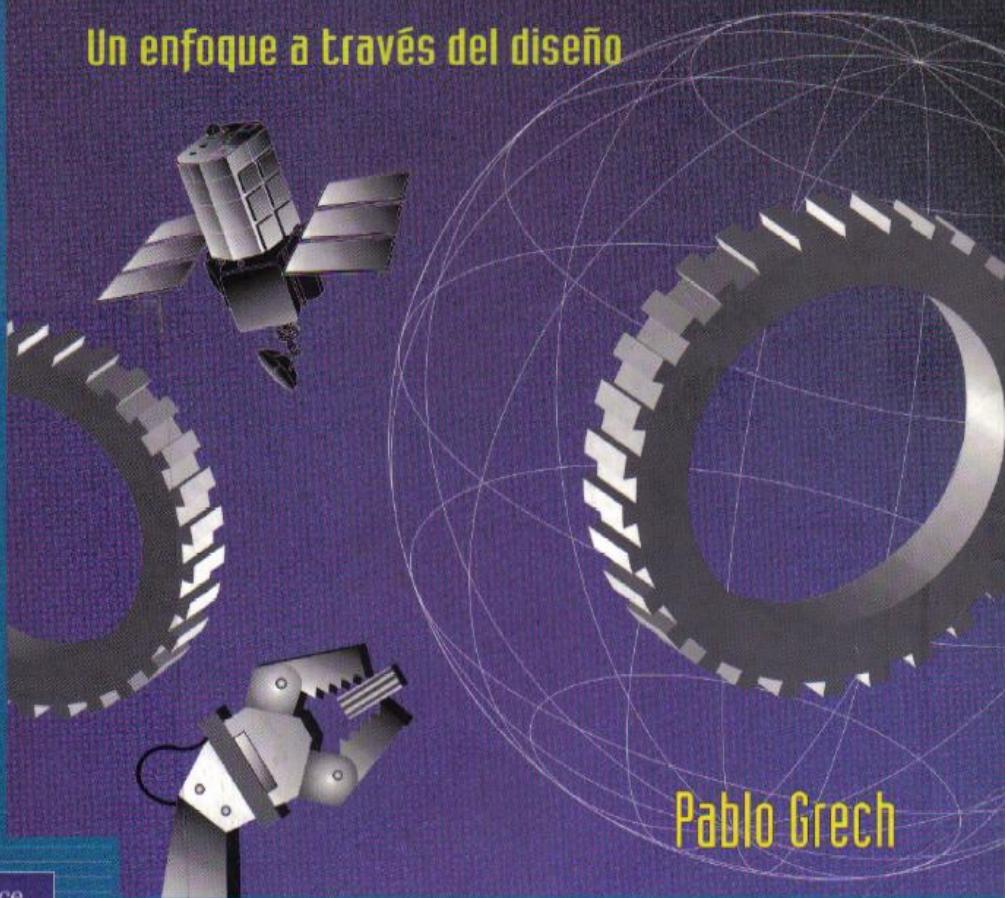


# INTRODUCCIÓN a la INGENIERÍA

Un enfoque a través del diseño



Pablo Grech

Prentice  
Hall

INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN a la INGENIERÍA

Un enfoque a través del diseño

Este libro introduce a los estudiantes de ingeniería a la disciplina de la ingeniería. Se enfoca en el diseño, una actividad que es fundamental para la ingeniería. Los estudiantes aprenden a través de ejemplos prácticos y aplicaciones reales.

Este libro se divide en tres partes principales: la introducción al diseño, la aplicación de principios básicos de ingeniería y la aplicación de técnicas avanzadas de diseño. Cada parte incluye ejemplos y problemas para practicar.

Este libro es un recurso valioso para los estudiantes de ingeniería que desean aprender más sobre el diseño.

Este libro es un recurso valioso para los estudiantes de ingeniería que desean aprender más sobre el diseño.



# INTRODUCCIÓN a la INGENIERÍA

## **Un enfoque a través del diseño**

## Autor

Pablo Grech Mayor

## Ingeniero electrónico

Especialista en telecomunicaciones

Rensselaer Polytechnic Institute Troy, Nueva York

Director de sistemas y computación,

carrera de ingeniería, Universidad Javeriana.

**Revisores técnicos**  
Gustavo Adolfo Villaseca

## Revisores técnicos

**Revisores técnicos**  
**Gustavo Adolfo Villegas**

#### Ingeniero mecánico

en ingeniería industrial

Environ Monit Assess (2009) 153:1–10  
DOI 10.1007/s10661-008-0630-2

osquera Robbyn  
passiere industriel

Ingeniero Industrial

Profesor titular de la Universidad Industrial de Santander, UIS.

**Maria Teresa Amorocho**  
Ingeniera de sistemas

Ingeniera de sistemas

pecialista en gerencia de proyectos de ingeniería para el departamento de Ingeniería de sistemas

ería, Universidad Javeriana.

**Partial Application**

Jose Daniel Avellaneda  
Ingeniero de sistemas

Libro de sistemas  
encia universitaria

Universidad Antonio Nariño.



Colombia – México – Argentina – Bolivia – Brasil – Costa Rica – Chile – Ecuador  
El Salvador – España – Guatemala – Honduras – Nicaragua – Panamá – Paraguay – Perú  
Puerto Rico – República Dominicana – Uruguay – Venezuela

Amsterdam – Harlow – Miami – Munich – Nueva Delhi – Menlo Park – Nueva Jersey  
Nueva York – Ontario – París – Singapur – Sydney – Tokio – Toronto – Zurich

# Introducción

Este libro es una introducción a la ingeniería. La ingeniería es una disciplina que combina conocimientos de matemáticas, física, química, biología, geología, entre otras, para resolver problemas prácticos. Los ingenieros diseñan y construyen sistemas, estructuras, maquinaria, procesos y productos que mejoran la calidad de vida de las personas. La ingeniería es un campo amplio y diverso que abarca desde la construcción civil hasta la ingeniería biomédica. Los ingenieros son profesionales que aplican su conocimiento para resolver problemas complejos y desafiantes en el mundo real. A lo largo de este libro, se explorarán los fundamentos de la ingeniería y se presentarán las principales disciplinas que la componen. Se enfocará en la resolución de problemas y se enseñarán las habilidades necesarias para pensar de manera crítica y analítica. Se destacarán las aplicaciones prácticas de la ingeniería en diferentes campos, como la construcción, la industria, la medicina y la tecnología. Se invitará a los lectores a reflexionar sobre la importancia de la ingeniería en la sociedad actual y a considerar las posibilidades profesionales que ofrece esta disciplina.

Este texto está destinado, principalmente, a los estudiantes de ingeniería de primer o segundo semestre. También puede usarse como texto de referencia para aquellos estudiantes que están a punto de ingresar a la universidad y necesitan más información sobre las ingenierías, antes de seleccionar aquélla que piensan estudiar. Puede ser útil para estudiantes o profesionales de otras carreras, que quieran conocer más a fondo la ingeniería. El enfoque del texto no exige conocimientos de matemáticas ni de física de alto nivel para usufructuarlo.

En alguna ocasión dicté un curso de iniciación a la ingeniería y me pareció que su estructura no era la adecuada. No ofrecía un enfoque general de la ingeniería; era una especie de visión preliminar de los contenidos de algunas de las asignaturas que cursaban los estudiantes en los siguientes semestres de sus respectivas carreras. Le faltaba cohesión. A raíz de esta experiencia, empecé a diseñar un curso que ofreciera una visión integral de la ingeniería, que no fuera específico para alguna de sus disciplinas y que le diera más importancia al desarrollo de habilidades de los estudiantes.

Era preciso hallar un elemento común a todas las ramas de la ingeniería que sirviera de núcleo al curso. Después de una amplia búsqueda de información, llegué a la conclusión de que el común denominador de todas las carreras de ingeniería lo constituye la metodología que usan los ingenieros para resolver sus problemas. El denominado método de diseño en ingeniería (aunque no hay uno solo) se tomó, como eje a lo largo del cual se desarrollaría el curso.

Cada uno de los pasos de este método se centra en uno o más aspectos fundamentales de la ingeniería, así como en el desarrollo de alguna habilidad. De esta manera, el contenido del curso es coherente con las necesidades de cada paso del método. Al final, se obtiene un cuerpo de conocimientos que incluye aspectos fundamentales de la ingeniería, tanto a nivel de conocimientos como de habilidades.

Se dice que el conocimiento requerido en ingeniería cambia continuamente, de modo que cada cuatro o cinco años se necesita renovarlo, si se desea seguir siendo competitivo. Por ello hay que insistir en el desarrollo de las habilidades, que son más permanentes que el propio conocimiento. Ser hábil en el uso de los computadores, en la comunicación escrita y oral, en el trabajo en grupo, ... forma parte de esas habilidades tan necesarias en el mundo tecnológico actual.

Para afianzar el aprendizaje de los contenidos fundamentales del curso, así como el de las habilidades, en el curso se incluyen numerosos ejemplos y ejercicios que sirven para aclarar los conceptos expuestos y para fijarlos mediante su aplicación en casos concretos. Igual propósito tienen los talleres que aparecen al final de cada capítulo. Los talleres cortos se programaron para realizarse en clase, con un nivel de dificultad medio, que permite, además de profundizar en los contenidos relacionados con el taller, desarrollar habilidades de grupo como la comunicación oral, el trabajo colaborativo, entre otros. Los talleres largos se programaron para que los estudiantes los resuelvan en grupo, como actividad fuera del aula de clase. Son de una complejidad mayor y en su gran mayoría requieren el uso del computador, tanto para buscar información como para efectuar cálculos. Adicionalmente, al final de cada capítulo se propone un número de ejercicios que pueden usarse en combinación con los talleres cortos, o simplemente como tareas complementarias de cada capítulo. No hay que olvidar que haciendo se aprende.

Casi todos los capítulos del libro contienen un caso de ingeniería; algunos son adaptados de vida real, simplificados para que puedan ser usados en un curso introductorio de ingeniería. Otros son simulaciones de situaciones de la ingeniería. Se trató de que los casos ilustraran, a través del relato, aspectos relevantes del trajinar de los ingenieros en diversas ramas de la ingeniería. Se aconseja su lectura y discusión, así como la solución del ejercicio que se plantea al final de cada uno de los casos.

Otra novedad en este libro es el uso frecuente de información obtenida de la web. No hay duda de que a la velocidad que todo ocurre en la red, en pocos años la misma se volverá el medio obligado para distribuir la información. Se seleccionaron cuidadosamente direcciones con contenido pertinente al tema, y cuya veracidad no está en duda. Todos los capítulos contienen una sección con direcciones de internet en las que se puede ir más allá en el logro de los objetivos propuestos.

El capítulo 1 introduce al estudiante al fascinante mundo de la ingeniería a través del relato de los logros de ésta a lo largo de la historia. Se inicia con un interesante caso que le muestra al estudiante aspectos de la vida de un ingeniero que muy bien podría ser la suya algún día. A continuación se analiza la forma como la humanidad ha llegado hasta su estado actual, resaltando la enorme contribución que la ingeniería ha tenido en este progreso. No es una colección de fechas, nombres ni logros, se busca la lógica que hay detrás de todo este avance. Al final del capítulo se analizan las principales ramas de las ingenierías, así como los campos de especialización que cada una de ellas ofrece. En este capítulo el profesor tiene la oportunidad de explorar aspectos locales relacionados con la ingeniería, como obras importantes de la ingeniería del país, agremiaciones, asociaciones, revistas.

El capítulo 2 describe la profesión de ingeniero, sus diferentes perfiles profesionales, así como la amplia oferta de oportunidades de desarrollo personal que tendrá una vez concluida su carrera. En la parte final se trata con detenimiento lo relacionado con la ética en ingeniería, aspecto de suma importancia que no es posible desligar de un ejercicio profesional responsable. También en este capítulo el profesor lo puede usar para explorar las condiciones locales del ejercicio de la profesión, planes de estudio, códigos de ética.

El método de diseño en ingeniería se analiza en el capítulo 3, mediante un caso en el que se aplican ordenadamente cada uno de sus pasos. Parte importante es el análisis que se hace al final del capítulo sobre las habilidades y actitudes necesarias para la correcta aplicación de los diferentes pasos del método. Se hace énfasis en lo

relativo a las actitudes, por ser este un tema poco tratado en otros textos pero que está adquiriendo enorme importancia en el mundo actual.

Es normal relacionar la ingeniería con el dominio de las matemáticas, una de las habilidades esenciales para el correcto manejo cuantitativo de los problemas que debe resolver un ingeniero. En el capítulo 4 se introduce el tema de las mediciones, los errores y las cifras significativas que deben usarse en los cálculos que realiza un ingeniero. Es importante que desde el inicio de su carrera el estudiante de ingeniería sea consciente de la importancia que tiene representar una medición o el resultado de un cálculo con el correcto número de cifras. Asimismo, se le dan pautas para que pueda tomar decisiones racionales en situaciones en las que solamente posee información parcial sobre el problema que debe resolver. Este capítulo contiene un gran número de ejemplos y ejercicios que ayudarán a lograr los objetivos propuestos.

Buscar y encontrar la información se ha convertido en una necesidad en un mundo en el que ésta crece de una forma exponencial. El capítulo 5 dota al estudiante de herramientas efectivas para encontrar la información que necesita, concentrando dicha búsqueda en internet por considerar que es el medio que primará en el mundo del futuro.

El capítulo 6 le proporciona al estudiante los elementos necesarios para que mejore sustancialmente sus habilidades comunicativas, tanto escritas como orales. Nuestros estudiantes no sobresalen, principalmente, por el dominio de esta habilidad, por lo que se hace necesario desarrollar estrategias con el fin de mejorar la forma como escribe y expone, especialmente la primera.

El capítulo 7 introduce al estudiante en un mundo relativamente nuevo para él: el manejo racional de los recursos necesarios para adelantar un proyecto. Dinero, tiempo, energía, impacto ambiental, riesgo, entre otros, son temas de gran interés en el mundo de la ingeniería. Nuestro estudiante debe ser consciente desde el primer momento de la importancia que tiene la adecuada combinación de todos estos aspectos para lograr la mejor solución al problema en el que está trabajando.

El capítulo 8 habilita al estudiante para que pueda identificar y definir correctamente los problemas que deberá resolver. Mediante el establecimiento de relaciones causa efecto, el estudiante puede determinar cuáles son las principales causas que hay detrás de un problema y plantear la correcta estrategia de resolución. Para aquellos casos en que este enfoque no es suficiente, se le ofrece al estudiante el método científico como la forma alterna de resolver aquellas situaciones en las que lo importante no es el cómo sino el porqué. El capítulo posee abundantes ejemplos que le ayudan al estudiante a dominar los temas tratados.

El éxito del método de diseño radica en la habilidad del ingeniero para crear posibles soluciones a un determinado problema y entre ellas seleccionar la mejor. Y esa habilidad tiene un nombre propio: creatividad. En el capítulo 9 se analiza la creatividad, su desarrollo, técnicas para mejorarlala, herramientas para aplicarla, entre otros. Se trata el tema de la innovación tecnológica, así como de alguna metodología para aplicarla. El capítulo es abundante en ejemplos que ponen de manifiesto la importancia que la creatividad ha tenido, y tendrá, en el desarrollo tecnológico.

Finalmente, en el capítulo 10 el estudiante aprende usar una herramienta para determinar cuál es la mejor solución a un problema dado. Debe determinar la viabilidad real de las soluciones planteadas en pasos anteriores del método y seleccionar, de las que resulten viables, la mejor mediante la aplicación de una herramienta cuantitativa.

Si. Es conveniente que en forma paralela al curso, el estudiante ajuste el método a un problema que escoja en las primeras clases; a medida que el curso avance aplicará al problema escogido los diferentes pasos del método hasta llegar a obtener la mejor solución en su último paso.

Para finalizar, si tuviera que resumir el propósito del libro en una frase, sería ésta: "El objetivo de este libro es lograr que nuestro estudiante de ingeniería empiece a pensar como ingeniero".

#### *El autor*

Espero que el lector se sienta satisfecho con el resultado de este libro. Aunque no es perfecto, es el resultado de la experiencia adquirida en la enseñanza de la ingeniería en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Costa Rica, donde ha tenido la oportunidad de trabajar con profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Escuela de Arquitectura.

Espero que el lector se sienta satisfecho con el resultado de este libro. Aunque no es perfecto, es el resultado de la experiencia adquirida en la enseñanza de la ingeniería en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Costa Rica, donde ha tenido la oportunidad de trabajar con profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Escuela de Arquitectura.

Espero que el lector se sienta satisfecho con el resultado de este libro. Aunque no es perfecto, es el resultado de la experiencia adquirida en la enseñanza de la ingeniería en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Costa Rica, donde ha tenido la oportunidad de trabajar con profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Escuela de Arquitectura.

Espero que el lector se sienta satisfecho con el resultado de este libro. Aunque no es perfecto, es el resultado de la experiencia adquirida en la enseñanza de la ingeniería en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Costa Rica, donde ha tenido la oportunidad de trabajar con profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Escuela de Arquitectura.

Espero que el lector se sienta satisfecho con el resultado de este libro. Aunque no es perfecto, es el resultado de la experiencia adquirida en la enseñanza de la ingeniería en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Costa Rica, donde ha tenido la oportunidad de trabajar con profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Escuela de Arquitectura.

Espero que el lector se sienta satisfecho con el resultado de este libro. Aunque no es perfecto, es el resultado de la experiencia adquirida en la enseñanza de la ingeniería en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Costa Rica, donde ha tenido la oportunidad de trabajar con profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Escuela de Arquitectura.

Espero que el lector se sienta satisfecho con el resultado de este libro. Aunque no es perfecto, es el resultado de la experiencia adquirida en la enseñanza de la ingeniería en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Costa Rica, donde ha tenido la oportunidad de trabajar con profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Escuela de Arquitectura.

Espero que el lector se sienta satisfecho con el resultado de este libro. Aunque no es perfecto, es el resultado de la experiencia adquirida en la enseñanza de la ingeniería en la Universidad de Costa Rica y en la Universidad de Costa Rica, donde ha tenido la oportunidad de trabajar con profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil y de la Escuela de Arquitectura.

# T

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Capítulo 1. Una mirada a la ingeniería .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	2
1.2 Carta a un aspirante a ingeniero .....	16
1.3 Desarrollo histórico .....	18
1.4 Ramas de la ingeniería .....	30
1.5 Ejercicios y problemas .....	33
Talleres .....	34
<b>Capítulo 2. La ingeniería como profesión .....</b>	<b>40</b>
2.1 Introducción .....	42
2.2 Ciencia, tecnología e ingeniería .....	43
2.3 Algunas definiciones .....	44
2.4 Perfil del ingeniero .....	46
2.5 Campo laboral del ingeniero .....	50
2.6 Ética y valores .....	54
2.7 Los valores en la ingeniería .....	61
2.8 Ejercicios y problemas .....	62
Talleres .....	66
<b>Capítulo 3. El proceso de diseño en ingeniería .....</b>	<b>70</b>
3.1 Introducción .....	72
3.2 El proceso de diseño en ingeniería .....	74
3.3 Cuadro de resumen .....	90
3.4 Acerca de los conocimientos .....	90
3.5 Acerca de las habilidades .....	90
3.6 Acerca de las actitudes .....	94
3.7 Conclusión .....	95
3.8 Ejercicios y problemas .....	96
Talleres .....	97
<b>Capítulo 4. Mediciones, cálculos y toma de decisiones.....</b>	<b>102</b>
4.1 Introducción .....	104
4.2 Unidades de medida .....	117
4.3 Cifras significativas .....	123

4.4	Operaciones con cifras significativas .....	125
4.5	Precisión y exactitud .....	129
4.6	Mediciones y errores .....	130
4.7	Toma de decisiones .....	133
4.8	Estadística .....	143
4.9	Error estándar .....	155
4.10	Cálculo aproximado .....	156
4.11	Ejercicios y problemas .....	157
	Talleres .....	160
<b>Capítulo 5. Búsqueda de la información .....</b>		<b>166</b>
5.1	Introducción .....	168
5.2	Identificar la información requerida .....	169
5.3	Fuentes de información .....	171
5.4	www (world wide web) .....	177
5.5	Ejercicios y problemas .....	186
	Talleres .....	187
<b>Capítulo 6. Comunicación oral y escrita .....</b>		<b>190</b>
6.1	Introducción .....	192
6.2	Comunicación escrita .....	197
6.3	La comunicación como un proceso .....	198
6.4	Cómo lograr una buena comunicación .....	201
6.5	Tipos de documentos .....	206
6.6	Presentaciones orales .....	217
6.7	Usando el computado .....	222
6.8	Ejercicios y problemas .....	224
	Talleres .....	225
<b>Capítulo 7. Criterios y restricciones .....</b>		<b>230</b>
7.1	Introducción .....	232
7.2	El tiempo .....	238
7.3	El dinero .....	243
7.4	Recursos .....	254
7.5	Energía .....	256
7.6	Impacto social .....	263
7.7	Impacto ambiental .....	265
7.8	Consideraciones éticas .....	271
7.9	Otras consideraciones .....	274
7.10	Ponderación de los diversos criterios .....	275
7.11	Comparación de cada criterio .....	277
7.12	Ejercicios y problemas .....	279
	Talleres .....	281
<b>Capítulo 8. Definición del problema .....</b>		<b>286</b>
8.1	Introducción .....	288
8.2	Relación causa – efecto .....	293
8.3.	El método científico .....	303
8.4	Pasos del método científico .....	305

8.5	Algunos ejemplos de aplicación del método científico en ingeniería .....	312
8.6	Definición del problema .....	314
8.7	Ejercicios y problemas .....	316
	Talleres .....	316
<b>Capítulo 9. Generación de posibles soluciones .....</b>		<b>328</b>
9.1	Introducción .....	330
9.2	¿Qué es la creatividad? .....	332
9.3	El proceso creativo en ingeniería .....	340
9.4	Rasgos de las personas creativas .....	346
9.5	¿Cómo ser creativo? .....	351
9.6	Técnicas creativas .....	352
9.7	Diagramación mental .....	356
9.8	Algunos ejemplos reales de creatividad .....	357
9.9	Ejercicios y problemas .....	358
	Talleres .....	358
<b>Capítulo 10. Selección de la mejor solución .....</b>		<b>362</b>
10.1	Introducción .....	364
10.2	Pensamiento convergente .....	365
10.3	Viabilidad de las soluciones .....	365
10.4	Matriz de selección .....	372
10.5	Ejercicios y problemas .....	374
	Talleres .....	375

# 1

## de la vida de un ingeniero

### Una mirada a la ingeniería

*"Este es un pequeño paso para un hombre,  
pero un gran salto para la humanidad".*

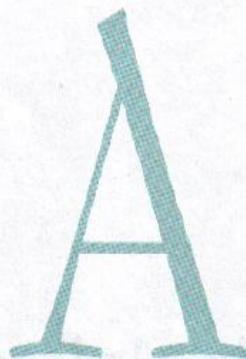
*Neil Armstrong,  
primer hombre en la Luna, 20 de julio de 1969.*

#### Objetivos generales

- Conocer los aportes de la ingeniería al avance de la humanidad.
- Desarrollar el sentido de pertenencia hacia la ingeniería.

#### Objetivos específicos

- \* Identificar las características generales de las principales ramas de la ingeniería.
- \* Explicar por qué un ingeniero debe poseer una formación básica amplia.
- \* Identificar las habilidades básicas requeridas para estudiar ingeniería.
- \* Describir la lógica que existe detrás de cada uno de los avances de la ingeniería.
- \* Identificar las especialidades que se derivan de las principales ramas de la ingeniería.



## 1.1. Introducción

Lo largo de la historia de la humanidad siempre han existido ingenieros, seres humanos que han dedicado sus vidas a transformar la naturaleza con el fin de mejorar las condiciones de vida de sus semejantes. Con diversas manifestaciones, acordes con el campo de aplicación escogido, han resuelto los problemas que han mejorado la calidad de vida de los seres humanos: obras civiles, comunicaciones, información al instante, calidad de los productos, máquinas que alivian al individuo del esfuerzo muscular, aparatos que prolongan la vida de los enfermos y aumentan las posibilidades de los incapacitados, entre otros.

Para ser ingeniero es necesario poseer algunas habilidades características de esta profesión.

La *creatividad* es una de ellas, quizás uno de los aspectos en que más insiste en el mundo moderno y que constituye una de las mayores preocupaciones de los países avanzados. En principio, todos nacemos con capacidad creativa; lamentablemente, el medio en que desarrollamos nuestros primeros años se encarga, con mucha frecuencia, de impedir que se desarrolle.

La *habilidad analítica* para poder descomponer un todo en sus partes, establecer relaciones entre éstas constituye otro de los activos fijos más importantes de cualquier ingeniero. Esta habilidad hay que desarrollarla mediante ejercicios orientados para que este proceso se vuelva un hábito en el ingeniero.

El *sentido práctico* de saber escoger entre varias soluciones cuál es la mejor para determinada ocasión; el ingeniero se mueve en un mundo real. A diferencia del científico que busca la verdad, el ingeniero busca la mejor solución a un problema dado, con algunas restricciones, muchas veces de tiempo y dinero, que hacen que su método de resolver problemas sea esencialmente distinto al del científico.

*Resolver problemas;* para cada una de éstos es necesario aplicar un enfoque diferente. El ingeniero debe saber combinar su creatividad, habilidad analítica y sentido práctico para escoger el camino más adecuado en la resolución de un problema específico.

Finalmente, un ingeniero debe ser consciente de que forma parte de una sociedad y que ésta tiene normas que deben cumplirse, *estándares éticos* que muchas veces están por encima de los reglamentos o leyes de los países. Hay situaciones en que una solución técnica excelente no es la más aconsejable cuando el impacto negativo de la misma recae sobre grupos de la población permanentemente en estado de subdesarrollo. El ingeniero debe tener muy en cuenta los factores sociales al seleccionar una solución.

## Caso 1. Memorias de la vida de un ingeniero

Me llamo Cristina González Minelli. Acabo de graduarme como ingeniera de computación en la Universidad Politécnica del Sur, una novel institución universitaria que ha logrado un enorme prestigio en corto tiempo, entre la comunidad académica y empresarial.

La formación eminentemente científica del colegio en el que realicé mis estudios de bachillerato definió mis inclinaciones; la ingeniería siempre me atrajo, pero estuve dudando sobre cuál de las ramas de la ingeniería sería la elegida. Me sentía orgullosa de pertenecer a un grupo humano que a lo largo de la historia de la humanidad lograron, con ingenio y mucha creatividad, poner a disposición del ser humano los materiales y fuerzas de la naturaleza para mayor comodidad de quienes han vivido y viviremos en este planeta. Además, tener un título de ingeniero es como tener un pasaporte al mundo: el conocimiento técnico no tiene fronteras, es aceptado en cualquier parte.

Me gustaban la ingeniería eléctrica, la electrónica y la de computación. No soy buena para el dibujo técnico, por lo cual buscaba alguna rama de la ingeniería que no exigiera demasiado en este sentido. En el colegio me destaqué por ser muy buena en física y buena en matemáticas, en este orden y con este nivel: mejor para la física que para las matemáticas. Cuando estaba finalizando mi bachillerato fui a varias universidades en las que asistí a conferencias, a demostraciones prácticas y recibí folletos ilustrativos de las carreras que ofrecían. La que más me llamó la atención fue la Universidad Politécnica del Sur; en primer lugar, en vez de escuchar tediosas conferencias nos permitieron asistir a actividades académicas regulares de las diferentes carreras. Su plan de estudios era flexible; uno podía armar su carrera escogiendo las materias que más le gustaban, cumpliendo unas normas respecto a determinadas asignaturas obligatorias. También me gustó por la importancia que le daban a la educación en valores, aspecto que siempre consideré de suma importancia.

Durante un día completo deambulé por los salones de clase y los laboratorios de la universi-

dad, asistiendo a exposiciones magistrales, a prácticas de laboratorio y a conferencias sobre los programas que ofrecía la universidad. Así mismo, recorrió las canchas deportivas, el gimnasio, el auditorio (donde algún día me graduaría), la capilla, la tienda en la que compré una gorra con las iniciales UPS (fuente ininterrumpible de potencia), etcétera. Asistí a una clase de electrotecnia en la que se explicaba el funcionamiento de un transformador de alto voltaje, las precauciones que hay que tomar para tratar con voltajes de 230 kv, o mayores. Me imaginaba tocando uno de los bornes del transformador y convertida inmediatamente en un pedazo de carbón: mis simpatías por la ingeniería eléctrica comenzaron a decaer. Más tarde, estuve en el laboratorio de circuitos electrónicos viendo como los estudiantes de electrónica montaban una alarma de proximidad. Me encantó ver la manera tan sencilla (y segura) como se armaba un circuito electrónico.

Ya empezaba a definir mi selección. Por la tarde, me metí en uno de los laboratorios de aplicaciones avanzadas de computación y pude darme de cuenta de la importancia que la nanotecnología tendrá en el mundo del futuro: la industria manufacturera ya no será como la que estamos acostumbrados a ver. La posibilidad de coger átomos individuales y colocarlos en estructuras predeterminadas con características similares a las del acero, madera, caucho, etcétera, pero pesando y ocupando miles de millones de veces menos; poder construir un Cadillac que pese 50 kg o un sofá que pueda levantarse con la mano, me parecieron posibilidades fascinantes.

Definitivamente era la carrera que estaba buscando. Me mostraron la simulación de una nanobomba que ejecuta en el mundo molecular la misma función que una bomba hidráulica de un auto. Suena como raro (todavía), pero será la realidad en 10 años. Me dejó impresionada y me mostró una faceta de la ingeniería de computación que yo desconocía. Pedí folletos sobre la carrera y los leí ávidamente para enterarme con mayor detalle de las características ocultas de una carrera de la que yo creía conocer todo. Concerté una cita con el Director de la carrera

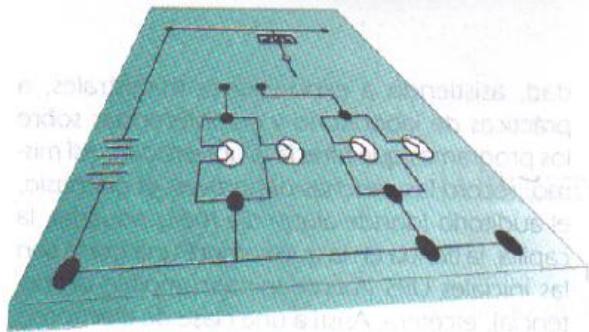


Figura 1.1. Circuito electrónico.

obtuve un puntaje de 450 sobre 500, lo que me permitía acceder a las mejores universidades del país sin problema; mi entrada en la UPS se logró sin ninguna dificultad. Además de mis excelentes resultados académicos, tenía a mi favor el hecho de hablar inglés con fluidez, pues durante tres años viví con mi familia en Inglaterra.

Para tener una visión más objetiva, visité otras universidades y analicé otras posibilidades; pero finalmente me incliné por el programa de ingeniería de computación de la UPS. Me gustó la universidad por su excelente ubicación, por su atractivo *campus* y, sobre todo, por su *currículo*, que permitía una formación flexible, acorde con los intereses de las personas. La famosa *formación integral* de la que tanto hablaban todos la veía reflejada claramente en la opción escogida.

Mis intenciones inicialmente eran tomar un descanso e irme a viajar durante seis meses; no tenía prisa por trabajar y quería ordenar mis pensamientos y trazarme un plan para seguir a corto plazo, pero el hombre propone y Dios dispone. Un amigo me dijo que una compañía multinacional estaba buscando ingenieros para trabajar en una planta piloto de producción de papel que pensaban instalar en el país. Sin ponerle demasiada atención al asunto entregué mi *curriculum vitae* un jueves por la tarde y me fui con mi novio a pasar el fin de semana a una finca que su familia tenía en la cordillera. Me olvidé de todo: cuando al martes siguiente me llamaron de la multinacional no tenía idea para qué lo hacían. Me pidieron que asistiera a una cita con la directora de Recursos Humanos en la que me iban a entrevistar y hacerme algunas pruebas sicológicas.

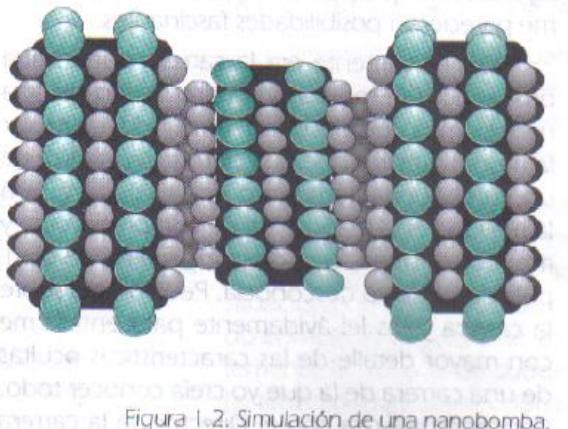


Figura 1.2. Simulación de una nanobomba.

Presente las pruebas de Estado en las que obtuve un puntaje de 450 sobre 500, lo que me permitía acceder a las mejores universidades del país sin problema; mi entrada en la UPS se logró sin ninguna dificultad. Además de mis excelentes resultados académicos, tenía a mi favor el hecho de hablar inglés con fluidez, pues durante tres años viví con mi familia en Inglaterra.

Cinco años y medio tomó graduarme como ingeniera de computación; nunca perdí una asignatura aunque hubo momentos en que pensé que no iba a poder finalizar. Con mucha dedicación y ayuda de todos logré culminar con éxito mis estudios. Me tomó un poco más de lo presupuestado, pues el tema del trabajo de grado que escogí (*Simulación de un ecosistema usando lógica Fuzzy*) resultó tan atractivo que me excedí en los objetivos inicialmente planteados. Me concedieron mención meritoria por el excelente trabajo realizado.

Mis intenciones inicialmente eran tomar un descanso e irme a viajar durante seis meses; no tenía prisa por trabajar y quería ordenar mis pensamientos y trazarme un plan para seguir a corto plazo, pero el hombre propone y Dios dispone. Un amigo me dijo que una compañía multinacional estaba buscando ingenieros para trabajar en una planta piloto de producción de papel que pensaban instalar en el país. Sin ponerle demasiada atención al asunto entregué mi *curriculum vitae* un jueves por la tarde y me fui con mi novio a pasar el fin de semana a una finca que su familia tenía en la cordillera. Me olvidé de todo: cuando al martes siguiente me llamaron de la multinacional no tenía idea para qué lo hacían. Me pidieron que asistiera a una cita con la directora de Recursos Humanos en la que me iban a entrevistar y hacerme algunas pruebas sicológicas.

Como no sabía mucho sobre la producción de papel me puse a buscar información en internet. Había muchos sitios en los que se hablaba sobre la manufactura del papel<sup>1</sup>. Allí aprendí cosas interesantes sobre el proceso de producción del papel (véase figura 1.3); como cosa rara me enteré de que los chinos habían sido los inventores del papel, tal como lo conocemos ahora, aunque las técnicas que emplearon en su producción eran sustancialmente diferentes a las actuales.

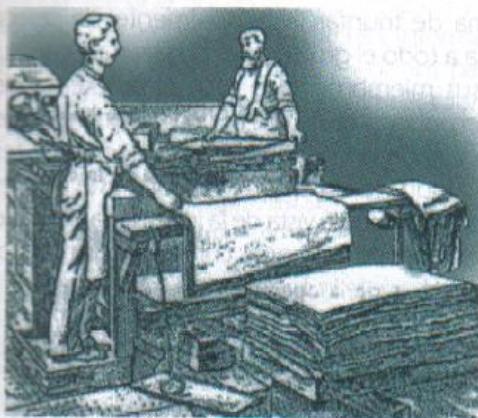


Figura 1.3. Artesanos produciendo papel.

Me entrevisté con una sicóloga; me preguntó muchas cosas, entre ellas si estaba dispuesta a viajar, a lo que respondí que esa era una de las razones por las que me gustaba el empleo. A la entrevista siguió una serie de pruebas que me recordaron las de razonamiento abstracto que había presentado para ingresar en la universidad. No me parecieron difíciles. Conmigo habla más de 40 personas (después supe que eran ingenieros de diferentes disciplinas; a algunos los reconocí pues venían de la UPS) presentando las mismas pruebas. Al finalizar nos dijeron que en el curso de la semana nos llamarían para otras pruebas complementarias.

Sali un tanto exultante, pues si bien a la entrada no estaba muy motivada ya me sentía trabajando en un laboratorio lleno de equipos de computación y desarrollando proyectos de investigación para una de las más grandes empresas productoras de papel del mundo. Hasta ahora no nos habían aclarado para qué empresa íbamos a trabajar; bueno, no todos, los que pasaran las pruebas de selección. El jueves por la mañana me llamaron por teléfono para indicarme que al día siguiente a las 8:00 a.m. debería presentarme para una prueba adicional. Nuevamente me puse a repasar mis apuntes sobre la producción de papel por si me hacían algunas preguntas al respecto.

El viernes a las 8:00 a.m. en punto estaba lista para la nueva prueba; conmigo entraron casi todos los de las pruebas anteriores. Mis dos

amigos de la universidad también estaban presentes. Sin embargo, eché de menos a cuatro o cinco, lo que me dio a entender que no llamaron a todos. Nos introdujeron en un salón y alguien de la empresa se dirigió a nosotros en inglés (supuse que todos los allí reunidos hablábamos inglés) y nos explicó que pertenecía a la Intercontinental Paper Company, con sede en Toronto y con plantas de producción de pulpa y de papel en muchos países. La empresa tenía el proyecto de construir una planta piloto para la producción de pulpa de papel usando materia prima local como el bagazo de la caña de azúcar y otras especies tropicales. La planta ya se estaba construyendo y era necesario formar un grupo interdisciplinario de ingenieros para que se encargaran de la parte investigativa y de la operativa. Necesitaban 15 ingenieros de diversas especialidades, que iban a ser seleccionados entre los asistentes. Mientras escuchaba iba deslizando mi mirada sobre el resto del grupo, buscando alguna pista que me revelara quiénes nos quedábamos (¡ojalá!) y quiénes no. Constaté que entre los asistentes se encontraban cinco mujeres, detalle que se me había escapado hasta ese instante. Analicé detenidamente a mis compañeros masculinos, con ojos de mujer, a ver qué descubría. Me di cuenta de que estaba bien acompañada. En un momento me sentí también observada y eso me indicó que debía concluir mi análisis y concentrar mi atención nuevamente en el orador.

Una vez que terminó su intervención nos dividieron en grupos de cinco personas, y a cada uno nos condujeron a salas diferentes amobladas con una mesa de reuniones, varios asientos, una cafetera y dos equipos de computación. Había también un papelógrafo y un tablero acrílico. Mientras saboreábamos un café entró una persona que se identificó como directivo de la empresa y nos explicó la actividad que iba a desarrollarse a continuación. Todos nos dispusimos a escuchar atentamente; comenzó diciendo que habíamos sido escogidos entre más de un centenar de candidatos por nuestras excelentes credenciales académicas, por las universidades de las que proveníamos, así como por otras cualidades como dominar el inglés. A continuación se hizo una pequeña presentación de cada

uno de nosotros al resto del grupo; había un ingeniero electrónico, un ingeniero químico, una ingeniera industrial y un ingeniero forestal. Algunos tenían una corta experiencia laboral, pero la mayoría estábamos recién graduados.

El directivo de la empresa continuó explicando la actividad que se desarrollaría a continuación: la empresa buscaba ingenieros que además de los conocimientos propios de la disciplina demostraran habilidades tales como capacidad de trabajo en grupos interdisciplinarios, capacidad creativa, crítica y analítica, así como buena expresión, tanto oral como escrita. Además, debían demostrar que poseían una capacidad de aprendizaje con un tiempo de respuesta muy corto. Para evaluar el nivel de estas habilidades, se había diseñado un ejercicio en el que el éxito dependía en gran parte del trabajo en grupo, así como de nuestras aptitudes personales. El Departamento de Sociología de la empresa había formado cinco grupos, y en cada uno de ellos se había logrado un equilibrio entre personalidades claramente racionales y otras marcadamente emocionales. Unas dominadas por su hemisferio cerebral izquierdo y las otras por el derecho. De esta manera se lograba darles a los grupos de trabajo la creatividad y la racionalidad necesarias para hallar soluciones creativas y útiles a los problemas que debían resolverse.

El directivo aclaró que cada grupo debía encarar un problema diferente entre los siguientes: el de la drogadicción, la superpoblación, la violencia, el hambre y la contaminación. La solución debía pensarse desde el punto de vista la ingeniería, identificando el problema respectivo y proponiendo soluciones para el mismo. La respuesta del grupo debía darse por escrito, y se disponía para ello de los recursos que se encontraban en la habitación. Teníamos seis horas para dar la respuesta solicitada.

Dado que el tema de cada uno de los problemas pertenecía a un campo al que éramos ajenos la mayoría de los presentes, se exigía una apropiación rápida del conocimiento; debido a que el tiempo era limitado, se requería una división eficiente del trabajo y una excelente coordinación del mismo o de lo contrario íbamos a tener más proble-

mas de los esperados. Por otra parte, no había forma de triunfar individualmente: se seleccionaría a todo el grupo o se rechazaría a cada uno de sus miembros. Nos tocó el problema de la superpoblación; no era el peor de todos. Parecía mejor el de la contaminación, pues todos teníamos alguna idea de cómo trabajar este problema desde el punto de vista de la ingeniería. Pero, ¿qué relación tienen las drogas con la ingeniería? ¡Pobre grupo al que le hubiera tocado ese temal

Sin perder tiempo la ingeniera industrial, Carolina, tomó la palabra y planteó el esquema de trabajo; todos estuvimos de acuerdo con que ella sería la más indicada para coordinar el grupo, pues sus conocimientos de ingeniería industrial le daban una enorme ventaja sobre el resto de nosotros. Después de media hora ya habíamos organizado nuestro trabajo y cada uno se encontraba inmerso en su respectiva tarea. Mientras realizaba ésta, me acordaba de la importancia que todos nuestros profesores le habían dado al tema de las habilidades: el conocimiento se renueva continuamente, las habilidades perduran. En el mundo del futuro hay que desarrollar habilidades más que almacenar conocimiento. Los problemas son tan complejos que una sola persona no puede resolverlos; es necesario trabajar en grupos multidisciplinarios.

Sobra decir que cumplimos nuestra tarea; entregamos el informe e hicimos nuestra presentación oral. Yo fui la encargada de elaborarla para lo cual usé las facilidades de Multimedia que tenía los computadores de la sala. No sé si fue un éxito o no, lo cierto fue que nuestro grupo quedó seleccionado.

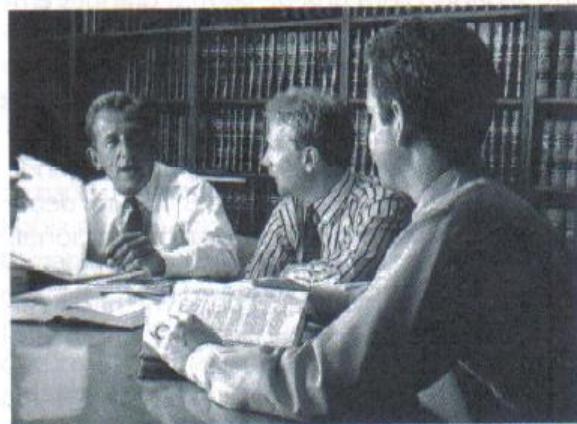


Figura 1.4. Grupo interdisciplinario trabajando.

A la semana siguiente nos llamaron y nos citaron a una reunión en la que nos informaron que habíamos sido escogidos 15 de los participantes para continuar con una capacitación en Brunswick, Georgia (véase figura 1.5), donde la empresa tenía una de sus mayores plantas de producción de pulpa y papel, así como un centro de



Figura 1.5. Planta productora de papel.

investigación y desarrollo (I&D) en tecnologías para la producción de pulpa y papel. Deberíamos permanecer tres meses en la planta y luego realizar un tur de tres semanas por diferentes plantas en Canadá, Estados Unidos y México para completar nuestra formación. Finalmente, se había programado una visita adicional a una planta de producción piloto que la empresa había instalado en Filipinas, con un propósito similar a la nuestra. Allí permaneceríamos un mes, y luego regresaríamos a nuestro país para encargarnos de la planta que en esa época debería estar en su fase final de construcción.

Una semana después nos encontrábamos instalados en Brunswick; nos diseñaron un plan de trabajo que permitía recorrer todas las áreas de la planta para darnos una idea general del funcionamiento de la misma. Formamos parejas y a mí me tocó un ingeniero químico, Andrés, con quien congenié desde el principio. Yo aprendí mucha química y él a programar computadores. El grupo se reunía cada noche después de una agotadora jornada de trabajo. Los fines de semana salímos a conocer los alrededores, aumentando el radio de acción de nuestras salidas

a medida que aumentaba nuestra confianza. Un lugar que nos encantó a todos fue Nueva Orleans con su famoso French Quarter y su entretenida Bourbon Street.

