez la forma más directa de evaluar un producto sea desarrollar un prototipo y simplemente probar su operación. En algunos casos el prototipo puede no funcionar debido a uno o más componentes del diseño. El diseñador deberá tratar de identificar todos los eslabones débiles de un prototipo antes de aceptar o desechar la idea. Muchas grandes ideas se han descartado prematuramente, y numerosos prototipos funcionales ya no operaron como se esperaba al convertirlos en productos. Ninguna idea debería evaluarse exclusivamente sobre la base de un prototipo o de una prueba.

Existen muchos métodos indirectos de evaluar un diseño propuesto. Por ejemplo, la prueba de un modelo a escala de un diseño de avión en un túnel de viento puede revelar qué características del diseño son buenas y cuáles son malas con una inversión y riesgo mínimos, en comparación con una prueba a escala normal. De manera alternativa, la aerodinámica del nuevo diseño puede evaluarse mediante la simulación por computadora de las condiciones de vuelo esperadas. Las ecuaciones matemáticas usadas en la simulación pueden no describir exactamente algunos de los factores más complejos, como la interferencia y la turbulencia. Sin embargo, la simulación puede indicar características aproximadas del diseño, lo que hace más fácil diseñar el modelo a escala para la prueba en el túnel.

El esquema de optimización puede resultar muy difícil cuando el diseño requiere un operador humano y una interfaz hombre-máquina. Esta dificultad surge porque no hay dos seres humanos iguales. Las diferencias anatómicas y psicológicas básicas entre los seres humanos hacen que el factor humano del diseño sea difícil de cuantificar. A un usuario el diseño puede parecerle muy aceptable y eficiente, mientras que otro puede considerarlo intolerable; por tanto, la optimización de los factores humanos se convierte en objeto de comparaciones estadísticas. En consecuencia, la población de usuarios debe ser identificada y caracterizada antes de intentar optimizar cualquier diseño que requiera operadores humanos.

Además de las evaluaciones de rutina que hacen los ingenieros acerca de un dispositivo o un sistema, a menudo se necesitan evaluaciones más formales y estructuradas. Esto se ve especialmente en los proyectos de obras públicas, que deben ser evaluados desde el punto de vista de grupos en competencia y a menudo en conflicto. Tales evaluaciones han dependido tradicionalmente del análisis económico, pero el reciente interés por las consecuencias sociales y ambientales que pueden tener los proyectos públicos ha producido técnicas de evaluación mucho más amplias. Examinemos ahora algunas de estas técnicas formales de evaluación.

### **Análisis económico**

Por lo menos durante los últimos cincuenta años, los ingenieros han utilizado análisis económicos como la herramienta de toma de decisiones para la construcción de presas, puentes, carreteras y otras obras públicas. Conceptualmente, tales análisis intentan comparar los beneficios públicos de las obras con los costos de su suministro.

Se pueden utilizar estudios económicos para:

1. Determinar la factibilidad de un proyecto.
2. Comparar diseños alternativos.
3. Determinar la prioridad de construcción de un grupo de proyectos.
4. Evaluar características específicas del diseño.

En los análisis económicos es importante reconocer el valor temporal del dinero. Debido a la existencia de los intereses, una cantidad de dinero vale más ahora que esa misma cantidad en fecha posterior.

### **Otras técnicas de evaluación**

A lo largo de los últimos años cada vez ha sido mayor el interés por los efectos que las obras de ingeniería pueden tener en la población y el medio ambiente. Tales proyectos pueden ocasionar la reubicación de familias y negocios, y someter a los ciudadanos a contaminación por ruido, así como del agua y el aire. Muchos de estos efectos no pueden reducirse simplemente a una cantidad de dinero. Sin embargo, existen técnicas que pueden ayudar al ingeniero, al menos hasta cierto punto, a cuantificar tales efectos. Estas técnicas normalmente implican la clasificación de proyectos alternativos en una escala basada en algunos criterios predeterminados. La clasificación puede ser hecha por un grupo de expertos o de ciudadanos, o puede basarse en encuestas de opinión. Este planteamiento se ilustra en el siguiente ejemplo.

Supóngase que en una ciudad se está considerando implantar un nuevo sistema de transporte colectivo y se han establecido los siguientes objetivos para el sistema:

El sistema debe ser económico.

Debe haber un mínimo de trastornos personales por reubicación.

El sistema debe proporcionar un alto nivel de comodidad y conveniencia.

La zona centro debe ser muy accesible.

El sistema debe ser accesible a los ciudadanos con bajos ingresos.

Para tener una estimación de cada objetivo se seleccionaron los siguientes criterios:

Relación beneficio - costo.

Número de personas reubicadas.

Factor de carga sobre vehículos de transporte en horas pico.

Índice de accesibilidad de las zonas centrales.

Índice de accesibilidad del transporte para zonas de bajos ingresos.