Pasados los tres meses, salimos de Brunswick e iniciamos el recorrido por diversas plantas que la empresa poseía en Atlanta, Filadelfia, Nueva York, Portland y Los Ángeles. Cada una de las plantas tenía sus características particulares; unas usaban una mayor proporción de materiales de reciclaje que otras, sobre todo las plantas de Nueva York y de Los Ángeles, en las que una proporción de casi el 50 % de la materia prima provenía del papel periódico y de la enorme cantidad de basura que se recogía en estas populosas ciudades. Sin embargo, en Portland casi toda la materia prima provenía de los inmensos bosques que caracterizan el paisaje de la región. También se distinguían por la tecnología empleada en la elaboración de la pulpa, así como los tipos de papel. En algunas de estas plantas solamente se producía pulpa que se enviaba por tren a plantas convertidoras que lo transformaban en papeles de diversas calidades y usos.

El cambio a Filipinas lo agradecimos todos; ya estábamos cansados de la comida americana y deseábamos algo más parecido a lo nuestro. En Filipinas se encuentra gente que habla castellano. Fue muy agradable la estadía en Filipinas; además de conocer ya bastante acerca de la industria del papel, el ritmo de trabajo disminuyó sustancialmente, de modo que ese mes en Manila puede recordarse como de semidescanso. De todas maneras, cada uno aterrizó las enseñanzas recibidas sabiendo que lo que estábamos viendo era una réplica de la planta en la que íbamos a trabajar en nuestro país. Por tanto, no perdimos el tiempo y cada uno lo usó para resolver todas las dudas generadas durante nuestra capacitación anterior.

Nadie se quejó cuando llegó la hora del regreso; habíamos cumplido nuestra misión y ya necesitábamos a nuestras familias. Carolina, nuestra ingeniera industrial, se encontró con sus papás en Los Ángeles y ellos la acompañaron durante todo el mes que permanecimos en Manila. Para los demás, el contacto familiar y con

las novias y novios fue vía telefónica, correo electrónico y en una ocasión videoconferencia por internet. Aunque no fue una maravilla la transmisión resultó emocionante ver a nuestros seres queridos utilizando las últimas tecnologías de comunicación.

Cuando regresamos, la empresa nos dio una semana de descanso, después de la cual nos reintegramos a nuestros puestos de trabajo. La fábrica ya estaba prácticamente terminada; los ingenieros civiles habían realizado una labor: las más modernas técnicas de diseño antísmico; una estructura modular que permitía efectuar cambios rápidos en el diseño de la planta; construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, para limpiarlas antes de efectuar su descarga al río que bordea la fábrica. Se había tenido muy en cuenta la contaminación ambiental, poniendo en práctica las más exigentes normas ISO 14 000.

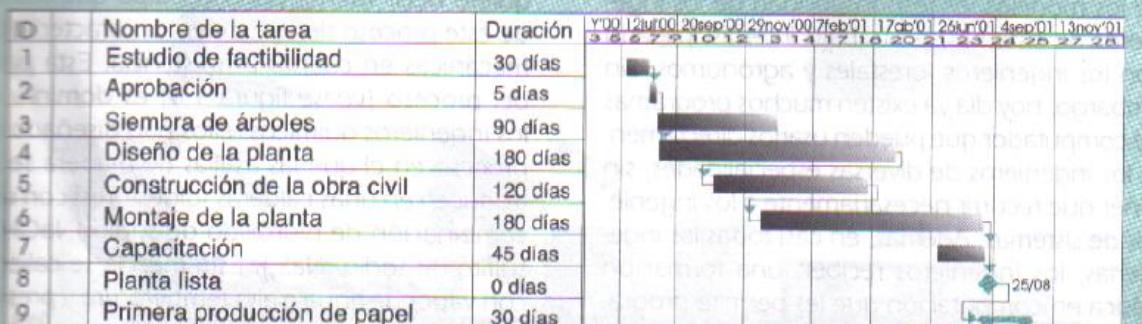
Por la tarde del primer día, visitamos la hacienda maderera (véase figura 1.6) que había comprado la empresa; se trataba de una extensión de 10 000 ha. de terreno que combinaba parte llana con montaña, en la que se habían sembrado desde hacía ya 10 años diversas especies de árboles (pinos, eucaliptos, etcétera) con el objeto de evaluar la productividad de las distintas especies vegetales. Los ingenieros forestales y agrónomos que tenían a cargo esta parte del Programa piloto para la producción de pulpa de papel en climas tropicales (P<sup>5</sup>CT), nos explicaron los pormenores del caso. Nos dimos cuenta de que debía existir una estrecha colaboración entre todas las partes del programa para que se alcanzaran los objetivos del mismo. Por ejemplo, respecto a la siembra y cosecha de las diversas especies vegetales, dado que el tiempo de crecimiento era de varios años, no se podía improvisar. Si se tenía pensado trabajar con determinadas especies vegetales debía elaborarse el proyecto con la suficiente antelación (tres o cuatro años), con el objetivo de que para entonces hubieran alcanzado la edad suficiente para su procesamiento. También era posible experimentar con una misma especie pero en diversas fases de su crecimiento y comparar los resultados. Era necesario construir una sofisticada base de datos con toda la información requerida para alimentar los



Figura 1.6. Bosque maderero.

diversos proyectos del programa. Esa era una de mis responsabilidades. Para ello, me tocaba trabajar estrechamente con cada uno de los responsables de los distintos proyectos, aprender lo que ellos estaban haciendo y enseñarles la manera como los computadores y la informática podían ayudarles. Esa es la parte interesante de la computación: los ingenieros de sistemas terminan sabiendo de todo un poco para poder comunicarse hábilmente con las demás ramas de la ingeniería.

Para este programa era necesario nombrar un coordinador que controlaría la marcha del mismo. En esta posición fue asignada nuestra amiga Carolina, quien como ingeniera industrial tenía una visión de conjunto mayor que los demás. Su primera labor (¡qué labor!) era elaborar un cronograma (véase figura 1.7) de las actividades de todo el programa, indicando tiempos, recursos y costos. Una vez elaborado el mismo, era necesario ir ajustándolo a medida que avanzaba el proyecto y se introducían modificaciones. Cada uno de los ingenieros encargados de uno de los proyectos de P<sup>5</sup>CT asumió la tarea de confeccionar la parte del cronograma que le correspondía para, al final, integrarlos. Para elaborar estos diagramas era necesario trabajar en equipo, pues las actividades de cada uno de los proyectos dependían en algún grado de actividades de los otros proyectos. Lo primero que se debía hacer era aprender bastante sobre todo el proceso y así tener una idea clara de las interrelaciones de las diversas partes del programa.



yo había aprendido bastante acerca de todas las fases de la producción de la pulpa de papel y su posterior procesamiento y conversión. Por mis lecturas y la estada en Brunswick, así como por las siguientes visitas a las diferentes plantas productoras de pulpa, me había formado una idea muy precisa sobre el proceso de producción de la pulpa de papel.

La primera fase la constituye la selección de la materia prima que va a ser usada para fabricar el papel; básicamente hay árboles de madera blanda que producen fibras largas de celulosa ideales para la fabricación de papeles de calidad. Los árboles de madera dura producen fibras cortas de celulosa que se emplean en la fabricación de papeles de corta vida (papel periódico, por ejemplo) o cartón. El tipo de madera no solamente define la calidad y el uso final del papel, como se explicará más adelante. La madera es el principal elemento natural que provee celulosa, sustancia que forma las fibras que conforman la madera. Estas fibras se encuentran unidas entre sí mediante sustancias como la lignina y las resinas. Es necesario separar estas últimas de las fibras, lo que se puede hacer de varios modos: mediante procedimientos mecánicos y procesos químicos<sup>2</sup>. El primero se usa muy poco, y consiste en golpear pequeños pedazos de madera con pesados mazos hasta descomponerlo en finísimas partes o hebras que son las fibras. Posteriormente, mediante compuestos químicos se eliminan las resinas y demás componentes indeseados y se aísla la celulosa.

Figura 1.7. Cronograma del proyecto.

El proceso químico parte del mismo punto: se seleccionan los árboles que van a ser usados para la elaboración de la pulpa y del papel. Es responsabilidad de los ingenieros forestales haber seleccionado con anticipación el área que debe ser cosechada con el tipo de árboles que se utilizará en el proceso. Si se trata de producción de papel de alta calidad, se escogerán árboles de madera blanda. De acuerdo con las tablas de productividad, se cosechará la cantidad de madera necesaria para producir las toneladas de papel requerido. Por ejemplo, si se van a producir 5 000 t de papel y la productividad de la madera es del 50%, se necesitarán 10 000 t de madera. Si un árbol promedio pesa 1 t se cosecharán 10 000 árboles. Si por cada árbol se requieren 4 m<sup>2</sup> de bosque, será necesario cosechar 4 ha. de bosque para producir la madera necesaria. Los ingenieros forestales y agrónomos deben plantar árboles nuevos para remplazar los cosechados y calcular cuándo estos nuevos árboles estarán listos para una siguiente cosecha. Se debe crear un modelo matemático que, basado en una demanda esperada, tanto de calidad como de cantidad de papel, señale las áreas de bosque que deben ser sembradas, el tipo de árbol para sembrar, el número de ha. que deben cosecharse, etcétera.

A medida que los ingenieros forestales logren aumentar la productividad de los árboles o se descubran nuevas especies o procesos que aumentan esta productividad, este modelo matemático será modificado y sus cálculos arrojarán otros resultados. Esta parte, la generación

de los modelos, es responsabilidad de los ingenieros de sistemas, en trabajo interdisciplinario con los ingenieros forestales y agrónomos. Sin embargo, hoy día ya existen muchos programas de computador que pueden usarlos directamente los ingenieros de diversas especialidades, sin tener que recurrir necesariamente a los ingenieros de sistemas. Además, en casi todas las ingenierías, los ingenieros reciben una formación básica en computación que les permite programar los computadores, siempre y cuando no sean demasiado complejos los programas.

Cuando los troncos llegan a la fábrica (véase figura 1.8) se les quita la corteza, lo que puede hacerse de varias maneras: mediante chorros de agua de alto poder que separan la corteza del tronco, o por procedimientos mecánicos. Si se usan medios hidráulicos, es necesario efectuar un tratamiento con las aguas residuales; los ingenieros ambientalistas son los encargados de vigilar este tipo de procesos, de modo que la descarga de las aguas residuales a los ríos cumplan las especificaciones de las normas ambientales internacionales. La corteza se usa como elemento calefactor en los siguientes procesos de producción de la pulpa de papel.

Una vez que se tienen los troncos, más o menos cilíndricos, se cortan en pedazos pequeños o astillas de un tamaño promedio de 20 mm; cortarlos así facilita la interacción de los agentes químicos reductores que se usarán más adelante. No se cortan de tamaño menor para que las fibras de celulosa se conserven de buen tamaño. A continuación deben separarse de estas fibras las resinas y las ligninas, para dejar solamente la celulosa. Para lograr esto se usa un proceso denominado *kraft* que en alemán

quiere decir fuerte, pues la pulpa que resulta de este proceso tiene excelentes características mecánicas en cuanto a resistencia. Esta parte del proceso (véase figura 1.9) es dominio de los ingenieros químicos; ellos han diseñado un proceso en el que las astillas de madera se introducen en unas calderas (digestores) con una combinación de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y sulfito de sodio ( $\text{NaS}_2$ ). Esta mezcla se calienta con vapor de agua a alta temperatura y presión en la caldera llamada *digestor*. Los componentes químicos mencionados, junto con el agua, reciben el curioso nombre de *licor de cocción* y es de un color claro. Tiene la particularidad de romper las uniones que mantienen las fibras de celulosa pegadas entre sí, disolviendo la lignina y la resina, dejando libre las fibras. El licor, blanco inicialmente, se tiñe de un color oscuro al final del proceso (*licor negro*), resultado de los componentes que lleva en disolución. Una de las ventajas del proceso *kraft* es que el licor que resulta puede ser recuperado y convertido en *licor de cocción* blanco y reciclado al inicio del proceso. Sin embargo, parte de este licor se pierde y debe ser tratado antes de ser depositado en las fuentes de agua. Los ingenieros químicos deben controlar este proceso de digestión de la madera, de modo que no se pierda demasiado licor negro, lo que hace más costoso el proceso al necesitar más licor blanco, e incrementa los costos en el tratamiento de los residuos del proceso.

En la planta que laboramos se trabajará también con *bagazo* de caña de azúcar; el proceso mecánico de separación de la corteza; y el cortado de los troncos en astillas no será necesario. El resto del proceso es similar. La dife-

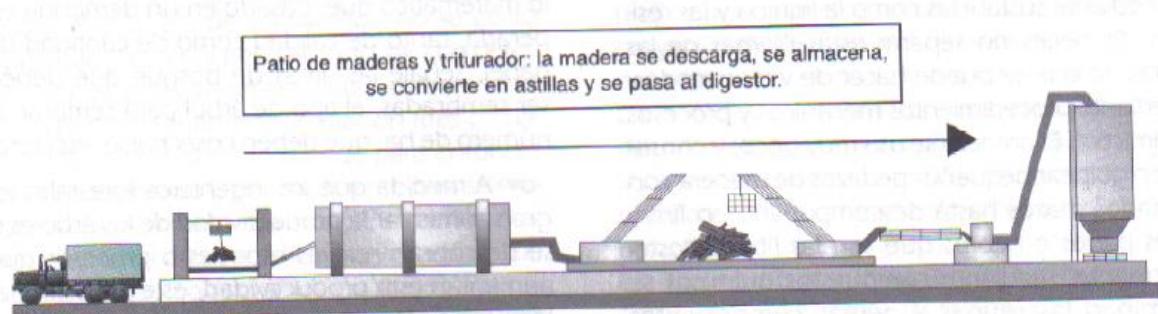


Figura 1.8. Preparación de los troncos.

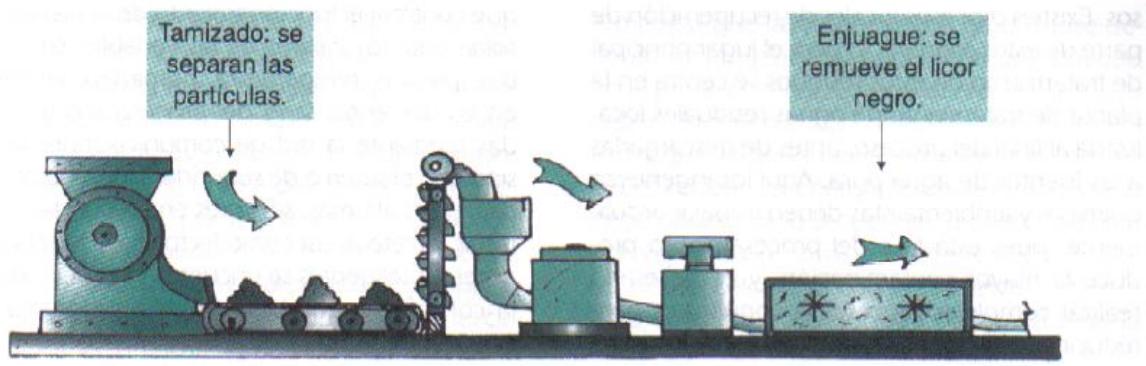


Figura 1.9. Tamizado y enjuague de la pulpa de papel.

rencia entre usar *bagazo* o madera está en la productividad de cada uno de los materiales y en la calidad del papel que puede producirse con ellos. Es interesante realizar experimentos mezclando *bagazo* y madera para descubrir una combinación óptima en cuanto a costos y calidad. Además, el uso del *bagazo* resuelve un problema ambiental de los ingenios azucareros: ¿qué hacer con él?

Una vez lograda la separación de las fibras de celulosa es necesario separar el líquido negro, las partículas de corteza que hayan llegado a esta fase y las astillas demasiado largas. El licor negro se recicla, de modo que parte del mismo regresa a la fase anterior. Otra parte se usa como elemento productor de energía del proceso. Las astillas largas se regresan al cortador y se reciclan. La corteza se usa como elemento de combustión.

Las fibras en este momento están sueltas; son largas y cilíndricas (véase figura 1.10). Es necesario aplanarlas para obtener una mayor superficie de contacto entre ellas y para que le den más consistencia al papel. Esto se logra mediante una máquina que golpea la pulpa con unas mazas que además de aplanarlas las desfibra y las enlaza entre sí.

La pulpa que resulta de esta fase no es completamente blanca; es más, puede tener un cierto color derivado de las sustancias en suspensión que arrastra. Para eliminar estas sustancias se somete la pulpa a una fase de decoloración o blanqueado (*bleaching*) usando productos químicos.

Esta fase se realiza en sucesivas etapas, introduciendo los componentes químicos en la adecuada proporción de modo que logren su cometido con el máximo ahorro y sin dañar las fibras de celulosa.

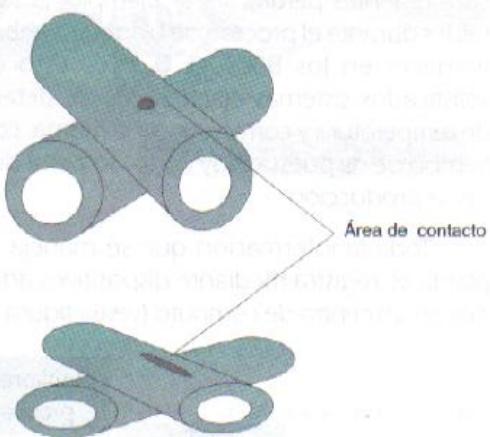


Figura 1.10. Fibras de celulosa.

Con este procedimiento la fibra toma un color blanco que la vuelve útil para la producción de papeles de alta calidad. Si la pulpa se va a usar para la producción de papeles de baja calidad, o de corta vida como los papeles periódicos, la fase de blanqueo puede omitirse o no ser tan importante.

Esta fase del proceso genera abundante contaminación, tanto aérea, en forma de malos olores y gases tóxicos, como acuática, pues el cloro y el sodio son contaminantes muy peligro-

sos. Existen procesos locales de recuperación de parte de estos elementos, pero el lugar principal de tratamiento de estos residuos se centra en la planta de tratamiento de aguas residuales localizada al final del proceso, antes de descargarlas a las fuentes de agua pura. Aquí los ingenieros químicos y ambientalistas deben trabajar arduamente, pues esta fase del procesamiento produce la mayor contaminación, y es necesario realizar complejos procesos fisicoquímicos para reducirla a niveles aceptables. También los ingenieros electrónicos tienen mucho trabajo en esta fase, así como en las anteriores. En efecto, la mayor parte de las reacciones químicas que se llevan a cabo en estas calderas deben realizarse en condiciones de temperatura, presión, humedad, composición, velocidad, etcétera, muy controladas: los valores de las variables controladas deben permanecer dentro de un rango de valores muy estrecho, o de lo contrario el producto se malogra y es necesario desecharlo, con las consiguientes pérdidas. Por ejemplo, la temperatura durante el proceso de blanqueo debe permanecer en los  $85^{\circ} \text{ C} \pm 0,2^{\circ} \text{ C}$ . Esto exige sofisticados sistemas electrónicos de detección de temperatura y corrección de la misma, con un tiempo de respuesta muy corto, so pena de perder la producción.

Toda la información que se maneja en la planta se registra mediante dispositivos adecuados en un centro de cómputo (véase figura 1.11)

que controla el funcionamiento de la planta; no solamente los valores de las variables controladas (presión, temperatura, humedad, etcétera) en las diferentes fases del proceso son transmitidas mediante la red de comunicaciones local, sino que el sistema de seguridad compuesto por diferentes alarmas, sensores en las puertas, ventanas, etcétera, así como lectores de tarjetas de acceso inteligentes se encuentran conectados a la consola central. Un complejo programa de computador comprueba continuamente el estado de los valores de las variables físicas y ordena las correcciones del caso. Es decir, todo el proceso se encuentra bajo control automático del computador central. Asimismo, cuando se detecta un intento indebido de intrusión, las alarmas alertan a los servicios de vigilancia para que tomen los correctivos del caso.

En algunos casos es necesario insertar una fase adicional de tamizado y separación de partículas, antes de iniciar el proceso de producción del papel. Si la planta solamente estuviera destinada a producir pulpa de papel, éste sería el final de la historia. Se almacena la pulpa en espacios adecuados, combinándola con organismos que prevengan la formación de hongos y deterioren la calidad del producto.

Si se desea producir papel, la pulpa se transporta a un tanque que alimenta un mecanismo llamado, en honor a su inventor, máquina de

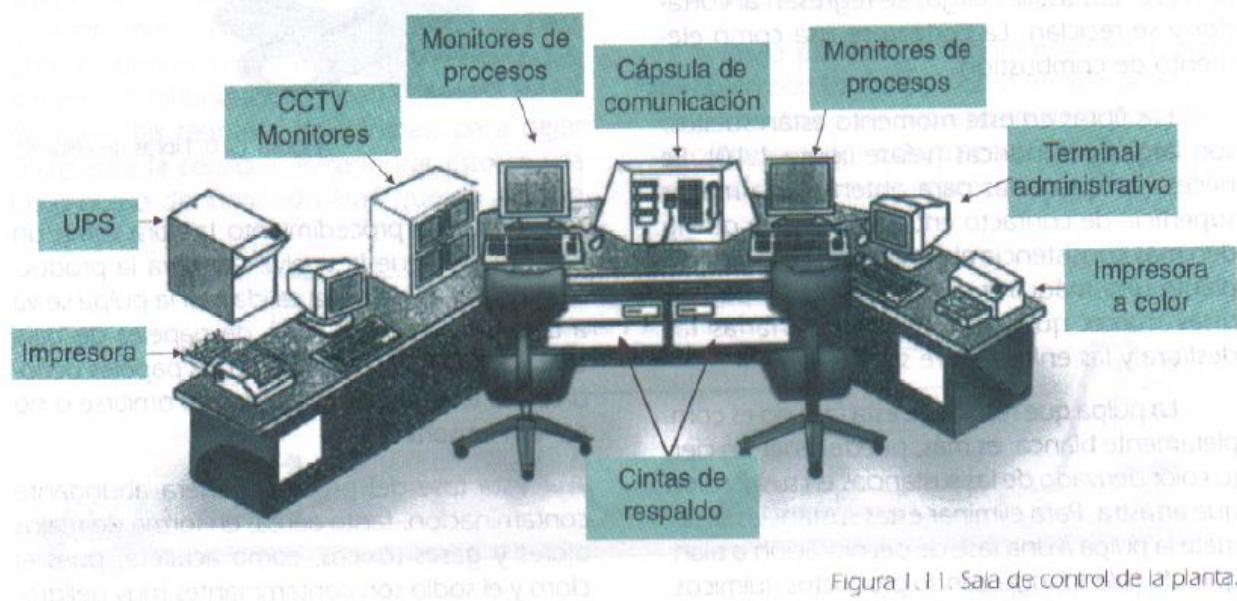


Figura 1.11. Sala de control de la planta.



Se diseñaron las siguientes líneas de investigación:

- Uso del bagazo solamente como generador de energía; uso de madera para la producción de papel.
- Mezcla de bagazo y madera para la producción de papel y energía.
- Uso de diversas especies vegetales tropicales en la producción de pulpa.
- Uso de enzimas para el proceso de digestión.
- Uso de ozono, peróxido de hidrógeno y otras sustancias para el blanqueo de la pulpa.
- Elaboración de modelos computacionales para la optimización del proceso de producción de pulpa de papel, con restricciones ambientales.

Mi función principal (la del Departamento de computación, que yo dirigía) era crear una base de datos con toda la información que se generaba en el proceso, así como información periférica necesaria para que éste funcionara. Crear el modelo de producción de la finca maderera para que pudiera suministrar la materia prima que se necesitaba para la realización de las diversas investigaciones; registrar los datos de las variables físicas y químicas del proceso de producción de la pulpa y del papel para su análisis posterior; registrar y controlar las emisiones ambientales para no sobrepasar los límites legales impuestos, buscando rebajarlas al mínimo; mantener funcionando el sistema de seguridad de la planta a través de los computadores, etcétera.

Los ingenieros químicos investigaban las proporciones adecuadas en los componentes del proceso de producción de acuerdo con la materia prima usada; como criterios de estudio debían tener en cuenta la reducción de costos del proceso y minimizar las emisiones ambientales nocivas, tanto al aire como al agua. Trabajaban en estrecha relación con los ingenieros ambientalistas a fin de lograr el mí-

nimo impacto en el medio ambiente. Analizaban cuidadosamente la información almacenada en las bases de datos para relacionar causas y efectos y tomar las medidas correctivas del caso. Planeaban cuidadosamente los experimentos que se pensaban llevar a cabo, para no dejar nada al azar y pudiera causar una catástrofe; muchas veces pedían ayuda al Departamento de computación para realizar simulaciones de lo que se iba a efectuar y tener una idea anticipada de los valores de las variables relacionadas con la contaminación que podrían aparecer. Los ingenieros químicos estaban interesados en experimentar con hierbas locales que tradicionalmente se habían usado para el blanqueo de la ropa; pensaban que el uso de estos recursos podría rebajar los costos y disminuir el impacto ambiental.

A los ingenieros electrónicos les tocaba mantener funcionando todos los sistemas de control de modo que el proceso ocurriera sin sobresaltos; en unión con las empresas que habían suministrado los sistemas de control desarrollaban nuevos algoritmos de control adaptados a las condiciones particulares de operación de la planta: materia prima usada, condiciones ambientales, etcétera. Con las universidades locales se desarrollaron interesantes trabajos de aplicación e investigación que, entre otras cosas, le permitieron a la empresa contratar a los estudiantes más brillantes para que trabajaran en la misma, dándose continuidad a la labor investigativa que estaba desarrollándose.

Los ingenieros forestales y agrónomos tenían a su cargo la producción de madera para alimentar la planta; estaban en contacto permanente con los demás departamentos para aunar esfuerzos en busca de optimizar el funcionamiento general de todo el proceso. Se encargaban de analizar los resultados y compararlos con las combinaciones de materia prima empleada para así identificar las mezclas óptimas.

Los ingenieros mecánicos mantenían todos los mecanismos funcionando correctamente, especialmente la parte final del proceso,

la producción de papel, con las menores pérdidas posibles; cualquier error en esa parte hacia que toda una bobina de papel tuviera que ser desechara y reciclada, con las consiguientes pérdidas económicas. Asimismo, eran los encargados de optimizar la generación y el uso de la energía en los diversos procesos, optimizando el intercambio de calor. Tenían estrechos contactos con los ingenieros electrónicos y eléctricos (se necesitaban mutuamente) para lograr los objetivos que perseguían. Se dedicaron a diseñar máquinas para sacar las cortezas de las especies tropicales, pues notaron que las máquinas que se habían importado no hacían un buen trabajo con las especies locales que eran más blandas; muchas veces tocaba terminar de sacar la corteza a mano.

Los ingenieros industriales se encargaban de coordinar los esfuerzos de todo el grupo para optimizar la producción global de la planta, Carolina, quien desde el principio demostró sobresalientes dotes directivas, terminó como gerenta de la planta. Fue un acierto, pues con ella era fácil trabajar; además era muy apreciada en las altas esferas de la casa matriz. Todo lo que necesitábamos para que el programa funcionara lo obteníamos.

Estuve trabajando durante siete años en este programa; las cosas me salieron siempre muy bien y aprendí mucho. Viajaba regularmente a diversas plantas localizadas alrededor del mundo para intercambiar experiencias con mis homólogos; presenté varias ponencias en congresos nacionales e internacionales. El contacto con la comunidad académica en estos congresos hizo cambiar mis prioridades en la planeación de mi vida. Me entraron ganas de seguir estudiando; me matriculé en un programa de doctorado en ciencias de la información que ofrecía a distancia la Nova University, en Estados Unidos. Ésta utilizaba diversos mecanismos para mantenernos en comunicación, como internet, videoconferencias, materiales impresos y una visita presencial anual a la universidad para sintetizar el trabajo de cada año. Me tomó cinco años obtener mi doctorado; la empresa me ayudó

económicamente con los gastos del programa. Mi investigación se basó en el trabajo que estaba realizando en la planta: "Modelo de investigación de operaciones para optimizar la producción de pulpa de papel usando mezcla de bagazo de caña y especies arbóreas tropicales".

Continué trabajando en la empresa después de casarme; pero cuando tuve el primer bebé me di cuenta de que mi trabajo en la planta no era compatible con mis aspiraciones actuales de calidad de vida. Después de haber alcanzado una cierta estabilidad económica, no veía la razón para seguir trabajando tan duro; como había estado colaborando con mi universidad desde hacía varios años atrás dictando algunas cátedras y dirigiendo trabajos de grado, no tuve problemas en conseguir un trabajo de medio tiempo como profesor asistente en el Departamento de Ciencias de la Computación. Además de dictar asignaturas en el área de simulación me dediqué a desarrollar modelos para la industria del papel, con la que seguí estrechamente relacionada. De hecho ellos siempre me apoyaron económicamente en mis investigaciones; asistí regularmente a congresos internacionales de investigación de operaciones en los que intercambié conocimientos con mis colegas.

De mis antiguos compañeros sólo sé que a Carolina la trasladaron a Estados Unidos como directora de enlace para las operaciones de la empresa en Latinoamérica. En su lugar nombraron a Andrés, el ingeniero químico. Hace unos días visité la planta y descubrí que no conocía casi a nadie; me di cuenta de que el programa había dado los frutos esperados. La planta había crecido casi el doble; la finca maderera se había triplicado y estaban sembrándose especies de otros climas para investigar el rendimiento que estas especies tenían en los nuestros. La planta ya no era solamente para investigación; convirtió en una planta de producción industrial, aunque una parte de la misma se destinó para seguir la investigación básica iniciada hacía ya casi 20 años.

## 1.2. Carta a un aspirante a ingeniero

Hay muchas maneras de introducir al futuro ingeniero a su profesión; pero entre éstas hay una que resume todas y que lo hace de una manera especialmente bella. Se trata de un documento escrito por un conocido científico de la computación y que se presenta en forma de carta dirigida a los estudiantes que ingresan en las facultades de ingeniería.

Apreciado amigo:

Eres muy afortunado al haber llegado a las postrimerías del siglo XX, cuando estamos comenzando a liberarnos de una plaga de los últimos siglos.

Por mucho tiempo, en Occidente hemos creído que antes de actuar debemos tener un plan, basado en la verdad obtenida por la acumulación de conocimientos. Este enfoque comenzó a tomar fuerza en el siglo XVII, cuyos habitantes creyeron que todos los problemas humanos podrían resolverse con racionalidad y fidelidad a las leyes de la naturaleza. Las tradiciones de la ingeniería, a la que tú aspiras, están profundamente enraizadas en este enfoque.

En esta parte del siglo XX, estamos dándonos cuenta que muchos aspectos de la condición humana tales como la pobreza, carencia de hogar y devastación ambiental, no pueden ser resueltos mediante la racionalidad y la tecnología únicamente. Requieren aprecio, confianza, compromiso y respeto por la dignidad de los demás. Se necesita un respeto práctico por la vida y el mundo que nos ha sido entregados.

Estás considerando embarcarte en el currículo de nuestra Facultad de Ingeniería. Para ser un ingeniero competente debes dominar los hechos esenciales, los procedimientos, los modelos y los procesos de la ingeniería, y tienes que demostrar su uso imaginativo en la práctica. La mayor parte del tiempo que permanezcamos juntos la dedicaremos a alcanzar esto.

Mientras seas parte de nuestra facultad, armonizaremos con tu propia individualidad, conociéndote bien y ajustando el currículo a tus intereses personales, antecedentes y velocidad de aprendizaje. Contamos con que tomes total responsabilidad por tu aprendizaje: asistas a todas las clases, realices todas las tareas, cumplas todos los trabajos y reúnete regularmente con tus profesores.

Esperamos que seas un miembro pleno y contribuyas al bienestar de la facultad mediante organizaciones estudiantiles y proyectos que ayuden a otros, y des muestras de respeto hacia éstos.

A lo largo del trayecto que te convertirá en un creativo y competente ingeniero en nuestra facultad, sus profesores, su director de carrera y su decano serán tus guías. Ellos te ayudarán a escoger tus asignaturas a medida que se construyen tus habilidades para la vida.

Las habilidades de la ingeniería solamente no son suficientes para garantizarte una vida de satisfacción y logros; también:

1. Aprenderás retórica: la capacidad de seducción e invención con otros.
2. Aprenderás a ser escritor de ficción y poesía, y darse cuenta de que todo lo que decimos sobre la vida es una narración con limitaciones de responsabilidad. Aun el estudio de la naturaleza es un estudio de los efectos, construido por la habilidosa manipulación de los humanos.
3. Aprenderás música: comprenderás la manifestación pura de la historia y del estado de ánimo.
4. Aprenderás danza o artes marciales: comprenderás la belleza de la manifestación del espíritu en el cuerpo.
5. Aprenderás ciencias: no como una descripción de las realidades, sino como una hermana de la tecnología y del conocimiento biológico y como testimonio de la cuidadosa ponderación de la evidencia.
6. Aprenderás historia y filosofía: de modo que te puedas ubicar en las discusiones que ha sostenido la humanidad, apreciar la historicidad que te rodea e impregna, realizar tu capacidad para la reinvenCIÓN, y abarcar las dimensiones éticas y espirituales de la vida. La historia no es un registro del pasado: es una narración que nosotros tejemos, una iluminación del presente por el pasado que nos trae una nueva perspectiva.

También necesitarás asumir responsabilidad para las situaciones y discusiones en que la humanidad se hallará en los años venideros, y a las que se espera que tú contribuyas:

- Está emergiendo una nueva concepción de empresa, impulsada por una penetrante tecnología de la información en continua reducción de costos. La fuerza de trabajo se ha convertido en un artículo mundial. Las corporaciones globales compiten con las instituciones políticas.
- Los límites geográficos están perdiendo su significado y las instituciones políticas están siendo destrozadas por conflictos culturales y étnicos. Los papeles de las naciones y de los organismos mundiales están reformulándose. La vieja idea de estado del siglo XIX, con sus paternales pretensiones, está cayendo.
- La estabilidad de la ecología y de las fuentes de energía del planeta es incierta.
- Hay una lucha por definir la moralidad y la realidad social que está limitando y no realizando nuestro individualismo y nuestras familias, y que está aumentando las tensiones sociales.

Aún en medio de esta inestabilidad, dispones de sólidos cimientos. No deberías olvidar tu habilidad como creador y oyente del mundo. Si puedes acordarte de esto, la atmósfera social que contiene males como la desesperación, resignación y resentimiento se desplazará a un estado de alegre desafío, respeto mutuo, responsabilidad, admiración y una nueva espiritualidad.

### 1.3. Desarrollo histórico

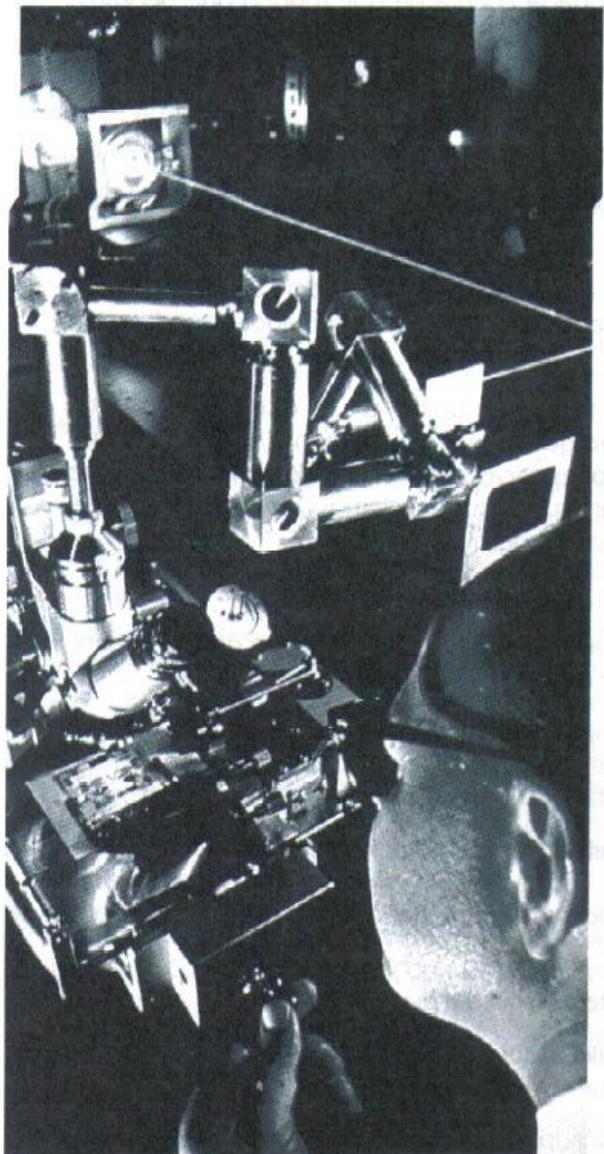


Figura 1.13. Ingeniero trabajando con un láser.

El desarrollo de la humanidad está estrechamente ligado al desarrollo de la ingeniería; es fácil imaginar que nuestros primeros *ingenieros* no tenían un gran parecido con las personas a las que hoy identificamos con ese nombre (véase figura 1.13). Sin embargo, las realizaciones que nos han legado permiten afirmar que poseían rasgos creativos y capacidad analítica de características similares a las de los ingenieros actuales.

De los factores que más han contribuido al desarrollo de la ingeniería pueden destacarse tres: el conocimiento necesario para realizar algo, las herramientas indispensables para construirlo y los instrumentos de medida sin los cuales muchos de esos logros no hubieran podido cumplir a cabalidad su misión. De alguna manera, la combinación de estos tres elementos impulsó el desarrollo de la ingeniería y de la humanidad.

El conocimiento inicialmente se adquirió en forma empírica; es curioso que la máquina de vapor de Watt no estuviera precedida de estudios teóricos que demostraran su viabilidad técnica. Fue necesario esperar los estudios de termodinámica de Carnot para demostrar la posibilidad de construir el motor de combustión interna, a finales del siglo XIX. Mientras tanto, una gran cantidad de conocimientos se obtuvo por el método de ensayo y error. Sin saber hidrodinámica, los indígenas de Guinea han sido capaces, durante miles de años, de construir canoas que se deslizan suavemente en el agua ofreciendo una resistencia al avance no muy diferente a la que se hubiera podido lograr a través de su diseño mediante un computador moderno. Muchos otros ejemplos demuestran que la tecnología precedió a la ciencia; solamente en los tiempos modernos los desarrollos tecnológicos se sustentan en el conocimiento adquirido científicamente.



Figura 1.14. Herramientas primitivas.

Las *herramientas* pueden considerarse los periféricos artificiales del ser humano; si bien nuestra mano tiene una enorme posibilidad para agarrar cualquier cosa, debido básicamente a la presencia de nuestro dedo pulgar, su fuerza no es equiparable con sus otras cualidades. Difícilmente podríamos cortar el tronco de un árbol con nuestras manos o despedazar el cuerpo de un animal con dientes y manos. El movimiento de grandes pesos tanto longitudinal como verticalmente no hubiera sido realidad sin contar con palancas, poleas, vehículos sobre ruedas, etcétera. La construcción de las grandes obras de la ingeniería actual no se hubiera logrado sin contar con máquinas adecuadas para ello. Hay una gran distancia entre las primitivas herramientas (véase figura 1.14) usadas por nuestros antepasados para cortar las pieles, construir sus arcos, etcétera, y el topo usado para taladrar el túnel que unió a Francia con Inglaterra, (véase figura 1.15).

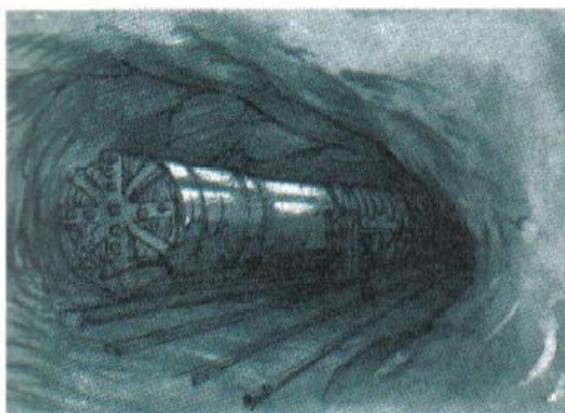


Figura 1.15. Topo excavando un túnel.

Finalmente, es necesario anotar algunas palabras sobre los *instrumentos de medida*. Las grandes construcciones de la antigüedad nos asombran aún en nuestros días por la exactitud de sus medidas. Las grandes pirámides egipcias, las ciudades mesopotámicas, la muralla China, así como los templos construidos por las civilizaciones mayas, aztecas e incas revelan que nuestros antepasados poseían instrumentos que permitían elevar sus edificios verticalmente, asentártlos sobre terrenos planos, así como controlar las longitudes de manera que se lograran efectos espectaculares como los que se observaban periódicamente en el templo egipcio de Abbu Simbal. El sol entraba exactamente algunos días

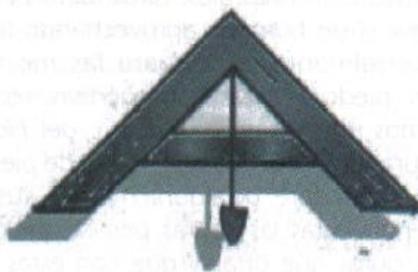


Figura 1.16. Nivel primitivo.

del año e iluminaba la faz de Ramsés III. Los egipcios desarrollaron una herramienta (véase figura 1.16) para medir la horizontalidad de sus construcciones: consistía en un marco en forma de A, de cuyo vértice pendía una plomada<sup>4</sup>. Los dos pies de la A se localizaban sobre la superficie del terreno; si la plomada bisectaba el ángulo la superficie era horizontal. Este instrumento se usó en Europa hasta mediados del siglo XIX.

La famosa torre de Pisa no se encuentra inclinada por un error de los instrumentos usados en su construcción; se debe a una falla en los estudios de suelos: por un lado encontraron roca, mientras que por el otro, más blando, la estructura cedió y originó la inclinación que la hizo famosa. Hoy se realizan trabajos de mantenimiento para evitar que la Torre se caiga.

Las mediciones precisas han permitido comprobar muchas de las teorías expuestas por los físicos modernos. El conocimiento de la masa del electrón, la comprobación experimental de las predicciones de la teoría de la relatividad de Einstein, etcétera, no hubieran sido posibles sin contar con instrumentos de medida de gran precisión.

Volvamos ahora al tema del desarrollo de la ingeniería a lo largo de la historia de la humanidad.

No hay duda de que los primeros esfuerzos del ser humano se dedicaron a sobrevivir en medio de una naturaleza hostil. Comida, albergue y salud tuvieron que ser las primeras preocupaciones de nuestros antepasados<sup>5</sup>. Los primeros albergues que encontraron fueron las cavernas naturales (véase figura 1.17) utilizadas tanto para protegerse de las inclemencias del tiempo como de los peligrosos animales. Si bien muchas de

estas cuevas eran naturales, otras fueron construidas por el ser humano aprovechando terrenos especialmente aptos para las mismas: areniscas, piedras calizas homogéneas, etcétera. Estamos en presencia, mínima, del *Homo faber*. Durante esta etapa de la edad de piedra, el primitivo descubre, de alguna manera, sus primeras herramientas: las piedras; percibe que unas son más duras que otras y que con estas últimas puede trabajar las más blandas, darles forma adecuada para cortar la carne, trabajar las pieles de los animales que caza, usarlas como armas, etcétera. No hay duda de que el ser humano descubrió en una rama de árbol gruesa y pesada el origen de nuestro actual martillo y que en más de una ocasión usó un palo para mover rocas pesadas: sin saberlo estaba utilizando la palanca.

Durante miles y miles de años, ésta debió ser la imagen que primaba en la mayoría de los terrenos habitables de la Tierra. Cuando el primitivo se hizo sedentario se vio en la necesidad de salir de las cavernas y construir chozas con los elementos naturales de su entorno: paredes y techo de madera y paja para protegerse de la



Figura 1.17. Primeras viviendas.

lluvia. Debió aparecer otra herramienta, el arado, y con éste el primer aprovechamiento de energía no humana para la realización de una tarea pesada: el uso de animales domésticos para arrastrar el arado, aunque es posible que esta etapa la precediera otra en la que los mismos seres humanos actuaron como impulsores del arado.

Para el traslado de los grandes bloques con que fueron construidas las pirámides egipcias se utilizó una plataforma que se deslizaba sobre troncos (véase figura 1.18), los cuales se reposaban continuamente para que la carga avanzara. Los troncos se engrasaban para que la plataforma se deslizara sin necesidad de tanto esfuerzo.

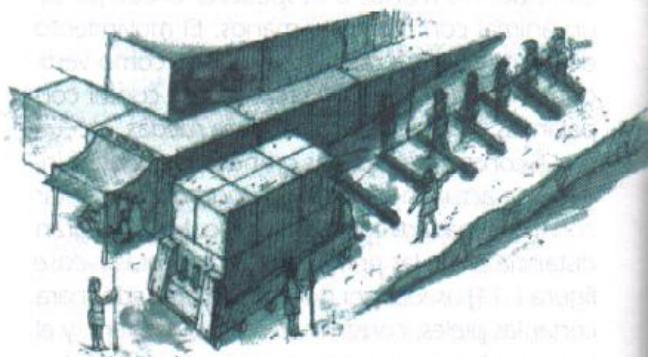


Figura 1.18. Trasporte sobre rodillos.

Los egipcios tenían un cierto conocimiento acerca de algunos principios de la física: hay que hacer menos trabajo para trasladar un objeto pesado si se desliza sobre unos troncos que si se arrastra sobre el terreno. Y el esfuerzo es menor si se disminuye el coeficiente de fricción untando una sustancia grasa.

De alguna manera apareció la rueda<sup>6</sup>; los investigadores la ubican por primera vez en Mesopotamia. Parece ser que los sumerios fueron los primeros en usar la rueda. Es evidente que las primeras versiones de la misma debieron ser muy diferentes de las actuales, pero de todas maneras el principio es el mismo. Es dudoso creer que el nacimiento de la rueda estuviera precedido de algún tipo de estudio; posiblemente la idea de la forma del tronco sobre el que se desliza una plataforma dio pie a que se extendiera la idea un poco más allá: cortando en rodajas troncos gruesos y uniéndolos mediante troncos más delgados y rectos se podía montar una plataforma que al ser arrastrada requería menos esfuerzo. Hay que recordar que ya se estaba en la edad de los metales y que el ser humano había aprendido a efectuar unas muescas en la hoja de su cuchillo, en forma de dientes como los de ciertos animales, que permitía llegar al interior de las ramas y tron-

cos de los árboles, y así cortarlos. La aparición de la rueda trajo muchos cambios; descubrimientos posteriores inciden profundamente en el desarrollo de ésta. Alguien<sup>7</sup> afirmó que un descubrimiento tiene un efecto profundo si la variable o variables a las que afecta quedan reducidas o aumentadas en un orden de magnitud o más (un orden de magnitud es un múltiplo o submúltiplo de 10). En este caso, el esfuerzo para mover una carga arrastrada sobre troncos o sobre ruedas se disminuyó no solamente en un orden de magnitud, sino en varios; en números sería: para arrastrar un bloque de una tonelada sobre troncos podría requerir 20 ó 30 hombres, mientras que usando un carro montado en ruedas este número podría reducirse a dos o tres.

La aparición de la rueda aceleró la construcción de las vías de comunicación, cambió sus especificaciones, pues la presión de las ruedas sobre el terreno era mucho mayor que la que ejercían los troncos y dejaba profundas huellas y se enterraban. Los romanos fueron unos excelentes constructores de vías: diseñaron calzadas con varias capas de materiales que todavía perduran. Construyeron más de 80 000 km de vías, de diferentes calidades, algunas de doble vía y hasta con cuatro capas de diversos materiales para darle mayor consistencia.

Entre todas las construcciones que perduran hasta nuestros días, las más impresionantes son: las pirámides de Egipto; las pirámides construidas en América por las civilizaciones mayas y aztecas, y el enorme complejo inca de Machu Picchu. Todas presentan características similares: la enormidad de las construcciones y nuestra admiración por la manera como tuvieron que mover enormes cantidades de materiales, trasportar bloques de piedra de hasta 30 t enormes distancias y elevarlos luego a alturas que aún hoy requeriría maquinaria especializada. Adicionalmente, la perfección de las pirámides indica que estos pueblos debieron tener un conocimiento profundo de geometría, aritmética y estática. Los egipcios usaron la plataforma tirada por animales o esclavos y deslizándose sobre troncos engrasados; los mayas usaron el esportillo al hombro de sus esclavos para trasportar los miles de toneladas de tierra con que construyeron sus pirámides de terraza.

Las herramientas y los instrumentos de medida que usaban los egipcios eran muy primitivos, pero eficaces<sup>4</sup>. Muchas de ellas se utilizan hoy (véase figura 1.19).

Paralelamente a estas realizaciones, los pueblos antiguos construyeron enormes templos, edificios públicos, monumentos, etcétera. en los que los elementos constructivos eran muy similares (dado el poco conocimiento que se tenía sobre la estática las construcciones eran porticadas: múltiples columnas enormes sobre las que se tendían vigas (dintel) de madera o hechas de piedra.) El material dependía del entorno<sup>5</sup>. En la figura 1.20 se aprecia un ejemplo clásico de este tipo de construcción: muchas columnas para soportar el peso del techo. Los griegos, y en general los antiguos, no tenían el conocimiento suficiente para adoptar soluciones que permitieran aumentar la luz entre las columnas y ofrecer mayores espacios funcionales.



Figura 1-19. Instrumentos y herramientas de los egipcios.

Los romanos introducen soluciones novedosas en las construcciones<sup>8</sup>. Si bien usaron con profusión la solución de la columna y el dintel (véase figura 1.20), en muchas de sus construcciones emplearon como elemento innovador el arco de medio punto, que permitía aumentar la

luz entre las columnas de las construcciones. Los romanos avanzaron en el conocimiento de la estática; lograron distribuir las fuerzas estructurales de tal manera que pudieron aumentar la distancia entre columnas y de esta manera la elegancia en sus construcciones. Coliseos, puentes, arcos de triunfo, acueductos, etcétera, esparcidos por toda Europa reflejan el dominio que alcanzaron los romanos en el arte de la construcción (véase figura 1.21).



Figura 1.20. Uso de columnas y dintel en un templo romano.

Parece claro, hasta aquí, que las primeras manifestaciones de la ingeniería se producen a través de la ingeniería civil. Es apenas obvio: la necesidad de un espacio para vivir con comodidad, con seguridad, en comunidad, conduce a la construcción de casas, templos, construcciones comunitarias, etcétera. Las otras necesidades van cubriendose también, pero no dejan las mismas huellas que las construcciones civiles.

¿Quiere decir esto que las demás ingenierías, de acuerdo con la clasificación que hoy tenemos de ellas, no dan muestras de vida todavía?



Figura 1.21. Uso del arco de medio punto en el acueducto de Segovia.

Nuestro planeta está formado por tres cuartas partes de agua y una de tierra firme; es lógico pensar que una de las primeras formas de transporte fuera la marítima. Aunque los antiguos no conocían las leyes de la flotación (hasta que Arquímedes de Siracusa las descubrió) sí conocían que algunos cuerpos (la madera, los árboles) flotaban en el agua, y éstos podían soportar peso encima. Así desde el comienzo de la historia de la humanidad hubo constructores (la Biblia narra la manera como Noé construyó su arca) de barcos que desarrollaron una incipiente ingeniería naval (véase figura 1.22) cuyos principios

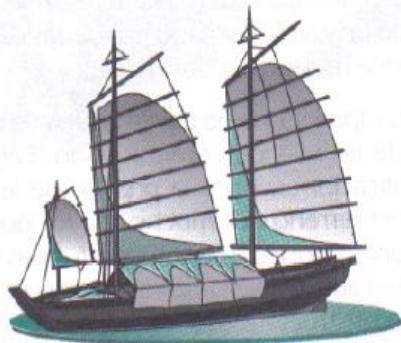


Figura 1.22. Inicio de la ingeniería naval.

básicos no variaron mucho durante siglos. Los egipcios trasportaron por el Nilo en naves de vela los bloques de piedra que se usaron en la construcción de sus monumentos. Según los vestigios encontrados, estas naves medían más de 100 metros, longitud que no fue superada durante siglos. Los primitivos barcos fueron impulsados por remos y por velas, lo que muestra el aprovechamiento de la energía eólica por nuestros antepasados.

También se aprecian vestigios de una primitiva ingeniería mecánica; en la época de los romanos ya se conocían algunos mecanismos a base de engranajes, poleas, tornillos, etcétera, como las norias de agua usadas para el riego. Sin embargo, no puede hablarse de un desarrollo similar, ni mucho menos, al de la ingeniería civil.

La invasión de los bárbaros y la desaparición del Imperio romano es un hito en el avance de la humanidad, especialmente de Occidente. Hubo un estancamiento que se prolongó durante muchos siglos; no hay adelantos notables que men-

ciónar. El conocimiento se refugió en los monasterios esperando mejores tiempos para florecer. Hubo un marcado retroceso.

Respecto a la construcción cabe destacar la aparición del estilo románico o romanesco, derivado de las últimas manifestaciones del estilo romano, especialmente en el uso del arco de medio punto, o semicircular, que descansa en sólidas columnas para recibir el peso del techo o pisos superiores<sup>9</sup>. Los conocimientos sobre estática no se aumentaron y los primitivos *maestros de obra-arquitectos-ingeneros civiles* deben recurrir al uso de gruesas paredes, abultadas columnas para soportar el peso del techo. La iluminación se logra a través de ventanas de reducido tamaño en las paredes para no poner en peligro la estabilidad del edificio. La mayor parte de estas construcciones son iglesias, monasterios, etcétera. Sus interiores son oscuros, por la escasez de ventanales, y se utiliza la piedra como materia prima en paredes y columnas, así como madera, en la construcción de los techos. Debido al uso de la madera muchas de estas construcciones desaparecieron a causa de los incendios frecuentes en su época. Las herramientas no difieren sustancialmente de las que venían usándose en tiempos pasados y cabe destacar el hecho de que estas iglesias son construidas por empresas compuestas por el maestro, aprendices, picapedreros, pulidores, albañiles, etcétera, que van trasladándose de un sitio en otro ofreciendo sus servicios a los señores feudales, a los abates de los monasterios, a los obispos, etcétera. Sin embargo, son muy escasos los registros existentes que nos den los nombres de los más prestigiosos maestros de ese entonces.

Alrededor de 1100 empiezan a ocurrir cambios importantes. Con excepción de España, los otros países europeos se encuentran en paz y en el inicio de un ciclo de prosperidad económica; hay un comercio floreciente y las primeras universidades comienzan a funcionar en Europa: París y Bolonia son la cuna de la cultura y la ciencia europeas. Se amplía el conocimiento en muchas disciplinas y se descubren soluciones novedosas a antiguos problemas. Se abandona el arco de medio punto por el arco en ojiva, (véase figura 1.23) que es la unión de dos arcos circulares cuyos centros se encuentran adecuadamente localizados,

con lo cual se logra una distribución mejor de las fuerzas hacia abajo y permite construcciones más altas y graciosas.

Los ingenieros de la época descubrieron que la bóveda curvada distribuía el peso hacia abajo y no hacia los lados, lo cual llevó a disminuir el espesor de las paredes, ya que no actuaban como paredes de carga (casi), y a insertar en las mismas enormes vitrales multicolores que dan una iluminación y vida a la nave central, imposible de imaginar en la construcción románica.

También notaron que al colocar unas finas columnas curvadas a lo largo de la bóveda, como unos nervios, el empuje hacia abajo se puede dirigir a lo largo de estos nervios, los cuales terminan en las columnas que van hasta el piso.



Figura 1.23. Arco ojival del gótico.

Esta bóveda nervada es uno de los grandes aportes del estilo gótico. Adicionalmente, se redujo el espesor de la cubierta de la bóveda, pues todo el peso se desplazaba por los nervios y permitía elevar aún más la altura de la catedral (véase figura 1.24). Para disminuir aún más el espesor de las paredes, crearon unas estructuras exteriores, denominadas en inglés *flying buttresses* (arbotantes) cuya finalidad era desviar el peso de

las bóvedas y altas paredes hacia contrafuertes externos. También tenían como fin mejorar la resistencia de las catedrales contra el viento. Este sistema de contrafuertes externos dio elegancia interior y ancló las construcciones al piso.

Cuando se entra en una catedral gótica, uno queda maravillado por lo monumental de la construcción; algunas de ellas llegaron a tener alturas cercanas a los 50 metros.

¿Quiénes fueron los constructores de estas impresionantes obras? Del mismo modo que las cuadrillas que construyeron las iglesias románicas, los constructores de las catedrales góticas deambulaban por Europa llenando de castillos blancos (debido al color de la piedra caliza utilizada) la geografía del Viejo Continente; a diferencia de sus antecesores, estos constructores sí dejaron sus firmas en sus obras de arte y hoy conocemos sus nombres. Las hera-

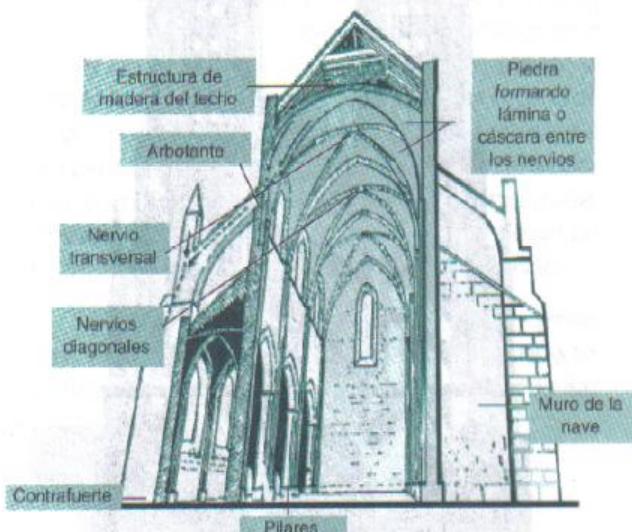


Figura 1.24. Distribución del peso en las construcciones góticas.

mientas y los instrumentos de medida que usaron no eran muy diferentes de los que les permitieron a los egipcios levantar sus pirámides. Con martillos y cinceles de distinto tipo labraron las piedras que se utilizaron en la construcción de los edificios. Todo maestro (ingeniero civil-arquitecto-maestro de obra) tenía sus aprendices a los que trasmisitía sus conocimientos, esperando que los mejores entre ellos fueran los continuadores de la tradición constructora de la cuadrilla.

No hay nada especial que decir sobre las otras ramas de la ingeniería. Habrá que esperar hasta el Renacimiento cuando confluyen muchos factores que permiten un avance significativo en el desarrollo de la humanidad, no tanto en aspectos tecnológicos nuevos sino en la preparación a lo que se llamaría más tarde la Primera revolución industrial.

El Renacimiento va desde 1500 hasta 1750 y estuvo marcado por una nueva actitud mental: investigar, descubrir, atreverse a contradecir lo aceptado durante siglos. Los hombres clásicos de este periodo son Leonardo Da Vinci y Galileo. El primero fue un genio, humanista, científico, ingeniero, pintor. Realizó diseños de máquinas voladoras, como helicópteros y aviones; estudió el comportamiento de los fluidos, elaboró bocetos de máquinas de guerra; nada escapó a su curiosidad. Los inicios del siglo XVI no estaban preparados para un genio de esa talla. Galileo, por su parte, construyó el telescopio (instrumento) a través del cual pudo observar las dos lunas de Júpiter, hazaña que dejó asombrados a sus contemporáneos. Por otro lado, el descubrimiento del Nuevo Mundo impulsó los largos viajes para los cuales se necesitaban mejores barcos (impulso a la ingeniería naval), pero, sobre todo, mejores instrumentos de medida para precisar con exactitud la posición de los navegantes. El antiguo compás dio paso primero al cuadrante, luego al octante y finalmente al sextante; mediante el cual se podía localizar con un margen de error muy pequeño, la posición de cualquier nave.

La ingeniería civil no sufrió mayores cambios y las técnicas utilizadas hasta entonces siguieron empleándose. Hay que resaltar la construcción del canal del Midi, de una longitud de 240 km, que unía la bahía de Vizcaya con el Mediterráneo, como una obra de gran envergadura de la ingeniería civil de la época. Quizás lo más interesante es la separación de la ingeniería civil de la militar; hasta 1747, cuando nace la École Nationale des Ponts et Chaussées (Escuela Nacional de Puentes y Caminos) en París, los ingenieros civiles realizaban todo tipo de obras, incluyendo fortificaciones, castillos, defensas, etcétera. Desde ese momento se separan las funciones y por un lado quedan los ingenieros militares, in-

sertos en alguna unidad militar, y los ingenieros civiles que se encargaron de las obras civiles.

Hubo una actividad creciente en la industria textil, en la minería y en la metalurgia, derivada de la creciente actividad comercial con las colonias del Nuevo Mundo. Se adoptó una actitud distinta hacia la inversión en investigación, sobre todo en Inglaterra al considerar que los resultados de la investigación eran rentables, los terratenientes, comerciantes y, en general, la gente rica no dudaron en incentivar la experimentación y el desarrollo de nuevos aparatos, pues todo ello prometía un excelente retorno a corto plazo.

Finalmente, en este período hay que destacar uno de sus mayores logros, no tanto por su utilidad sino por el camino que abrió a lo que sería más adelante el punto de apoyo de la Revolución Industrial.

En 1712, Thomas Newcomen, un comerciante inglés, basándose en los trabajos científicos de Boyle, von Guerike y Papin, construyó una bomba impulsada por vapor (véase figura 1.25) que se utilizó profusamente en las minas inglesas de carbón para sacar el agua que continuamente las inundaba<sup>9</sup>. Para construir esta bomba hubo necesidad de resolver algunos problemas técnicos cuya solución solamente fue posible con los conocimientos generados en su tiempo. Con este artefacto termina, en la práctica, la época renacentista que más que por sus logros concretos se destacó por el cambio de actitud en la gente, por la preparación del ambiente para el éxito de lo que venía y por el papel incipiente que la ciencia desempeñaba respecto a la tecnología: ya se implementaban usando principios científicos en el diseño de soluciones tecnológicas, un cambio radical si se tiene en cuenta que una gran parte de los logros obtenidos hasta el momento eran fruto más de la experimentación que de la aplicación bases científicas.

El período conocido como la Primera Revolución Industrial abarca el lapso comprendido entre 1750 y 1900 y su característica básica la constituye el surgimiento de nuevas fuentes de energía: el vapor, la electricidad y el petróleo.

James Watt vio un diseño de la bomba de Newcombe le introdujo algunas modificaciones que hacían más eficiente el ciclo de conversión de la fuerza del vapor en trabajo mecánico y en 1781 patentó su primera máquina de vapor. La modificación esencial de Watt en el diseño de Newcombe fue mantener el cilindro muy caliente y el condensador frío; con esto se lograba una gran eficiencia en el ciclo de conversión de energía. Esta primera má-

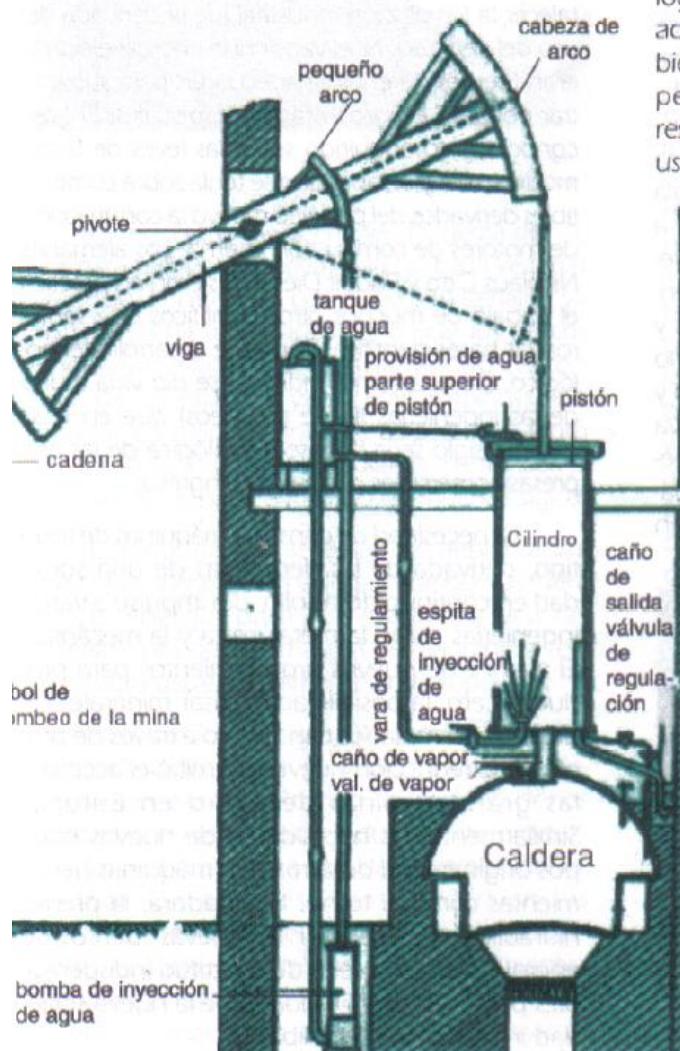


Figura 1.25. Máquina de vapor de Newcomen.

quina sufrió numerosas modificaciones, a medida que se incorporaba a las industrias; en Inglaterra fue la fuente principal de potencia que usaron las industrias debido a la abundancia de carbón en la isla y a lo avanzado de su industria minera. Otras fuentes de energía tradicionales, como las de los molinos de viento, intentaron resistirse al advenimiento del vapor, introduciendo mejoras tecnológicas en sus mecanismos para hacer más eficiente la producción de energía basada en el viento. Aunque esto permitió alargarles su vida útil, a mediados del siglo XIX eran muy pocos los molinos que seguían funcionando en la mayor parte de Europa.

Con base en los trabajos científicos (conocimiento) de Volta, Franklin y Faraday, fue posible generar energía eléctrica por conversión de energía mecánica<sup>10</sup>. La rotación de un campo magnético entre los polos de un imán produce una corriente eléctrica que puede aprovecharse como fuente de potencia en las industrias. La rotación se efectúa usando una máquina de vapor, una corriente hidráulica de suficiente fuerza u otros medios. La Revolución industrial había dado a luz a una de las ingenierías que iban a cambiar la forma de vivir sobre la tierra: la ingeniería eléctrica. La primera aplicación de esta fuente de energía fue la iluminación de los hogares y de los lugares públicos. Para ello fue necesario diseñar una luminaria adecuada, de bajo costo y fácil de usar. La historia reconoce a Thomas Alva Edison (véase figura 1.26) como uno de los ingenieros más prolíficos, con mayor número de patentes (más de 1 000), al que se le reconocen

entre otros inventos el de la bombilla incandescente y el del fonógrafo, así como algunos dispositivos predecesores del cine. Mejoró la audibilidad del teléfono y desarrolló baterías para el almacenamiento de la energía. Construyó su propio laboratorio de investigación, esbozando el camino que muchas grandes empresas del sector seguirían después. Se puede afirmar que fue uno de los eminentes hombres de su época.

Graham Bell inventó el teléfono, Marconi inició las primeras trasmisiones inalámbricas y las calles de las principales ciudades europeas y americanas se llenaron con los tranvías impulsados por energía eléctrica y recorridas subterráneamente por los sistema metro. La ingeniería eléctrica empezaba a caminar con el pie correcto.

La tercera fuente de energía que ayudó a fortalecer la Revolución industrial fue la derivada del uso del petróleo. Ni el vapor ni la energía eléctrica eran fuentes de energía adecuadas para suministrar potencia en circunstancias especiales. El gran conocimiento adquirido sobre las leyes de la termodinámica y el saber que se tenía sobre combustibles derivados del petróleo motivó la construcción de motores de combustión interna. Los alemanes Nikolaus Otto y Rudolf Diesel pusieron en práctica el trabajo de muchos otros científicos que sentaron las bases científicas para este desarrollo tecnológico. De esta forma indirecta se dio vida a una de las ingenierías (la de petróleos) que en el siguiente siglo sería la base tecnológica de las empresas comerciales de mayores ingresos.

La necesidad de construir máquinas de todo tipo, derivada de las demandas de una sociedad en continuo desarrollo, dio impulso a varias ingenierías como la metalúrgica y la mecánica. El avance de nuevos procedimientos para producir acero, la posibilidad de usar minerales de hierro contaminados con fósforo a través de procesos de reducción nuevos permitió el acceso a las grandes minas de hierro en Europa. Similarmente, las necesidades de nuevos equipos originaron el desarrollo de máquinas herramientas como el torno, la fresadora, la prensa hidráulica, movidas por las nuevas fuentes de energía, con los niveles de exactitud indispensables para obtener la calidad que la nueva sociedad industrial demandaba.

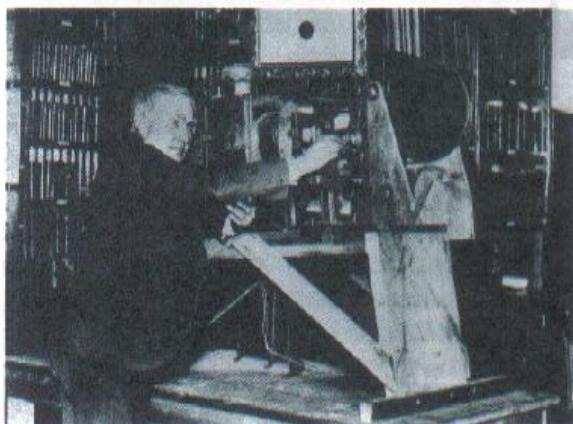


Figura 1.26. Thomas Alva Edison.

La ingeniería civil que se había estabilizado durante los últimos siglos, tomó un nuevo impulso con la llegada de nuevos materiales de construcción, explosivos (dinamita) y máquinas movidas por la fuerza del vapor capaces de realizar movimientos de tierra en proporciones inimaginables hasta entonces (véase figura 1.27).



Figura 1.27. Nuevos materiales conducen a nuevos diseños.

La ingeniería naval empleó la fuerza del vapor para mover los nuevos barcos, cada vez más grandes y construidos con nuevos materiales; ya no se recurrió a la madera sino que los barcos empezaban a fabricarse de hierro y acero. Las técnicas de construcción ya no eran empíricas sino basadas en sólidos principios respaldados tanto por los descubrimientos científicos como por la experiencia ganada a lo largo de muchos siglos.

La industria textil se desarrolló debido al impulso que adquirió con la llegada de nuevas fuentes de energía para sus máquinas y a las innovaciones que en materia de maquinaria textil se lograron, especialmente en Europa.

A mediados del siglo XIX nace en Filadelfia Frederick Taylor, quien se dedicó a estudiar detenidamente la organización de las operaciones realizadas en las nuevas industrias de producción masiva surgidas a raíz de la revolución industrial. De estos estudios se derivan los principios de las modernas técnicas de producción<sup>11</sup>. Sus estudios de tiempos y movimientos demostraron que es posible organizar científicamente el trabajo para mejorar la productividad

y disminuir la fatiga basándose en una descomposición de los procesos del trabajo en pequeñas tareas, cada una de las cuales puede optimizarse mediante técnicas e incentivos a los obreros. Esta teoría (el taylorismo) dio origen a lo que hoy denominamos ingeniería industrial. Las ideas de Taylor le permitieron al mundo occidental resolver el agudo problema social que se planteaba en la época por la baja productividad de los métodos de trabajo tradicionales. Muchas naciones que no usaron este esquema vieron sus sistemas sociales sustituidos por otros (socialismo, comunismo) que planteaban soluciones al mismo problema pero con otro enfoque, totalmente distinto.

Finalmente, hay que destacar el enorme paso hacia adelante que dio la ingeniería química. Durante la Edad Media había tenido gran impulso la alquimia (cuidándose de la Inquisición y similares), y aunque no puede afirmarse que se estuviera trabajando científicamente, la experimentación llevada a cabo en búsqueda de los procesos de transformación de los metales en oro, produjo una serie de beneficios secundarios que imperceptiblemente sirvieron para generar interés en esta área del conocimiento. En el siglo XIX se descubrió el proceso industrial para fabricar el ácido sulfúrico, elemento indispensable en la obtención industrial de muchos metales; también se desarrollaron procesos para obtener dinamita, nitroglicerina y otros explosivos que permitieron un avance significativo en algunas áreas de la ingeniería civil. Presionada por la demanda de textiles, la industria química descubrió métodos eficientes para el blanqueo del algodón y se resolvieron algunos problemas de química orgánica que condujeron a la fabricación artesanal de las primeras materias plásticas y de fibras sintéticas, como el rayón. Se tuvo que esperar hasta el siglo XX para que estos productos lograran salir masivamente al mercado mundial. Al mismo tiempo, la ingeniería química fortaleció su presencia en el área de los productos farmacéuticos, campo en el que no se había obtenido un avance significativo desde la Edad Media.

En resumen, la Revolución industrial contribuyó enormemente al desarrollo de casi todas las ingenierías, generando las condiciones ne-

cesarias para que tecnología y ciencia avanza-  
ran en forma mancomunad y produjeron los  
efectos espectaculares en el siglo XX.

El desarrollo de la ingeniería a lo largo del  
siglo XX ha sido espectacular debido, primordial-  
mente, a que la ciencia recuperó su posición ante  
la tecnología (véase figura 1.28). Primero se avan-  
za en el campo de la ciencia y luego se aplican  
dichos principios en la solución de los proble-  
mas de tipo tecnológico que preocupan a la so-  
ciedad. Solamente de esta forma se pueden  
lograr avances verdaderamente significativos;  
puede afirmarse que en los últimos 50 años se  
han logrado más desarrollos tecnológicos que  
en toda la anterior historia de la humanidad.

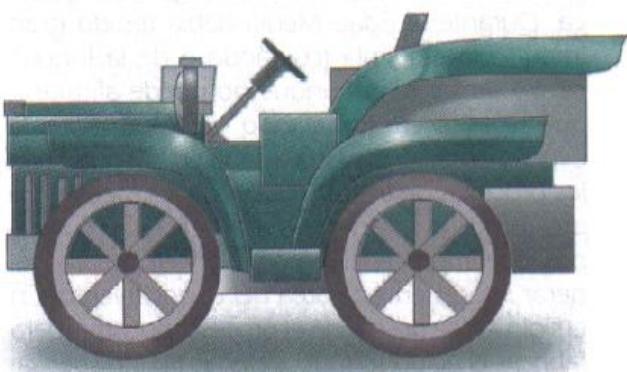


Figura 1.28. El motor de combustión interna  
encuentra un uso.

En la primera parte del siglo XX, la que va hasta 1945, los desarrollos en todos los campos de la ingeniería fueron espectaculares: en la ingeniería química, los éxitos alcanzados en la producción masiva de fibras sintéticas, anilinas, productos farmacéuticos, caucho sintético, etcétera. La ingeniería civil se vio favorecida con el descubrimiento de nuevos materiales como el concreto reforzado y el concreto pretensado, que junto con las estructuras metálicas y el uso del aluminio permitieron la construcción de los impresionantes rascacielos que identifican el perfil de ciudades como Nueva York. Hecho notable es la construcción del canal de Panamá, iniciado por los franceses, abandonado por mil proble-  
mas que surgieron durante su construcción y finalizado en 1914 por los americanos. La cons-  
trucción del canal fue posible gracias a una per-

fecta planeación, fondos suficientes y el empleo de grandes máquinas excavadoras movidas por la fuerza del vapor. La aparición del automóvil y su masificación dio impulso a múltiples desarrollos tecnológicos relacionados con varios cam-  
pos de la ingeniería, como la construcción de vías, diseño de máquinas herramientas, impulso a la exploración petrolífera, etcétera. A su vez, la aparición del aeroplano desencadenó una serie de investigaciones relacionadas con la aerodinámica, nuevos materiales ligeros y resistentes, motores más potentes y eficientes, etcétera. La segunda guerra mundial aceleró este impulso y de todo este proceso salió fortalecida la ingeniería aeronáutica. De igual manera, antes de la segunda guerra mundial la construcción de bu-  
ques, tanto comerciales como de guerra, se ace-  
leró y dió lugar a la consolidación de la ingeniería naval.

En esta primera parte del siglo XX se popu-  
larizó la radio comercial y se inventó la televi-  
sión, aunque solamente, en la segunda mitad del siglo, se convirtió en la realidad actual. 1945 es testigo excepcional de la historia de la huma-  
nidad: explota la primera bomba atómica. Otra forma de energía, la proveniente de la fusión del átomo, había nacido. Inicialmente, era la so-  
lución a todos los problemas energéticos de la Humanidad; más tarde aparecerían serios pro-  
blemas derivados del manejo de los residuos nu-  
cleares y de la contaminación ambiental que im-  
pidieron su uso extensivo. Con esta explosión  
nace la ingeniería nuclear.

Aparece la electrónica, hija de la electricidad, difiriendo de ésta en que maneja peque-  
ñas corrientes y altísimas frecuencias y se dedica especialmente al control y a las comunicaciones. El descubrimiento del efecto termoiónico y su aplicación mediante la construcción del diodo y del triodo de vacío permitieron impulsar las com-  
unicaciones, la radio y la televisión.

La segunda mitad del siglo XX está marca-  
da por la exploración espacial; gran parte de los adelantos que hoy nos parecen tan naturales se derivan de la comercialización de los logros cien-  
tíficos alcanzados a través de la investigación espacial. La ingeniería aeroespacial nació como respuesta a los múltiples problemas que resul-

tan de las nuevas condiciones de transporte impuestas por los viajes fuera del espacio terrestre. La ingeniería de sistemas aparece y se confirma como una de las áreas del conocimiento de mayor auge y con una enorme repercusión en nuestras vidas. El computador, cuyos orígenes pueden rastrearse en los estudios y desarrollos de Pascal, Leibniz, Babbage, Jacquard, Boole y muchos otros ha experimentado cambios desde las enormes máquinas de la década del 50 (ENIAC) hasta las diminutas pero potentes máquinas personales que usamos hoy. ¿Qué haríamos sin los computadores?

La otra tecnología de punta en los momentos actuales son las comunicaciones (véase figura 1.29); en realidad, es la tecnología que ha revolucionado el mundo. Comunicación al instante y en el sitio en que se encuentra la persona (celulares) están cambiando radicalmente nuestro comportamiento. La posibilidad de ser testigos de los acontecimientos que suceden en todo momento, en cualquier lugar del mundo a través del cubrimiento que de las noticias hacen las cadenas de televisión está afectándonos como conglomerado social; la guerra de Vietnam anticipó su final debido a la presión del pueblo americano consternado por la visión en tiempo real que estaba teniendo a través de sus televisores de



Figura 1.29. Los viajes espaciales revolucionaron la tecnología.

un conflicto que ocurría a miles de kilómetros de distancia. La tecnología de las comunicaciones hace uso de conocimientos y experiencias de la electrónica, las comunicaciones en sí y la ingeniería de sistemas. Un equipo de comunicaciones moderno es un computador (electrónico), manejado por un programa (sistemas) y que transmite/recibe información (comunicaciones).

La disponibilidad de procesos automáticos controlados por computador y de robots industriales (véase figura 1.30) ha dado lugar a nuevas y mejores técnicas de producción y a menor costo, satisfaciendo a una masa de consumidores en el ámbito mundial que exigen cada vez mayor calidad en los productos.

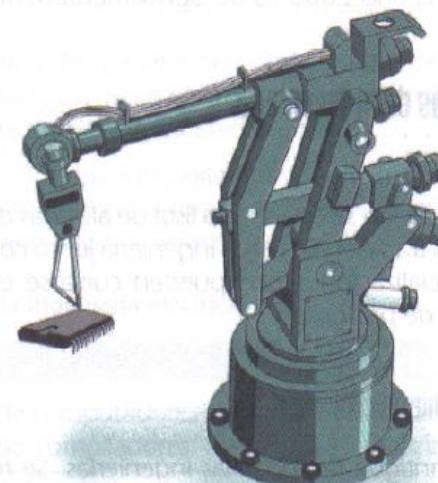


Figura 1.30. Un brazo robot realizando una tarea de precisión.

Hay que destacar los enormes adelantos que la ciencia y la ingeniería unidas han alcanzado en el área de la salud; éste es uno de los campos en los que las naciones desarrolladas están invirtiendo más dinero. De esta unión nació la bioingeniería que aplica los principios de la ingeniería a las áreas de la medicina y de la biología.

La última década del siglo XX será conocida como el inicio de la era de la información, recurso estratégico de la aldea global. Internet y la web, las dos palabras más pronunciadas en

este final de siglo, están cambiando vertiginosamente nuestra forma de vida: la diseminación de la información, los negocios electrónicos (*e-Business*), la educación virtual, el entretenimiento en línea, etcétera, forman parte de esta revolución acelerada cuyas consecuencias no han sido precisadas aún, pero que marcan un aumento en el distanciamiento entre los que tienen y los que no tienen.

Se ha podido determinar que el crecimiento de la red internet es doblemente exponencial: de cuatro nodos en 1969 (inicio) pasó a más de 60 millones de nodos en 1999<sup>12</sup>. El número de usuarios de internet se calcula en aproximadamente mil millones en 2000, y el número de documentos disponibles en la web en el año 2000 es de aproximadamente

mil millones, doblando esta cantidad cada 100 días. Se calcula que en 2005 el número de computadores conectados a internet será superior al número de teléfonos, y que más del 90% de los hogares de Estados Unidos estarán conectados a internet.

Lamentablemente, todos estos adelantos no han liberado al mundo de los cinco males que le acechan: hambre, violencia, drogas, explosión de la población y contaminación. Será necesario dedicar enormes cantidades de dinero, esfuerzo y conocimiento para que verdaderamente la tecnología sea la salvación y no la condena de la humanidad<sup>10</sup>.

El Anexo al final del libro resume el recorrido a lo largo de la historia de la ingeniería.

En la actualidad, la ingeniería es una disciplina que abarca casi todos los aspectos de la vida humana. La ingeniería es la ciencia que aplica principios matemáticos y físicos para diseñar y construir sistemas, estructuras y procesos que resuelven problemas y mejoran la calidad de vida.

Los ingenieros se dedican a varias funciones técnicas dentro del ejercicio de su profesión:

- Calculistas.
- Interventores.
- Constructores.

Asimismo, dentro del paraguas de la ingeniería civil pueden distinguirse varias especialidades: (véase cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Especialidades de la ingeniería civil

Especialidad	Funciones
Estructuras	Diseño de todo tipo de estructuras puentes, túneles, presas, etcétera. Analiza fuerzas, momentos y define los materiales que hay que usar y cómo usarlos para que resistan los esfuerzos calculados.
Trasporte	Diseño de vías de comunicación, puertos, ferrocarril, entre otros. También se dedica al diseño de sistemas masivos de transporte, oleoductos, gasoductos, etcétera.
Sanitaria	Diseño de acueductos, alcantarillado, plantas de tratamiento, etcétera. Se encarga de que las condiciones de potabilidad del agua sean las adecuadas, así como del control de la contaminación ambiental.

Especialidad	Funciones
Hidráulica	Se dedica a la evaluación de nuevas fuentes de agua potable, desarrollo de facilidades portuarias y fluviales, así como el diseño de sistemas de regadío, construcción de defensas contra inundaciones.
Geotecnia	Analiza el comportamiento del suelo y las rocas que soportan las edificaciones, carreteras o puentes. Toman parte en el diseño de presas, edificios, plataformas petroleras u otros.
Geodesia	Se dedica a la medida y localización de los proyectos de ingeniería civil, usando para eso los medios más modernos como fotografías de satélites y aerofotogrametría.
Construcción	Su función principal es construir lo que los otros ingenieros calculan y los arquitectos diseñan. Es una mezcla de técnico y financista, pues se encarga de evaluar los costos, requerimientos de personal, materiales, así como planear el proyecto de principio a fin.

#### 1.4.2. Ingeniería eléctrica

A escala mundial es la ingeniería de mayor demanda. Su función principal se centra en el diseño de circuitos eléctricos, redes de distribución, sistemas de tracción, control de procesos, entre

otros. Se requiere buena capacidad de abstracción y un gusto especial por las matemáticas y la física de la electricidad.

Se pueden diferenciar seis especialidades que algunos autores consideran ingenierías independientes (véase cuadro 1.2).

**Cuadro 1.2. Especialidades de la ingeniería eléctrica**

Especialidad	Funciones
Computación	Diseño, construcción y operación de computadores digitales. Trabaja tanto en hardware como software diseñando compiladores, lenguajes entre otros.
Electrónica	Diseña circuitos y aparatos para producir, detectar, amplificar y modificar señales eléctricas. Su campo de acción se ha ampliado muchísimo debido a la entrada de los chips.
Comunicaciones	Diseño y construcción de sistemas de comunicación, circuitos de fibra óptica, telefonía celular, radares, satélites de comunicaciones, radio y televisión.
Potencia	Su núcleo principal está en la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. Plantas de generación tanto hidráulicas, como térmicas, nucleares, ... Se dice que mientras las demás especialidades manejan miliamperios y frecuencias altísimas, la especialidad de potencia maneja miles de amperios, miles de voltios y frecuencias muy bajas.
Automática	Se centra en el diseño y construcción de sistemas para el control de aparatos y procesos: sistemas autoguiados, control de refinerías, plantas industriales.
Instrumentación	La medición de variables que intervienen en los procesos industriales (temperatura, viscosidad, humedad, ...) así como su almacenamiento, procesamiento y trasmisión.

### 1.4.3. Ingeniería mecánica

Junto con la ingeniería civil, la mecánica representa una de las ingenierías más antiguas y también una de las más apetecidas. El ingeniero mecánico aplica los principios de la mecánica y energía al diseño, construcción y mantenimiento

de máquinas y dispositivos mecánicos. Se requiere una buena disposición hacia el diseño gráfico, así como dedicación al estudio de la mecánica y termodinámica. Es sin duda alguna la más amplia de las ingenierías; sus principales campos de acción pueden resumirse en las especialidades que aparecen en el cuadro 1.3.

Cuadro 1.3. Especialidades de la ingeniería mecánica

Especialidad	Funciones
Sistemas energéticos	Se dedica a la conversión de un tipo de energía en otra, típicamente de mecánica a calor y viceversa; plantas de generación de vapor, de energía eléctrica movidas por carbón, <i>fuel oil</i> , etcétera, el diseño de sistemas de ventilación, aire acondicionado, ambientes controlados.
Estructuras dinámicas	Parte de su trabajo lo constituye el diseño de automóviles, camiones, aviones, trenes, entre otros. También está comprometida con el diseño de máquinas herramientas: tornos, fresadoras, molinos.
Manufactura	Implica la conversión de la materia prima en productos terminados. El ingeniero mecánico diseña y construye las máquinas herramientas (máquinas que hacen máquinas), así como en la automatización de los procesos de manufactura.

### 1.4.4. Ingeniería química

Los ingenieros químicos aplican sus conocimientos de física y química al diseño de procesos que trabajan con materia prima que cambia sus propiedades químicas durante el proceso. La diferencia entre un químico y un ingeniero químico es la siguiente: el ingeniero produce en la planta cantidades industriales del mismo producto que el químico ha logrado producir artesanalmente en su laboratorio. La producción de grandes cantidades de una sustancia genera problemas que resuelve el ingeniero químico.

El ingeniero químico trabaja en plantas de productos farmacéuticos, fibras sintéticas, artículos para uso doméstico (detergentes, limpiadores, ceras, pasta dentífrica, entre otros). En estos momentos la ingeniería química se encuentra comprometida en producir de una manera limpia, mediante procesos que no contaminen el ambiente o que lo hagan mínimamente.

### 1.4.5. Ingeniería industrial

Los ingenieros industriales determinan la forma más efectiva de combinar personas, máquinas, materiales, información y energía para diseñar un proceso o para elaborar un producto. Los ingenieros industriales planifican, diseñan, ponen a punto y administran sistemas integrados de producción.

Los ingenieros industriales trabajan también con los aspectos humanos y organizativos de las empresas, por lo que en muchas ocasiones se encuentran laborando en sus departamentos de Relaciones Industriales. Algunos definen a la ingeniería industrial como la profesión ingenieril orientada a las personas.

Los ingenieros industriales trabajan como ingenieros de producción, pero también se encuentran en empresas que no tienen mucho que ver con ingeniería, como bancos, corporaciones financieras, hospitalares, empresas de transporte, etcétera otras. Es una profesión con un amplio radio de acción.

## 1.4.6. Ingeniería de sistemas

La ingeniería de sistemas o ingeniería informática planifica, diseña, implementa y mantiene los sistemas de información que usan las empresas para poder tomar decisiones. El ingeniero de sistemas trabaja en equipo con ingenieros y profesionales de otras disciplinas, en grupos interdisciplinarios para poder llevar a buen término su labor. Debe saber electrónica y redes de computadores, pues la mayor parte de los sistemas funcionan en red y es indispensable introducir en el diseño de los sistemas de información la topología de las redes que se usarán para optimizar el acceso a la información.