Un grupo de ciudadanos e ingenieros establecieron los siguientes porcentajes de importancia para tales objetivos: 40, 20, 20, 10 y 10. Entonces evaluaron los objetivos para cada uno de tres proyectos alternativos, con el resultado siguiente:

<i>Matriz de evaluación:</i>	<i>Valoración de</i>			
	<i>efectividad posible</i>	<i>Valoración del plan A</i>	<i>Valoración del plan B</i>	<i>Valoración del plan C</i>
1. Relación beneficio-costos	40	35	25	30
2. Personas reubicadas	20	10	20	5
3. Factor de carga del transporte	20	10	15	3
4. Accesibilidad a zonas centrales	10	3	5	10
5. Disponibilidad del transporte para zonas de bajos ingresos	10	2	10	8
Valoración de efectividad total	100	60	75	56

Se eligió el plan B por ser el que más respondía a los objetivos para los que el plan de transporte se había diseñado.

## 6. PREPARACIÓN DE INFORMES, PLANOS Y ESPECIFICACIONES.

Una vez elegido el diseño idóneo, se le debe informar a las personas que deben aprobarlo, apoyarlo y llevarlo a la realidad. Esta comunicación puede ser a través de un informe o mediante un conjunto de planos y especificaciones. Los informes de ingeniería por lo general se dirigen a un cliente o a un supervisor (en caso de que el ingeniero trabaje para una empresa grande). Los planos y las especificaciones son los medios que utiliza el ingeniero para describir a la división de alguna fábrica o a un contratista los detalles necesarios del diseño, de modo que éste pueda ser producido o construido.

## 7. PUESTA EN PRÁCTICA DEL DISEÑO

Se podría afirmar que una vez que se han hecho los planos, las especificaciones y los informes de ingeniería, el proceso de diseño ha terminado. Sin embargo, lo cierto es que la fase final del proceso es la ejecución, el proceso de producir o construir un dispositivo físico, producto o sistema. Los ingenieros deben planificar y estar al tanto de la producción de los dispositivos o productos, y supervisar la construcción de los proyectos de ingeniería. Por supuesto que diferentes ingenieros pueden intervenir en esta fase final. Ésta es la culminación del proceso de diseño; para el ingeniero diseñador es la fase más satisfactoria de todas.

## PATENTES

Una **patente** es un derecho de exclusividad concedido por el Estado para proteger y explotar una invención; un derecho que impide a otros cualquier forma de explotación comercial de la invención, dentro del territorio de obtención de la patente y por un periodo de tiempo limitado. Como contrapartida el Estado exige la completa y clara descripción de la invención. Dicha descripción se llevará a cabo, a través de una solicitud de patente de Invención a presentarse en la Oficina de Patentes del país en donde se solicita protección.

Las patentes se extienden para registrar ideas nuevas que se describen con el detalle suficiente, para que puedan ser materializadas por un trabajador con una preparación y experiencia normales en el campo de interés. La solicitud de la patente debe prepararse conforme a un formato específico que incluye una descripción de los antecedentes del problema, una descripción detallada del invento y una lista de las ideas nuevas que se reclaman en el invento. Puede ser objeto de una Patente de Invención un procedimiento o método de fabricación, máquina, aparato o producto, que resuelva de manera novedosa y no evidente un problema existente en el estado de la técnica.

En Argentina las Patentes de Invención están regidos por la Ley 24.481 de 1995 y sus modificatorias Leyes 24.572 de 1996 y 25.859 de 2004 y el Decreto Reglamentario N° 260/96. Los organismos involucrados en la tramitación y registro de patentes nacionales son la Administración Nacional de Patentes y el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial.

## **DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA**

Uno de los desarrollos más prometedores de la ingeniería es el uso cada vez más difundido de herramientas automatizadas basadas en las computadoras, para procesamiento de información y toma de decisiones. En los últimos años ha habido toda una explosión en el desarrollo de dichas herramientas, conocidas como ingeniería asistida por computador (CAE, computer-aided engineering), diseño asistido por computador (CAD, computer-aided design) y manufactura asistida por computador (CAM, computer-aided manufacturing). En la actualidad existen varios de los llamados paquetes de software "clase universal" disponibles para hacer modelado geométrico, diseño eléctrico y mecánico, análisis estructural, simulación de sistemas térmicos, planificación de procesos de fabricación y otros. Para sus creadores, algunos de estos sistemas representan inversiones de entre decenas y cientos de hombres-año de esfuerzo.

El uso de estas herramientas en la práctica de la ingeniería se está convirtiendo casi en algo común en determinadas áreas, y algunas compañías han alcanzado logros importantes utilizando tales técnicas. Sin embargo, en la mayoría de los casos muchas de las herramientas se han desarrollado de manera independiente, y las aplicaciones se llevan a cabo en gran medida de una manera autónoma. Esto con frecuencia propicia que cada aplicación tenga un lenguaje y medios para representar la información propia, haciendo casi imposible compartirla con grupos asociados. Esto ha dado lugar a ambientes constituidos por lo que se ha llamado "islas de automatización".