El campo de acción de los ingenieros de sistemas es muy amplio, pues todas las empresas basan su funcionamiento en un sistema de información que es el pilar sobre el que descansa la operatividad diaria de la misma. Hoy día, los sistemas penetran todas las actividades de nuestra vida, de modo que cada día se necesitan más ingenieros de sistemas a todos los niveles de las organizaciones. Muchas de éstas ya han creado dentro de su organigrama una vicepresidencia de información.

## 1.5. Ejercicios y problemas

Los siguientes ejercicios pretenden desarrollar la capacidad lógica y el sentido común de los estudiantes. Para llegar a su solución es necesario partir de suposiciones y una metodología que les permita llegar hasta las respuestas buscadas. No es tan importante el valor de las respuestas sino el método empleado para llegar a ellas.

- Sítuese en la época de los faraones en Egipto. Usted es el encargado de construir una de esas fabulosas pirámides que fueron levantadas hace más de 5 000 años. Muchas de las piedras con que están construidas pesan más de 200 t y han sido colocadas a alturas que sobrepasan los 30 metros. Considere el problema de mover esas moles e indique, como futuro ingeniero, cómo resolvería el problema de desplazarlas, levantarlas y ponerlas en su lugar. Haga un es-

## 1.4.7. Otras ingenierías

Existen otras áreas de la ingeniería que merecen ser tratadas de una manera aparte; entre ellas pueden considerarse las siguientes:

- Ingeniería aeroespacial.
- Ingeniería naval.
- Ingeniería nuclear.
- Ingeniería metalúrgica.
- Ingeniería de petróleos.
- Ingeniería genética.

Sin embargo, el lector se habrá dado cuenta de que en muchas universidades se ofrecen múltiples carreras de ingeniería con nombres diferentes de los que aquí se han mencionado; es evidente que la tecnología ha avanzado mucho en todas las direcciones y que algunas de estas carreras responden a una necesidad de profesionalización en áreas específicas. Sin embargo, es preferible obtener un grado básico en una ingeniería tradicional y especializarse posteriormente en el área que mayor interés despierте posteriormente.

tudio de esa época y se dará cuenta de las rudimentarias herramientas con que contaban.

- La construcción de las pirámides de Egipto y el túnel submarino en el canal de la Mancha son dos obras de la ingeniería muy sobresalientes, espaciadas miles de años. Indique cuáles son los principales desarrollos que hubieran impedido a los egipcios construir el túnel o que por el contrario hubieran facilitado la construcción de las pirámides.
- Calcule el volumen aproximado que podría tener una calculadora de bolsillo de las más sencillas, si en lugar de la electrónica moderna se usaran los tubos de vacío. Debe llegar a resultados numéricos, respaldados con datos.

4. Si la ingeniería no hubiera sido capaz de descubrir el proceso de sintetizar el caucho, ¿cuántas hectáreas estarían hoy sembrándose de caucho natural para abastecer la demanda mundial actual?
5. Identifique dos aplicaciones del principio de Arquímedes y muestre mediante una gráfica detallada cómo funciona cada una de ellas.
6. Investigue cómo funcionan y cuál es el principio fundamental de las siguientes máquinas:
- La xeroscopiadora.
  - El reloj de cuarzo.
  - La dirección hidráulica de los automóviles.
7. Investigue y precise cuáles especializaciones de la ingeniería han contribuido, y cómo, en el diseño y construcción del escáner electrónico, usado en el diagnóstico médico.
8. En la "Carta a un aspirante a ingeniero" se menciona lo siguiente: "Aprender a ser escritor de ficción y poesía...". Explique con sus propias palabras qué quiere decir el autor con esto.
9. Lea detenidamente las siguientes frases y explique su significado:
- La experiencia es proporcional a la cantidad de equipo destruido o dañado.
10. Investigue acerca de aquellos éxitos (por lo menos 10,) que se consideran los máximos exponentes en la ingeniería a lo largo de todos los tiempos. Indique el éxito, la rama de la ingeniería a que pertenece y las consecuencias de ese logro.
11. Haga lo mismo del ejercicio 10, pero que sean fracasos (al menos 10,) pero de la ingeniería y las lecciones que se aprendieron de éstos.

# Taller corto 1

## Traslado de un edificio

### Justificación

Es importante que nuestros estudiantes aprendan a analizar casos reales que se presentan en ingeniería y que puedan ofrecer soluciones ejercitando sus capacidades analíticas, su sentido crítico y los conocimientos que poseen en el momento de iniciar su carrera.

### Objetivos

- Analizar una situación problemática.
- Aplicar principios básicos de ingeniería para resolver un problema.

### Descripción

El caso que se describe a continuación pertenece a la vida real y ocurrió en Colombia a mediados de la década del 70, específicamente en la ciudad de Santa Fe de Bogotá.

El 6 de octubre de 1974, con motivo de la ampliación de la calle 19 de la ciudad de Santa Fe de Bogotá se llevó a cabo uno de los eventos que más huella han dejado en la historia de la ingeniería colombiana, tanto por sus características técnicas como por la novedad que representó un evento de esa naturaleza. La prensa contribuyó notablemente a amplificar la importancia del suceso.

La calle 19 era en esa época una de las arterias más importantes de la ciudad de Santa Fe de Bogotá, y debido al intenso tráfico vehicular que se desplazaba por esa calle era imprescindible ampliarla. Las obras se iniciaron y la calle se empezó a ampliar; la Alcaldía de la capital compró las propiedades aledañas necesarias para ensanchar la vía. Sin embargo, en un punto de la calle 19 se interponía un edificio

relativamente moderno, el edificio Cudecom, que en esa época pertenecía al Instituto de Desarrollo Urbano. Por alguna razón no se había llegado a ningún acuerdo sobre el futuro del edificio. Mientras tanto, las obras de ampliación de la calle 19 seguían su curso normal a ambos lados del edificio en cuestión.

En el momento menos esperado, llegó la solución por parte de un prestante ingeniero geotecnista, Antonio Páez, quien propuso el traslado del edificio a un lote vecino. Al desplazarlo, la calle 19 quedaba libre de obstáculos y se podía continuar con su expansión.

Pero las intenciones del ingeniero Páez iban más allá: quería hacer un ejercicio de ingeniería novedoso al trasladar el edificio Cudecom. Para tal fin entró en contacto con un selecto grupo de profesionales de la época y contrató con el arquitecto Rafael Esguerra la construcción y con los ingenieros, Doménico Parma y Luis Guillermo Aycardi los cálculos estructurales y el estudio dinámico que caracterizara adecuadamente el comportamiento del edificio durante la operación. Se trataba de un edificio de siete pisos, descansaba sobre un conjunto de columnas que lo separaban del suelo 3 m, aproximadamente. Tenía más o menos 20 metros de altura y 4 845 t de peso, y debía desplazarse 29 metros en línea recta con la restricción de un desplazamiento lateral máximo de 26 mm, causada por una saliente de una construcción vecina.

El trabajo se inició fundiendo unas vigas de concreto de aproximadamente 50 cm de altura, amarrando todas las columnas del edificio en su nivel inferior, con el fin de mantener invariable su geometría y garantizar una superficie adecuada para poner a rodar el edificio. De manera simultánea se ejecutaban labores de mejoramiento del terreno del lote

vecino y se construyeron unas vigas tipo "T" invertida de aproximadamente 1,30 m de altura para proporcionar las pistas sobre las cuales rodara el edificio y permitieran mantener las presiones y las deformaciones del terreno dentro de los límites admisibles. Como último acto preparatorio se cortaron las columnas debajo del nivel inferior de las vigas de enlace y se dejó listo el edificio para ser empujado al lote vecino.

Toda la prensa, radio y televisión estaban presentes el día en que, a tempranas horas de la mañana, empezó el traslado. Por medio de rodillos se empezó el desplazamiento del edificio el cual era empujado por seis gatos hidráulicos de 60 t de capacidad. Vale la pena resaltar que los gatos eran accionados de manera simultánea con la misma bomba y que el centroide de sus líneas acción debía coincidir con el centro de gravedad de las cargas del edificio a fin de evitar torsiones indeseables.

El recorrido máximo de los gatos era de 2 m, por lo cual se hacía necesario fundir ininterrumpidamente pedestales que conformaran una superficie adecuada que permitiera la acción y reacción requerida. Cuando el edificio llegó al lugar de destino, su desviación lateral apenas alcanzó a 14 mm, concluyendo así la operación con total éxito.

Finalmente se construyó la cimentación del edificio, se acopló a las columnas existentes y se construyeron dos pisos adicionales. Años más tarde, el edificio fue adquirido por el Instituto de los Seguros Sociales. Fue así como un edificio que iba a ser demolido como consecuencia de la ampliación de la calle 19 se salvó y hoy se encuentra en funcionamiento, después de haber dejado escrita una página gloriosa en la historia de la ingeniería colombiana.

La figura 1.31 muestra claramente una fotografía de la calle 19 y el edificio Cudecom, después de su traslado.

En la figura 1.32 se aprecia la planta geométrica del edificio, así como una flecha indicando la dirección del desplazamiento.

Después de leer detenidamente el caso presentado, realice lo siguiente:

1. Haga un dibujo a mano alzada donde muestre de forma clara la manera como se amarraron las columnas que sostienen el edificio.
2. Añada al dibujo anterior la pista con las vigas en T invertida. ¿Qué fin tenía el techo de la T y la columna de la T?
3. Siga añadiendo detalles al dibujo: coloque los rodillos. ¿Se acuerda de otra construcción histórica que también hizo uso de rodillos? Indique cuál fue y para qué se usaron. Señale diferencias y similitudes entre ambos casos.
4. Responda la siguiente pregunta: si los gatos hidráulicos hubieran empujado con una fuerza uniformemente distribuida a lo largo de todo el edificio, ¿qué le hubiera pasado al mismo?
5. Explique lo siguiente: "... que los gatos eran accionados de manera simultánea con la misma bomba y que el centrode de sus líneas de acción debía coincidir con el centro de gravedad de las cargas del edificio, a fin de evitar torsiones indeseables".
6. Explique mejor la función de los pedestales de los que habla el caso. Apóyese en una gráfica para aclarar su explicación.
7. Se usaron seis gatos de 60 t de fuerza para mover un edificio de casi 4 500 t de peso. ¿Puede dar una idea del valor del coeficiente de rozamiento entre las columnas y los rodillos sobre los que se movía?
8. Finalmente, y lo más difícil: ¿tiene sugerencias para mejorar la manera como se llevó a cabo el desplazamiento del edificio Cudecom?

Taller elaborado por el Ingeniero Roberto Caicedo,  
facultad de ingeniería civil, Universidad Javeriana.



Figura 1.31. Panorámica del edificio Cudecom, después de su traslado.

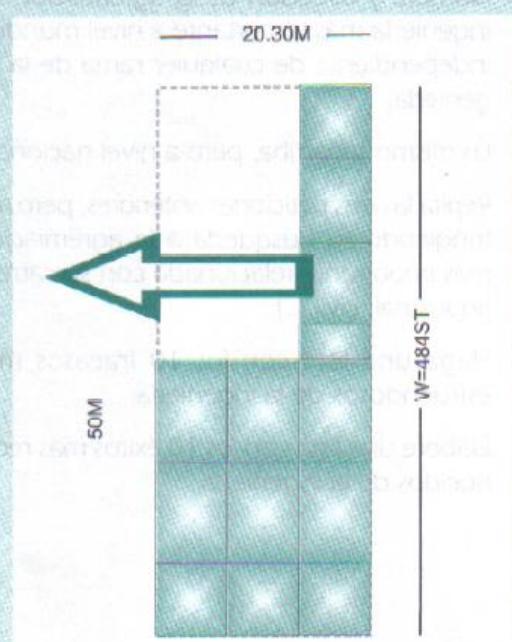


Figura 1.32. Planta geométrica del edificio.

# Taller largo 1 [En grupo]

## La ingeniería nacional e internacional

### Objetivo general

- Conocer algunos aspectos importantes en el campo de la ingeniería.

### Objetivos específicos

- Conocer las agremiaciones, instituciones, asociaciones, ... más importantes en el campo de la ingeniería.
- Conocer las publicaciones más sobresalientes en el campo de la ingeniería.
- Conocer los personajes, eventos, entre otros, que más han influido en el desarrollo de la ingeniería.

### Trabajo que se debe desarrollar

Debe encontrar la información que se especifica a continuación:

1. Nombre y dirección de la agremiación de ingeniería más importante a nivel mundial, independiente de cualquier rama de la ingeniería.
2. Lo mismo de arriba, pero a nivel nacional.
3. Repita las dos peticiones anteriores, pero restringiendo su búsqueda a la agremiación más importante relacionada con su carrera (industrial, civil,...).
4. Haga una lista con los 10 fracasos más estremecedores de la ingeniería.
5. Elabore una lista con los 10 éxitos más reconocidos de la ingeniería.

6. Haga una lista con los nombres de los 10 ingenieros más prestigiosos que han existido, e indique las razones de su importancia.
7. Elabore una lista con los 10 personajes más sobresalientes en la especialidad de la ingeniería que usted seleccionó.
8. *Lo mismo*, pero con los eventos que marcaron la historia de la rama de la ingeniería escogida por usted.
9. Finalmente, elabore una lista con los títulos de las 10 revistas internacionales más prestigiosas del área de ingeniería seleccionada por usted.
10. Lo mismo de arriba (cinco títulos nada más) pero a nivel nacional.
11. Como la cantidad de información es bastante grande, siga el procedimiento que se describe a continuación para reducir la carga de trabajo:
  - Se reúne el grupo y se distribuye la carga equitativamente entre los miembros del mismo.
  - Cada miembro del grupo se dedica a reunir la información que le ha correspondido.
  - Se reúnen nuevamente y cada uno aporta lo que le correspondió.
  - Si parte de la información no se pudo reunir, se analizan las causas y se decide la estrategia para remediar esa situación. Se reparten nuevamente las cargas y se fija una fecha para reunirse y terminar la tarea que será entregada al profesor en la fecha y forma que éste indique.

## Referencias bibliográficas

1. ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, *Papermaking*, <http://www.eb.com>, 2000.
2. EPA Sector Notebooks, *Profile of the Pulp and Paper Industry*, 1995, <http://es.epa.gov/oeca/index.htm#pulp>, 1999.
3. FLORES, Fernando, *Communications of the ACM*, 35,12 (diciembre 1992): 95 Traducido por Pablo Grech M.
4. JESSOP, Joane, *Las grandes construcciones Antiguas*, Ed. Monteverde, 1994.
5. TINEO i MARQUET, Joan Anton, *Historia de la construcción*, Montesino Editor, Barcelona, 1984.
6. ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, *History of the Wheel*, <http://www.eb.com>, 2000.
7. NAISBITT, John, *Megatrends*, Warner Books, N.Y., 1984.
8. HILL, Donald, *A History of Engineering in Classical and Medieval Times*, Routledge, Londres, 1996.
9. PACEY, Arnold, *El laberinto del ingenio*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1974.
10. ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, *History of Technology*, <http://www.eb.com>, 1999.
11. TAYLOR, Frederick W., *The Principles of Scientific Management*, Dover Pubs, 1998.

# 2

## La ingeniería como profesión

*"Si un constructor le construye una casa a un hombre y no hace su construcción firme, y la casa se cae y causa la muerte del dueño de la casa, ese constructor deberá ser condenado a muerte.*

*Si destruye propiedad, deberá devolver lo que haya destruido, y debido a que no hizo la construcción firme deberá reconstruir la casa que se cayó pagándola él. Si un constructor hace una casa para un hombre y no la construye cumpliendo lo pactado y una pared se cae, ese constructor deberá reforzar la pared de su propio peculio."*

Código de Hamurabi, 2550 a. de C.

### Objetivos generales

- Conocer los principales campos de acción de la ingeniería.
- Conocer la importancia de la ética en ingeniería.

### Objetivos específicos

- \* Diferenciar entre tecnología, ciencia e ingeniería.
- \* Identificar el perfil de carrera deseado.
- \* Describir algunas funciones que pueden desempeñar los ingenieros.
- \* Aplicar un código de ética a casos sencillos de la práctica de la ingeniería.

## 2.1. Introducción

I

Los primeros ingenieros no tuvieron una educación formal; construían edificios, puentes, carreteras, máquinas, etcétera, gracias a sus capacidades creativas, a su espíritu de imitación, lecturas, conversaciones; en fin, eran empíricos. Nuestras escuelas de ingeniería tienen sus raíces en las escuelas polítécnicas que florecieron en el Viejo y Nuevo Mundo a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX. La primera de ellas fue la École Polytechnique de París, fundada por Napoleón Bonaparte en 1794, la cual sirvió de modelo para las demás.

La práctica de la ingeniería se basa en el conocimiento de las ciencias naturales y exactas, así como en la aplicación de la tecnología. Si bien esta última está íntimamente ligada con la ingeniería, no son lo mismo, y es bueno diferenciarlas desde un comienzo. ↗

Una misma carrera de ingeniería (por ejemplo, la ingeniería eléctrica) puede ser ofrecida por diversas instituciones con diversos énfasis. Por ejemplo, en una puede enfatizarse en la parte de tracción eléctrica, mientras que otra fortalece su plan de estudios en el área de la generación de energía eléctrica. Aunque tienen una base común, la parte avanzada de cada uno de los programas es distinto. Fíjese bien antes de seleccionar la carrera que definirá una gran parte de las actividades de su vida.

**Conclu** Existen múltiples oportunidades para el ingeniero en el mundo laboral: diseño, mantenimiento, investigación, dirección de proyectos, etcétera. Todas estas posiciones desarrollan de una forma u otra las habilidades y los conocimientos adquiridos durante sus años de estudio. Algunas están más conectadas a la parte técnica, otras parecen más administrativas. Pero en todas ellas el ingeniero puede destacarse como un excelente profesional.

Ser ingeniero es un privilegio que conlleva deberes con la sociedad; por encima de todo, el ingeniero debe recordar que todos sus actos estarán dirigidos a aumentar la sanidad y el bienestar de la sociedad. Con el propósito de ser específicos en cuanto a deberes y obligaciones, se ha elaborado un conjunto de normas de comportamiento profesional, o código de ética, que establece claramente cuáles son esas obligaciones.

## 2.2. Ciencia, tecnología e ingeniería

Las manifestaciones fabriles de nuestros antepasados muestran que el *Homo faber* construyó sus primeros utensilios en forma empírica, y que mediante un proceso de reflexión y crítica fue mejorándolos a lo largo del tiempo<sup>1</sup>. Le legó ese conocimiento a sus descendientes a través de una relación maestro aprendiz no siempre explícita.

El empirismo ha dominado una gran parte del desarrollo humano; las cosas se construían, pero sin saber exactamente por qué funcionaban. Hay que recordar que James Watt fue un simple artesano, y que los constructores de las grandes catedrales góticas no dejaron documentos en los que pudiera apreciarse conocimientos de mecánica de sólidos que respaldaran sus atrevidas construcciones. El maestro trasmisitía sus conocimientos a sus aprendices, y los más brillantes mejoraban la obra de su maestro. Por medio de fallas, aprendizaje y reintentos se construyó y fabricó todo hasta finales de lo que se conoce como la edad moderna.

Este conjunto de conocimientos, procesos, formas de hacer las cosas es lo que los expertos denominan la *tecnología*. La *técnica* es el conjunto de reglas para construir algo; para hacer un cañón era necesario seguir determinadas reglas. Si no se seguían, el cañón podía estallar. La diferencia entre *arte* y *técnica* radica que en el primer caso, las cosas se pueden hacer de diversas maneras; por ejemplo: una estatua, un cuadro, una composición musical. Esto es *arte*. Pero la *técnica* exige orden, seguir reglas. Se puede afirmar, entonces, que *tecnología* es el conjunto de reglas, procesos, conocimiento que se aplican en determinada área del que hacer productivo humano. Por ejemplo, la *tecnología* de la construcción reúne todos los conocimientos, proceso y reglas que se han seguido para levantar edificios, puentes, etcétera. La *tecnología de los alimentos* reúne todo lo que el ser humano sabe para producir alimentos, deshidratarlos, conservarlos, almacenarlos, etcétera.

Aceptada esta acepción de *tecnología*, puede afirmarse que ésta existió mucho antes que la ciencia y que cuando ésta apareció siguió di-

vorciada de los desarrollos tecnológicos. Por ciencia se entiende "el conocimiento adquirido por la observación, interpretación, explicación teórica y posterior verificación de los fenómenos naturales"<sup>2</sup>. Lo opuesto a la ciencia es la mitología, en la que no existía una explicación teórica de los fenómenos observados.

Los griegos sentaron las bases del pensamiento científico tal como lo conocemos hoy día; desarrollaron notablemente las matemáticas y la geometría, pero se quedaron cortos en lo que respecta a las ciencias naturales. Algunos autores<sup>3</sup> explican esta deficiencia por la ausencia de un lenguaje apropiado que permitiera un estudio formal de los fenómenos naturales.

Como ya se indicó en otra parte de este texto, solamente en el siglo XIX se aplicó por primera vez un principio teórico (la primera ley de la termodinámica) en el diseño del motor de combustión interna. Desde ese momento, ciencia y tecnología avanzan de la mano, proveyendo aquella los principios teóricos sobre los que se basan los desarrollos tecnológicos. La radio aparece mucho después de que Maxwell desarrolla las ecuaciones de propagación de las ondas electromagnéticas; la bomba atómica se desarrolla después de que Einstein obtiene su famosa ecuación que relaciona masa y energía:  $E = mc^2$ . Este binomio ciencia primero tecnología después es la pareja que lidera el desarrollo de nuestra sociedad hasta bien entrada la primera mitad del siglo XX.

Pero la carrera espacial cambia el orden de esta pareja; o, en otros términos cambia las prioridades. Ya no es la tecnología la que espera los descubrimientos de la ciencia para sus desarrollos; la *tecnología* le indica a la ciencia qué debe investigar para poder desarrollar nuevos productos, procesos. La ciencia está al servicio de la tecnología; las grandes corporaciones montan sofisticados laboratorios y centros de investigación dedicados a desarrollar el binomio ciencia-tecnología exclusivamente en el área de su interés. La universidad asiste a este concierto como invitada, subvencionada su investigación

con el dinero de las grandes corporaciones a las que no les llama la atención la investigación pura, por ser demasiado costosa y no entregar resultados a corto plazo.

¿Y la ingeniería? La ingeniería es una profesión que se encarga de intermediar entre

la ciencia y la tecnología; aplica los principios científicos en el desarrollo de nuevos procesos, instrumentos, herramientas, etcétera, para mejorar la sanidad y el bienestar de la sociedad. Es, en otras palabras, la que desarrolla la tecnología (véase figura 2.1).



tre la ciencia y la tecnología; aplica los principios científicos en el desarrollo de nuevos procesos, instrumentos, herramientas, etcétera, para mejorar la sanidad y el bienestar de la sociedad. Es, en otras palabras, la que desarrolla la tecnología (véase figura 2.1).

Figura 2.1. Ciencia, ingeniería y tecnología.

### 2.3. Algunas definiciones

Algunas definiciones de ingeniería (o de ingeniero) con sus comentarios son las siguientes<sup>4</sup>:

1. *Ingeniero*: persona que tiene título de cualquiera de las ramas de la ingeniería. Persona que por razón de su especial conocimiento y uso de las matemáticas, física y ciencias de la ingeniería, los principios, métodos del análisis, diseño en ingeniería, adquiridos por educación y experiencia, está calificado para ejercer la ingeniería.
2. *Ingeniería*: conjunto de conocimientos por los que las propiedades de la materia y de los recursos naturales de energía se hacen útiles al ser humano mediante máquinas, estructuras, etcétera. Profesión en la que un conocimiento de las matemáticas y de las ciencias naturales obtenida por la experiencia, el estudio y la práctica se aplica con criterio para desarrollar medios, a fin de usar, económicamente, los materiales y las fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad.

Es la profesión en la que un conocimiento de matemáticas avanzadas y de las ciencias naturales obtenido por medio de la educación superior, experiencia y práctica se dedica principalmente a la creación de nueva tecnología para el beneficio de la humanidad. La educación en ingeniería se centra en los aspectos conceptuales y teóricos de la ciencia y la ingeniería encaminada a preparar graduados para la práctica en esta porción del espectro tecnológico más cercano a las funciones de investigación, desarrollo y diseño conceptual.

3. *Ingeniería tecnológica*: es la profesión en la que un conocimiento de las matemáticas y de las ciencias naturales obtenido por la educación superior, experiencia y práctica se dedica principalmente a la implantación y extensión de tecnología existente para beneficio de la humanidad. La educación en la ingeniería tecnológica se centra sobre todo en los aspectos aplicados de la ciencia e ingeniería dirigidos a preparar graduados para la práctica en esa porción del

espectro tecnológico más cercano al perfeccionamiento de los productos, de los procesos industriales y de las funciones operativas de la ingeniería.

La primera definición no agrega demasiada información; es una definición de tipo legal. No merece ningún tipo de comentario adicional. Puede ser que tenga el título de ingeniero sin serlo. Para ser ingeniero hace falta algo más que tener un título. La segunda definición es un poco más explícita; apunta a un conocimiento de las matemáticas y de las ciencias de la ingeniería (física, termodinámica, circuitos eléctricos, entre otras.) como bases para construir el conocimiento necesario de un ingeniero. También habla del método necesario para conseguir ese conocimiento; no es el mismo método del científico, ni del médico, ni del abogado. En la ingeniería hay un método para llegar a las soluciones que se buscan. Explícitamente se refiere al análisis; aquí nos podríamos detener mucho tiempo para hacer entender que sin la capacidad de análisis es muy difícil pretender ser ingeniero. Finalmente agrega la necesidad de la experiencia; ¿será que un recién graduado no es un ingeniero?

Evidentemente, como dice la primera definición, si tiene el título de ingeniero, es de acuerdo con la ley un ingeniero. Pero la experiencia es muy importante en las artes prácticas, como podría catalogarse a la ingeniería. La experiencia proporciona esas reglas de oro que formalmente se conocen con el término de heurística, a través de las cuales el ingeniero se acerca a la solución de los problemas por caminos que acortan espacios, que acercan a la solución rápidamente, aunque nunca garantizan que por esos atajos siempre se llegue a la solución buscada. Sin experiencia, el novel ingeniero deberá discurrir por los caminos trazados en los libros, y debe llegar, necesariamente, al final feliz estipulado en los procedimientos estándares. Después de practicar varios años la ingeniería, se dará cuenta que algunos de esos pasos pueden obviarse, en ciertas circunstancias, y los resultados se encuentran a la vista mucho más rápidamente.

La tercera definición es muy práctica; se refiere a la obligación principal del ingeniero, po-

ner los recursos de la naturaleza al servicio del ser humano. Nada agrega a lo que ya sabíamos y tampoco indica cómo lograr esos conocimientos. En la cuarta definición hay algo nuevo, rescatable: por primera vez se introduce el concepto de que lo que hace el ingeniero debe hacerlo con un criterio económico. A diferencia del científico, al que en la búsqueda de la verdad no debe ponérsele ninguna traba, del ingeniero se espera que sus soluciones sean económicas; sus proyectos deben ser viables. Por eso, la primera fase de un proyecto en ingeniería es el estudio de la viabilidad tanto técnica como económica del mismo. Es decir, se responde si es rentable, si el producto final va a poder venderse, si el dinero que se invierta podrá recuperarse y dejará una ganancia aceptable para las personas que han invertido su dinero en el proyecto.

La quinta definición es mucho más explícita en algunos aspectos. Es la definición propuesta por la ETC (Electronic and Technology Committee) de los Estados Unidos. La parte final especifica que el ingeniero se prepara con un enfoque investigativo. Se habla del diseño conceptual, opuesto al diseño del detalle. El ingeniero descrito en esta definición es un ingeniero de alto vuelo, con un excelente soporte científico (matemáticas avanzadas) capaz de sentarse al lado de los científicos y avanzar con ellos por el camino de la ciencia. No es el ingeniero soldador, ni el del voltímetro, ni el del cronómetro; lo que no quiere decir que no sepa y pueda usar esos aparatos adecuadamente. No se va a poner a programar; esa es labor de los programadores. Pero si debe programar, lo hará como el mejor. Sin embargo, su función es de mucho mayor nivel: definirá las especificaciones de una máquina, de un circuito de control, las que debe cumplir un paquete de computación, etcétera. Ese es el ingeniero que se desea preparar.

La sexta definición describe un ingeniero más cercano a las líneas de producción, a la parte operativa de los procesos; en algunos países los denominan ingenieros técnicos. Su conocimiento de las matemáticas no necesita ser tan elevado. No va a ser preparado para la investigación. Su labor es resolver los problemas cotidianos que afectan a la producción; es el ingeniero que se va a sentar al lado de los programadores para resol-

ver los problemas de programación que vayan presentándose. Estará presente en la obra, procurando que lo que se ejecuta siga fielmente lo plasmado en los planos y en los cronogramas del

proyecto. Procurará que los circuitos cumplan las especificaciones definidas y en caso necesario modificará algunas características de los mismos para lograr un mejor rendimiento.

## 2.4. Perfil del ingeniero

Se entiende por *perfil profesional* las características que deben reunirse para ejercer adecuadamente una profesión. Estas características no solamente se refieren a los conocimientos, sino todo aquello que contribuya de una manera importante al ejercicio responsable de una profesión; en nuestro caso, la ingeniería.

La primera pregunta que se debe hacer para especificar este perfil es: ¿qué hará este ingeniero en su ejercicio profesional? Para ello debe conocerse lo más exactamente posible cuál será el entorno en el que trabajará. Si se está hablando de los ingenieros que se graduarán en 2010, será necesario hacer un poco de prospectiva para poder predecir, y actuar acordemente, el ambiente de trabajo y las condiciones de desarrollo de la sociedad de 2010.

Hacer prospectiva es una de las aventuras más excitantes, pero también de las más arriesgadas, desde el punto de vista de credibilidad; vaticinar lo que va a suceder en los próximos 10 años es una tarea llena de indefiniciones, muy difíciles de resolver, pues hay muchas variables que pueden asumir un amplísimo rango de valores. Para citar un ejemplo sobre las dificultades de predecir, considérese el caso de la denominada caída del muro de Berlín, o la desaparición de la URSS. El que diga que estos hechos son previsibles,... Aún así, hay mucha gente erudita que se dedica a la prospectiva, usando toda la información disponible, basándose en su experiencia y capacidad de discernimiento.

Los expertos en educación en ingeniería sugieren planes de estudio menos cargados con información que los actuales. Consideran que la denominada explosión de la información, metáfora usada extensamente para indicar la enorme cantidad de información que aparece diariamente en el mundo moderno, aunada a los acelera-

dos avances de la ciencia y la tecnología, hacen que el ciclo de vida del conocimiento útil para un profesional sea cada vez más corto. En algunas áreas del conocimiento se indica que cada tres años este conocimiento se reemplaza por otro generado alrededor de los últimos paradigmas.

Así que recargar a nuestros estudiantes con información demasiado especializada no tiene sentido, de acuerdo con lo expresado. Lo que se necesita es formar una persona experta en encontrar la información que necesita; ello implica, necesariamente, saber qué está buscando y reconocer cuándo lo ha encontrado. Implica, también, saber cuándo hace falta más o cuándo lo que se encontró sirve o no sirve para los propósitos de la búsqueda. En resumen, el estudiante debe tener un conocimiento básico sobre el tema que busca, el cual le permitirá acceder a las fuentes de información para extraer de ellas lo que necesita. Por tanto, en los planes de estudio debe incluirse una capacitación sobre las distintas fuentes de información, cómo acceder a ellas y cómo extraer la información requerida; es decir, métodos de cómo buscar la información. Para esto deberán programarse actividades formales explícitas, así como de búsqueda de información implícitas en todos los cursos de la carrera. Por consiguiente, un profesor de manufactura asistida por computador le pedirá a sus estudiantes un ensayo sobre el estado actual de esta disciplina. El estudiante deberá introducirse, por ejemplo, en internet y pedir las últimas referencias sobre el tema, usando las palabras claves apropiadas. En la pantalla aparecerán las referencias encontradas que servirán de base para la elaboración del documento. Este es un ejemplo de actividad formal implícita en una materia en el uso de la información sobre la base del uso de métodos modernos de acceso a la misma.

El continuo cambio en las tecnologías, la sucesión de paradigmas requeridos para explicar la aparición continua de fenómenos no explicados con las teorías en uso, la puesta a punto de dispositivos basados en descubrimientos científicos recientes, hace necesario que el ingeniero se prepare para este cambiante escenario científico. Si bien hay conocimientos que cambian con alguna frecuencia, también es cierto que lo relativamente inmutable está constituido por las bases científicas de nuestro mundo tecnológico. Especialmente en las ciencias exactas, como las matemáticas y la física, hay desarrollos que aún no han sido explotados tecnológicamente. Con esto se quiere decir que pasarán varios años antes de que los conocimientos de estas áreas sean útiles. En realidad, un gran porcentaje de estas disciplinas se podría considerar inmutable. Pero la cantidad de conocimiento que abarcan las mismas es tan grande que tratar de abarcarlo todo es casi imposible. Por ello es necesario decidir qué partes de este conjunto serán seleccionadas como soporte científico para los ingenieros del mañana: identificar las bases científicas de las tecnologías que están emergiendo o que se encuentren a prueba en los laboratorios de investigación.

Las innumerables aplicaciones del rayo láser, el uso de nuevos materiales, como las cerámicas, la fibra óptica, nuevas memorias de altísima densidad indispensables para los robots del mañana, baterías eléctricas basadas en esquemas y elementos diferentes a los actuales, etcétera, son ejemplos de retos científicos que deberá afrontar nuestro ingeniero del futuro y al que le debemos preparar para cuando llegue la ocasión. Por tanto, es indispensable evaluar qué partes de la física deben darse con mayor profundidad, o qué metodologías utilizar para que esos principios físicos entren a formar parte del bagaje científico de los futuros ingenieros.

#### 2.4.1. Las habilidades en la ingeniería

Las habilidades son perdurables, los conocimientos no. Esta frase resume lo que muchos expertos educadores opinan sobre la formación de los ingenieros, en especial. Es relativamente sen-

cillo definir los conocimientos que debe adquirir un ingeniero para desempeñarse exitosamente. Pero no es lo mismo definir las habilidades. Algunas de ellas son las siguientes:

- **Creatividad:** capacidad de ser original, innovador, descubridor, inventor. *"Si alguien crea algo que es nuevo para él, se dice que es creativo. Si ese algo es nuevo para muchos es, además, innovador. Y si es nuevo para todos es inventor."* Ojalá que todos los estudiantes sean creativos; sería estupendo que resultaran unos cuantos innovadores, y magnífico si apareciera un inventor.
- **Capacidad de pensamiento convergente**<sup>5</sup>: permite la integración focalizada de los datos y el establecimiento de prioridades en las elecciones. Mediante ésta, el ingeniero selecciona de un gran conjunto de datos aquellos que están relacionados con un determinado problema, y desecha los demás. Igualmente, con el desarrollo de esta capacidad, el ingeniero, en una determinada situación, puede establecer prioridades a la hora de tomar una decisión.
- **Capacidad de pensamiento divergente**<sup>6</sup>: o la capacidad para descubrir más de una respuesta correcta a una pregunta determinada. En principio, todos los problemas de ingeniería admiten más de una solución. Muchas personas quedan satisfechas cuando encuentran una de ellas y no son capaces de hallar otras. Al desarrollar esta habilidad, el ingeniero puede fácilmente proponer otras soluciones, además de la inicial.
- **Capacidad analítica**: la que más identifica a todo ingeniero. Es quizás una de las habilidades que más utiliza en su vida profesional. Por esta habilidad prefieren a los ingenieros sobre profesionales de otras disciplinas para realizar tareas en las que aquellos están más entrenados pero no poseen una habilidad analítica similar. Descomponer un todo en sus partes, establecer las relaciones entre ellas, extraer las variables principales del sistema, relacionar síntomas con causas, etcétera, son actividades que desarrollan en grado extremo esta habilidad analítica.

- *Capacidad de trabajar en grupo:* habilidad muy importante en el mundo moderno en el que los problemas son tan complejos que no es posible imaginar equipos de una sola persona. Aunque no pareciera tan difícil trabajar en equipo, culturalmente somos individualistas exagerados y nos cuesta mucho trabajo poder formar equipos productivos. Por eso hay que hacer énfasis en potenciar esta habilidad. Sin embargo, la formación de grupos no es una tarea fácil; es necesario evaluar a las personas que van a conformar los grupos y así poder reunir individuos con características complementarias. Por ejemplo, hay personas que trabajan dirigidas constantemente por el hemisferio izquierdo del cerebro: son racionales, críticas, frías. Otras viven discutiendo cualquier cosa sin llegar nunca a nada concreto: son las creativas, en las que el hemisferio derecho del cerebro toma el mando. Si se forman grupos con solo personas de este tipo no se alcanzarán nunca resultados positivos; se discutirá todo, incluso el porqué haber formado el grupo. Aparecerán ideas maravillosas, pero nada se concretará. De otro lado, grupos formados exclusivamente por personas 100 % racionales darán como resultado respuestas concretas a preguntas concretas; todo se hará dentro de los términos estipulados. Pero las soluciones alcanzadas serán las que ya se preveían: no habrá mayor grado de originalidad. El grupo que se busca es el formado equilibradamente por personas de uno y otro tipo; los unos pondrán la originalidad y los otros la canalizarán para llegar a los resultados deseados dentro de los parámetros fijados.
- *Interdisciplinariedad:* o la capacidad para trabajar en grupos con individuos de diferentes disciplinas. Los problemas que se presentan hoy en ingeniería son tan complejos que no es posible resolverlos con el enfoque de una sola disciplina. La construcción de la carretera circunvalar de la ciénaga de Cartagena tuvo que haber contado con la presencia de ecologistas e ingenieros civiles para su diseño. Si se hubiera hecho así no habrían ocurrido los desastres ecológicos que se presentaron. La construcción de la gran represa de Aswán en Egipto no tuvo en cuenta los cambios en el clima originados por la presencia de una gran masa de agua, donde antes solamente hubo desierto. La salinidad del río Nilo aumentó, la humedad de la zona se incrementó y produjo daños irreparables en los antiguos monumentos del valle del Nilo; hubo una invasión de mosquitos que trasmisieron múltiples enfermedades tanto en seres humanos como en el ganado de la región. En fin, estos son apenas dos ejemplos de los muchos que se podrían presentar para mostrar cuán importante es que en la solución de los macroproblemas en que está involucrada la ingeniería haya que recurrir necesariamente a equipos de trabajo donde se cuenta con el concurso de varios especialistas.
- *Serendipia<sup>6</sup>:* o la facultad de encontrar una cosa mientras se busca otra. Desarrollar una actitud indagatoria para aprovechar los hallazgos brindados por el azar, aunque no responda a lo que nosotros buscamos. Esta facultad se encuentra altamente desarrollada entre los descubridores e inventores.
- *Diseño conceptual:* opuesto al diseño detallado. Se busca que el ingeniero se dedique más a las especificaciones de un producto que a los detalles mínimos del mismo. El ingeniero debe definir a grandes rasgos lo que se desea, para que otros trasformen sus ideas en realidades.
- *Capacidad de comunicación:* indispensable en un mundo moderno en el que la información está confirmándose como el activo más importante de las empresas y en el que poder comunicarse con los demás de una forma eficiente es un requisito para poder trabajar en grupos interdisciplinarios. Esta comunicación debe poder realizarse de varias formas: *escrita*, habilidosos en la generación de informes técnicos; *oral*, aprendiendo retórica, una de las tres disciplinas que conformaron el currículo de las primeras universidades en la Edad Media. Saber convencer a los demás mediante la palabra es muy importante; la defensa de un proyecto, hecha por una persona convencida y con

capacidad de convencimiento, es mucho más sencilla que llevada a cabo por una persona sin dotes de comunicador; gráfica, ágil en el uso de ayudas audiovisuales, computador, multimedia, etcétera. Se ha repetido múltiples veces que una imagen vale por mil palabras; pues bien, la calidad y complejidad de los documentos que pueden obtenerse por los medios modernos de expresión es tal, que el anterior dicho podría reformarse diciendo que una presentación en multimedia es equivalente a millones de palabras.

- **Dominio de un idioma técnico:** valga decir el inglés. En un mundo cada vez más interdependiente, donde las decisiones internas de algunas corporaciones afectan la economía y el modo de vivir de muchos países, es necesario disponer de vías de comunicación expeditas a través de un mismo idioma que permita que la comunicación sea clara. Por lo menos debe exigírseles a los ingenieros que comprendan literatura técnica; sería deseable que, además, comprendan el inglés hablado para poder asistir a teleconferencias, congresos, etcétera, entre otros. Finalmente, la posibilidad de comunicarse en ambas direcciones, verbalmente, es muy recomendable. Valga decir que el inglés se ha vuelto el idioma universalmente aceptado y que casi todos los países desarrollados poseen un bilingüismo de hecho que permite que la trasferencia tecnológica se haga de forma natural.

Se podría aumentar la lista con otras habilidades, pero la idea es mostrar algunas que sirvan de ejemplo a lo que está proponiéndose. En cualquiera de estos casos no hay soluciones definidas; es más, se ve claramente que falta un elemento clave para el logro del éxito: la mayor parte del personal docente que disponemos no está capacitado para llevar adelante ninguno de estos planes. Es necesario el concurso de especialistas en diversas áreas para determinar cuál sería el mejor mecanismo para incorporar a los currículos de ingeniería unos objetivos distintos a los tradicionales. Sin embargo, y a pesar de esta dificultad conceptual, la solución no está en quedarse esperando a alguien que aparezca con la solución buscada; cada uno de nosotros,

con su experiencia y sentido común, debe empezar a trabajar en esta dirección, con mecanismos, procedimientos, técnicas que prometan resultados esperanzadores en este cambio de estrategia.

Por último, mas no por ello menos importante, está el aspecto humanístico que debe caracterizar a todos los ingenieros. Muchos creen que el ingeniero solamente debe dedicarse a aspectos técnicos; se olvidan que es una parte de la sociedad y que muchos de los problemas que deberá resolver tienen implicaciones sociales. Debe ser una persona capaz de entender los problemas que surgen de la aplicación indiscriminada de la tecnología; por ejemplo, desde el punto de vista técnico el trazado de una carretera debería pasar por determinados parajes, pero las consecuencias ambientales o culturales de tal diseño podrían afectar los intereses de algunas comunidades. Hay valores enraizados en ciertas culturas que vienen de muchos siglos atrás. Hay que tenerlos en cuenta a la hora de diseñar una solución a un problema que los afecte. Las soluciones a los problemas de la sociedad deben contemplar todos los aspectos; el ingeniero debe ser un intérprete de la sociedad. No debe obrar a espaldas de ella. Las soluciones que da la ingeniería no son buenas o malas en sí: solucionan o no solucionan el problema para el cual fueron diseñadas.

El ingeniero debe ser una persona culta, capaz de intercambiar ideas con personas de otras disciplinas; debe poder entender las implicaciones sociales que una solución propuesta tenga. Por ello, en su formación deben incluirse cursos que amplíen su visión del mundo y lo lleven más allá de los aspectos meramente técnicos.

Con base en lo anterior, se necesita un ingeniero:

- Con un alto contenido científico, capaz de comprender los principios de las tecnologías del futuro.
- Con un desarrollo de habilidades y destrezas mucho mayor que el actual.
- Con unos conocimientos básicos de las ciencias de la ingeniería.

- Capaz de encontrar la información requerida para la solución de un problema planteado.
- Con excelentes habilidades de comunicación, incluyendo un idioma técnico universal.
- Capaz de trabajar en grupos interdisciplinarios.
- Con una permanente disposición descubridora, creativa e innovadora.
- Con una formación cultural y humanística que le permita trascender los límites de la tecnología y comprender los aspectos sociales de los problemas de la ingeniería.
- Con una sobresaliente habilidad para resolver problemas, y no crearlos.

## 2.4.2. El plan de estudios

Cada programa de estudios está definido por su currículo, que es la fusión de los contenidos de las asignaturas, la metodología empleada y otras actividades complementarias que buscan la formación de sus estudiantes de modo tal que al salir graduados tengan el perfil definido por la institución. Por eso, los programas de ingeniería, como los de otras profesiones, se distinguen entre sí no solamente por lo que se estudia, sino por cómo se estudia. Las instituciones marcan con su sello distintivo a los profesionales que forman.

Un aspecto muy importante que el estudiante debe analizar en cualquier programa de ingeniería es su plan de estudios, pues en él se determina la orientación del programa. Por lo general, las asignaturas de un plan de estudios pueden agrupar en las siguientes categorías:

## 2.5. Campo laboral del ingeniero

Una vez graduado un ingeniero comienza su vida profesional, en la que aplicará los conocimientos adquiridos durante su permanencia en la universidad. En las empresas en que vaya a trabajar podrá desempeñar varias funciones:

- Asignaturas de ciencias básicas: matemáticas, física, biología, química, etcétera.
- Asignaturas de ciencias de la ingeniería: termodinámica, resistencia de materiales, circuitos eléctricos, procesos, ingeniería económica, ingeniería de software.
- Asignaturas sociohumanísticas: economía, humanidades, idiomas, epistemología, historia de la ciencia.
- Asignaturas Profesionales: gerencia de proyectos, finanzas, construcción de puentes, diseño de sistemas de comunicación, tecnología de la información.

Cada uno de estos grupos de asignaturas está representado porcentualmente en el plan de estudios; por ejemplo, el grupo básico tiene el 18%; el segundo, el 30%; 25% para humanidades y 27% para las del grupo profesional.

Si se desea un programa con un alto contenido científico, se reforzará el porcentaje de asignaturas del área científica; disminuyendo la parte del área profesional. Pero, si el deseo del programa es formar un ingeniero que sea altamente productivo desde el primer día como profesional, se aumentará el porcentaje de asignaturas en el área de las profesionales, disminuyendo la contribución de los demás grupos.

El peligro con este profesional (muy exitoso el primer día de su ejercicio) es que le tomará mucho esfuerzo y tiempo poner al día sus conocimientos, a medida que las tecnologías vayan cambiando. La falta adecuada de soporte científico complicará su aprendizaje de las nuevas tecnologías, basadas en su mayor parte en conocimientos científicos que no estaban presentes en el programa que estudió.

Como ingeniero, el profesional puede desempeñarse como directivo, en la parte superior de la organización; en el medio, ejerciendo funciones de control, diseño, técnicas. En la parte baja de la organización, en las líneas de producción.

Desde el punto de vista laboral, el ingeniero podrá dedicarse a:

## Investigación básica

Para los estudiantes más brillantes, con mayores inclinaciones científicas, ésta puede ser una gran oportunidad. En ingeniería los departamentos de ID (investigación y desarrollo) suelen dedicarse más a la parte de innovación que a investigación. De todas maneras, es un campo de acción en el que estarán continuamente en contacto con los últimos adelantos en el área tecnológica escogida: nuevos materiales de construcción, nuevas tecnologías de producción, lenguajes naturales de programación, reconocimiento de imágenes, robots autónomos, etcétera.

## Desarrollo de nuevos productos

A un nivel más bajo que el anterior, el ingeniero podrá dedicarse a la elaboración conceptual de los productos que los sondeos de mercado indican que pide la gente. Normalmente trabaja en equipo con profesionales de otras ramas en una actividad interdisciplinaria. Debe poseer dotes de líder, relaciones personales excelentes y un buen conocimiento de otras disciplinas.

## Diseño técnico

A diferencia del caso anterior, este ingeniero se dedicará a resolver los problemas menores del diseño de algunas partes del producto. Especificará las pruebas que deberán ser utilizadas para calificar los prototipos del producto. Elaborará las especificaciones de diseño, definirá los módulos, las pruebas de cada uno de ellos, repartirá el trabajo entre sus colaboradores, actuará de árbitro en los problemas que se presenten, etcétera. Es un puesto técnico que exige gran dosis de dirección y un buen trato de personal, además de un conocimiento profundo del tema.

## Dirección del departamento técnico

Las empresas poseen generalmente un departamento técnico encargado de todas las cuestiones específicas de la empresa; por ejemplo: el Departamento de Sistemas, el de Mantenimiento

Eléctrico. Típicamente, un ingeniero actúa de Jefe encargado de dirigir al personal que labora en el mismo; debe mantener un inventario de los equipos, planificar el mantenimiento preventivo, resolver los problemas que se presenten, prestando su concurso técnico cuando la gravedad del problema lo merezca. Debe ser un excelente organizador, administrador y tener excelentes relaciones humanas. Debe poseer una adecuada destreza manual, en muchas ocasiones.

## Soporte técnico

Cuando un cliente tiene un problema con un producto, la empresa que lo vendió le envía un ingeniero que se encarga de analizar el problema y dar la solución adecuada. En algunos casos será necesario que otro ingeniero, o un técnico, se apersone del problema para resolverlo. Este tipo de actividad se relaciona con el de un soporte preventivo, en el que se le practican ciertas pruebas al producto para determinar su estado y efectuar los correctivos necesarios antes de que se dañe.

## Producción

El punto ideal de entrada de un ingeniero recién graduado en la vida profesional es la permanencia durante un período adecuado en la línea base de las empresas: en la cadena de producción, para que se empape de todas las actividades, las documentadas y las que no lo están, que se desarrollan allá. Esto para que se dé cuenta de los problemas reales que surgen en la operación de una empresa y, de este modo, cuando ascienda algún día a los niveles superiores de la organización pueda opinar sobre bases reales acerca de lo que se necesita hacer para sacar adelante la empresa.

El ingeniero necesita habilidades de mando, pues tendrá que trabajar codo a codo con los trabajadores de niveles inferiores; debe entender que hay mucha gente en ese nivel que sabe mucho más que él y que parte de la razón de estar allá es aprender de ellos. Así que deberá entender que aunque jerárquicamente estén por debajo de él, inicialmente, por lo menos lo superan en conocimientos prácticos. Sin embargo, debe recordar que como ingeniero tiene una

formación que le permite recorrer muy rápidamente lo que a los demás les tomó mucho tiempo. Que, además, él conoce no solamente el *cómo*, sino el *porqué* de las cosas, lo cual sienta la diferencia entre el técnico y el ingeniero.

## Administración de recursos humanos

Con mucha frecuencia, las empresas contratan ingenieros industriales para dirigir sus departamentos de relaciones humanas, o de relaciones industriales. La preparación que reciben en esa disciplina durante su carrera, aliada de la preparación genérica como ingeniero, lo hacen ideal para desempeñar ese cargo. Los estudios de niveles salariales, la seguridad industrial, los ascensos, pruebas, entre otros, son algunas de las actividades típicas de estos puestos. Es evidente que las funciones principales están determinadas por líneas específicas de la carrera, algo alejadas de la visión generalizada de lo que es la ingeniería. Pero no es menos cierto que cada vez es necesario un mayor concurso de la parte técnica en el manejo de todas las cuestiones de las empresas industriales, especialmente.

## Administración financiera

Los ingenieros son muy solicitados para dirigir los departamentos financieros de muchas empresas, debido a la excelente formación en matemáticas, en finanzas y a su formación analítica en general. En muchos países, los ministros de Economía son ingenieros, de diversas especialidades, que mediante sus postgrados han alcanzado un adecuado dominio de los aspectos económicos que les permite caminar con propiedad por los delicados caminos de la macroeconomía. Muchas corporaciones financieras, bancos, empresas industriales, etcétera, están reclamando en sus puestos directivos de los departamentos de finanzas el concurso de ingenieros con especialización o sin ésta para dirigir o trabajar en esas secciones. Evidentemente, un buen dominio del área financiera es el factor clave para estos cargos.

## Mercadeo

Debido a los cambios en la estructura general del mercado internacional, cada vez las funcio-

nes de producción están dejando más espacio a las funciones de mercadeo. Con menos fábricas se surte a un mayor número de usuarios, dada la avanzada tecnología que se emplea. La producción en masa de los productos industriales hace que cada vez haya menos fábricas que producen lo mismo. El problema es cómo seguir llegando al consumidor, sea éste el final o un fabricante que usa esos componentes como partes de sus productos. Aunque es una función típica de los administradores de empresas, dada la creciente complejidad de los productos industriales se hace cada vez más perentoria la presencia de los técnicos en la determinación de las estrategias de penetración del mercado, publicidad, estudios comparativos con otros productos similares, etcétera.

## Ventas técnicas

Durante mucho tiempo (y aun ahora), los ingenieros han considerado que las posiciones de ventas dentro de las empresas no son puestos a la altura de ellos. En la actualidad, dada la complejidad de los equipos industriales, del altísimo componente tecnológico en ellos y de la gran competencia que existe en el mercado, es necesario emplear personal de muy alto nivel para poder vender exitosamente. Por ejemplo, tomemos un conmutador telefónico. En realidad, se trata de un computador digital especializado en la conmutación telefónica; tiene una gran cantidad de servicios y cumple una serie de normas que solamente un ingeniero electrónico es capaz de explicarle a un potencial cliente; un profesional de otra disciplina no podrá contestar las múltiples preguntas de carácter técnico que le serán formuladas. En la electromedicina hay muchos ejemplos; un tomógrafo es un aparato que toma vistas trasversales del cuerpo humano y las presenta con enorme detalle en una pantalla o las imprime a colores en una impresora especial. En realidad es un dispositivo electrónico cuyo núcleo es un computador digital de alto poder que recibe la información de un escáner que barre el cuerpo humano; esta información se procesa y los resultados se le presentan al especialista. Solamente un ingeniero electrónico estará en capacidad de dar explicaciones adecuadas a los posibles compradores del producto.

Los ingenieros que se dedican a ventas deben tener un excelente conocimiento de la parte técnica principal, además de un buen *conocimiento de otras disciplinas colaterales*. Adicionalmente, debe ser una persona con muy buenas dotes comunicativas. Muchas veces, un buen producto no se vende solo.

### Consultoría, prestación de servicios

Como consecuencia de los procesos de reingeniería que muchas empresas han desarrollado últimamente, se ha puesto de moda el *outsourcing* o el uso de los servicios externos para aquellas actividades que no sean las propias de la empresa. Por ejemplo, durante muchos años las empresas constituyeron sus departamentos de sistemas para procesar toda la información que requerían, así como para desarrollar sus aplicaciones, programas etcétera. Lo mismo puede decirse respecto al mantenimiento y servicio de la maquinaria de una empresa; cada vez que se cambia de tecnología es necesario invertir en capacitación de sus empleados para que puedan atenderla adecuadamente.

Con el tiempo se ha comprobado que mantener estos departamentos representaba una enorme carga económica, así como fuentes de problemas, demoras en las entregas, etcétera. El *outsourcing* permite contratar con externos este tipo de actividades, dejando en casa solamente aquellas que son fundamentales para la empresa. De esta manera se abre una nueva fuente de trabajo para los ingenieros: la consultoría, que aunque ya existía, ahora ofrece nuevas posibilidades.

El consultor debe tener un buen conocimiento de la disciplina en cuestión, excelentes dotes de organizador, buen conocimiento financiero, debe ser un líder capaz de dirigir un grupo de trabajo, y un buen comunicador para poder recibir y dar la información requerida en el trabajo.

### Educación

Hoy, y en el futuro, la capacitación, entrenamiento y, en general, la educación serán fuen-

tes de empleo muy importantes. El mundo contemporáneo se mueve a una enorme velocidad que exige que los conocimientos de un profesional se renueven continuamente, so pena de quedar obsoleto. Para ello debe refrescarse continuamente con cursos de educación continuada en el área en que esté trabajando; de esta manera adquirirá los nuevos conocimientos para mantenerse al corriente de los adelantos en su disciplina. En otras ocasiones, deberá matricularse en un postgrado de mayor o menor duración con el objeto de obtener una serie de conocimientos más estructurados que los que pueda dar un simple curso de educación continuada. La maestría o la especialización será normalmente los caminos que se deben seguir en estos casos. Para los que aspiran a mayores alturas, el doctorado en ingeniería o el Ph. D. (*Philosophus Doctor*, doctor en filosofía) son los títulos del último nivel aceptados mundialmente.

Pero también se vislumbra en el futuro cercano un gran movimiento hacia la educación personalizada, usando la multimedia como vehículo principal para ello. Alguien tiene que dictar estos cursos, prepararlos, etcétera. La educación se constituye, como puede apreciarse, en una enorme fuente de trabajo, bien remunerado y de grandes satisfacciones personales, pues nada hay más noble que enseñarles a otros lo que uno ha aprendido. Para ser un buen docente hay que reunir algunas cualidades personales y tomar algunos cursos de pedagogía, manejo de grupos, etcétera.

Lamentablemente, muchos buenos ingenieros no son buenos pedagogos y ante las primeras dificultades deciden retirarse de esta ocupación y regresar a la industria donde se sienten más cómodos. Es muy importante que haya profesores con experiencia industrial; es más, en muchos países, en algunas asignaturas, exigen que el profesor que las dicte tenga la matrícula profesional que lo acredita como ingeniero practicante, condición necesaria para poder transmitir sus vivencias personales.

## 2.6. Ética y valores

La ética puede definirse *como el conjunto de principios y normas morales que regulan las actividades humanas*; la ética es una parte de la filosofía que indica cómo debe comportarse el ser humano. A todos se nos exige un comportamiento ético; es decir, todos debemos cumplir reglas para poder vivir en sociedad. Las normas éticas no son inmutables, cambian de acuerdo con el tiempo y con las sociedades. Las sociedades primitivas tenían algunas normas de comportamiento que no serían aceptables en nuestra sociedad; por ejemplo: los griegos sacrificaban a los niños que nacían deformes; en algunas sociedades se practica la poligamia, mientras que en otras está prohibida por la ley.

El ejercicio de la ingeniería exige la observación de normas mínimas de comportamiento profesional. La ética en ingeniería trata los asuntos morales que surgen en la práctica de la profesión. Deben establecerse claras normas éticas en las relaciones del ingeniero con la sociedad a la que sirve, con sus empleadores, con los clientes y con sus colegas. Lamentablemente, los fines últimos que mueven a cada uno de estos actores en el escenario ético son diferentes, y en muchas ocasiones en claro conflicto.

La sociedad establece claramente que toda actividad profesional desarrollada por los ingenieros debe tener como fin esencial *la salud y el bienestar de los ciudadanos*, reduciendo los posibles riesgos generados por esas actividades a límites manejables. Y para lograr lo anterior establece códigos de obligatorio cumplimiento.

### Ejemplo 1

Las construcciones que se levantan en zonas de alto riesgo deben cumplir estrictos códigos antisísmicos, para lograr que en caso de un sismo de alta intensidad aquéllas resistan y reduzcan a un mínimo grado las pérdidas de vidas humanas, así como los daños materiales.

Las empresas tienen como fin el lucro, tanto para ellas como para sus socios; para lograrlo incurren, con frecuencia, en reducciones de costos que ponen en peligro el bienestar, la salud o la

seguridad de los ciudadanos a los que sirven. Con frecuencia, también, recurren a prácticas deshonestas para obtener contratos, mediante sobornos, uso indebido de información, etcétera.

### Ejemplo 2

La investigación que siguió al desastre del transbordador Challenger en 1986, en el que perdieron la vida siete astronautas, mostró que la tragedia se hubiera evitado si se hubiera pospuesto el lanzamiento unas horas.

En efecto, algunos ingenieros habían relacionado las bajas temperaturas con fallas en el aislamiento entre las secciones de los motores laterales. El día del lanzamiento la temperatura oscilaba alrededor de los 32° F, la más baja registrada en cualquier lanzamiento. Sin embargo, el responsable del lanzamiento no encontró suficientes razones para detenerlo y dio la orden de seguir.

A los 78 segundos de haber despegado, el cohete explotó; una minuciosa investigación posterior demostró que un anillo de caucho que servía de sellado entre las secciones última y penúltima del cohete lateral derecho había perdido su elasticidad y función debido a la baja temperatura reinante.

Los clientes o consumidores piden que se les entreguen los mejores servicios, los mejores productos a precios razonables. Piden que el vendedor les entregue el servicio o producto ofrecido por el precio prometido. Exigen que el servicio o bien por el que están pagando cumpla las especificaciones de calidad y seguridad que han sido establecidas.

### Ejemplo 3

Uno de los líderes que más han luchado y logrado en beneficio de los clientes o consumidores es Ralph Nader, quien se hizo famoso por su libro *Inseguro a cualquier velocidad* (*Unsafe at Any Speed*, 1965) en el que demostró cómo en el diseño del sistema de suspensión del automóvil Corvair de la General Motors no se habían tenido en cuenta las mínimas normas de seguridad, provocando innumerables accidentes fatales sin que la empresa hubiera hecho

nada significativo por corregir el problema. Nader logró que por primera vez un gigante de la industria automovilista reparara sin costo alguno para los compradores los defectos de diseño, instalando un sistema de suspensión adecuado en cada uno de los carros del modelo Corvair.

#### Ejemplo 4

Más recientemente, una corte federal de Estados Unidos acusó a la empresa Microsoft de prácticas ilegales en el mercadeo de sus productos, al impedirles a sus competidores un acceso equitativo al mercado del software para microcomputadores. El problema se originó al incluir en sus sistemas operativos Windows 95 y 98 el browser Internet Explorer como parte integral de los mismos, colocando a sus competidores en desventaja.

Los ingenieros actúan algunas veces como empresarios, pero en muchas ocasiones actúan como intermediarios entre las empresas y los clientes; por un lado le deben lealtad a la empresa para la que están trabajando, pero, al mismo tiempo, deben darle al cliente lo que por ley tiene derecho. En muchas ocasiones se presentan conflictos entre la lealtad y la obligación de cumplir con los otros.

#### Ejemplo 5

El Departamento de Salud acaba de finalizar una investigación acerca de la incidencia del uso de los teléfonos celulares en el cáncer cerebral. Los resultados son precisos: existe una probabilidad cuatro veces más alta de contraer cáncer cerebral entre los usuarios asiduos del celular que entre los que no lo usan o solamente lo usan esporádicamente. Las causas aparentes (falta más investigación) son el diseño de la antena y la potencia del aparato.

Pedro Esquirlar, ingeniero electrónico que trabaja para la multinacional CellPhones International, Inc, acaba de leer el informe y constatar que uno de los modelos de mayor venta de su empresa puede estar generando problemas de salud entre sus usuarios. Revisa la información técnica disponible y confirma sus sospechas: es el rey de las ventas debido a su alcance, lo que se logra por una disposición es-

pecial de la antena y por la potencia de sus circuitos de salida.

Inmediatamente pone en conocimiento de sus superiores su descubrimiento y sugiere solicitarles a todos los compradores que devuelvan sus celulares para someterlos a una modificación que reducirá sustancialmente los riesgos de contraer cáncer. Su jefe le contesta que eso es impensable, pues los costos de realizar la modificación serían muy elevados y que en un año de magras ganancias, pondría, incluso, a peligrar la supervivencia de la empresa. Lo conforta indicándole que ellos cumplen las normas de la FCC (Federal Communications Commission) y que por tanto no están haciendo nada ilegal.

Otro aspecto importante que debe tenerse en cuenta en relación con los problemas éticos derivados de la práctica de la ingeniería es la competencia técnica. El ingeniero debe ofrecer soluciones acordes con el estado del arte de la disciplina específica en ese momento y en ese lugar. Es decir, no debe ofrecer soluciones que técnicamente sean obsoletas, o que hayan demostrado no ser las más recomendables. No debe aprovecharse de la ignorancia de sus clientes para ofrecerles soluciones que en muy poco tiempo serán obsoletas, que emplean tecnología en desuso o que no satisfacen las exigencias del cliente. Debe hacerle ver al cliente las desventajas de unas soluciones o mostrarle las ventajas de usar otras.

Es indispensable que el ingeniero se mantenga en un estado de permanente actualización que le permita cumplir a la cabalidad estas normas. Nunca debe ofrecer sus servicios en áreas de la ingeniería para las cuales no fue entrenado o en las que carece de experiencia.

Finalmente, se encuentran sus colegas, ingenieros como él que cumplen funciones similares y se enfrentan con problemas parecidos. Sin embargo, deben lealtad a diferentes empresas que posiblemente compiten en la consecución de un contrato y su racionalidad se ve con frecuencia afectada por otros intereses.

Los ingenieros deben competir lealmente con sus colegas, rechazar tácticas como el so-

borno, la obtención de información que los sitúa en posiciones ventajosas, rebajar honorarios con el objeto de arruinar a firmas recién establecidas, etcétera. No hay que olvidarse que la ingeniería es una actividad social, así como técnica. A la hora de tomar decisiones, que afectarán el entorno y a algunos sectores sociales menos favorecidos, debe procurar que aquéllas promuevan un mayor equilibrio social, en lugar de inclinarlo más todavía en desmejora de las condiciones de vida de los más pobres.

#### Ejemplo 6

Juan Castañeda es el secretario de Obras Públicas del Municipio de Loma Linda, una hermosa ciudad costeña en la que convive la opulencia de una clase social acaudalada, con la pobreza de los pobladores de la región que subsisten a base de una economía derivada de las artesanías, la pesca y el turismo.

El año fiscal va a terminar y queda un remanente en el presupuesto que Juan va a destinar a corregir algunas deficiencias en las vías del municipio, con el fin de disminuir el número de accidentes mortales que empiezan a levantar airadas voces de protesta entre los habitantes del municipio.

El año pasado murieron siete personas en una de las intersecciones más peligrosas en el centro de la ciudad; por otro lado, en la autopista que atraviesa la zona en la que viven los pobladores más pobres, el número de víctimas mortales va este año en 15. La mayoría son niños y ancianos arrollados por autos que circulan a alta velocidad hacia o desde el centro de la ciudad. Lamentablemente, el presupuesto solamente alcanza para realizar una obra: o se soluciona el problema en el centro de la ciudad o el de la autopista.

La mayoría de los pobladores acaudalados se beneficiarían si se arreglara el problema del centro de la ciudad, pero si se acomete la obra de la autopista se salvarán vidas de la población perteneciente al estrato más pobre. Juan se decide por esta última, aunque sabe que su decisión le acarreará muchas críticas y, posiblemente, la pérdida de su cargo de secretario de Obras Públicas.

En muchas ocasiones, las leyes son más permisivas que las normas éticas; hay estándares legales que tardan en cambiar debido a problemas de diverso orden. Mientras tanto, personas y empresas inescrupulosas, aprovechando estas brechas legales, sacan ventajas desmesuradas a costa de la calidad de vida de sus semejantes.

#### Ejemplo 7

Una gran planta industrial se encuentra instalada en un pequeño pueblo; la mayoría de los habitantes de la villa viven de los empleos tanto directos como indirectos que se derivan de la existencia de la planta industrial. Los residuos contaminantes que se generan en la planta son tratados y vertidos a una laguna que existe en las cercanías del pueblo. De esta laguna se toma el agua que para el regadío de los cultivos de hortalizas que se producen en el pueblo. También de este agua bebe el ganado. El Código Municipal establece niveles máximos de contaminación que no deben ser sobrepasados; semanalmente un empleado del municipio efectúa mediciones de los niveles de contaminación de la laguna con el objetivo de comprobar que la planta industrial no está contaminando excesivamente el agua de la laguna. Hasta el momento, todas las mediciones arrojan cifras que sitúan el nivel de contaminación ligeramente por debajo de los máximos establecidos; es decir, no hay problema aparentemente.

Un joven ingeniero que es contratado en la planta para encargarse de la optimización del proceso de tratamiento de los residuos contaminantes efectúa sus propias medidas de los niveles de contaminación y encuentra que a diferencia de los valores hallados por el empleado del municipio y los suyos muestran niveles de contaminación que sobreponen largamente los valores máximos permitidos. Inventando cualquier excusa, decide acompañar al empleado municipal el día que le toca efectuar los análisis del agua de la laguna. Se da cuenta de que el empleado realiza sus tareas perfectamente; es decir, no comete errores en el proceso de medición. Sin embargo, observa que los instrumentos usados en el municipio son bastante antiguos y no tienen la sensibilidad necesaria para detectar los niveles de contaminación que están midiéndose. En la planta se cuen-

ta con modernos aparatos que permiten detectar la presencia de mínimas partes de diversos contaminantes en el agua.

Prudentemente, decide no dar aviso a la empresa de lo observado mientras realiza algunas averiguaciones adicionales. Le han llegado rumores que últimamente en el pueblo, se han presentado, enfermedades en el ganado y en la gente que nunca antes se habían detectado. Del estudio de la información científica que encuentra sobre los casos detectados no halla una relación entre los casos reportados y las conclusiones de los investigadores. Sin embargo, a él le asalta la sospecha que sí existe una relación entre el nivel de contaminación de la laguna y las enfermedades informadas. Antes de que la planta estuviera en el pueblo nunca se habían detectado esas enfermedades; la gente se moría a los noventa y tantos años.

Por otro lado, sabe que una alarma injustificada podría llegar a cerrar la planta y la gente del pueblo perdería sus empleos y, con ello, el nivel de vida que se vendría abajo.

El ingeniero debe desarrollar un sentido autónomo para identificar problemas morales y diferenciarlos de otro tipo de problemas, como económicos, legales, etcétera. Debe ser capaz de comprender y estimar los argumentos de las diferentes partes de un conflicto. Y, finalmente, debe ser capaz de argumentar por escrito y oralmente sus puntos de vista.

### 2.6.1 Directrices de comportamiento ético

Los casos de los ejemplos anteriores ponen de manifiesto algunas situaciones en las que se presentan conflictos de tipo ético cuya solución no es siempre obvia:

- No puede echársele la culpa del accidente del Challenger al administrador del programa; quizás el sello de caucho estaba mal diseñado y la culpa recae en la empresa que lo fabricó o del ingeniero que lo diseñó.
- Si Juan Castañeda hubiera decidido invertir su remanente presupuestario en la solución en el centro de la ciudad, ¿quién podría criticarle?

Cuando hay un problema de orden ético es necesario disponer de algún tipo de referentes o normas con los cuales comparar las actuaciones para saber si está actuándose correctamente o no. No se puede dejar simplemente al sentido común o a un sentimiento personal el juicio o las responsabilidades derivadas de una situación de carácter ético. Por ello, las agremiaciones profesionales de ingeniería han desarrollado una serie de directrices o pautas que les permiten a los ingenieros contar con argumentos sólidos a la hora de actuar o de evaluar situaciones que involucran la ética profesional.

Estas directrices se han agrupado de forma tal cada grupo contiene las normas correspondientes a una posible relación entre los diversos actores:

- Sociedad.
- Empresas.
- Ingenieros.
- Clientes.

Sirven para establecer responsabilidades derivadas de las actuaciones de los ingenieros. En algunos casos, esas normas son de aplicación inmediata, aunque en otras ocasiones es necesario efectuar análisis profundos para llegar a conclusiones sólidas. Aún así, la experiencia indica que no todos los expertos coinciden en sus juicios cuando analizan un problema ético.

### 2.6.2. Directrices que regulan las relaciones entre el ingeniero y la sociedad<sup>8</sup>

La seguridad, la salud y el bienestar de la sociedad constituyen los fines de la actividad de la ingeniería. Para lograrlos, los ingenieros deberán tener muy en cuenta las siguientes pautas:

- Solamente utilizarán las prácticas de ingeniería debidamente comprobadas y que no afecten la seguridad, salud y bienestar de la sociedad.
- Darán aviso oportuno cuando sus superiores desestimen sus conceptos y actúen en forma tal que comprometan la seguridad, salud y el bienestar de la sociedad.
- Serán objetivos y honestos en sus informes y actuaciones, allegando la información pertinente.

- d. Solamente emitirán opiniones en público cuando se encuentren respaldadas por un adecuado conocimiento de los hechos y después de un competente estudio del tema.
- e. Se abstendrán de emitir opiniones o juicios públicos para beneficiar a terceros, cuando existan con éstos intereses de cualquier tipo.
- f. No permitirán que se use su nombre en conexión con empresas u otros ingenieros sobre los que existan razonables dudas de su honestidad.
- g. Finalmente, avisarán oportunamente a las autoridades competentes sobre posibles violaciones a las normas que regulan la práctica de la ingeniería.

### 2.6.3. Directrices que regulan las relaciones entre el ingeniero, los empleadores y los clientes

Cuando un ingeniero trabaja en una empresa de la que recibe una remuneración por sus ser-

vicios deberá tener en cuenta los siguientes puntos que identifican y clarifican las relaciones entre ambos:

- a. Solamente aceptarán trabajos para los que se encuentren calificados, bien sea por formación o experiencia.
- b. Se negarán a estampar sus firmas o a respaldar documentos o actuaciones que se encuentren por fuera de su campo de especialización o que no se hayan ejecutado directamente bajo su supervisión.
- c. No revelarán información confidencial que haya sido adquirida mientras estuvieron al servicio de su empleador, a menos que éste les dé la respectiva autorización.
- d. No solicitarán ni recibirán pago alguno u otros favores de sus clientes, contratistas o empleadores, diferentes de los pactados.
- e. Informarán a sus empleadores o clientes de cualquier conflicto de intereses que pueda presentarse y que afecte su objetividad o la calidad de sus servicios.

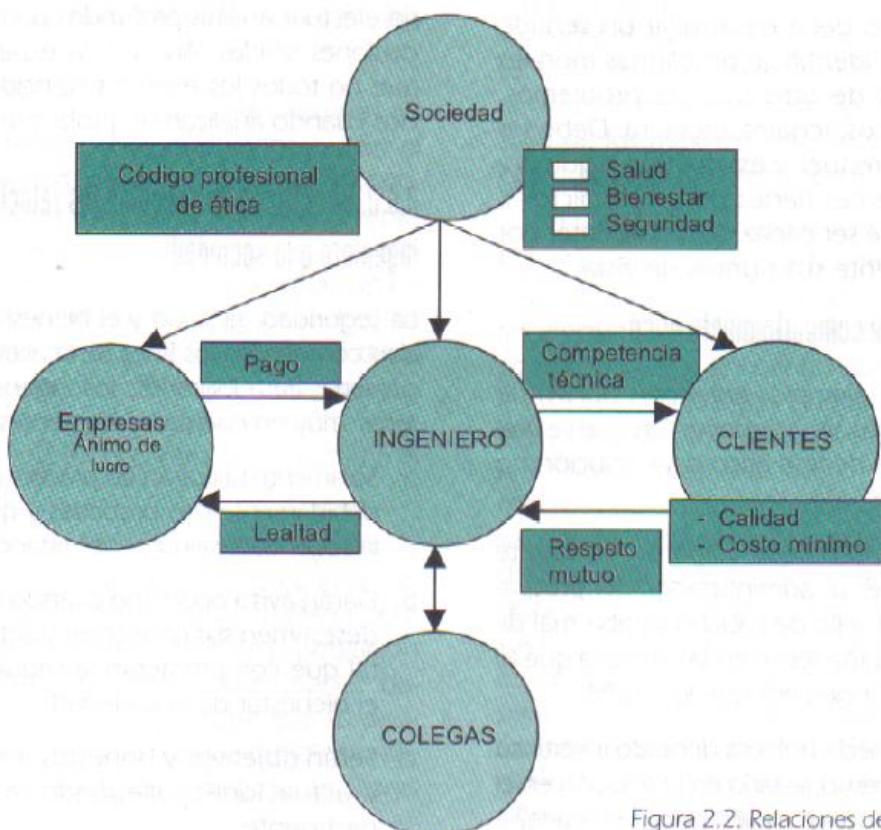


Figura 2.2. Relaciones del ingeniero con la sociedad, las empresas, los clientes y sus colegas.

- f. No se cobrarán ni se aceptarán pagos repetidos por los mismos servicios prestados en la ejecución de un proyecto, a menos que se hubiera llegado a un acuerdo en ese sentido entre las partes.
- g. No se aceptarán contratos otorgados por entidades en las que se encuentren familiares o miembros de su empresa en la junta directiva que otorga los contratos. De igual manera, los familiares o directivos que formen parte de las juntas directivas encargadas de otorgar contratos, se abstendrán de participar en las decisiones cuando su empresa se encuentre dentro de las que aspiran a ganarse el contrato.

#### 2.6.4. Directrices que regulan las relaciones entre el ingeniero y sus colegas

Los otros ingenieros, los colegas, forman una parte importante de la estructura en la que discurre la vida de un ingeniero. Con ellos es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- No exagerar los méritos propios en detrimento de las calificaciones de sus colegas.
- No solicitarán sobornos con el objeto de conceder contratos a sus colegas.
- No efectuarán contribuciones políticas con el fin de asegurar la consecución de contratos.
- No actuarán en modo alguno que pueda afectar injustamente la credibilidad de sus colegas, impidiéndoles el acceso a contratos, trabajos, prácticas, etcétera.

### Ejemplo 8

#### Narración

Pedro Sánchez es un ingeniero civil recién egresado. Ha sido contratado por una multinacional que le ha encomendado como primer trabajo el diseño estructural de unas bodegas que la empresa construirá en diversas ciudades del país. Pedro efectúa el diseño teniendo en cuenta los códigos de construcción nacionales. Utilizando las últimas tecnologías de construcción, Pedro logra rebajar los costos de construcción a niveles mucho más bajos que los que la empresa había proyectado.

El jefe de Pedro quedó muy satisfecho con su trabajo, especialmente con los costos. Para aprovechar estas ventajas en los costos, decide utilizar el mismo diseño en la construcción de similares bodegas en otros países. Escribe un memorando en este sentido y pide que se adopte el diseño de Pedro en la construcción de las bodegas que se tenía presupuestado construir a cambio de otros planes más costosos.

Esa misma noche, Pedro ve un documental en televisión donde se presenta el caso de un ingeniero civil al que se le acusa de haber construido un proyecto de viviendas sin tener en cuenta los códigos antísmicos existentes. Como consecuencia, varias construcciones sufrieron daños por un temblor de tierra ocurrido la semana pasada.

A la mañana siguiente, Pedro se entera que su diseño va a implementarse en otros países. Influenciado por lo que observó en el programa de televisión, Pedro revisa los códigos de construcción de los países escogidos para exportar su diseño y se da cuenta de que en algunos de los mismos exigen el cumplimiento de normas antísmicas que el diseño de Pedro no cumple.

Pedro se encuentra alarmado por lo que acaba de descubrir y decide comentarle a su jefe las dudas que tiene. Éste le dice que no se preocupe, pues todos esos detalles se tendrán en cuenta. A continuación su jefe le propone a Pedro que se tome unas vacaciones pagadas por la empresa en uno de los mejores clubes Mediterráneos del Caribe.

#### Planteamiento

La lectura de la narración arroja lo siguiente:

- Pedro desarrolló un diseño que cumplía los códigos de construcción de su país, pero no los de otros países a los que se exportaría.
- Pedro avisó oportunamente a su jefe.
- El jefe de Pedro parece que está sobornándolo para que se olvide del asunto.

## Preguntas

1. Dé su definición de soborno.
2. ¿Cree usted, de acuerdo con su definición, que el jefe de Pedro lo está sobornando?
3. ¿Cuáles son las responsabilidades éticas de Pedro como diseñador estructural, hacia su compañía?
4. Escriba una solución que satisfaga la mayor parte de las obligaciones que tiene Pedro. Indique por qué es la mejor solución.

## Posibles respuestas

1. El soborno es todo aquello de cierto valor que se ofrece para obtener una acción favorable de un determinado organismo, persona u organización.
2. Una semana en un Club Mediterráneo es algo suficientemente valioso como para considerarlo un soborno. Además, se ofrece en un momento en el que Pedro debe tomar una decisión ética. En segundo lugar, parece claro que el jefe de Gregory lo está ofreciendo para influenciar la decisión de Pedro. Finalmente, aunque no tuviera la intención de sobornar (simplemente tranquilizar a Pedro) tiene toda la apariencia de un soborno..
3. Pedro, como ingeniero civil, debe:  
Diseñar estructuras usando las tecnologías más apropiadas.  
Cumplir los códigos de construcción vigentes.
4. Si Pedro tiene dudas sobre las verdaderas intenciones de su jefe, debe consultar con los abogados de la empresa indicándoles los problemas que podrían presentarse en caso de una demanda por fallas en las estructuras de las construcciones.  
  
Si no cree que esta alternativa pueda lograr la solución al problema, debe pensar en retirarse de la empresa, pues no parece que sea el lugar más adecuado para comenzar una limpia carrera profesional.

## Código de Ética de la IEEE

Casi todas las asociaciones profesionales han sistematizado las directrices anteriores en unos códigos que regulan el ejercicio profesional de sus agremiados. Como ejemplo de uno de tales códigos se cita el Código de Ética de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)<sup>9</sup>

Los ingenieros asociados a la IEEE estamos de acuerdo en:

1. Asumir con responsabilidad las decisiones de ingeniería coherentes con la seguridad, salud y bienestar del público, y revelar lo más pronto posible todo aquello que pueda afectar al público o al entorno.
2. Evitar los conflictos de interés siempre que sea posible, y avisar de la existencia de los mismos a las partes afectadas.
3. Actuar de forma honesta y realista cuando se efectúan pronósticos basados en los datos disponibles.
4. Rechazar el soborno en todas sus formas.
5. Ayudar a comprender la tecnología, su aplicación apropiada y sus consecuencias potenciales.
6. Mantener y mejorar nuestra competencia técnica y aceptar trabajos tecnológicos para otros solamente si nos encontramos preparados para ello por formación o experiencia, o si las partes interesadas se encuentran informadas de nuestras limitaciones.
7. Buscar, aceptar y ofrecer crítica constructiva sobre aspectos técnicos, agradecer y corregir errores y acreditar adecuadamente las contribuciones de otros.
8. Tratar de manera equitativa a todas las personas sin distinciones de raza, religión, sexo, discapacidad, edad o nacionalidad.

9. Evitar injuriar a otros en su propiedad, reputación o empleo, a través de acciones falsas o maliciosas.
10. Ayudar a los colegas y colaboradores en su desarrollo profesional y respaldarlos en el cumplimiento de este código de ética.

## 2.7. Los valores en la ingeniería

Adicionalmente hay que considerar el problema de los valores, que tanto interés está tomando nuevamente en la sociedad. ¿Cuáles son los valores más importantes que debe tener en

cuenta un ingeniero? La Sociedad Americana de Educación en Ingeniería, ASEE, ha elaborado la lista que muestra el cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1. Valores que debe tener en cuenta un ingeniero**

Valores individuales	Valores profesionales
Moralidad personal	Competencia
Familia	Integridad
Iniciativa	Creatividad
Amistad	Honestidad
Flexibilidad	Escrupulosidad
Dedicatoria al trabajo	Comunicación
Inteligencia	Habilidad para analizar
Honor	Iniciativa
Calidad de vida	Perseverancia
Independencia	Autoestima
Realización personal	Profesionalismo

Esta lista recoge los puntos de vista de un grupo de ingenieros a los que se les preguntó sobre qué valores consideraban más importantes para un ingeniero; personalmente considero que la *responsabilidad* y la *honestidad* son los pilares sobre los que reposa la práctica de la ingeniería. Los actos de los ingenieros (y de los demás, también) se derivan necesariamente del manejo que se haga de estos dos valores: un ingeniero responsable cumple las obligaciones que ha contraído con sus clientes; un ingeniero honesto nunca hará trampa, ni abusará de la confianza depositada en él, o usará información confidencial para su beneficio.

Para finalizar este tema se muestra parte de los resultados obtenidos en una encuesta que se realizó entre un grupo de ingenieros en la Universidad de Texas. Se trata de las opiniones de estos profesionales sobre algunos aspectos relacionados con la práctica de la ingeniería. Se les preguntó acerca de las situaciones que más comprometían la ética de los ingenieros. Estas fueron sus respuestas:

- Incompetencia técnica.
- Conflicto de intereses.
- Discriminación, favoritismo y hostigamiento.
- Uso indebido de recursos de la compañía o del cliente.

- Fallas en la protección de la salud, seguridad o el bienestar públicos.
- Relaciones inapropiadas con clientes, contratistas, etcétera.
- Participación inapropiada en la política o en la comunidad.
- Manejo indebido de información delicada.
- Fracaso en la conciliación de intereses de los empleados.
- Abuso del alcohol o de las drogas.

- Incumplimiento en la protección del ambiente.
- Fallas en el control de la calidad o en el control del trabajo.

Hay que insistir en que la ética no se aprende: se practica. Y se practica siempre. No hay vacaciones para ser ético. La universidad es un ámbito excelente para practicarla: hay que ser responsable en los deberes contraídos; hay que ser honesto en la presentación de las evaluaciones, no hacer fraudes, etcétera.

## 2.8. Ejercicios y problemas

1. Algunas personas se refieren a la ingeniería como una ciencia. Dé suficientes razones para refutar esa afirmación o para confirmarla.
2. Busque otras definiciones de tecnología y destaque sus componentes principales.
3. Investigue acerca de las ramas de la ingeniería, y para cada una de ellas indique dos énfasis con que se ofrecen en diferentes universidades.
4. Pedro, Juan, Luisa y Claudia van a estudiar ingeniería de sistemas. Cada uno tiene pensado hacer algo diferente cuando se gradúe como ingenieros. Pedro quiere montar una empresa para vender software, equipos, et-

cétera. Juan aspira a ser gerente de una empresa que desarrolle software para verder a las mejores compañías del mundo. Claudia quiere desarrollar nuevos lenguajes de programación que usen inteligencia artificial. El papá de Luisa que es uno de los mayores comerciantes del país, le ha dicho que cuando termine se hará cargo de la Dirección de Finanzas de su empresa.

Hay cuatro universidades que ofrecen programas de ingeniería de sistemas, pero cada uno con un énfasis diferente. Indique cuál es el que le conviene más a cada uno de nuestros jóvenes estudiantes.

Cuadro 2.2. Énfasis porcentual por áreas en cuatro universidades diferentes

Áreas de la carrera	Universidad A	Universidad B	Universidad C	Universidad D
Ciencias básicas	15%	25%	35%	20%
Ciencias aplicadas de la ingeniería	10%	15%	15%	20%
Asignaturas profesionales	25%	30%	20%	30%
Ciencias Sociales	20%	15%	15%	10%
Administración y Finanzas	30%	15%	15%	20%

Pedro debe entrar en la:

Juan debe entrar en la:

Claudia debe entrar en la:

Luisa debe entrar en la:

5. En el diseño de un *air bag* o bolsa de aire usada en los vehículos para reducir los daños corporales a consecuencia de los accidentes, intervienen ingenieros de varias especialidades. Indique de cuáles, y la función que cada uno desarrolla en el diseño del mismo.

6. Lea cuidadosamente el siguiente caso:

Javier Pascal trabaja en una firma (TechniSoft) que desarrolla software de alto rendimiento. Las aplicaciones que elabora la empresa cuestan decenas de miles de dólares y se utilizan en el diseño estructural de edificios, centrales eléctricas, estadios, etcétera. La empresa está ofreciendo al mercado su última versión del paquete estrella, Structural Design Software, al que ha introducido numerosos cambios con el fin de optimizarlo y lograr un mejor desempeño. Se está vendiendo por US\$30000 la licencia; es decir, el permiso para usar el paquete en un solo equipo a la vez.

Con el objeto de evitar que copien ilegalmente el software, se ha insertado secretamente un virus que se activa cuando el software detecta que está siendo pirateado. En ese momento, el virus actúa y destruye el paquete de diseño estructural. Javier ha intervenido en el desarrollo del virus y ha sido encargado de efectuar las pruebas necesarias para garantizar que no se cometan errores (por ejemplo, el software se equivoca, cree que lo están pirateando, suelta el virus y destruye el programa). Ha realizado pruebas exhaustivas usando varias plataformas de desarrollo (sistemas operativos System V, Munix, Doors 99, etcétera). Con todos ellos el paquete funciona perfectamente y la trampa de virus actúa correctamente. De hecho, en los años que se lleva vendiendo el producto no ha habido ningún reclamo de los clientes. Javier considera que la trampa del virus es innecesaria dada la cali-

dad de los clientes de la empresa; todas son compañías multinacionales cuyos principios éticos no se ponen en duda. Sin embargo, el presidente de la empresa insiste en que debe seguirse incluyendo la trampa.

En el 2000, la empresa mSoft lanza al mercado la versión Doors2000 de su sistema operativo (SO). Utiliza tecnologías de inteligencia artificial en muchos de los módulos del sistema operativo, lo que hace que sea más amigable al usuario. Casi todas las empresas lo montan en sus equipos. La empresa mSoft informa que el nuevo sistema operativo es compatible con todas las aplicaciones diseñadas para la anterior versión de Doors. Sin embargo, advierte que pueden presentarse inconvenientes si no se usan equipos totalmente compatibles con los estándares de la industria. En un memo que mSoft dirige a todas las empresas constructoras de software advierte que deben revisar todos los módulos de sus programas que efectúen llamadas directas al SO para copiar, borrar, o eliminar archivos, pues el nuevo SO trabaja de modo diferente y puede ocasionar problemas.

Javier efectúa algunas pruebas con el SO Doors2000, usa diferentes equipos (Excelsium, Primum, Clonsys, entre otros) con el programa de diseño estructural. Nota que en algunas ocasiones el virus ataca sin que haya provocación. Una vez que ha localizado el problema se da cuenta de que repararlo no es tan sencillo y que necesitará varios meses de arduo trabajo para resolver el problema.