En este capítulo deseamos enfocar nuestra atención principalmente en los sistemas de diseño asistido por computador (CAD), que se están convirtiendo en herramientas de diseño cada vez más poderosas y ubicuas. En CAD, los detalles del diseño pueden ser introducidos en el computador de diferentes maneras. En la más directa, las coordenadas (x, y, z) pueden especificarse en diferentes puntos y el computador puede ajustar líneas entre ellas. En algunas exhibiciones más interactivas, el diseñador puede utilizar una "puntero luminoso" o un "ratón" para trazar la geometría superficial o para especificar parámetros. Entonces las superficies generadas por la computadora pueden verse en perspectivas tridimensionales o de sección transversal. El programa CAM también puede simular la interfaz entre partes adyacentes, para asegurarse de que todas las piezas encajan apropiadamente. En los sistemas CAD altamente inteligentes, para diseño estructural, el computador puede simular los efectos de cargas estáticas y dinámicas en un intento por evaluar el diseño propuesto. Las partes inadecuadas del diseño pueden predecirse mediante el computador y se pueden hacer sugerencias de mejoras.

Por ejemplo, supóngase que queremos diseñar un armazón para techo con una inclinación irregular y un tramo grande entre muros de apoyo. El computador puede demostrar diferentes diseños estándar. Para comenzar podemos elegir uno de ellos y después indicar las partes en donde se deben hacer los cambios, utilizando un "lápiz óptico". El computador puede mostrar el armazón modificado y una carga estática hipotética. Después se puede calcular la fuerza real en cada parte del armazón. El computador podría predecir también las deformaciones que se tendrían para cargas y materiales dados.

## **APRENDIZAJE A PARTIR DE LOS ERRORES**

A pesar de los mejores esfuerzos de los diseñadores de ingeniería, en ocasiones sus diseños fallan. Los puentes se derrumban, los techos de los edificios se vienen abajo y se caen las presas de tierra, poniendo en peligro vidas humanas y ocasionando pérdidas millonarias en daños a la propiedad.

Los errores en ingeniería pueden atribuirse a una amplia variedad de causas, entre las que tenemos:

- Errores cometidos por diseñadores poco cuidadosos.
- Imperfecciones en los materiales de construcción e incertidumbre con respecto a su variabilidad.
- Trabajo poco cuidadoso por parte de técnicos u obreros que materializan el diseño.
- Comunicación deficiente entre administradores, ingenieros, técnicos y obreros que producen o construyen el diseño.

Aunque el objetivo del diseño en ingeniería es evitar los errores, no se pueden tener diseños verdaderamente infalibles. Una estructura de ingeniería o una máquina puede fallar de muchas maneras, con resultados que van de meros estropicios hasta catástrofes. Resulta curioso que con frecuencia aprendamos más de nuestros fracasos que de nuestros logros.

Por otro lado, después de un fracaso, normalmente existe una presión para aumentar los factores de seguridad, revisar los códigos de construcción y en general comprometerse a una práctica de ingeniería más conservadora.

Cuando ocurre un error de ingeniería, por lo general es importante que se haga una investigación para determinar su causa y para identificar las acciones correctivas que se pueden tomar para evitar otro o disminuir su probabilidad. Por ejemplo, en Argentina (San Juan) el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica) interviene en la preparación de normas de construcción antisísmica, que se revisan luego de ocurrido un terremoto.

Cuando se produce un error de ingeniería especialmente dramático o costoso, se puede formar un comité o comisión especial para estudiar las circunstancias en que ocurrió y para hacer las recomendaciones apropiadas. Tales grupos pueden ser convocados bajo los auspicios de una o más organizaciones profesionales o nombradas por un gobernador o por el presidente de la nación. Un ejemplo notable del trabajo realizado por una comisión de este tipo se puede apreciar en el Informe de la comisión presidencial sobre el accidente del trasbordador espacial Challenger.

## CONCLUSIÓN

Un ingeniero es un solucionador de problemas. Ordinariamente, a partir de una función por satisfacer, expresada en términos generales, el ingeniero debe traducir este enunciado general de lo que se desea incluir, a las especificaciones de un dispositivo (estructura o proceso) que satisfaga económicamente ese objetivo. Para llegar a dicha solución, el ingeniero debe aplicar sus conocimientos y su inventiva a fin de determinar un número razonable de soluciones posibles del problema en cuestión; posteriormente debe evaluar cada una de dichas soluciones en términos de los diversos criterios intangibles y contradictorios; teniendo siempre presente el tiempo limitado de que dispone para encontrar la mejor solución, lo que le impide un estudio exhaustivo de cada una de las soluciones posibles. Esto último hace que el ingeniero dependa, en gran parte, del criterio que tenga para discernir sobre las soluciones posibles y hacer su selección. Debido a que las empresas privadas solo se interesan en la solución que el ingeniero presenta al problema planteado, si es comercialmente atractiva, y a que las empresas gubernamentales insisten en que se logre una máxima relación ganancia a costo, actualmente es muy raro encontrar un problema que no este complicado por consideraciones económicas.