Pide una cita con su jefe y le comenta lo que ha encontrado; sugiere que se envíe una nota a los clientes y se les advierta que sólo usen el programa con Doors2000 con la anterior versión, mientras se soluciona el problema. Su jefe le responde que no es posible tomar esa medida, pues acaba de salir un producto similar al de ellos que está vendiéndose a menos precio y que se ofrece para que trabaje bajo Doors2000. Si se alarma a las empresas clientes es posible que no compren la nueva versión del programa de diseño y que en su lugar adquieran el de la competencia, lo que

ocasionarla la ruina de la empresa, y ellos alimentarían la lista de los desempleados. Le indica que no se apure, que tenga calma; finalmente, de acuerdo con las pruebas que Javier ha realizado "no siempre ha fallado el virus", le comenta su jefe. Javier insiste en su sugerencia y le hace ver a su jefe las implicaciones que una falla del programa podría tener: una demanda millonaria de las empresas afectadas. Le pinta el siguiente escenario: una empresa está diseñando un edificio que necesita terminar en una fecha determinada; el software de diseño falla, el virus ataca, el programa se destruye, la empresa no puede terminar el trabajo a tiempo, sus clientes la demandan, ella a su vez demanda a la empresa productora del software de diseño, etcétera. Su jefe no se deja convencer y le ordena a Javier que deje la histeria y se dedique a trabajar.

Javier renuncia a la empresa, y manda una carta a todos los clientes de su antigua empresa en la que les pone al tanto de los problemas que pueden ocurrir. La gran mayoría de los clientes compran el software de la competencia, lo que lleva a la ruina a la antigua empresa de Javier. Pocas semanas después, la empresa mSoft reconoce que su SO tenía varios *bugs* que pudieron haber causado problemas a los programas que funcionaban bajo Doors2000.

Teniendo en cuenta la narración anterior y las directrices éticas expuestas en este capítulo, indique cuáles directrices violaron Javier y su jefe. Solamente indique el numeral; por ejemplo, el 1.3.

Javier violó las directrices: \_\_\_\_\_

El jefe de Javier violó las directrices: \_\_\_\_\_

7. Considere el siguiente caso de ética. Responda a las preguntas que aparecen al final.

Usted es un ingeniero de proyectos empleado por la firma Ingenieros Asociados IA. La empresa ha sido elegida, pero aún no se ha firmado el contrato, para realizar el diseño, los cálculos y la administración de la cons-

trucción de un nuevo sistema de accesos viales, sistema de peajes, control de tráfico, entre otros, para la ciudad de Nuevo Milenio. Éste es un trabajo *llave en mano* (a propósito, ¿qué quiere decir "*llave en mano*"?) con un valor de construcción entre 10M (M quiere decir millón) y 15M de dólares.

Las ganancias del año fiscal anterior para la firma IA fueron de 1,59M (no añadan ni quiten cifras). Dada la difícil situación económica de la región, es probable que este contrato sea el único de buen tamaño que pueda abordar la firma IA en el año fiscal en curso (¿qué es eso del *año fiscal*?). Aproximadamente, el 80% de las ganancias del contrato se recogerán en este año fiscal.

Su empresa y la competencia entregaron sendas ofertas completas en sobre cerrado. La selección de la mejor se basó en el menor precio y en el cumplimiento total de las especificaciones técnicas. Todas las propuestas se vuelven de conocimiento público una vez que han sido abiertas. La propuesta de IA fue de 12.88M. Las propuestas de la competencia fueron: empresa AAA, 13,38M; empresa BBB, 14,11M (las propuestas se presentan solamente con cuatro cifras significativas).

La sucesión de eventos que se narran a continuación ocurrió una vez que se hizo pública la elección de IA para realizar el trabajo.

En una inspección de rutina realizada sobre la propuesta ganadora y en un examen detallado de los dibujos, diagramas, planos, como preparación para una conferencia de prensa, usted y el ingeniero jefe descubren que el costo de una parte principal del sistema de peajes ha sido estimado muy bajo. Esto ocurrió, en parte, porque en el diseño conceptual inicial no se llevó a cabo un análisis detallado. La construcción, tal como se encuentra en la propuesta, conllevaría el incumplimiento de las normas vigentes y de igual forma las especificaciones técnicas establecidas en los pliegos de la licitación. Hacer las cosas como es debido añadiría costos y disminuiría beneficios. En el cu-

dro 2 se muestra un resumen de los costos/beneficios de IA en el proyecto, con los valores corregidos en la última columna (se han redondeado las cifras).

**Cuadro 2.3.**  
**IA. Resumen de la licitación de Nuevo Milenio**

Ítem	Valor presentado	Valor corregido
Ingeniería y administración	0,910	
Materiales de construcción	2 900	3 200
Mano de obra	5 600	6 600
Otros gastos	0,360	
Servicios de subcontratista	0,700	
Seguros	0,500	0,500
Estudio de impacto ambiental	0,200	
Subtotal	11,17	12,47
Imprevistos al 4,8% del subtotal	0,536	0,599
Total	11,71	13,07
Ganancia del 10% sobre el total	1,17	1,31
<b>PROPIUESTA ENTREGADA</b>	<b>12,88</b>	
<b>PROPIUESTA CON CORRECCIONES</b>	<b>14,38</b>	

### Preguntas

- ¿Cuál es la ganancia o pérdida en dólares de IA si construye la obra como debe ser?
- Con base en la información dada, ¿cuál es su recomendación al ingeniero jefe?
- Suponga, independiente de su respuesta a la pregunta 2, que el ingeniero jefe le dice: "Mantengamos esto entre los dos. Una vez que nos den el contrato haremos algunos ajustes en las órdenes de compra para obtener nuestros costos más una ganancia razonable". ¿Qué respuesta le daría a su jefe?
- Suponga que la situación (c) no se dio pero se decidió por la junta directiva proceder

normalmente y arreglar las cargas en el camino. Usted asiste a una sesión pública del Concejo Municipal y a una conferencia de prensa en la Alcaldía de Nuevo Milenio. Usted forma parte de un selecto grupo de ingenieros y administradores de IA que deben exponer algunos aspectos del proyecto y responder las preguntas que se hagan.

- En esta reunión pública ¿debe usted voluntariamente mencionar el error cometido y los costos que eso implica? Indique la lógica de su respuesta.
- Suponga que una persona del público le pregunta al panel: ¿cómo hizo IA para tener una propuesta más baja que la com-

- petencia? Su propuesta me parece tremenda-  
mente baja para mí.. pero, claro, yo no soy  
ingeniero. Ninguno de los del panel mencio-  
na el error y el sobrecosto. ¿Qué hace usted?*
- g. Suponga que a usted en particular se le hace la pregunta anterior. ¿Qué respondería?

- h. Suponga que las situaciones (e) y (f) no ocurrieron, pero uno de los ingenieros de una de las empresas perdedoras le pregunta: ¿cómo hizo IA para ganarnos? ¿Qué hace usted?

## Taller corto 2

### Análisis de un caso de ética en ingeniería

#### Justificación

Es importante que el estudiante de ingeniería dé cuenta de la responsabilidad que debe asumir en relación con sus actuaciones como profesional. Existen códigos de ética que definen claramente un marco de actuación que no debe ser sobrepasado.

#### Objetivos

- Conocer algún código de ética de ingeniería.
- Analizar un caso de ética en ingeniería.

#### Descripción

Se presenta un caso hipotético (pudo haber sido real) en el que se refleja una situación que bordea los delineamientos éticos de los códigos de ingeniería. Se estudia, analiza y se emite un concepto sustentado sobre los aspectos éticos sini- lados en el caso. El caso que se va a estudiar es el siguiente:

La empresa XYZ ha ordenado 5 000 partes a la medida a la compañía ABC para uno de sus equipos. Cuando se ordena la fabricación, la empresa, ABC informa que cada una de las partes costará \$75. Esta cifra se basa en parte en el costo de los materiales. Una vez que se ha firmado el acuerdo, pero antes de que se inicie la fabricación de las partes, la ingeniera Cristina de la empresa ABC descubre que se puede usar una aleación mucho menos costosa en la producción de las partes contratadas que la que originalmente se había seleccionado; el comportamiento de

los materiales es casi como el calculado en principio. Con esta nueva aleación, se reducirían los costos de cada parte a \$18, en lugar de los \$75.

Cristina informa de su hallazgo al ingeniero Mauricio Puentes de ABC, quien autorizó el acuerdo de venta con XYZ. Puentes pregunta: "¿Puede alguien notar la diferencia?" Cristina contesta: "Probablemente nadie notaría la diferencia a menos que estuviera buscando algo raro y realizará muchas pruebas. En la mayoría de los casos el comportamiento sería prácticamente el mismo, aunque algunas partes no durarían tanto". Puentes dice: "Estupendo, Cristina, usted acaba de hacer un dineral para ABC". Intrigada, Cristina contesta: "¿No debería informar a XYZ acerca del cambio?". "¿Por qué?", pregunta Puentes. "La idea principal es proveer a nuestro cliente con piezas de calidad y usted acaba de informarme que eso se cumplirá. Entonces, ¿cuál es el problema?"

El problema, piensa Cristina, es que el cliente no obtendrá lo que se le ofreció. Aun si XYZ se siente satisfecha con la parte diferente, ¿no debería dársele la oportunidad de decidir si encuentra el cambio aceptable y beneficiarse de la disminución del costo?

Pregunta: ¿Debería Cristina compartir su forma de pensar con Puentes o simplemente olvidarse del asunto?

Cristina comparte sus pensamientos con Puentes. Éste contesta: "Simplemente no estoy de acuerdo, Cristina. Esto es negocios, no ingeniería. XYZ va a ser un cliente satisfecho, y nosotros unos

proveedores satisfechos. Usted conoce que nosotros no estamos en el negocio de regalar dinero;

*Pregunta:* ¿hay motivos para que Cristina siga insistiendo?

¿Usted está de acuerdo en que Puentes está solamente "haciendo buenos negocios"?

Cristina decide que ya no hay nada más que hacer con ella. Se fabrica la parte menos costosa. Cuando el embarque se encuentra listo para enviarlo a XYZ, se le pide a Cristina que firme un manifiesto en el que ella atestigua que las partes enviadas

cumplen las especificaciones del contrato. Al examinar los detalles del documento de embarque, se da cuenta de que las especificaciones técnicas corresponden al metal inicialmente pactado y no al de la aleación más barata que se usó.

*Pregunta:* ¿debe firmar el manifiesto de embarque?

Cristina se niega a firmar el manifiesto. Sin embargo, Puentes convence a un ingeniero amigo, Juan Gómez, para que lo firme.

*Pregunta:* ¿qué debe hacer Cristina ahora?

## Taller largo 2 [En grupo]

### Análisis del plan de estudios de la carrera

#### Objetivos generales

- Lograr un conocimiento adecuado de aspectos básicos de la carrera escogida.
- Desarrollar habilidades de búsqueda de información, trabajo en equipo, comunicación, análisis y síntesis.

#### Objetivos específicos

- Conocer en detalle el plan de estudios de la carrera escogida.
- Conocer planes de estudio de la misma carrera ofrecidos por otras instituciones.
- Establecer diferencias entre los mismos.
- Establecer relaciones entre el Plan de Estudios y los perfiles profesional y ocupacional.
- Elaborar un plan de estudios de la carrera, que esté más de acuerdo con los intereses del grupo.

- Elaborar una lista de las agremiaciones profesionales nacionales e internacionales relacionadas con la carrera.

#### Trabajo que se debe desarrollar

1. Consiga los planes de estudio de cuatro instituciones universitarias, incluyendo el de su universidad (por supuesto).
2. Cuente el número de asignaturas que cada plan de estudios tiene; sume el número de horas de clase semanales por semestre de cada plan de estudios. Elabore un cuadro similar al que se muestra abajo y consigne los datos pedidos: número de asignaturas de la carrera y horas semanales de clase por semestre. Complete el cuadro 2.

Cuadro 2.4.

Datos del plan de estudios	No. de asignaturas	Horas sem. 1	Horas sem. 2	...	...	...	...	Horas sem. 10
Su universidad								
Universidad 2								
Universidad 3								
Universidad 4								

3. Agrupe las asignaturas de acuerdo con los siguientes bloques (para cada uno de los planes de estudio):
  - Asignaturas de ciencias básicas.
  - Asignaturas básicas de ingeniería.
  - Asignaturas básicas de la carrera escogida.
  - Asignaturas del área de humanidades.
  - Asignaturas del área de administración y finanzas.
  - Asignaturas profesionales de la carrera escogida.
4. Elabore un cuadro similar al 2 (con los cambios apropiados) e indique para cada universidad el porcentaje por bloque que tiene cada una. Por ejemplo, su universidad tiene un 22% de sus asignaturas en ciencias básicas. (A propósito, ¿qué asignaturas cree usted que están dentro de las ciencias básicas?)
5. Exprese el cuadro en forma de un gráfico usando Excel.
6. ¿Qué conclusiones pueden derivarse de lo anterior en cuanto al perfil profesional de cada uno de los planes de estudio analizados?
7. Haga una lista de cinco cargos de trabajo que podría desempeñar usted una vez que se gradúe como ingeniero en la carrera que escogió. Describa en una línea qué haría en cada uno de ellos (una línea por cargos).
8. Elabore un plan de estudios para una carrera de nivel tecnológico (*en Europa la denominan de primer ciclo y tiene una duración de 3 años, es decir, seis semestres. Una carrera de Ingeniería Superior se denomina de segundo ciclo y tiene una duración entre 5 años y 6 años. El tercer ciclo corresponde al doctorado, que presupone tres o más años de investigación finalizando con una tesis doctoral que supone un aporte al conocimiento de la disciplina escogida*) en la misma disciplina de la carrera de ingeniería que usted está cursando.

do. Hágalo como el plan de estudios de su universidad, en forma de cuadros unidos por flechas.

### Procedimiento

1. Reúnase con su grupo. Lean este documento, esperando que todos lo comprendan. Distribuyan el trabajo para conseguir los planes de estudio (internet, catálogos, yendo a las universidades, etcétera). Una vez con los planes de estudio, cada estudiante se responsabiliza de calcular los datos que se piden de uno de los planes; también por otras informaciones que se piden en los puntos siguientes. Conciertan una cita para la siguiente reunión. Acuérdense de que tienen correo electrónico, teléfono, fax, entre otros, para comunicarse entre sí.
2. Reúnanse nuevamente y elaboren los cuadros pedidos. Para ello deben saber ya las asignaturas que van en cada bloque. Por tanto, deben averiguar eso antes de reunirse. Una vez elaborados los cuadros y las gráficas de Excel (deben tener un equipo de computación cerca) analicen detenidamente los resultados y compárenlos con lo que aparece en el perfil profesional. De las comparaciones deben salir conclusiones. Conclusiones verdaderas.
3. En la misma reunión deben intercambiar ideas sobre los posibles cargos futuros que a ustedes les gustaría desempeñar cuando se hayan graduado. Del consenso deben salir los cinco pedidos, así como una brevíssima descripción de lo que harían en cada uno de ellos.
4. Finalmente, y todavía reunidos, deben elaborar el plan de estudios de ciclo tecnológico pedido. Para ello deben llegar a la reunión con los datos indispensables (¿dónde y cómo los conseguirán?), pues de lo contrario no lo podrán realizar.
5. Hay puntos extras para quienes hagan una lista (cuanto más larga, mejor) de las agremiaciones profesionales de ingeniería y

en particular de la especialidad escogida, tanto a escala nacional como internacional. Por ejemplo (no valen para los puntos), la Asociación Colombiana de Ingenieros reúne a todos los ingenieros de Colombia; la IEEE es una institución de carácter internacional para ingenieros electrónicos y eléctricos; la IIE es la correspondiente para ingenieros industriales.

6. Una vez cumplido todo lo anterior envían sus respuestas por correo electrónico a la cuenta que se les indicará.

Al firmar deben colocar el nombre de los integrantes del grupo. Solamente les aplicare nota a los que firmen en mensaje.

## Referencias Bibliográficas

1. GALLEGOS BADILLO, Rómulo, *Discurso sobre tecnología*, Cienc. Tec. Des. Bogotá, Colombia, 13(1-4): 1-312, Ene-Dic., 1989.
2. BUNGE, Mario, *La ciencia: su método y filosofía*, Editorial Trillas, México.
3. GEYMONAT, L., *El pensamiento científico*, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Colección Cuadernos<sup>37</sup>, Octava Edición, Buenos Aires, 1980.
4. ABET Accreditation Yearbook, Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc., New York, 1993.
5. BARKER, Joel Arthur, *Paradigmas*, Mc Graw Hill, Bogotá, 1995.
6. ARIAS GALICIA, Fernando, *Lecturas para el curso de metodología de la investigación*, Ediciones Siglo XX, Buenos Aires, 1976.
7. AUTOMATIC COMPUTING MACHINERY (ACM), *Computing Curricula 1991*, Communications of the ACM, New York, 1991.
8. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, *Guidelines to Practice Under the Fundamental Canons of Ethics*, <http://www.asce.org/aboutasce/codeofethics.html>, 1999.
9. IEEE, *IEEE, Code of Ethics*, <http://www.ieee.org/about/whatis/code.html>, 1999.

## Direcciones de internet recomendadas

1. National Science Foundation, *Engineering Ethics Case Studies*, <http://lowery.tamu.edu/ethics/>, 1999.

Se recomienda la lectura de los documentos que se encuentran en esta dirección.

Presentan numerosos casos de ética, todos resueltos. Además ofrece más direcciones en las que pueden hallar más casos de ética en la ingeniería.

# 3

## El proceso de diseño en ingeniería

**E**n la ingeniería, el diseño es una actividad que se basa en la resolución de problemas. Los ingenieros utilizan el diseño para crear soluciones prácticas y efectivas a problemas complejos. El diseño es un proceso iterativo que implica la formulación de ideas, la evaluación de alternativas y la implementación de soluciones. El diseño es una actividad que requiere habilidades técnicas, creativas y comunicativas.

### "Fases de un proyecto:

1. Regocijo
2. Desencanto
3. Búsqueda del culpable
4. Castigo del inocente
5. Elogio del que no se involucró".

Anónimo

### Objetivos generales

- Conocer las características de un problema abierto.
- Aprender a usar el método de diseño en ingeniería.
- Comprender la importancia de las actitudes en la solución de problemas en ingeniería.

### Objetivos específicos

- \* Describir cada uno de los pasos del método de diseño en ingeniería.
- \* Identificar las habilidades necesarias para cada uno de los pasos.
- \* Identificar las actitudes requeridas para avanzar efectivamente en la solución de un problema.

# S

## 3.1. Introducción

En lugar a dudas, la función más importante que desarrolla un ingeniero en su actividad profesional es *diseñar*; es la esencia de la ingeniería, su razón de ser. Las demás funciones se derivan de esta principal. Con el diseño se busca y halla la mejor solución a un problema planteado<sup>1</sup>. En general, los problemas que se le presentan a los ingenieros tienen una característica en común: son *abiertos*. Esto quiere decir que admiten múltiples soluciones; a una de ellas se considera la *mejor*. Por mejor se entiende la que satisface simultáneamente una serie de restricciones (tiempo, costo, calidad, entre otros) en cierto modo opuestas, y optimiza un conjunto de criterios de selección.

No todos los problemas que resuelve el ingeniero son abiertos; muchos de ellos solamente tienen una única solución que se obtiene, generalmente, a través de métodos matemáticos. Con frecuencia, durante el proceso de diseño de la solución a un problema abierto debe resolverse una serie de subproblemas específicos, muchos de los cuales se consideran cerrados: solamente admiten una solución.



La tecnología del computador ha hecho que el diseño, esencia de la ingeniería, sea hoy una tarea mucho más fácil y exacta.

**Ejemplo 1**

Un ingeniero electrónico ha sido contratado por la firma AutoSeguro para diseñar un sistema total de alarma contra robo de autos.

Dado que conoce muy poco sobre sistemas de alarma, empieza consultando varias revistas de automóviles, páginas de internet que tratan el tema, visitas a diversas firmas que trabajan sobre temas similares, entre otros. Una vez que ha reunido suficiente información la organiza para darse cuenta del problema que debe resolver.

El sistema debe incluir (véase figura 3.1):

- Un módulo electrónico controlado por un microprocesador. Este módulo se encarga del control de todas las funciones del sistema de alarma.
- Un módulo de visualización que permite observar el estado del sistema.
- Un conjunto de sensores localizados a lo largo de todo el automóvil que obtendrá información de posibles intentos de robo del vehículo.
- Un conjunto de actuadores (relays, cerrojos, y otros) que abrirán/cerrarán las puertas, encenderán las luces, o harán sonar la alarma.
- Una llave electrónica que permite activar/desactivar el sistema remotamente.

**Ejercicio 1**

Considere los siguientes casos e indique para cada uno si son problemas abiertos o cerrados:

- Queremos meternos en eso del teléfono celular, pero no sabemos cuál compañía escoger.
- Vamos de viaje y necesitamos saber a qué hora tenemos que salir para llegar antes de las 6 p.m. a nuestro destino.
- ¿Cuál será el mejor diseño para la encuesta que debo hacer en la cafetería?



Figura 3.1. Automóvil con sistema de alarma.

Como puede observarse, el diseño de un sistema de alarma tal como se plantea admite múltiples soluciones, dependiendo de las combinaciones de los elementos enumerados. Pueden desarrollarse distintas versiones de alarmas, cada una de ellas con diferentes configuraciones: más o menos funciones, panel visualizador más o menos sofisticado, diferentes acciones para señalar el intento de robo, ... Es un problema de diseño abierto, es un típico caso de diseño en ingeniería.

A su vez, dentro del diseño general aparecerán problemas concretos como el diseño del circuito accionador de los seguros de las puertas, o el oscilador de potencia que impulsará la sirena. En estos dos casos, el problema es concreto: hay que encontrar los valores de los elementos de los circuitos electrónicos correspondientes y esto se hace a través de cálculos específicos. Se trata de problemas de diseño cerrados.

- Vengo notando algo extraño que no encaja dentro de los patrones normales en el funcionamiento de este equipo.
- Voy a remplazar el calentador eléctrico de agua (*el villano de la casa*) por un sistema impulsado por energía solar. El volumen del depósito que colocaré en el techo será de  $100\text{ m}^3$ . Debo seleccionar su forma geométrica para ahorrar energía.
- Mi equipo de computación tiene un microprocesador (véase figura 3.2). He de-

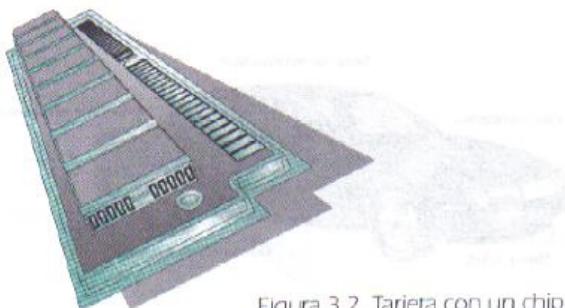


Figura 3.2. Tarjeta con un chip.

cido cambiarlo por uno que me permita entrar en el siglo XXI decorosamente, pero entre tantas ofertas no sé cuál escoger.

En la actualidad, las personas se enfrentan a situaciones similares cuando tienen que elegir entre diferentes alternativas. La ingeniería es una disciplina que se encarga de la resolución de problemas de diseño y desarrollo de soluciones para satisfacer necesidades humanas.

### 3.2. El proceso de diseño en ingeniería

Se han desarrollado diversas metodologías para llevar a cabo el proceso de diseño de la solución a los problemas abiertos que debe enfrentar el ingeniero; unas, adaptadas a situaciones específicas, otras de carácter más general. La metodología que se detalla a continuación contiene una serie de pasos que pueden aplicarse a la mayoría de los problemas referenciados arriba. Se han omitido algunos pasos no pertinentes al entorno en el que se desarrolla este texto. En otras palabras, en este texto introductorio al diseño en ingeniería no se han incluido los pasos que tienen que ver expresamente con la manufactura o producción del objeto del diseño.

Las actividades que se deben cubrir son las siguientes<sup>2,3,4</sup>:

1. Definición del problema que se va a resolver.
2. Establecimiento de los criterios para escoger la mejor solución, así como las restricciones o limitaciones que se deben cumplir.
3. Búsqueda de información pertinente.
4. Generación de la mayor cantidad de soluciones posibles.

- Me han propuesto un negocio que consiste en trasportar 12 000 t de arena para la construcción de un gran complejo industrial. Dispongo de tres camiones: uno de 10 t, otro de 20 t y el tercero de 40 t de capacidad. Los tres consumen recursos (gasolina, aceite, llantas,...) en forma diferente y la arena la debo trasportar desde tres sitios diferentes situados a 35 km, 45 km y 60 km del sitio de descarga. El negocio es bueno; lo único que debo hacer es minimizar el gasto en el transporte para que la ganancia sea lo mayor posible.

El diseño es una actividad que se lleva a cabo en un entorno social y cultural. La actividad de diseño es una actividad que se lleva a cabo en un entorno social y cultural. La actividad de diseño es una actividad que se lleva a cabo en un entorno social y cultural. La actividad de diseño es una actividad que se lleva a cabo en un entorno social y cultural.

5. Análisis y descarte de las soluciones que no son viables.
6. Selección de la mejor solución entre las que quedaron.
7. Especificaciones de la solución escogida para su producción o manufactura.
8. Comunicación escrita sobre la solución escogida.

Algunas de estas actividades se desarrollan cronológicamente en el orden en que se han presentado; otras, en cambio, se ejecutan a lo largo de todo el proceso. Por ejemplo, la búsqueda de información se lleva a cabo desde el comienzo del proceso y se convierte en una actividad recurrente. Por otro lado, el proceso de diseño es *iterativo*, es decir, con toda seguridad deberá regresarse a alguno de los pasos anteriores para efectuar algún tipo de modificación, como consecuencia de los resultados obtenidos en un paso más avanzado del proceso. Por ejemplo, si inicialmente se colocó una restricción que más adelante se considera inalcanzable, será necesario regresar al paso 2 y corregir la restricción del caso; a continuación se siguen los pasos y se examinan las implicaciones que la corrección efectuada originó.

## Ejemplo 2

La empresa Sedz, dedicada a la producción de bebidas, refrescos, gaseosas, etcétera, nota cómo la Embotelladora Oasis, nueva en el mercado del agua embotellada, y que no había llegado a inquietarla, ha comenzado a posicionarse en el mercado y amenaza la supremacía de aquélla. Sobre todo en la línea de agua envasada, en la que Oasis entró con un producto que está llamando mucho la atención del público. Es necesario diseñar una campaña que retome la mayor parte ojalá el 100 % del público que se ha distanciado de los productos de agua envasada de la empresa Sedz.

Se forma un equipo compuesto por ingenieros, publicistas y administradores para diseñar el plan de acción. Lo primero que necesitan es definir el problema que deben resolver. Después de una serie de estudios de mercado, entrevistas, análisis, entre otros, llegan a la conclusión de que el problema para resolver se resume en esta frase:

*«Recuperar al menos el 80 % del mercado perdido en un plazo no mayor de 8 meses».*

Establecen que el nuevo producto se ofrecerá inicialmente en una botella de 500 cl, 50 más que el producto similar de la competencia. Su precio también se mantendrá por debajo de los COP \$450. La planta deberá estar lista para empezar a distribuir el producto dentro de dos meses; lo que quiere decir que la solución que se escoga no tomará más de dos meses para funcionar. Dado que el producto está diseñado para competir en un mercado dominado por el segmento juvenil, es importante la presentación; debe resaltar los valores juveniles. Toma en cuenta las nuevas actitudes hacia la conservación del medio ambiente deberá fabricarse con un producto fácilmente reutilizable.

Después de establecer lo que se quiere lograr y las limitaciones y condiciones que deben tenerse en cuenta, comienza una etapa intensiva de búsqueda de información relevante. Un grupo de analistas se dedica a buscar sistemáticamente en internet información sobre embotelladoras de agua, formas de empacarla, entre otras. Otro grupo se dedica a leer en las



Figura 3.3. Uno de los diseños.

revistas del área, en busca de ideas para aplicarlas en el nuevo producto. Finalmente, el grupo más afortunado se da una vuelta por varios países en busca de ideas frescas para la campaña que deben iniciar. Una vez que han acumulado suficiente información citan a una reunión para cruzar los datos obtenidos y generar ideas conducentes a la solución del problema planteado.

En esta reunión se analiza la información que cada grupo colectó: se descarta la que no tiene mayor relevancia y se estudia más detenidamente la que resta. Cada participante expone sus ideas de lo que considera la solución al problema. Cada participante lanza el mayor número de ideas posibles, por peregrinas que parezcan. A veces una idea parece totalmente loca, pero esta misma idea genera en otro asistente una idea mejor que la anterior. Todo esto se desarrolla en una atmósfera de mutuo respeto y total igualdad, sin importar los rangos de cada uno de los integrantes del grupo. Uno de los asistentes propone una botella con asa para que se pueda agarrar mejor; otro propone una botella con tetero (véase figura 3.3) para que pueda beberse fácilmente. Un tercero sugiere una botella multicolor que llame mucho la atención. En una revista que lee? dice otro? aparece una botella de forma esférica que tiene la propiedad de perder el frío más lentamente que otras superficies geométricas. Todos los asistentes siguen exponiendo sus ideas. Uno de ellos propone una botella de agua que incorpore un porcentaje de volumen de oxígeno adicional que dé más energía a los pulmones; propone que la botella tenga la forma de una

de las pipas que se usan para el oxígeno en las clínicas. Los jóvenes - añade - asociarán una mayor dosis de energía con el oxígeno representado por la forma de la botella y esto conducirá a un uso masivo del producto.

Una vez escuchadas las diferentes ideas se analizan a la luz de los diferentes criterios que se plantearon inicialmente; de las 25 propuestas se descartan 18, y quedan nueve que se analizan más profundamente. Después de un estudio minucioso y cuantitativo de las ventajas y desventajas de cada propuesta, se decide seleccionar la última mencionada (véase figura 3.4); la botella con forma de pipa de oxígeno por ser la que mejor cumple todas las limitaciones y criterios de selección definidos inicialmente.

La propuesta pasa al Departamento de Diseño que se encarga de darle la forma final a la botella, elaborar las especificaciones para producirla y los planos y documentación adicional pasan al Departamento de Producción, donde analizan los procesos necesarios para producirla inmediatamente.

## Ejercicio 2

Utilizando el mismo proceso que en el ejemplo 2, resuelva resumidamente la siguiente situación problemática:

A una firma de ingenieros les han encargado el diseño preliminar para la nueva placa de automóviles que deberá estar en uso en todos los países de América del Sur, antes de 2000, de acuerdo con un convenio entre los gobiernos de los diferentes países. Se requiere cuanto antes un prototipo con todas las especificaciones para empezar la producción ya.

Se ofrecen algunas placas de varios países para tener una idea del trabajo que se espera (véase figura 3.5).

Cada una estas actividades requiere ciertos conocimientos, unos específicos de cada problema (si el problema planteado es de mecánica automotriz se debe conocer acerca de motores de combustión, cajas de transmisión, etcétera);

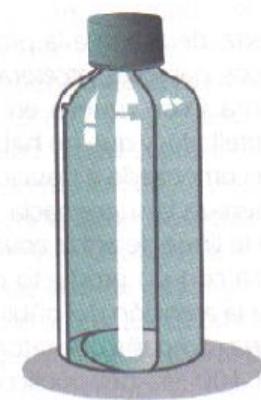


Figura 3.4. Diseño escogido.

Se cita a una reunión de la junta directiva de la empresa Sedz para exponerle la decisión que se ha tomado y las acciones que se pondrán en marcha para lograr la recuperación del mercado perdido.

Con este ejemplo, pueden apreciarse claramente, en forma resumida, las diferentes etapas que se siguen en el diseño de un producto.

otros generales, aplicables a una amplia gama de problemas de ingeniería (probabilidad, estadística, finanzas, entre otras). Pero también es necesario que el ingeniero ponga en juego sus *capacidades*, así como ciertas *habilidades* indispensables para llevar a buen término el proceso. Si necesita trabajar en grupo con otros ingenieros o con profesionales de otras disciplinas debe poseer la habilidad de trabajo en grupo, de comunicarse con los demás, de liderazgo, de saber hacer de compañero de equipo, cuando así se necesite. Deberá ser creativo, analítico, crítico y demás. Todo lo anterior funciona si se le añade un tercer ingrediente que es la *actitud* con la que el ingeniero encara una determinada situación. La actitud se define como la posición o disposición con que se enfrenta una determinada situación; una actitud negativa, de crítica destructiva, puede echar a perder un excelente negocio sólo porque la persona no quiso dar su brazo a torcer en un detalle insignificante.



Figura 3.5. Diversas placas de automóviles que pueden tomarse como referencia.

Una actitud positiva, en cambio, le permite a la persona encarar las dificultades viendo en cada una de ellas un reto para superar y no un obstáculo. Como un ingeniero es una persona y, con gran frecuencia, los aspectos personales se superponen a los factores profesionales, es conveniente explicitar esta parte para que el estudiante entienda cuáles actitudes debe adoptar, como norma, ante determinadas situaciones que deberá enfrentar. Se está hablando de actitudes que mejoran el desempeño profesional, no de las generales aplicables a cualquier situación de la vida normal.

### Búsqueda de información

A continuación se analiza cada uno de los pasos del proceso de diseño en ingeniería y se determina para cada uno de ellos los conocimientos generales, las capacidades y habilidades, así como las actitudes que están íntimamente relacionadas con los mismos. (véase figura 3.6).



Figura 3.6. Diagrama de flujo del método de diseño en ingeniería.

### 3.2.1. Definición del problema

*Definir* es establecer los límites; es delimitar el problema y el alcance de la solución que está buscándose. Es indicar lo que se quiere hacer y, en cierto modo, a dónde no se desea llegar. Definir un problema es la parte más complicada en el proceso de diseño; una equivocación a esta altura representa un enorme error al final. Una definición equivocada puede llevar a la solución del problema que no es; con razón se dice: “*Un problema bien definido es un problema medio resuelto*”.

Las tareas que se deben desarrollar en este paso comienzan con la detección de situaciones o indicios de que algo no está funcionando bien; hay síntomas de que se está presentando una situación problemática.

#### Caso 1. Primer paso

La empresa Torres & Ingenieros Asociados se dedica al diseño de proyectos de ingeniería, así como a la ejecución e interventoría de macroproyectos regionales y nacionales. Uno de sus últimos trabajos fue la elaboración de un informe de impacto ambiental del proyecto de creación de una planta potabilizadora en el litoral Pacífico. Sin embargo, eso ocurrió hace más de un año y desde entonces los proyectos grandes han brillado por su ausencia.

Esta empresa ha venido soportando fuertes pérdidas económicas durante el semestre anterior; la situación se agudizó cuando en el último mes los ingresos descendieron el 80% sobre el anterior (que ya era malo), lo que puso al borde de la quiebra una empresa que tradicionalmente ha venido sirviendo bien esa región del país. Su gerente general y dueño por herencia, el ingeniero Pedro Torres, ha decidido que hará todo lo humanamente posible para restaurar el prestigio de la empresa que heredó de sus antepasados. Pero primero debe saber qué está pasando.

Llama a su hombre de confianza en la Secretaría General y le pide que en una semana le tenga un informe completo sobre las causas del descenso en los ingresos y sugerencias so-

bre el problema que debe resolverse para salir otra vez avante. El ingeniero Rodrigo Conde, el hombre de confianza del ingeniero Torres, toma cartas en el asunto y comienza a analizar los informes de las ventas de los últimos seis meses cuando empezaron a presentarse los problemas. La figura 3.7 muestra el comportamiento descendente de los ingresos con una inclinación abrupta en el último mes, lo que pronostica una muerte súbita de la empresa si no se toman medidas urgentes.

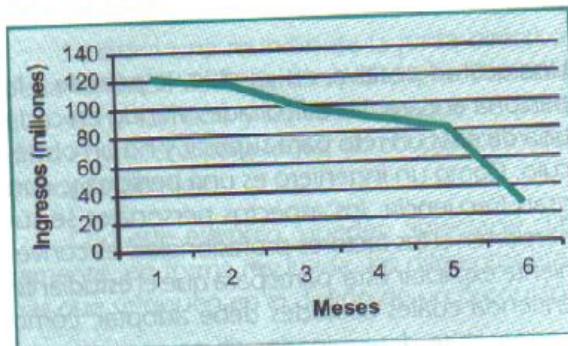


Figura 3.7. Informe descendente de ingresos

El análisis de los ingresos revela que salvo los proyectos demasiado especializados que no atienden las otras empresas del ramo, en los demás casos no se lograron contratos significativos.

Para enterarse de las causas del problema se elabora una encuesta que se reparte entre los pocos usuarios que aún quedan y entre antiguos usuarios cuyas direcciones mantiene la empresa. Después de una semana de repartir y recoger las encuestas, el análisis de los datos revela lo siguiente: retrasos en las fechas de entrega de los proyectos; incumplimiento en las cláusulas pactadas en los contratos; mala atención y trato despectivo de algunos empleados de la empresa, entre otras.

El ingeniero Conde profundiza más en sus averiguaciones, las cuales lleva adelante con la máxima prudencia, con el objeto de no causar inquietudes entre los empleados de la firma. De la lectura minuciosa de los archivos extrae información valiosa que le ayuda a darse una idea

más precisa de lo que ha venido pasando. En los últimos meses ha habido una alta rotación de personal, especialmente entre los ingenieros del Departamento de Proyectos. Aparentemente, no ha habido suficiente coordinación entre los entrantes y salientes, lo que ha ocasionado demoras en la ejecución de los contratos de la firma. También esta rotación de personal ha tocado al personal administrativo; los nuevos empleados no están empapados de la filosofía de la empresa y eso puede explicar en parte la des cortesía de que se quejan algunos antiguos clientes de la empresa.

Con esta información preliminar en su poder se reúne, discretamente con los distintos jefes de las oficinas de la empresa; usando la habilidad que le es característica les pone al tanto de la situación y les pide su colaboración para salir del mal paso tan pronto como sea posible, buscando recuperar el espacio que durante tantos años había ocupado la empresa entre las firmas de ingeniería.

De la reunión sale con valiosa información suministrada por los directores de las oficinas técnicas, con lo cual cree que ya puede acercarse al ingeniero Torres para exponerle sus hallazgos y proponerle un camino de acción.

El ingeniero Torres escucha con atención los pormenores que con minuciosidad le relata su hombre de confianza. Al final toma la decisión de asumir personalmente la dirección de todas las acciones que deberán devolver a la empresa su prestigio... y sus contratos. En pocas palabras, el problema que deben resolver es el siguiente:

*"Recuperar al menos en el 75% el nivel de ingresos que poseía la empresa al comienzo del semestre anterior y lograr esto en un término inferior a 5 meses".*

Para avanzar exitosamente en el paso 1 del método de diseño en ingeniería, es necesario tomar en cuenta los conocimientos, habilidades y actitudes que se señalan en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1. Conocimientos, habilidades y actitudes del paso 1**

Tareas del paso	Conocimientos	Capacidades, habilidades	Actitudes
Comprendión del problema: efectuar entrevistas, leer informes.	Técnicas para manejo de grupos.	Liderazgo, generar confianza.	Crítica, imparcialidad, respeto.
Recopilación de datos: realizar encuestas, efectuar mediciones.	Técnicas para hacer encuestas, estadística, probabilidad, cálculo numérico.	Creatividad, capacidad analítica, espíritu de observación	Crítica
Analizar los datos: comprobar hipótesis, establecer relaciones causa-efecto.	Método de investigación: método científico.	Capacidad analítica	Investigativa
Formulación del problema: sintetizar de la mejor forma todo lo hallado.	Técnicas de comunicación.	Capacidad de síntesis de información	Imparcialidad

### Ejercicio 3

Lea detenidamente lo expuesto en el caso 1. Analice las situaciones descritas, las características de los personajes y, con base en el cuadro 3.1, responda las siguientes preguntas:

- ¿Cree usted que los participantes en este caso han tenido que estudiar mucho para llegar a las decisiones que tomaron? ¿Qué conocimientos necesitaron para decidir?
- ¿A través de qué medio se obtuvieron los datos sobre los ingresos de la empresa?
- Si usted hubiera sido el encargado de elaborar la encuesta que arrojó los resultados expresados en la gráfica de torta, ¿qué preguntas hubiera hecho?
- ¿Se aprecia liderazgo en alguna parte?
- ¿Hubo necesidad de elaborar hipótesis en este caso? ¿Por qué?
- Haga una lista de las habilidades que se ponen en juego en este caso.
- Lo mismo respecto a las actitudes.
- Si a usted le hubiera tocado definir el problema que se debe resolver, ¿cuál hubiera sido su definición? Complemente el ejemplo con otros datos que usted crea necesarios.

#### 3.2.2. Criterios de selección y limitaciones

La solución a un problema se encuentra sujeta a algunas restricciones o limitaciones. Por ejemplo, la entrega de un paquete de software que automatizará el proceso de las elecciones debe entregarse dos meses antes de que éstas se lleven a cabo para poder capacitar a quienes van a encargarse del proceso; las dimensiones de un refrigerador deben permitir introducirlo a través de las puertas de una casa o apartamento estándar.

Asimismo, la selección de la *mejor solución* debe realizarse de acuerdo con determinados criterios que señalan a una de ellas

como la mejor dentro de un grupo de alternativas. Los criterios son como la mejor dentro de ese contexto de comparación. Es posible que cambiando los criterios o su importancia relativa se obtenga una solución mejor diferente. Por ejemplo, para seleccionar el *mejor computador* para la oficina se tienen en cuenta la velocidad y el costo; tomando en cuenta estos dos criterios la selección apunta a la marca Gato. Pero si en vez de los dos criterios anteriores se compara la arquitectura interior y la potencia de procesamiento de gráficos, la selección final puede ser la marca Naranja. Para cada caso es necesario definir los criterios sobre los que se basará la selección de la mejor solución.

#### Caso 1. Segundo paso

El ingeniero Pedro Torres le pide al ingeniero Conde que forme un equipo de trabajo con dedicación exclusiva a la solución del problema que debe resolverse cuanto antes, para garantizar la supervivencia de la compañía. Con base en la definición del problema deben elaborar una serie de actividades que conducirán a los resultados esperados.

Sin embargo, hay algunas limitaciones que deben tomarse en cuenta durante el proceso de solución. Dadas las arraigadas convicciones humanitarias que profesa el dueño de la empresa no se le pasa por la imaginación que hayan despidos de personal, ni rebaja de sueldos entre los empleados de más bajos recursos; si deben hacerse sacrificios será entre los que devengan mayores salarios. Tampoco se sacrificará la calidad del trabajo ni los principios éticos que durante toda la vida fueron garantía de la profesionalidad con que la empresa cumplió sus obligaciones.

Deberán tenerse en cuenta aspectos como rebajar en lo posible los costos que ocasionará todo el proceso; los bancos de la ciudad han ofrecido US\$2 millones para financiar la recuperación de la empresa. Esa es la cantidad máxima disponible. Se preferirán las soluciones que, respetando otros criterios, cuesten menos. En cuanto al tiempo, se preferirán las soluciones

que tomen menos tiempo en ponerse a funcionar. También se pide que se usen al máximo en la reestructuración de la empresa todo aquello que distinguió a la empresa de las demás: logo, imagen corporativa, dirección, presencia en la red, entre otros.

En este paso se evalúan las limitaciones que existen para el diseño en el desarrollo de la estrategia de diseño.

**Cuadro 3.2. Conocimientos, habilidades y actitudes del paso 2**

Actividades del paso	Conocimientos	Capacidades, habilidades	Actitudes
Establecer limitaciones de carácter legal: normas que reglamentan la ejecución de obras, derechos de autor, etcétera.	Leyes y normas vigentes sobre la materia; normas de las agremiaciones profesionales.	Lógica	Respeto a las normas legales.
Limitaciones de carácter ético: tener en cuenta el impacto social, riesgos, seguridad del diseño.	Responsabilidades sociales; normas sobre seguridad.	Lógica	Ir más allá de lo legal cuando se estime que lo legal no es suficiente.
Limitaciones de tiempo y dinero: no debe exceder un presupuesto y debe realizarse en un tiempo máximo.	Organización del tiempo; conocimientos sobre finanzas.	Analítica, matemática, creatividad.	Previsión
Limitaciones de tipo físico: parámetros físicos que no deben excederse.	Aspectos físicos: como tamaño, peso, relativos al problema específico.	Creatividad, analítica, lógica.	Previsión
Criterios de selección: combinación de valores que deben combinarse óptimamente.	Los aspectos que priman a la hora de seleccionar la mejor solución y que dependen de cada caso. Casi siempre incluye el costo, el tiempo, aspectos técnicos, facilidad de manejo, servicio posterior.	Analítica, razonamiento mecánico.	Coherencia

Para avanzar exitosamente en el paso 2 del método de diseño en ingeniería es necesario tener en cuenta los conocimientos, habilidades y actitudes que se registran en el cuadro 3.2.

#### Ejercicio 4

- ¿Cuáles son las restricciones que se imponen a las posibles soluciones al problema con el que se encuentra enfrentada la empresa Torres & Ingenieros Asociados?
- ¿Cuáles son los criterios que se usarán para seleccionar la mejor solución?
- ¿Puede una restricción ser también un criterio de selección? Si hay un caso concreto en el ejemplo, cítelo.
- En su opinión, ¿cuáles son los criterios que deberían tenerse en cuenta para la selección de la mejor solución en este ejemplo?
- ¿Qué opina acerca de las restricciones? ¿Falta alguna?
- ¿Qué actitudes pueden resaltarse en el ejemplo anterior?
- En su opinión, ¿qué tipo de conocimientos primó a la hora de tomar decisiones en este caso: técnicos, financieros, legales, éticos?

#### 3.2.3. Búsqueda de información pertinente

La información es indispensable en el desarrollo de cualquiera de las etapas del proceso de diseño; sin información adecuada no es posible tomar decisiones. Es importante tener un conocimiento de las diversas fuentes que pueden suministrar la información necesaria, así como el procedimiento para identificar cuál de ellas es la más conveniente. A pesar de que gran parte de la información se encuentra en internet, todavía siguen siendo importantes las fuentes tradicionales de obtener información: libros, revistas o periódicos.

##### Caso 1. Tercer paso

El grupo asesor dedicado a la resolución del problema necesita más información para tomar las decisiones del caso. Se contrata a una empresa especializada que elabore un estudio de salarios dentro de la empresa para detectar si existe algún problema con la retribución salarial de sus empleados. Asimismo, solicita a la Gerencia de Proyectos una lista actualizada de los proyectos

en que la empresa estuvo involucrada en los seis últimos meses, con el fin de evaluar las causas por las cuales muchos de ellos fueron cancelados, no cumplieron las fechas de entrega o no se entregaron a satisfacción de los clientes. Ello permitirá identificar las causas subyacentes en todo este problema.

Finalmente, piden a la Oficina de Relaciones Humanas las hojas de vida de cada uno de los empleados, a fin de detectar las causas de la falta de pertenencia de algunos de ellos con la empresa. Si es necesario efectuar una inducción más prolongada, se tendrá en cuenta. Al Departamento de Contabilidad se le solicita el estado de pérdidas y ganancias de la empresa, así como toda la información relevante que conduzca a una imagen perfecta de la situación financiera de la empresa. Si hay que efectuar ajustes salariales será necesario, primero, conocer hasta dónde está hundida la empresa.

Para avanzar exitosamente en el paso 3 del método de diseño en ingeniería deben tomarse en cuenta los conocimientos, habilidades y actitudes que se relacionan en el cuadro 3.3.

- En relación con el punto de búsqueda de información, ¿qué información necesitaría usted para meterle las manos al asunto?
- ¿Qué actitudes cree usted que ayudarían a lograr lo que se busca?
- A veces la gente es reacia a entregar información, por diversas causas: por proteger la privacidad, por proteger a un amigo, por pereza de ponerse a buscar, o por otros motivos. ¿Qué habilidad cree usted que se necesita de quien pide para obtener lo que busca?
- ¿Qué conocimientos cree usted que se requieren sobre el tema de búsqueda de información entre las personas que ordenan buscar la información?
- A veces las personas encargadas de pedir información se abstienen de pedir determinados datos por el temor de perjudicar a

**Cuadro 3.3. Conocimientos, habilidades y actitudes del paso 3**

Actividades del paso	Conocimientos	Capacidades, habilidades	Actitudes
Búsqueda a través de personas: entrevistas, encuestas.	Técnicas de encuesta, de entrevistas.	Creatividad, liderazgo, generar confianza.	Crítica, imparcialidad, respeto por las opiniones ajenas.
Búsqueda en instituciones con problemas similares: darse cuenta cómo han resuelto sus problemas.	Tener información sobre instituciones que pueden tener similitudes con la del estudio.	Lógica	Crítica, imparcialidad
Búsqueda a través de la biblioteca: libros, revistas, CD ROM, otras bibliotecas.	Técnicas de búsqueda bibliográfica.	Creatividad, serendipia, lógica, habilidad para desarrollar criterios de búsqueda.	Crítica, investigativa
Búsqueda a través de Internet.	Manejo de los servicios de internet: Browser, Gopher, FTP, correo electrónico.	Creatividad, serendipia, lógica, habilidad para desarrollar criterios de búsqueda.	Crítica, investigativa

conocidos o recomendados. ¿Qué actitud recomienda cultivar para no caer en esta situación?

### 3.2.4. Generación de la mayor cantidad de soluciones

Uno de los puntos en los que hay que insistir más en nuestros estudiantes es la necesidad de generar el mayor número de soluciones posibles para un problema dado. Ser creativo. No importa que un análisis posterior demuestre que muchas de ellas son imposibles de llevar a cabo. Cuantas más soluciones se planteen inicialmente, mayor será la probabilidad de encontrar *la mejor*. Es un error muy común quedarse solamente con la primera solución que se nos ocurre. Este paso es el corazón del método de diseño en ingeniería.

#### Caso 1. Cuarto paso

Una vez reunida la información solicitada, y después de cuidadoso estudio de la misma, se cita a todo el grupo asesor a una sesión

para opinar ingenuamente sobre las posibles soluciones que a cada uno se le ocurran.

La sesión se lleva a cabo en un agradable lugar alejado del trajín diario, en una atmósfera relajada que invita a expresar en voz alta todas las fantasías que se le vienen a la cabeza. Desde el principio se avisa que no hay penalización por las locuras que se digan; lo importante es generar la mayor cantidad de posibles soluciones. Luego vendrá la poda y se dejarán en pie solamente las que tengan posibilidades de sobrevivir a un escrutinio más detenido.

Nuestros amigos asesores sugirieron las siguientes soluciones:

1. Reconstruir totalmente la empresa, sin dejar titere con cabeza. Una reingeniería total.
2. No hacer nada hasta que se tenga mayor información sobre el problema real de la empresa.

3. Para disminuir la alta rotación de personal, aumentar el sueldo a todos los empleados, para aumentar su devoción a la empresa y lograr mayor estabilidad.
  4. Efectuar una reingeniería parcial. Fusionar algunos departamentos de la empresa para disminuir la burocracia. De esta manera se disminuyen los gastos.
  5. Recortar el personal, empezando por los de arriba. Con ello se rebajan los gastos de la empresa.
  6. Dotar a los ingenieros de mejores herramientas de manera que sean más productivos y no se vuelvan a presentar las fallas a la hora de entregar los proyectos.
  7. Convertir a la empresa en un *holding* en el que cada departamento actual se convertirá en una empresa más pequeña afiliada a la grande. De esta manera se volverían más competitivas.
  8. Dejar a un lado los proyectos menos rentables y dedicarse solamente a los que generan más ganancias.
  9. Cambiar a todos los directivos responsables del actual estado de cosas.
  10. Dar capacitación adecuada a todos los empleados para que cumplan sus funciones más efectivamente.
- Después de este esfuerzo mental, se retiran y esperan la decisión que se tomará en el círculo íntimo del dueño de la empresa.
- Para avanzar exitosamente en el paso 4 del método de diseño en ingeniería, es necesario, tomar en cuenta los conocimientos, habilidades y actitudes que se que se relacionan en el cuadro 3.4.

**Cuadro 3.4. Conocimientos, habilidades y actitudes del paso 4**

Actividades del paso	Conocimientos	Capacidades, habilidades	Actitudes
Formación del grupo: buscar personas con rasgos complementarios.	Test de personalidad.	Liderazgo, generar confianza.	Imparcialidad
Establecimiento de normas: todos son iguales, no hay rangos. Nadie critica.	Conocimiento de las normas usuales en este tipo de actividades.	Liderazgo	Imparcialidad, respeto por las normas.
Tormenta de ideas: 30 minutos generando el mayor número de ideas posibles.	Técnicas de generación de ideas.	Pensamiento divergente, creatividad, liderazgo.	Actitud positiva

## Ejercicio 5

Es posible que algunas de estas ideas se le hubieran ocurrido a usted; pero es también muy probable que a usted se le hubieran ocurrido otras.

- Haga una lista con nuevas ideas (por loas que parezcan).

- De todas las ideas que expusieron los asesores, ¿con cuál se quedaría? ¿Cuál es la que menos le gusta?
- ¿Cuáles de ellas están basadas en aspectos técnicos?
- ¿Cuáles de ellas están basadas en aspectos económicos?
- ¿Cuáles de ellas incumplen alguna de las restricciones que se impusieron inicialmente?
- Durante la sesión en la que todos tenían derecho a opinar, ¿cuáles actitudes considera usted que debieron prevalecer?
- ¿Cree usted que el liderazgo es una habilidad deseable en este tipo de actividades?
- Relacione la siguiente frase con esta actividad: "Donde todos piensan igual nadie piensa".
- ¿Cree usted que todos los asistentes deberían provenir del mismo ambiente: todos financieros, todos ingenieros, todos administradores, etcétera?

### 3.2.5. Análisis y descarte de soluciones no viables

A cada una de las soluciones generada en el paso anterior se le aplican diversos tamices para confirmar si cumplen las restricciones impuestas a la solución, así como otros criterios de selección. Aquellas que no pasan estos controles son rechazadas y solamente se dejan las que de alguna manera podrían llegar a ser soluciones viables al problema planteado.

#### Caso 1. Quinto paso

Sin entrar en detalles, un proceso posterior a las soluciones planteadas en el ejemplo 6 da como resultado la eliminación de varias de éstas (para llegar a este descarte fue necesario efectuar un estudio minucioso de cada una de ellas, usando toda la información necesaria, empleando modelos, calculadoras, computadores, hojas electrónicas; el descarte no fue mero capricho de los revisores).

Las que quedaron fueron las siguientes:

- Efectuar una reingeniería parcial. Fusionar algunos departamentos de la empresa para

disminuir la burocracia. De esta manera se disminuyen los gastos.

- Dotar a los ingenieros de mejores herramientas, de manera que sean más productivos y no se vuelvan a presentar las fallas a la hora de entregar los proyectos.
- Convertir a la empresa en un *holding* en el que cada departamento actual se convertiría en una empresa más pequeña afiliada a la grande. De esta manera se volverían más competitivas.
- Dejar a un lado los proyectos menos rentables y dedicarse solamente a los que generan más ganancias.
- Dar capacitación adecuada a todos los empleados para que cumplan sus funciones más efectivamente.

Se consideró que todas estas propuestas cumplían las restricciones impuestas, y un análisis inicial demostró que tenían una probabilidad significativa de éxito. ¿Cuál de ellas quedaría finalmente?

Para avanzar exitosamente en el paso 5 del método de diseño en ingeniería deben tomarse en cuenta los conocimientos, habilidades y actitudes que se registran en el cuadro 3.5.

- Se tiene la plena seguridad de que usted no está totalmente de acuerdo con la selección efectuada. Sin embargo, sí está de acuerdo con algunas de las selecciones. Haga una lista de aquellas con las que usted está de acuerdo.
- Para cada una de las que fueron rechazadas indique la causa del rechazo.
- ¿Cuál es la actitud más importante en este caso que deberían haber adoptado los miembros del grupo que decide?
- Si alguno de los miembros del grupo estuviera involucrado de algún modo en alguna de las soluciones propuestas, ¿cuál cree usted que debiera haber sido su posición?
- ¿Es bueno tener un líder en este tipo de grupos?

**Cuadro 3.5. Conocimientos, habilidades y actitudes del paso 5**

Actividades del paso	Conocimientos	Capacidades, habilidades	Actitudes
Formación del grupo: buscar personas con rasgos complementarios.	Test de personalidad	Liderazgo, generar confianza.	Imparcialidad
Establecimiento de normas: todos son iguales. No hay rangos. Bienvenida la crítica.	Conocimiento de las reglas.	Liderazgo	Crítica, imparcialidad
Análisis de cada una de las soluciones propuestas en la tormenta de ideas: se rechazan las que no cumplen las limitaciones, o las que a simple vista no son viables.	Técnica de pensamiento convergente.	Creatividad, pensamiento convergente, lógica.	Actitud negativa, imparcialidad.

## Ejercicio 6

- Si a una solución que incumple una de las restricciones no se le rechaza, ¿debe hacerse lo mismo con todas las que incumplen? ¿Se aplica la conocida regla ética de los derechos en este caso? Razione.
- Algo más: haga su propia lista de las que según usted debieron ser rechazadas.

### 3.2.6. Selección de la mejor solución

¿Cómo se determina cuál de todas las anteriores soluciones es la mejor? Existen varios métodos. El que se usa en este texto se basa en maximizar una determinada función objetivo que depende de los criterios ponderados que se establecieron en uno de los pasos iniciales. La solución que obtenga el mayor puntaje es la elegida como la mejor.

#### Caso 1. Sexto paso

Después de haber reducido el conjunto de soluciones a unas cuantas, se debe examinar cada una a la luz de los criterios de selección definidos inicialmente. Hay que recordar que en este ejemplo no hubo necesidad de regresar a un paso anterior para modificar alguna de las decisiones que se tomaron inicialmente; sin embargo, la *iteratividad* en los procesos de ingeniería es algo normal.

El grupo asesor más el dueño de la empresa se reúnen en un salón dotado de todas las comodidades y ayudas audiovisuales para escoger la solución que sacará a la empresa del hoyo en que se encuentra.

Después de acaloradas discusiones se llega a la siguiente decisión:

Efectuar una reingeniería parcial. Fusionar algunos departamentos de la empresa para disminuir la burocracia. De esta manera se disminuyen los gastos.

Esta es la solución que obtuvo mayor puntaje, con un holgado margen sobre la si-

guiente, que era la de convertir la empresa en un *holding*.

Para avanzar exitosamente en el paso 6 del método de diseño en ingeniería es necesario tomar en cuenta los conocimientos, habilidades y actitudes que se muestran en el cuadro 3.6.

**Cuadro 3.6. Conocimientos, habilidades y actitudes del paso 6**

Actividades del paso	Conocimientos	Capacidades, habilidades	Actitudes
Establecimiento del grupo: buscar personas con rasgos complementarios.	Test de personalidad	Liderazgo, generar confianza.	Imparcial
Establecimiento de las normas: hay un jefe que dirige la reunión y define situaciones ambiguas.	Conocimiento de las normas.	Liderazgo	Imparcial
Ponderación de los criterios de selección: se analizan los criterios de selección y a cada uno se le asigna un peso.	Conocimiento de la importancia relativa de cada criterio.	Análisis	Imparcial, respeto por las opiniones de los demás, responsable.
Llenado de la matriz de selección: se dibuja la matriz y se colocan los valores correspondientes.	Conocimiento de cómo se llena la matriz.	Representación gráfica	
Asignación de notas: cada miembro del grupo da su nota a cada uno de los criterios de las distintas soluciones.	Conocimiento de la manera como cada solución maneja el criterio que se va a calificar.	Sintetizar	Imparcial, responsable.
Evaluación de la matriz: se calculan los valores y se define la solución que mayor puntaje obtuvo.	Conocimiento de la manera de evaluar la matriz.	Habilidad matemática	
Ánalisis de los resultados: se analiza la solución y se compara con las más cercanas. Se toman decisiones.	Conocimiento de las diferencias entre las diversas soluciones.	Ánálisis y síntesis	Crítica, imparcial, responsable.

**Ejercicio 7**

En relación con el ejemplo anterior, y respecto a las soluciones planteadas:

- ¿Con cuál se hubiera quedado usted?
- ¿Por qué la imparcialidad es tan importante en este tipo de situaciones?
- ¿Cree que este esquema adolece de subjetividad?
- ¿Cree que hay algún procedimiento humano que sea totalmente objetivo? Cite uno.
- ¿Cree que la subjetividad de este procedimiento es de un nivel razonable?
- ¿De qué depende el éxito de este tipo de selección? ¿De la honestidad de las personas?
- ¿Hay alguna forma de proteger el esquema de selección contra una desmedida parcialización de los participantes?

**3.2.7. Especificaciones de la solución escogida**

Una vez seleccionada la mejor solución al problema dado, se organiza todo lo necesario para generar el prototipo, someterlo a pruebas e introducir los correctivos del caso. Debe elaborarse todo lo que se requiera para que otras personas lleven a cabo su producción.

**Caso 1. Séptimo paso**

Lo que viene ahora es relativamente sencillo y rectilíneo: el dueño de la empresa encarga a su hombre de confianza para que elabore un proyecto detallado con todas las acciones necesarias para llevar a cabo lo dispuesto.

Se imponen unas condiciones al proyecto en tiempo y dinero para que todo esté de acuerdo con las condiciones económicas que los bancos han impuesto a la empresa para desembolsar el préstamo solicitado.

Para avanzar exitosamente en el paso 7 del método de diseño en ingeniería es necesario tomar en cuenta los conocimientos, habilidades y actitudes que se relacionan en el cuadro 3.7.

**Cuadro 3.7. Conocimientos, habilidades y actitudes del paso 7**

Actividades del paso	Conocimientos	Capacidades, habilidades	Actitudes
Elaborar organigrama de actividades.	Técnicas de manejo de tiempo.	Lógica	Positiva
Elaborar el presupuesto.	Conocimiento de finanzas, conocimiento de costo de las cosas.	Sentido común	Positiva
Elaborar los planos.	Manejo de herramientas para dibujar.	Habilidades para representar gráficamente información.	Positiva
Especificación de los detalles de la solución.	Matemáticas, física.	Perfeccionismo	Positiva
Elaborar los manuales de uso.	Normas sobre elaboración de manuales.	Sintetizar información	Positiva

## Ejercicio 8

- ¿Qué actitud es necesaria cuando en el desarrollo de las actividades empiezan a aparecer problemas que parecen imposibles de resolver?
- Elabore una lista de los conocimientos que deben tener las personas que se encargarán de ultimar los detalles de la solución.
- ¿Cree que en este caso es necesario conocer mucho de física?

### 3.2.8. Comunicación de la solución escogida

Finalmente, es indispensable dejar documentado todo el proceso seguido en la solución del problema, así como una posible presentación a través de una publicación o una exposición oral ante un auditorio que puede ser la junta directiva de una empresa o un congreso internacional de expertos en el área. Es necesario dominar las técnicas de comunicación, tanto escritas como orales.

#### Caso 1. Octavo paso

Se cita a la junta directiva para exponerle el proyecto que se va a ejecutar para colocar la empresa en la posición que le corresponde. El amigo de confianza escribe un informe ejecutivo que se les entrega a todos los miembros de la junta, además de un detallado documento en el que se expone detalladamente todos los pasos que se darán para alcanzar el éxito esperado.

Para completar se realiza una exposición con ayudas audiovisuales que permite captar rápidamente la esencia del proyecto. (Fin del caso 1).

Para avanzar exitosamente en el paso 8 del método de diseño en ingeniería deben tomarse en cuenta los conocimientos, habilidades y actitudes que se relacionan en el cuadro 3.8.

**Cuadro 3.8. Conocimientos, habilidades y actitudes del paso 8**

Actividades del paso	Conocimientos	Capacidades, habilidades	Actitudes
Organizar toda la información pertinente: seleccionar la que debe incluirse en el informe.		Analítica, sintética	Investigativa, crítica
Elaborar el informe: seguir las normas que existan para tal efecto.	Conocimiento de las normas (por ejemplo, Incontec).	Expresar claramente ideas complejas, capacidad de convencer.	Crítica, imparcial
Preparar la presentación oral.	Conocer el uso de un programa para presentaciones (por ejemplo, PowerPoint).	Síntesis, habilidad para organizar la información importante en el lugar adecuado y en la forma adecuada.	Investigativa, crítica
Efectuar la Presentación oral.	Conocer técnicas efectivas de comunicación oral.	Lenguaje adecuado; uso de medios audiovisuales.	Imparcial, apertura mental, convincente.

## Ejercicio 9

A pesar de ser la última de las actividades, no por ello deja de ser importante.

- Haga una lista con aquellas situaciones en las que una mala presentación a una junta o un documento mal escrito pudieran echar por tierra o por lo menos poner problemas innecesarios en la ejecución de un proyecto.

- Casos se han dado en que las disposiciones que se toman en una junta son plasmadas en forma totalmente opuesta en el documento resumen. ¿Qué medidas tomaría usted para comprobar que lo que se dice en el documento corresponde a lo que se pretendía?

### 3.3. Cuadro resumen

El contenido de los anteriores cuadros puede resumirse en el cuadro 3.9, en el que se transcriben los elementos más representativos de las tablas correspondientes a cada uno de los pasos.

### 3.4. Acerca de los conocimientos

La lista que se presenta en la primera columna del cuadro 3.9 contiene un conjunto base de conocimientos que el estudiante necesita para aplicar el proceso de diseño. Todos ellos son presentados en este texto con la profundidad necesaria para trabajar los problemas que se plantean.

El objetivo de este texto no es llenar de conocimientos a los futuros ingenieros; para eso están los cursos que siguen en sus respectivas carreras. Se considera más importante la conceptualización de los fenómenos que un tratamiento cuantitativo exhaustivo.

### 3.5. Acerca de las habilidades

El conocimiento es superado continuamente por nuevos conocimientos que vuelven obsoleto lo aprendido ayer. El conocimiento crece de forma exponencial y es casi imposible que el ingeniero aprenda todo lo nuevo que se produce durante sus años de estudio. La vida es un aprendizaje continuo y hay que preparar a nuestro futuro ingeniero de modo tal que sea capaz de aprender por sí mismo. Por ello es importante desarrollar sus habilidades<sup>4,5</sup> que, a diferencia del conocimiento, si son permanentes.

La lista expuesta en el cuadro 3.9 representa un conjunto de habilidades que podrían relacionarse con otras carreras que no pertenezcan necesariamente al área de las ingenierías; el desarrollo armónico de esas habilidades les permitirá a nuestros estudiantes abordar con éxito los desafíos que deberán enfrentar en un mundo cada vez más interdependiente entre las diferentes disciplinas.

A continuación se harán algunos comentarios sobre cada una de las habilidades de la lista.

**Cuadro 3.9. Resumen de conocimientos, habilidades y actitudes**

Conocimientos	Habilidades	Actitudes
Técnicas para manejo de grupos.	Liderazgo	Crítica
Encuestas, estadística, probabilidad.	Generar confianza	Imparcial
Método científico.	Creatividad	Investigativa
Técnicas de comunicación oral y escrita.	Capacidad de análisis	Respeto a las normas legales
Leyes y normas vigentes sobre el tema.	Espíritu de observación	Responsabilidad social
Normas sobre seguridad.	Capacidad de síntesis	Previsión
Administración del tiempo.	Capacidad lógica	Coherente
Noción financieras.	Habilidad numérica	Respeto a la opinión de los demás
Aspectos físicos de los objetos.	Razonamiento mecánico	
Noción sobre mantenimiento, servicio.	Serendipia	Positiva Negativa Responsable
Técnicas de búsqueda bibliográfica. Uso de los servicios de internet.	Habilidad para buscar información	
Técnicas de generación de ideas.	Habilidad de pensamiento divergente y convergente	De apertura mental Proactiva
Técnicas de pensamiento convergente y divergente.	Habilidad para dibujar	
Test de personalidad.	Sentido común	
Técnicas para ponderar criterios.	Perfeccionismo	
Uso de la matriz de selección.	Expresarse claramente	
Uso de herramientas para publicar.	Organización de la información	
Noción de cálculo numérico y física.		

## Liderazgo

El líder es la persona capaz de dirigir un grupo, poner orden en una discusión, escuchar y dejar hablar, inspirar a los demás miembros del grupo. Es la persona que le da vida a una discusión cuando ésta comienza a decaer. El liderazgo es una habilidad que no se da en muchas personas y que se desarrolla a medida que se hace uso consciente de la misma.

## Generar confianza

Una de las condiciones fundamentales que se exigen para que la comunicación fluya libremente es que las personas involucradas sientan confianza entre sí. Al realizar una encuesta, al preguntarles a empleados, usuarios, entre otros, es necesario generar en ellos un sentido de confianza para que la información que se obtenga sea realmente valiosa.

## Creatividad

Sin duda alguna una de las habilidades que es necesario desarrollar en grado extremo. Sobre este tema se ampliará más adelante.

## Capacidad de análisis

Junto con la creatividad se constituyen en las habilidades esenciales en cualquier ingeniero. Este punto se analizará en próximos capítulos.

## Espíritu de observación

La habilidad para percibir indicios, síntomas, anomalías, situaciones que pueden desembocar en situaciones problemáticas; ser capaz de distinguir e identificar situaciones que se apartan de lo normal. Todo ingeniero debe desarrollar al máximo el espíritu de observación.

## Capacidad de síntesis

Resumir en pocas líneas un documento no es una tarea fácil. Sólo se llega a dominar esta habilidad después de haberla ejercido durante mucho tiempo. Es fundamental en los ingenieros, pues para casi todos los informes que de-

ben escribir es necesario presentarlos a través de un *abstract* o resumen.

## Capacidad lógica

Habilidad para deducir y sacar conclusiones. Capacidad para inducir de hechos aislados generalizaciones. Capacidad para razonar, establecer conexiones entre premisas y conclusiones. Capacidad para identificar razonamientos mal estructurados o insuficiente soporte para una afirmación. Está íntimamente relacionada con la habilidad analítica.

## Habilidad numérica

No hay duda de que un ingeniero sin esta habilidad podría pasar por abogado o médico; la capacidad para calcular mentalmente, o para realizar complejos cálculos es innata en el ingeniero. Junto con la creatividad y la habilidad analítica forman el trípode sobre el que descansa la ingeniería.

## Razonamiento mecánico

Habilidad para establecer relaciones entre elementos mecánicos; en pocas palabras, es una habilidad que tiene mucho que ver con la física. Sobre decir, que en la mayoría de las ingenierías esta habilidad es muy importante.

## Serendipia

Es una habilidad relacionada con el descubrimiento inesperado como resultado de buscar por caminos diferentes. Se trata de estimular una actitud indagadora para aprovechar los hallazgos que brinda el azar, aunque no respondan a lo que nosotros buscamos. Se fomenta, pues, una actitud flexible hacia lo nuevo, hacia el cambio de objetivos, hacia el valor de lo imprevisto. La ciencia está llena de hallazgos fruto de una casualidad aprovechada por la preparación, la disciplina, la autoexigencia y el agudo sentido crítico de muchos creadores.

## Habilidad para buscar información

Para encontrar la información que se busca es preciso realizar algunos análisis previos; no exis-

te un procedimiento universal que indique específicamente dónde está la información que se necesita. Así que es vital conocer el uso de ciertas herramientas, pero, además, es necesario desarrollar una heurística que permita seleccionar caminos más cortos para llegar a donde se desea. Esto se adquiere con la práctica.

## Habilidad de pensamiento divergente

El ingenio necesario para descubrir más de una respuesta correcta. Se necesita cuando es preciso plantear varias alternativas a una situación determinada. Está relacionada con el hemisferio derecho de nuestro cerebro. Hay una tendencia natural a quedarnos con la primera solución a un problema que pasa por nuestra imaginación. El desarrollo de esta habilidad permite ser productivo en la generación de ideas novedosas.

## Habilidad de pensamiento convergente

Una habilidad que se utiliza generalmente en la fase inicial de la generación de ideas y que ayuda a canalizar el alto volumen de ideas creadas en la fase de pensamiento divergente, consolidándolas en un grupo más pequeño sobre el que puede concentrarse la atención posteriormente. Está relacionada con el hemisferio izquierdo del cerebro; busca racionalizar el esfuerzo realizado en la fase divergente.

## Habilidad para dibujar

Una gran proporción de las ingenierías exige esta habilidad en sus profesionales; la aparición de herramientas para realizar dibujos por medio del computador parece que hubiera rebajado la necesidad tradicional de lograr una habilidad sobresaliente en el dibujo lineal. Sin embargo, es necesario que el estudiante tenga una mínima habilidad para comunicar gráficamente sus ideas mediante croquis, dibujos a mano alzada, conocimiento de normas sobre representaciones.

## Sentido común

Llamado el *menos común de los sentidos* por su marcada ausencia en la mayoría de las per-

sonas; es el sentido que le permite al ingeniero validar, *grossó modo*, las soluciones mecánicamente producidas por una máquina; por ejemplo, si el computador arroja resultados que no están de acuerdo con lo que mi sentido común me señala, deberá revisar cuidadosamente esos resultados antes de aceptarlos. El ingeniero debe tener una idea cercana (dentro del orden de magnitud esperado) de los resultados que van a producirse y compararlos con los que el computador arroja.

## Perfeccionismo

Una habilidad ligada estrechamente con la creatividad. El amor al detalle final es característico de los ingenieros.

## Expresarse claramente

Es la habilidad que permite expresar una idea compleja en términos tales que las demás personas la entiendan. Es muy importante que los ingenieros desarrollen esta habilidad al 100 %, pues son múltiples las situaciones en las que deben explicar complicados conceptos tecnológicos a personas legas en la materia. Muchas veces, la aprobación de un proyecto depende del grado de comprensión que haya logrado en su audiencia. Por ejemplo, un ingeniero debe explicar ante el Concejo Municipal el funcionamiento de un sistema de procesamiento de basuras que permitirá conservar el medio ambiente. Si no logra que los concejales entiendan la importancia del proyecto, es posible que éste no pase de esa charla.

## Organización de la información

Hay estadísticas que muestran que los ejecutivos emplean el 40 % de su tiempo buscando la información que necesitan. Una buena organización de la misma permitirá disponer de más tiempo para tomar decisiones y pensar. La habilidad de agrupar la información de acuerdo con categorías le permite al ingeniero precisar rápidamente dónde se encuentra la información que requiere.

### 3.6. Acerca de las actitudes

Hay un consenso en torno a darle a la actitud un papel mayor en el éxito o en el fracaso de un proyecto. La motivación, ese estado de ánimo de estar dispuesto a, es fundamental para resolver los problemas que se nos presentan. "Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo", frase que se atribuye a Arquímedes de Siracusa. El significado es claro: dadme alguien motivado y lograré lo que quiero. Si bien no se va a escribir un tratado sobre las actitudes, cómo generarlas, aumentarlas, perfeccionarlas, etcétera, sí se van a escribir unas cuantas líneas descriptivas sobre las que tienen relación con el proceso de diseño en ingeniería. Es posible que falten algunas, en opinión de otras personas. De todas maneras, la idea es resaltar la importancia que tienen las actitudes, y en particular algunas de ellas, en el éxito o en el fracaso de muchas de las actividades que emprendemos como profesionales de la ingeniería.

#### Actitud crítica

Uno está dispuesto a considerar de una manera integral los problemas y asuntos que están dentro de su alcance. Nada se acepta sin el debido respaldo. Si se trata de una argumentación, se analiza la estructura; si se trata de datos, se analizan las fuentes. Nada ni nadie tiene crédito gratis.

#### Actitud imparcial

Disposición de ánimo que no deja que opiniones personales, favoritismos o presiones tuerzan mi recto juicio. Cuando uno es árbitro en una disputa o debe dar una opinión contraria a la que sustenta mi superior, la imparcialidad garantiza que mi juicio será el correcto, por lo menos dentro de mis alcances.

#### Respeto a las normas legales

Puede ser que las normas estén equivocadas, pero mientras no sean cambiadas debo seguir las. Ni las normas ni las leyes se interpretan: se cumplen.

En la ingeniería, las normas legales son las que regulan la formación y constitución de las empresas, así como las que regulan la actividad profesional de los ingenieros.

#### Responsabilidad social

Donde la responsabilidad legal termina empieza la responsabilidad social. En muchas ocasiones las normas legales vigentes se encuentran atrasadas respecto a los avances tecnológicos; toma mucho tiempo y vencer enormes intereses creados cambiar una ley o norma. En muchas ocasiones, éstas son demasiado tímidas; no llegan a donde deberían llegar. El ingeniero debe ir más allá de las normas legales si considera que al seguirlas está perjudicando a la clase menos favorecida. Este aspecto tiene mucha relación con aspectos éticos en la profesión.

#### Previsión

También llamado ver más allá no solamente en la distancia sino en el tiempo. Saber interpretar los signos y mensajes que nos rodean para predecir el futuro y tomar las medidas del caso.

#### Actitud coherente

Cuando se trabaja con diferentes grupos de personas, sobre temas diferentes pero relacionados es necesario mostrar coherencia en el manejo de asuntos de la misma naturaleza; en el momento de juzgar, valorar algo, se debe demostrar coherencia. Para ello es necesario definir criterios; sin criterios que me den una pauta difícilmente se puede ser coherente. Considere el caso de las encuestas; hay preguntas cuyo único fin es determinar el grado de coherencia que existe en las respuestas. Se repite una pregunta (un tanto disfrazada) en una parte avanzada de la encuesta y se compara la respuesta dada con la que se dio en una pregunta similar localizada al comienzo. La coherencia entre las dos respuestas da una estimación de la confianza que puedan tener las demás respuestas.

#### Respeto a la opinión de los demás

Cuando se trabaja en grupo debe respetarse la opinión, por disparatada que parezca, de cada uno de sus integrantes. Esto es crucial cuando

se trata de la tormenta de ideas; en este caso no existen rangos, ni jerarquías: vale tanto la opinión del cabo como la del general.

### Actitud positiva

Quizás debió haberse colocado al principio de toda la lista de actitudes si el lugar significara importancia. No hay duda de que enfrentar una situación con actitud positiva es garantizar el éxito de la empresa. Ser positivo es ver el lado bueno de las situaciones, por malas que éstas puedan ser.

### Actitud negativa

A veces es conveniente adoptar una actitud negativa. No debe interpretarse como lo opuesto a la positiva; se debería decir mejor que es conveniente adoptar una actitud crítica negativa, indicando con esto que la persona adopta una actitud defensiva y continuamente pone en tela de juicio todo los argumentos, datos, etcétera. Algunos autores aconsejan adoptar esta actitud (algo así como ser el abogado del diablo) cuando en determinada situación todo el mundo parezca estar de acuerdo en todo. Como reza el dicho: "Donde todos piensan igual, nadie piensa". En estas circunstancias, una voz discordante puede dar buenos resultados.

### Actitud responsable

En situaciones en las que se debe dar una opinión, evaluar, juzgar, es preciso hacerlo con responsabilidad. Si a un estudiante le toca evaluar el

desempeño de un grupo de compañeros entre los que se encuentra su novia, debe separar totalmente sus afectos de sus obligaciones; no debería dar una nota alta, cuando no se merece, simplemente por la relación afectiva que existe. Al evaluar una de tantas posibles soluciones a un problema hay que concentrarse en los méritos de la solución y no en aspectos secundarios que nada tienen que ver con el asunto.

### Apertura mental

Flexibilidad, apertura mental son características de las personas sabias. Aceptar puntos de vista que no coinciden con los nuestros, costumbres que son opuestas a las nuestras demuestran tolerancia, uno de los valores que se encuentran en vías de extinción. En una discusión, no solamente aceptemos las opiniones ajenas: seamos capaces de cambiar nuestros puntos de vista sobre algo si nos damos cuenta de que hay elementos de juicio que señalan que estamos equivocados. No importa que a quien demos la razón sea nuestro más enconado oponente.

### Actitud proactiva

Se dice que se actúa proactivamente cuando al mismo tiempo que se plantea un problema se presentan diversas soluciones. Cuando se observa que está generándose una solución conflictiva se empieza a trabajar para evitarla, o para enfrentarla exitosamente; no dejar que el problema crezca de tal manera que después sea mucho más difícil resolverlo.

## 3.7. Conclusión

De todo lo expuesto anteriormente se desprende la importancia de combinar adecuadamente conocimientos, habilidades y actitudes para resolver satisfactoriamente un problema en ingeniería. La creatividad es uno de los ejes principales de todo este proceso; si bien los pasos enumerados

permiten organizar sistemáticamente todo este proceso, no hay que olvidar que un caso particular puede exigir una modificación a lo delineado y, entonces, la persona o el grupo encargado debe innovar (creatividad) para adaptar el proceso genérico a la especificidad del caso.

### 3.8. Ejercicios y problemas

Lea cuidadosamente el siguiente caso:

1. En una línea de empaque las cajas de cartón que se colocan en una banda transportadora van espaciadas en forma irregular. Antes de llegar a la máquina etiquetadora deben ir a espacios regulares.

¿Qué conocimientos debería tener el grupo de ingenieros encargado de resolver este problema? ¿Dónde encontrarían información sobre situaciones similares? Haga una lista de los conocimientos necesarios y justifique cada uno de ellos.

2. Usted es un ingeniero consultor que sirve a un hacendado que cultiva millares de ha. de tomate. Su misión consiste en desarrollar una máquina cosechadora que reduzca en términos significativos el costo de recoger la cosecha.

Como en el caso anterior, especifique los conocimientos necesarios para resolver este problema. Haga una lista detallada de los mismos y explique la razón de cada uno de ellos.

3. Alguien ha propuesto que para eliminar los problemas de pinchazos de llantas se podría construir una llanta maciza de un material muy similar al caucho, con suficiente elasticidad y estabilidad dimensional y térmica.

También aquí es necesario analizar el tipo de conocimiento que se requiere para abordar exitosamente el problema. Haga una lista similar a la de los casos anteriores.

4. El zoológico municipal necesita construir un acuario con todos los adelantos del caso para albergar una numerosa colección de especies de la fauna tropical en la que se incluyen peces, anfibios, mamíferos acuáticos, entre otros. No quiere repetir la experiencia dolorosa de hace algunos años cuando unos aficionados construyeron una piscina para caimanes del Amazonas y los

electrocutaron, por no tomar las precauciones necesarias con las resistencias eléctricas que mantenían el agua a la temperatura adecuada.

Si usted formara parte de la compañía que asumió la responsabilidad de construir el acuario, ¿qué conocimientos técnicos y de otro tipo les exigiría a los diseñadores y constructores de la obra?

5. Con la globalización de la economía las empresas exportadoras deben cumplir exigentes normas de calidad. Un grupo de empresarios decide exportar a la Unión Europea jugo de borojó. Dado que no existe experiencia anterior sobre cómo exportar este tipo de productos es necesario diseñar un empaque adecuado al mismo.

Indique los conocimientos técnicos necesarios que debe reunir el grupo de diseñadores del nuevo empaque.

6. Los computadores de la sala de cómputo han estado fallando con mucha frecuencia; un estudio del problema revela que la falta de aire acondicionado es la causa principal del problema. Se requiere colocar aire acondicionado, pero entre las diversas alternativas existentes no se sabe cuál escoger.

Si usted fuera a diseñar el sistema de aire acondicionado, ¿qué debería conocer para ofrecer la solución adecuada?

7. Cuando uno viaja en automóvil por las carreteras observa repetidamente avisos de no adelantar, así como una línea doble amarilla en la mitad de la calzada que indica también lo mismo.

Los ingenieros civiles, quienes definen dónde deben colocarse estas señales, lo hacen basándose en ciertos cálculos. ¿Qué variables deben usar en sus cálculos para determinar dónde colocar esas señales?

8. Los semáforos se encienden y apagan a intervalos predeterminados; se han calculado los tiempos respectivos para que regulen

el tráfico óptimamente. ¿Qué datos se necesitan para calcular los tiempos de verde y rojo en un semáforo? ¿Para qué se coloca el color amarillo? ¿Cuánto tiempo debe durar encendido el color amarillo?

9. ¿Qué conocimientos son necesarios para diseñar un mouse? ¿Qué especialidades de la ingeniería deberían trabajar en equipo para tener éxito en ese diseño?
10. ¿Con cuál de las actitudes analizadas en este capítulo relacionaría usted a un búho?

## Taller corto 3

### Conocimientos, habilidades y actitudes

#### Justificación

La solución de un problema en ingeniería requiere el concurso simultáneo de algunos conocimientos técnicos, poseer ciertas habilidades y asumir las actitudes correctas. Es conveniente que el estudiante de ingeniería explore algunas situaciones más o menos reales e indique los conocimientos técnicos requeridos, las habilidades más importantes que se deben dominar y qué actitudes adoptar para asegurar el éxito en la solución del problema presentado.

#### Objetivos

- Conocer algunos problemas de ingeniería.
- Identificar los conocimientos, habilidades y actitudes relacionados con la solución de esos problemas.

#### Descripción

Analice cuidadosamente cada uno de los problemas que se presentan a continuación e indique qué conocimientos, habilidades y actitudes deben ponerse en juego para lograr su solución.

- La Universidad adquirió recientemente unas máquinas dispensadoras de bebidas en lata, pero algunas de ellas hacen un ruido inauditable: producen una vibración irritante que molesta cuando está dictándose clases en los salones vecinos. Si usted tuviera que ofrecer una solución a este problema, como ingeniero, ¿qué conocimientos considera que debe poseer para dar una respuesta racional?

- Una reciente disposición municipal establece que los tubos de escape de los autobuses, camiones grandes, otros deben arrojar los gases producto de la combustión a una altura del suelo no inferior a los 3 m. Sin embargo, al implantar esta medida el ruido producido por estos vehículos aumenta a niveles terribles. Usted como ingeniero debe dar una solución a este problema. ¿Qué conocimientos considera que debe poseer para dar una respuesta adecuada a este problema?
- Las tapas de las alcantarillas de la ciudad permanecen rotas en su gran mayoría. Es una paradoja: mientras los constructores son capaces de levantar exitosamente desafiantes edificios y autopistas veloces no han sido capaces de diseñar una tapa que sobreviva el flujo de vehículos de la ciudad. En el caso de que a usted le tocara solucionar el problema, ¿qué cree que le haría falta conocer para solucionar este problema y que la gente o los automóviles no terminaran como huéspedes de las tuberías del alcantarillado de la ciudad?
- Diseñar una placa para la matrícula de los automóviles parece una empresa fácil, pero experiencias recientes han demostrado que no lo es así. Si usted recibiera el encargo de la OEA para diseñar una placa para los vehículos automotores de todos los países de la región y que tuviera una vida útil de 20 años, ¿qué conocimientos debería tener para coronar con éxito su misión?

## Taller corto 4

### La mejor decisión

#### Justificación

Los ingenieros debemos tomar decisiones basadas en suficiente información. No siempre tenemos la información que requerimos y nos debemos arriesgar, saber tomar riesgos es parte de la formación de los ingenieros. Por ello es importante analizar casos en los que la información no es suficiente pero es necesario, con la que se disponga, llegar a la mejor decisión.

#### Objetivos

- Analizar situaciones que requieran la toma de decisiones.
- Evaluar los pros y contras de tomar ciertas decisiones.

#### Descripción

A continuación se presenta un caso relacionado con una empresa caracterizada por su alto componente de tecnología de la información, TI. Se debe efectuar una lectura cuidadosa del caso para luego llevar a cabo las actividades que se indican más adelante.

- Luisa Fernanda es la directora del Departamento de Sistemas de una compañía manufacturera que existe en este país, posee una excelente formación académica fruto de los estudios realizados en una de las más prestigiosas universidades; posee una maestría en ciencias de la Ingeniería de la Newport University.

Su desempeño en la compañía ha sido muy satisfactorio; fue vinculada como ingeniera de soporte hace aproximadamente 11 años y ha escalado posiciones hasta llegar al cargo que ocupa actualmente.

En una reunión sostenida con el consejo directivo de la compañía le piden mejorar o agilizar el proceso de entrega de infor-

mación, que ha venido desmejorando debido a las continuas caídas que se presentan en el sistema causando demoras en la entrega de informes cruciales para la toma de decisiones de la empresa, lo cual repercute desfavorablemente en sus resultados económicos.

En dicha reunión los analistas de sistemas piden más y mejores equipos y la contratación de más programadores, así como asesoría externa y, en general, de más personal técnico, pues el trabajo ha aumentado sustancialmente sin que se haya visto un aumento proporcional de los recursos.

Durante la reunión, el presidente de la compañía dejó entrever la posibilidad de un recorte de presupuesto al igual que de personal, lo que indicaba claramente que cualquier solución al problema debería tener en cuenta (muy en cuenta) los costos en que se incurría.

Luisa Fernanda debe analizar la situación con mucho cuidado para reducir o eliminar deficiencias técnicas presentes en la compañía, mejorar el rendimiento y hacer todo esto sin causar traumas y al menor costo posible.

Conformó dos equipos de trabajo: uno encargado de seleccionar la mejor plataforma operativa que se ajustase a las necesidades de la empresa, teniendo en cuenta la posibilidad de migración de información y compatibilidad del software. No siempre iban a permanecer los mismos equipos y el mismo software. Había que buscar una combinación de ambos que garantizara el presente y el futuro. El otro equipo se dedicaría de lleno a comunicaciones, pensando en el cambio o ampliación de

concentradores (*hubs*), puentes (*bridges*), enruteadores (*routers*) y actualización de tarjetas de red, como parte de las tareas encomendadas al grupo dos.

Se elaboró una licitación a la que se invitaron varias empresas del área de informática, equipos y comunicaciones. Cada una de las firmas convocadas a participar en la licitación sobre sistemas operacionales resaltó las bondades de sus productos, como confiabilidad, servicios web, comunicaciones, seguridad y compatibilidad entre aplicaciones. Se analizaron varios sistemas operativos como Unix, Linux, Windows 2000, Solaris y Novell Netware.

Cada uno de estos sistemas ofrecía tecnologías de administración muy completas, funcionando tanto en el cliente como en el servidor, permitiéndoles a los administradores del sistema controlar centralmente los PC de los escritorios y las redes, generando mayor disponibilidad del sistema, aplicaciones más confiables y menos reanudaciones; en fin, una arquitectura de sistema robusta sobre la cual cualquier negocio puede descansar.

También ofrecían amplia cantidad de dispositivos de hardware incluyendo los más innovadores elementos para computadores personales. Algo innovador entre las propuestas fue el ofrecimiento de tarjetas inteligentes (*smart cards*), las cuales proporcionan autenticación remota segura, algo muy importante en un área tan insegura como la de las comunicaciones.

El equipo dos obtuvo también gran cantidad de información y recomendaciones para el tipo de red que estaba usándose en la empresa, como el empleo de concentradores electrónicos que dividen los grupos de usuarios de la red en subgrupos más pequeños. Como se sabe, la mayor parte de la información trascurre entre los usuarios de un segmento de la red y sólo raras veces se busca o se manda información a otros segmentos de la red. Solamente se trasfiere al exterior la información

destinada a otros segmentos y a sus usuarios. De esta forma se reduce la congestión y se aumenta la velocidad total de la red al aliviar las retenciones. Los *hubs fast ethernet* aumentan la velocidad total de transmisión de información a través de la red, desde 10 Mbps hasta diez veces esta cantidad (100 Mbps). Una red *fast ethernet* es más eficaz cuando transmite una gran cantidad de información o archivos de gráficos.

■ ¿Qué tipo de conexión debe recomendar?

Las conexiones de acceso telefónico son más adecuadas para las conexiones que cuentan con un único PC en el emplazamiento remoto. Para utilizar una conexión de acceso telefónico solamente es necesario un teléfono, con independencia del lugar en que se encuentre. Siempre disponible y prácticamente omnipresente, esta solución es la idónea para un acceso remoto de punto a punto con redes LAN (*Local Area Network*).

Enrutadores (*hubs*). El enruteador es una solución opcional para las oficinas que disponen de una red LAN o desean acceder a varios PC. Los enruteadores proporcionan acceso simultáneo a múltiples usuarios de la red LAN, en un mismo emplazamiento o a distancia.

Con todos las características que tienen estos recursos, Luisa Fernanda debe seleccionar los productos que ofrezcan mayor beneficio para la compañía tanto en rendimiento y soporte como en costos.

Una vez leído el ejercicio anterior realicen las siguientes actividades en grupo:

- Analicen cada una de las situaciones descritas.
- Simulen la toma de una decisión y fijense en los pasos que deben dar para tomarla. Describan esos pasos.
- ¿Qué conocimientos se necesitan para decidir en este caso en particular? Indiquen las áreas del conocimiento en general.

- ¿Qué actitudes pueden resaltarse en el caso anterior? Indiquen las actitudes que tanto Luisa Fernanda como los integrantes de los dos grupos deben adoptar para garantizar el éxito del proyecto.
- ¿Creen que es necesario obtener mayor información? Indiquen sus razones.
- Enumeren algunos aspectos adicionales que deben tenerse en cuenta para tomar una mejor decisión.

▪ Suponga que usted asume el papel de Luisa Fernanda. ¿Qué medidas tomaría si la compañía decide reducir aún más el personal y el Departamento de Sistemas no posee la cantidad suficiente para optimizar servicios?

▪ Al finalizar las actividades, discutan sobre el caso propuesto y conformen grupos con respuestas afines para que luego un representante de cada grupo exponga sus puntos de vista y se llegue a una conclusión favorable.

Taller elaborado por el ingeniero de sistemas José Daniel Avellaneda, Universidad Antonio Nariño

## Taller largo 3 [En grupo]

### Actitudes en ingeniería

#### Objetivos generales

- Lograr un conocimiento práctico del efecto de las actitudes en algunas situaciones en ingeniería.
- Poner en práctica algunas actitudes.

#### Objetivos específicos

- Reforzar la importancia de las actitudes en la vida estudiantil y profesional.
- Asociar situaciones específicas con actitudes.
- Evaluar el desempeño de los compañeros.

#### Trabajo que se debe desarrollar

Se formarán grupos de cuatro estudiantes cada uno.

1. Cada grupo deberá dramatizar una de las actitudes que se han presentado como importantes para el desempeño de las actividades profesionales de un ingeniero. La dramatización consistirá en una breve (seis minutos) representación teatral en la que deberán intervenir todos los integrantes del grupo, cada uno representando un personaje.

2. La dramatización se centrará sobre una situación común dentro de la actividad profesional de los ingenieros. Ojalá que cada carrera escoja asuntos relacionados con su núcleo; por ejemplo, los de sistemas pueden seleccionar la información (peligros en la compra de equipos, privacidad de la información, desarrollo de aplicaciones con software desactualizado, falta de seguridad en las instalaciones, entre otras. Los estudiantes de civil tienen una amplia gama de situaciones: pedir favores por otorgamiento de contratos, rebajar costos poniendo en peligro la seguridad, elevar los costos por encima de lo normalmente aceptado u otros. Los ingenieros industriales pueden trabajar temas relacionados con diseños que no cumplen normas de seguridad, falta de calidad en los productos, diseños que usan tecnologías para las que no hay soporte adecuado en el país. En electrónica pueden tocarse temas como el uso de tecnologías obsoletas en el diseño de soluciones, diseños que usan componentes de mala calidad o diseño de aplicaciones prohibidas.
3. En general, todas las especialidades pueden dramatizar situaciones que son típicas

de cualquier ingeniería: rutina, falta de espíritu crítico, entre otras.

4. Es conveniente que el grupo se reúna y escriba un bosquejo de la representación que van a efectuar; que cada integrante se aprenda de memoria el papel que le toca representar y no tenga que leer nada durante la actuación.
5. No se aceptará que solamente una persona del grupo asuma todos los papeles, o que algunos hablen muy poco. Todos deben actuar por igual.
6. En ningún momento se deberá explicitar con palabras o con gestos la actitud que está representando. La audiencia debe intuirlo mediante el desarrollo de la obra; por ejemplo, no se admite que en una parte de la dramatización de la actitud investigativa se use esta palabra.
7. Adicionalmente, cada grupo evaluará la actuación de otro grupo. Esta parte tiene por objeto poner en práctica una de las actitudes que deben poner en funcionamiento en muchas situaciones: la imparcialidad. Re-

cuerden: quienes está dramatizando son sus compañeros (es posible que algo más), pero eso no debe impedir que ustedes obren con imparcialidad.

### Procedimiento

1. El nombre de la actitud que deberán representar se les enviará por correo electrónico.
2. Enviarán el nombre de la dramatización, así como un breve resumen de la misma, en la fecha y hora que se indicará oportunamente. Se deberá enviar por correo electrónico.
3. El nombre de los grupos que serán evaluados, así como los evaluadores se conocerá con anticipación a la evaluación. Llegará por correo electrónico.
4. El formato de evaluación que cada miembro del grupo evaluador deberá llenar y entregar vía correo electrónico, se enviará también por este medio.

## Referencias bibliográficas

1. KOEN, Billy Vaughn, *Definition of The Engineering Method*, American Society for Engineering Education, Washington, D.C., 1985.
2. WRIGHT, Paul H., *Introducción a la ingeniería*, Addison Wesley Iberoamericana, Wilmington, 1994.
3. LOVE, Sydney F., *Planning and Creating Succesful Engineered Designs*, Advanced Professional Development Inc., 1986.
4. LANDIS, Raymond B., *Studying Engineering*, Legal Books Distributing, Los Angeles, 1995.
5. QUINN, Robert G., *The Fundamentals of Engineering: The Art of Engineering*, Dept. of Electrical Eng., Drexel Univ., Filadelfia, 1994.

# 4

## Mediciones, cálculos y toma de decisiones

*"No se preocupen si tienen dificultades con las matemáticas; les puedo asegurar que las mías eran mayores".*

*Einstein, Albert (1879-1955)*

### Objetivos generales

- Comprender la importancia de las mediciones en ingeniería.
- Aprender a asignar las cifras significativas en forma correcta.
- Aprender a tomar decisiones con información insuficiente.

### Objetivos específicos

- \* Utilizar correctamente las unidades del sistema internacional de medidas.
- \* Efectuar conversiones entre el sistemas inglés y el métrico.
- \* Utilizar solamente las cifras significativas necesarias.
- \* Calcular la probabilidad de sucesos sencillos.
- \* Usar la tabla de distribución de probabilidad.

# N

## 4.1. Introducción

o es posible imaginarse la ingeniería sin números; poseer la habilidad numérica en un elevado grado es un requisito indispensable para tener éxito como ingeniero. El aspirante a ingeniero debe adquirir una gran cantidad de conocimiento relacionado con la matemática: álgebra superior, cálculo infinitesimal, ecuaciones diferenciales, matemáticas discretas, entre otras. Se exige que sea ágil mentalmente en sus cálculos, que aprenda algunos atajos para llegar a los resultados rápidamente, con una aceptable exactitud. Que use el sentido común cuando tenga que dar una respuesta numérica; que no dé menos de lo necesario, pero no más de lo que pueda garantizar.

Una gran parte de la información que usará provendrá de mediciones que siempre traen algún error; asimismo, deberá tomar decisiones con información incompleta, lo que le obligará a tomar riesgos. Todo esto es parte del quehacer diario en la vida de un ingeniero. Necesita prepararse para enfrentar estos desafíos. Debe adquirir determinadas habilidades que le permitirán tomar sus decisiones con un riesgo calculado.

Para alcanzar estas habilidades, nuestro estudiante debe familiarizarse con conceptos básicos que tendrá que aplicar durante toda su vida de ingeniero. Estos conceptos son parte de su formación.



Pirámides de Egipto, maravilla del mundo y una de las más grandes obras de la ingeniería antigua.

## Caso 1. Continental de Motores S.A.

Trabajo en la empresa Continental de Motores S.A. desde hace 11 años y soy en la actualidad el gerente de Producción de la planta que fabrica válvulas para motores de combustión. Inicialmente, esta empresa se dedicó a la remanufactura de motores y equipo pesado (véase figura 4.1); posteriormente amplió sus negocios a otras áreas. Mi vinculación con la empresa data de los tiempos en que yo era estudiante de ingeniería mecánica en la Universidad Estatal y tuve que realizar mi práctica industrial. Una vez graduado como ingeniero, entré a trabajar como asistente del gerente de Repuestos durante dos años. Al final de este periodo remplacé a mi superior y permanecí en esa posición los siguientes cuatro años. Cuando la empresa decidió ampliar sus negocios y montó la planta para producir válvulas para motores de combustión, fui nombrado su gerente, cargo en el que aún permanezco. Dependo directamente del gerente General, que en la actualidad es el hijo del fundador de la empresa.



Figura 4.1. Camión para remanufactura.

Continental de Motores S.A. fue fundada hace 23 años por don Pedro Hernández, mecánico de profesión que amasó una respetable fortuna reconvirtiendo camiones del ejército, adaptándolos a usos civiles y vendiéndolos posteriormente a los particulares. Su hijo mayor, ingeniero mecánico con un master en administración de empresas industriales, continuó con el negocio del papá, mejoró las operaciones existentes, inició otras y suprimió las que ya no tenían futuro. De empresa familiar pasó a sociedad anóni-

ma, en la que la familia seguía conservando el control; posee más del 70% de sus acciones. Este paso de empresa familiar a sociedad anónima fue preciso darlo por la necesidad de reunir capital para la ampliación de la planta (véase figura 4.2) y la inclusión de nuevas líneas de producción.

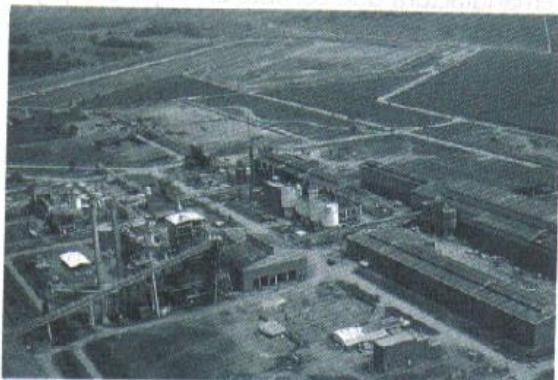


Figura 4.2. Planta de remanufactura.

El ingeniero Pedro Hernández, hijo, es una persona con una amplia visión para los negocios, además de una sólida preparación técnica. La afición a la mecánica que heredó del papá la consolidó con una brillante carrera en la universidad. Cuando se graduó remplazó a su padre en muchas de sus funciones técnicas, pero inmediatamente se dio cuenta de que necesitaba una mayor preparación en el área administrativa y financiera para poder sortear exitosamente los retos de la globalización de la economía a escala mundial. Estudió durante dos años en la Universidad de Harvard, de la que regresó con un master en administración de empresas industriales, especialización que escogió por ser la que más le servía para dirigir los negocios de la familia. Potenció la línea de remanufactura de motores de todo tipo, así como de equipo pesado de construcción y minería, pues se había dado cuenta de que éste era y seguiría siendo un excelente negocio; mediante convenios con la General Motors Company, GMC, inició la fabricación de un motor de camión adaptado a las condiciones

de transporte de las carreteras de los países andinos; asimismo, puso a funcionar una planta para la fabricación de válvulas para motores con el fin de probar la rentabilidad de este segmento.

## Remanufactura de motores

Si bien inicialmente se reconstruían los motores y equipo usado, posteriormente se cambió a su remanufactura que consiste en dejar el equipo usado con las mismas especificaciones o mejores aun que el equipo original. Para realizar esto es necesario desarmar completamente el motor, lavarlo para eliminar completamente la grasa, examinar sus partes principales (cilindros, por ejemplo) con aceite de alta presión para detectar fisuras en sus paredes, medir todos los componentes y compararlos con las dimensiones originales y determinar si se pueden maquinar o deben remplazarse por nuevos componentes. Una vez realizadas todas las operaciones del caso, se vuelve a armar y se someten a pruebas para garantizar que el motor igualará o superará las especificaciones originales.

Comprar un motor remanufacturado tiene ventajas sobre la compra de uno original. En primer lugar, es más barato; en segundo lugar, muchos motores remanufacturados son construidos varios años atrás usando materiales más resistentes que prometen mayor duración que los que se fabrican en la actualidad. Adicionalmente, los motores son armados individualmente por operarios capacitados, y no como uno más en una línea de ensamble. Finalmente, cada motor se somete a las pruebas más exigentes con el fin de pasar las normas de calidad impuestas por las asociaciones internacionales del ramo. Se podría añadir una razón adicional: es una alternativa a la contaminación ambiental producida por los miles de motores que se encuentran en los botaderos de basura industriales.

La remanufactura empieza con la compra de motores usados, como el de la Figura 4.3; con ese fin se firmaron contratos con los principales fabricantes de automóviles en el mundo, por medio de los cuales nos vendían los motores que por alguna razón no iban a parar

to de la industria de partes para automotor. Designó a competentes ingenieros en las gerencias de todas las líneas de la empresa y él se reservó la Gerencia General.

a la línea de ensamble. También se firmaron acuerdos con las empresas aseguradoras de vehículos para tener opción preferencial por los motores de los autos que eran declarados pérdida total después de un accidente. De esta manera se disponía de una fuente segura de motores para la remanufactura. También se debía tener proveedores de repuestos de primera calidad para usarlos en los motores cuando fuera necesario. Aquí se tuvieron algunas dificultades inicialmente, pues en varias ocasiones los repuestos que se compraron no sirvieron, pues no cumplían las especificaciones exigidas.

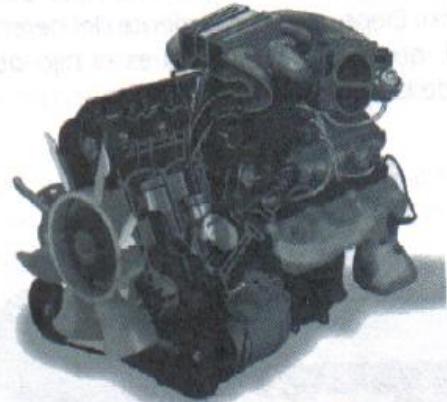


Figura 4.3. Bloque de motor.

Como gerente de la planta de remanufactura viajaba continuamente a visitar empresas de Inglaterra y de Estados Unidos que estaban haciendo lo mismo que nosotros, con el objeto de intercambiar experiencias y analizar nuevas técnicas para hacer más eficiente nuestros procesos. De forma reciproca, continuamente estábamos atendiendo visitantes de otros países que deseaban instalar factorías similares a la que nosotros habíamos logrado poner a funcionar exitosamente.

En los tres años que duré dirigiendo la planta logré duplicar la producción de motores remanufacturados; de 50 motores semanales se

pasó a 102, con un incremento en los costos fijos de solamente el 27%. De igual manera, se logró disminuir el porcentaje de los costos variables de 65% a 52%, mediante optimización de procesos, uso de técnicas del tipo *just in time*, introducción de incentivos laborales, capacitación permanente de los operarios, entre otros. Como reconocimiento a mi labor se me concedió un mes de vacaciones pagadas; yo elegiría el lugar a donde quisiera viajar. A algunos les

## Partes y repuestos

Una vez que regresé de mi fabuloso viaje entré a trabajar como director de la División de Partes y Repuestos. Había problemas con esta sección de la empresa; yo mismo lo había experimentado durante mi permanencia en la planta de remanufactura: pedidos que no llegaban a tiempo, órdenes equivocadas, partes que no cumplían las especificaciones, confusión entre las dimensiones en pulgadas y en milímetros, entre otros.

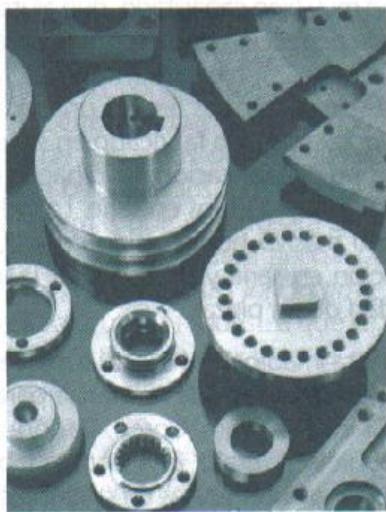


Figura 4.4. Partes y repuestos.

Mi primera tarea fue poner en orden la casa, como se dice familiarmente. Tuve una reunión en mi oficina con el coordinador de la Sección de Sistemas y le pedí un informe sobre las razones de las fallas en el suministro de los repuestos, así como de las necesidades que su oficina tenía, tanto de hardware como de soft-

puedo parecer una locura pero mi decisión fue ésta: viajar por avión a Lisboa y tomar allí el tren que pasando por Madrid y París me permitiría abordar el Tren Transiberiano, hasta Pekín, atravesando Rusia, Siberia, Manchuria para finalmente cruzar China y llegar a su capital. De ahí tomaría un avión y, pasando por Tokio, llegaría a Los Ángeles desde donde enlazaría con la aerolínea nacional y regresaría nuevamente a casa. Total: la vuelta al mundo en 30 días.

Le pedí que me diera una lista de proveedores de repuestos y partes, así como de los que se habían presentado y las causas de los mismos. Finalmente, cambié al jefe de la Sección de Almacén, pues eran tantas las quejas que se tenían de él que no merecía la pena mantenerlo en el puesto. Nombré como remplazo temporal a su asistente, al que yo conocía y del que tenía buenas referencias. De funcionar bien durante el período de prueba, lo ratificaría en el cargo. Le pedía que me escribiera un minucioso informe sobre los problemas que enfrentaba su oficina, así como las soluciones que él veía como viables para arreglar los problemas a corto plazo, así como soluciones a largo plazo.

La industria manufacturera moderna se basa en el principio de la *intercambiabilidad*: una máquina compleja se compone de varias piezas, cada una de ellas se fabrica en diferentes líneas de producción, por diferentes máquinas y diferentes operarios. Lo que hace que las piezas producidas en diferentes lugares y tiempos logren ensamblarse y funcionar como un conjunto son las especificaciones técnicas de las mismas, así como las tolerancias en sus dimensiones. Por ejemplo, en el cuadro 4.1 se aprecian las dimensiones de un pistón de carro, las de su respectivo cilindro y la holgura que debe existir entre la pared del cilindro y la superficie externa del pistón.

Cuadro 4.1. Tolerancias entre el pistón y el cilindro (interno)

Pistón	Cilindro	Holgura (mm)
Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	
$73,985 \pm 0,005$	$74,015 \pm 0,005$	$0,03 \pm 0,01$

Si el diámetro exterior del pistón que se introduce en el cilindro de un motor es de  $73,985 \pm 0,005$  mm, quiere decir que de la línea de producción de pistones son aceptables aquellos que salen con dimensiones que van desde 73,98 mm a 73,99 mm. Si por alguna circunstancia se fabrica un pistón con un diámetro de 74,00 mm, éste se rechaza por no estar dentro de las tolerancias permitidas. Es posible que este pistón pueda tornearse y mediante el rebanado de 0,01 mm pueda recuperarse. Pero si, en el caso contrario, un pistón sale con diámetro de 73,97 mm no hay remedio para él: debe ser desecharlo y posiblemente fundido para su uso posterior.

La pieza receptora del pistón, el cilindro, debe tener unas dimensiones internas compatibles con las del pistón: su diámetro interno debe estar entre 74,01 mm y 74,02 mm para poder recibir los pistones fabricados en la otra línea de producción. La distancia entre las dos paredes se denomina *holgura* y, para el presente caso, la holgura aceptada va desde 0,02 mm a 0,04 mm. Cuanto más pequeñas sean las tolerancias (menores las holguras) con que se fabrican las partes, más costoso es el proceso para producirlas, pues se necesitan máquinas más precisas, así como más tiempo para lograr las dimensiones especificadas. Por otro lado, cuanto más pequeñas son las tolerancias de fabricación más ajustan las piezas entre sí, logrando un funcionamiento más suave del conjunto y una vida más larga. Todos hemos oído que algunos automóviles alemanes se hacen por encargo, lo que implica que cada pieza se fabrica con las dimensiones exactas de su otra pieza compañera y que el conjunto trabaja sin tolerancias: las diferencias se eliminan a punta de lima. Lógicamente que estos automóviles cuestan varias veces lo que los fabricados en serie.

La idea de la fabricación en serie se atribuye a Eli Whitney, quien consiguió un contrato para fabricar 10 000 mosquetes para el ejército de Estados Unidos en 1801. Mediante un revolucionario proceso, fabricó cada una de las partes del mosquete por separado, en serie, pero asegurando que las dimensiones finales estuvieran dentro de unos límites. Delante del presidente Thomas Jefferson colocó en una mesa montones separados con las partes de 10 mosquetes; tomó al azar partes de cada uno de los montones y fue armando los 10 mosquetes. Una vez armados se pudo comprobar que todos funcionaban perfectamente. Hasta ese día un mosquete se fabricó por una sola persona, un operario muy bien capacitado, que ajustaba cada pieza a la perfección hacia todos los acabados a punta de lima. Si bien un mosquete fabricado en estas circunstancias tendrá una vida de uso mayor que la de uno fabricado en serie, su costo y tiempo de fabricación no lo hacen competitivo con los producidos en serie. La industria de consumo masivo hubiera sido imposible sin la fabricación en serie y sin asegurar la intercambiariedad de las piezas.

Ahora imaginemos el actual mercado mundial de automóviles y de repuestos para los mismos. China, Taiwán, Corea, Japón, EE.UU., Unión Europea, Brasil, entre otros, fabrican repuestos para automóviles en diferentes plantas, por diferentes máquinas, usando por ejemplo mano de obra con distintos niveles de calificación. Sin embargo, salvo contadas excepciones, un pistón brasileño encaja perfectamente en un cilindro fabricado en la India. Un cojinete fabricado en Suecia entra perfectamente en el eje de un alternador fabricado en Rusia. La respuesta se encuentra en que todos los fabricantes siguen normas internacionales de fabricación en las que se establecen claramente los tipos de

materiales que se deben usar, el acabado final de sus superficies, las dimensiones a lo largo de sus ejes, las dimensiones máximas y mínimas, las tolerancias, los límites de temperaturas entre las que una pieza puede trabajar, etcétera. Cuando un fabricante se sale de esas normas bien sea deliberadamente o por descuido, sus repuestos entran en conflicto con las restantes piezas y repuestos de otros fabricantes y, por ley del mercado, salen de circulación. El principal problema con los repuestos radica en que algunos fabricantes americanos todavía siguen indicando las medidas en unidades del sistema británico: pulgadas, medias pulgadas, y octavos de pulgada. La conversión de pulgadas a mm siempre deja el problema de cuántas cifras deben conservarse en el resultado para que las dimensiones en mm o en pulgadas sean equivalentes en todo. Solicité a la Sección de Sistemas que me hiciera un programa para convertir de un sistema a otro, de modo que no se generaran diferencias por los cálculos de conversión.

Pronto me llegó el informe de la Sección de Sistemas; pude apreciar inmediatamente que teníamos existencias enormes de repuestos que se usaban muy poco; por el contrario, aquellos que se utilizaban continuamente estaban con un nivel de existencia muy bajo. En general, los inventarios de repuestos de la empresa no se encontraban balanceados. Le solicité al coordinador de Sistemas que desarrollara un modelo de inventarios que permitiera aplicar las técnicas modernas de suministro *just in time*, con el fin de asegurar que los repuestos que se necesitasen para determinada actividad se encontraran disponibles ni antes, ni después: exactamente cuando se requerían. Esta medida buscaba rebajar los niveles ociosos de inventarios (dinero que no estaba haciendo nada, sino perdiendo poder adquisitivo), disponer el espacio sobrante de las bodegas para fines más productivos y disminuir la planta de personal asignado al manejo de los repuestos.

Unos días después se presentó el coordinador de Compras con un informe muy completo de los proveedores, con marcas de repuestos, precios, condiciones de pago, entre otros. Al examinar las listas de los fabricantes me di cuen-

ta de que muchos de los nombres que allí figuraban me eran completamente desconocidos; comparé esta lista con la World Automotive Spare Parts Suppliers y constaté que estábamos comprando repuestos muy baratos y, no hay duda, de baja calidad. Aunque nuestros precios pudieran ser inferiores a los de la competencia, corríamos el riesgo de perder la confianza del mercado por fallas prematuras en los equipos que vendíamos. Asimismo, observé que las condiciones de pago que nos habían impuesto los proveedores no eran las típicas del mercado; nos pedían pago de contado inmediato o a 30 días, cuando en el mercado era aceptable el pago de contado a 60 días. Finalmente, los descuentos que nos estaban dando por pago de contado y por compra en grandes volúmenes eran muy inferiores a los que deberían ser; por ejemplo, si en el comercio estaban descontando el 22%, a nosotros nos daban solamente del 10%. ¿A dónde iba a parar el otro 12%? Todo esto me estaba causando la impresión de que la corrupción se había apoderado de nuestra Sección de Compras, por lo que decidí buscar con calma una persona competente y de confianza para el cargo. Mientras tanto, yo asumiría personalmente la coordinación de las compras. Le pedí al coordinador que me facilitara una lista de todos los proveedores de repuestos de la región, así como los más importantes a nivel internacional, para analizar la sustitución de nuestros actuales proveedores por otros que nos vendieran repuestos de calidad, a precios justos, condiciones de venta normales y descuentos proporcionales a los volúmenes comprados y a la forma de pago.

El coordinador del Almacén también me presentó un informe sobre los procedimientos de su sección para despachar los repuestos que se pedían en la planta de producción. Pude observar la ineficiencia, pérdidas de tiempo, duplicación de funciones, trámites innecesarios, entre otros, que explicaban por qué los repuestos no llegaban a tiempo a las líneas de ensamble. Le solicité a un especialista en organización y métodos que me elaborara un diagrama de procesos donde se optimizara el tiempo entre el momento en que se pedía un repuesto y el momento en que lo recibía la persona que lo había pedido.

Después de esta reorganización me dediqué a supervisar que las normas establecidas se cumplieran a cabalidad. No es fácil cambiar el *modus operandi* de las personas, máxime cuando los cambios les afectan negativamente. Sobre todo, la Sección de Compras me costó más de un disgusto ponerla sobre rieles y eliminar los focos de corrupción. Encontré una contadora que había estado trabajando en una firma internacional de auditores; me la recomendaron por ser buena trabajadora y honrada. Pasó la entrevista que le hice y la nombré en el cargo de coordinador de Compras; la mandé a un curso de Gerencia de Compras y ya con este conocimiento pudo dirigir perfectamente su sección.

A la Sección de Sistemas se le dotó de nuevos equipos de computación, se instaló una red de área local de alta velocidad, HLAN, que conectó todas las oficinas de la empresa, incluyendo la planta, las bodegas y demás espacios. Se adquirió un software para el manejo integral de todas las actividades de la organización: administración, producción, ventas, compras, inventarios, clientes, proveedores, entre otros. Nos costó más de US\$5 millones, pero después de un año de sufrir con la capacitación de los empleados y con la adaptación de los procesos administrativos a las nuevas tecnologías, la información en la empresa fluía de una manera ágil. Los frutos se vieron inmediatamente: los costos en los inventarios bajaron, los tiempos perdidos en la planta por falta de repuestos desaparecieron prácticamente, las quejas de los clientes por fallas en los productos que habían comprado dejaron de presentarse, etcétera. Se podría decir que la inversión que se efectuó se recuperó en menos de dos años, tiempo récord en cualquier parte del mundo.

Aunque nunca me había imaginado que fuera a trabajar algún día como administrador, debo confesar que me gustó; lo que no me gustó fueron los momentos en que tenía problemas con las personas. Alguien dijo que es un millón de veces mejor tratar con máquinas que con personas. Quizás se refería al hecho de que cuando una máquina crea problemas con solo desconectarla de la energía se acaba el problema. Pero no sucede lo mismo con la compleja naturaleza humana.

## Planta de producción de válvulas para motores

Durante el tiempo que estuve encargado de la División de Partes y Repuestos se me ocurrió la idea de que la empresa se encargara de fabricar los repuestos que ella consumía; principalmente los que se necesitaban más. Además de ayudar a la industria nacional, se podrían generar más empleos, exportar para generar divisas y crear conocimiento por las experiencias que se generarían en el proceso.

La idea se planteó en una reunión de la junta de accionistas de la empresa; se analizó detenidamente y se encomendó a una comisión técnica que hiciera un estudio de mercado, de viabilidad técnica y económica. Después de varios meses, la comisión rindió su informe en el que se recomendaba que se diera luz verde al proyecto; también sugería que se iniciara la producción de repuestos con el de válvulas para motor (véase figura 4.5), por considerar que era relativamente fácil de producir, con un amplio mercado internacional y con bajos costos de producción. La junta dio su visto bueno al proyecto y yo fui encargado de llevarlo a cabo.

Se usaría una de las bodegas rescatadas de la Sección de Repuestos; a la Oficina de Proyectos se encargó del diseño de la planta, la identificación de los equipos necesarios, el diseño de los procesos, entre otros.



Figura 4.5. Válvulas.

Al cabo de cuatro meses la planta estaba lista para producir. Mientras se realizaban las obras civiles e industriales y se armaba la línea de producción se mandaron algunos técnicos de la empresa a especializarse en una planta similar en la India. Se había contratado una asesoría con la firma india Engine Valves Limited, que se había comprometido a capacitar a nuestros operarios, así como dirigir el proceso de montaje de la planta en unión con nuestra Oficina de Proyectos. Yo también estuve en Bombay durante dos semanas aprendiendo los aspectos principales que debe tener en cuenta un gerente de Producción de esos repuestos.

Las válvulas constituyen la parte principal a través de la cual respira el motor de un automóvil. La mezcla de aire y gasolina que proviene del carburador se introduce al cilindro por la *válvula de admisión*; en este tiempo el pistón se mueve hacia abajo y crea una succión que ayuda a la entrada de la mezcla explosiva. Una vez que el cilindro se llena, el pistón empieza a comprimir la mezcla, para lo cual se cierra la válvula de admisión. Cuando el pistón llega a su punto más alto, la bujía emite una chispa que hace que la mezcla explote y empuje el pistón hacia abajo. Este es el tercer tiempo. Cuando el pistón regresa nuevamente hacia arriba (cuarto tiempo) empuja los gases de la combustión hacia afuera a través de la *válvula de escape*. Es especialmente importante que cuando se reanuda el ciclo descrito, el cuerpo del cilindro se halle libre de los gases de la combustión para que la mezcla de aire-gasolina llene todo el volumen. Por eso se afirma que las válvulas deben diseñarse para que la entrada de la mezcla y la salida de los gases se realice en el menor tiempo posible. El problema se presenta principalmente cuando el motor gira a un elevado número de revoluciones; entonces, el tiempo entre la entrada de la mezcla y la expulsión de los gases es tan pequeño que si el sistema de válvulas no se diseña correctamente el motor trabaja en forma inefficiente.

Los motores actuales tienen cuatro válvulas por cilindro: dos de admisión y dos de escape. Los motores antiguos tenían solamente dos válvulas. Algunos motores se diseñaron con tres. Un motor de seis cilindros, un V6 por ejemplo, tiene 24 válvulas. En la figura 4.5 se aprecian algunas válvulas. Se usa acero aleado con cro-

mo y níquel para darle a la válvula la resistencia necesaria y soportar las tremendas fuerzas, las altas temperaturas ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) y la corrosión generada por los gases de la combustión. Normalmente, las válvulas de escape son de mayor tamaño que las de admisión. Para lograr un cierre perfecto del conducto que controlan, la par-

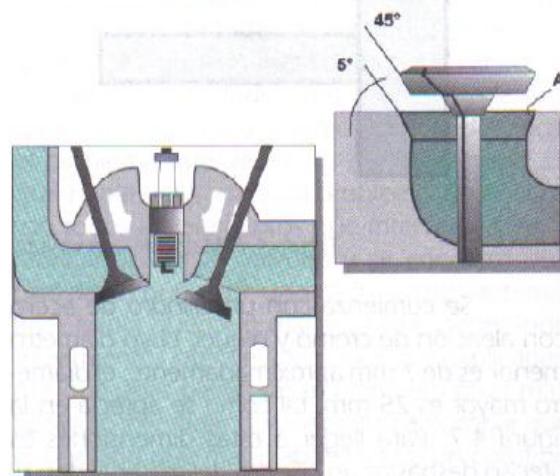


Figura 4.6. Detalle de los bordes de una válvula y la forma como la operan.

te inferior de las mismas se trabaja en forma de chaflán, con un borde inclinado en un ángulo de  $45^{\circ}$ . En la figura 4.6 se aprecia el sello del conducto, así como el ángulo de la válvula.

El conducto posee una garganta que ha sido cortada con un ángulo de  $45^{\circ}$ ; cuando la válvula se cierra las dos superficies entran en contacto y sellan el paso de los gases o de la mezcla. Si el ángulo fuera diferente, las dos superficies no entrarían en un contacto suficiente y eso haría que el sellado no fuera hermético. Para comprobar si la superficie de cierre es la correcta se untá la base del cilindro con una pasta especial; se cierra la válvula y después se observa la marca que la pasta deja en la superficie de la misma. Si resulta un anillo circular continuo de un espesor entre 1,00 mm y 1,30 mm se acepta como correcto.

Para la producción de las válvulas se utiliza un torno automatizado asistido por computador; éste ha sido programado con anticipación y se señalan los distintos pasos que se deben llevar a cabo y las operaciones para ejecutar sobre el

material del que se fabricará la válvula. El computador posee toda la información acerca del material y las dimensiones de la válvula, así como los cortes que debe efectuar para llegar a las dimensiones finales requeridas.

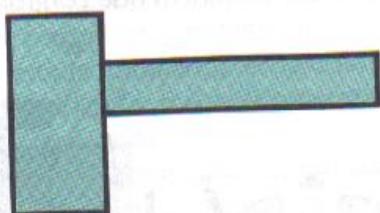


Figura 4.7. Matriz de una válvula.

Se comienza con un cilindro de acero con aleación de cromo y níquel, cuyo diámetro menor es de 7 mm aproximadamente; el diámetro mayor es 25 mm, tal como se aprecia en la figura 4.7. Para llegar a estas dimensiones es preciso desbastar un cilindro del material descrito hasta dejarlo de las dimensiones indicadas.

Con estos elementos se alimenta un torno automático, el cual realiza las operaciones que se indican en el diagrama que aparece en la figura 4.8.

La primera operación consiste en darle el perfil a la parte gruesa del elemento hasta que adopte el que debe presentar la válvula; esto se logra con múltiples pasadas de la herramienta del torno que es de un material más duro que el del elemento. En esta operación se le da el ángulo de 45° a la base de la válvula. Cuando las dimensiones coinciden con las que el computador posee en sus registros, se pasa a la siguiente operación. Esto se hace sin intervención humana; simplemente el torno cambia la herramienta y alisa la base de la válvula. Finalmente, se alisa la punta del vástago y se abre el surco que permitirá fijar el vástago de la válvula al elemento del motor que la mueve.

Finalizada esta operación, la válvula se almacena en un depósito antes de ser empacada y enviada a los distribuidores de repuestos. Previamente se someten a pruebas de control de calidad.

### Maquinado de una válvula de motor

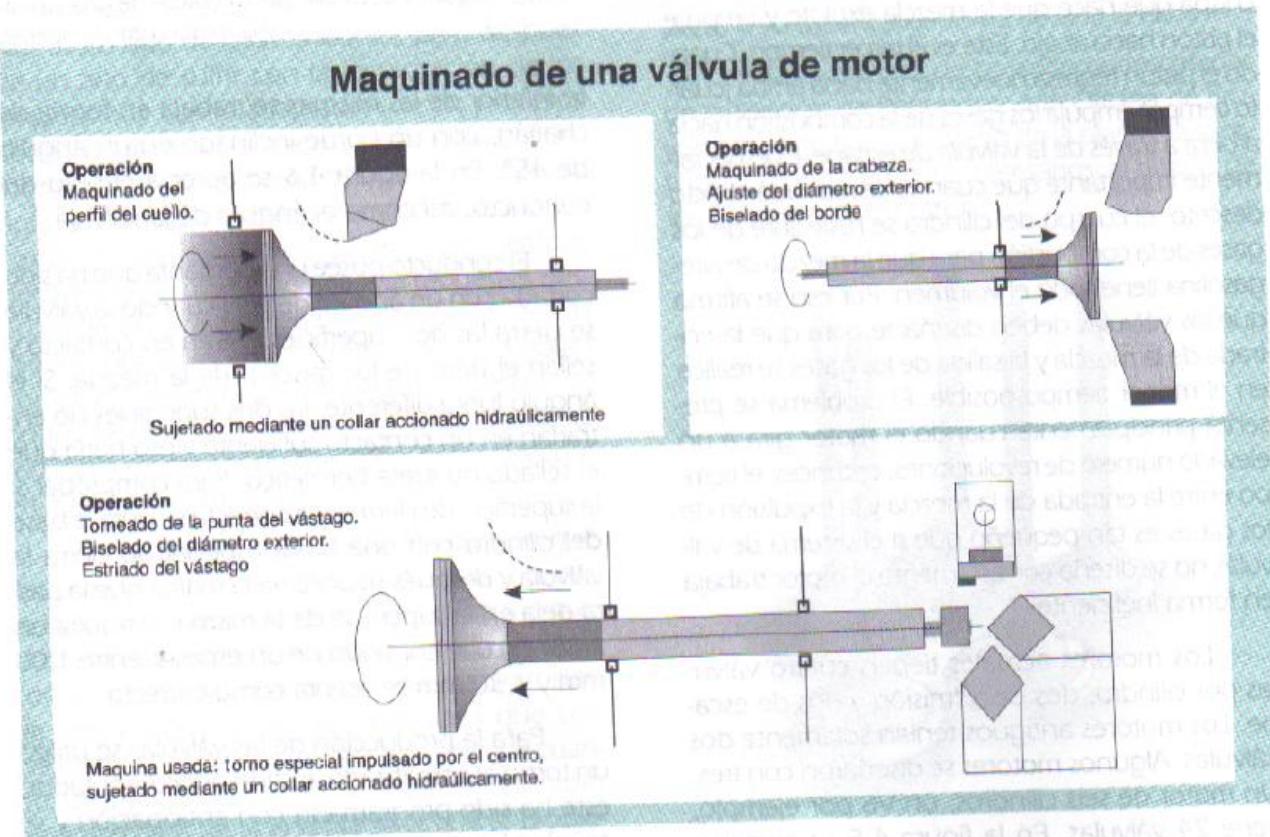


Figura 4.8. Diagrama que muestra las fases del maquinado de una válvula partiendo de la matriz.

No se puede decir que la planta productora de válvulas funcionó sin contratiempos; hubo los consabidos problemas iniciales hasta que los operarios afinaron los procesos, se familiarizaron con las máquinas y seleccionamos los distribuidores adecuados para la materia prima. Después de un tiempo, las cosas iban tan bien que se bajó la guardia y como consecuencia empezaron a presentarse problemas que nos causaron más de un dolor de cabeza, especialmente a mí. Me acuerdo de un caso en especial, en el que me tocó poner en práctica muchas de las enseñanzas que había recibido en la universidad y de las que hasta entonces no había echado mano.

Me entregaron un informe en el que me indicaban que el último lote de válvulas producidas mostraban una tasa de rechazo muy superior a lo normal; es decir, cuando se realizaron las pruebas de control de calidad, el porcentaje de válvulas rechazadas superaba el 35%, cifra absurda en estos casos. Sospechando que hubiera un error en las pruebas, ordené que se repitieran y que me mantuvieran informado. Se trataba de un lote de más de 300 000 válvulas especiales que había pedido un ensamblador de automóviles de Argentina, con unas especificaciones un tanto diferentes a las habituales. Por la tarde, me pasaron el informe de las nuevas pruebas en el que se reconfirmaba el problema inicial. Esta vez me tocó ir personalmente a la planta y hablar con el encargado de control de calidad. Le pedí que me explicara el procedimiento seguido, el tamaño de la muestra usado, el nivel de confianza de los resultados, entre otras. Estaba haciendo uso de todos los conocimientos de los cursos de estadística y control total de la calidad.

Las explicaciones dadas fueron suficientes; tanto la metodología como los parámetros usados en los cálculos eran correctos, por lo que había que aceptar la amarga realidad que estábamos ante un verdadero problema. Me mostraron algunas de las válvulas que no habían pasado las pruebas; se habían realizado diversos ensayos: colocándolas en un motor real y midiendo la potencia del mismo, untándolas de pasta y midiendo la marca que dejaban, midiendo el ángulo de la base para ver si coincidía con

los 45° especificados. Se había variado el tamaño de la muestra para llegar a resultados más confiables; por todas partes se confirmaba que en la fabricación del lote había pasado algo anormal y la consecuencia era un número altísimo de válvulas rechazadas.

Convoqué urgentemente un comité con los directores de todas las secciones de la fábrica que de alguna manera tenían que ver con el problema y nos dedicamos a encontrarle una solución. Lo primero que hicimos fue identificar el problema que debíamos resolver; averiguar qué había ocasionado el problema. Se analizaron todos los elementos que intervenían en la fabricación de las válvulas y se encontró que uno de los buriles de uno de los tornos automáticos había quedado mal ajustado, generando movimientos laterales aleatorios que explicaban por qué unas piezas salían bien pero otras mal. Se siguió investigando y se pudo comprobar que el operario que manejaba el torno en cuestión había reportado dificultades con el portaherramientas de ese torno; sin embargo, su informe no había seguido el curso normal pues el supervisor de turno había enfermado durante esos días y no se habían procesado las órdenes adecuadamente. Se llamó a un técnico de la empresa fabricante de los tornos para que diera su opinión sobre el problema; su dictamen corroboró lo que nosotros ya habíamos establecido: el ajuste flojo del buril había ocasionado la enorme cantidad de piezas rechazadas. Después de cambiar el portaherramientas se hicieron algunas pruebas que resultaron exitosas. Causa del problema conocida. Problema aún sin resolver.

Se trataba de establecer cómo íbamos a cumplirles a nuestros clientes. El despacho debería llegar en los próximos dos días o podríamos ser demandados, pues en el contrato se especificaba claramente la cláusula penal en caso de incumplimiento de la entrega. En dos días no podríamos fabricar las 300 000 válvulas, pues no teníamos la materia prima necesaria en la cantidad requerida. Había sobrado algo así como para fabricar unas 100 000 válvulas, pero no 300 000. Se pidieron ideas y cada uno de los presentes dio su opinión. Las ideas que se barajaron fueron las siguientes:

- Fabricar las 300 000 válvulas nuevamente, sin importar las multas que se deberían pagar.
- Entregar el lote tal como estaba y asumir las consecuencias.
- Fabricar 100 000 válvulas nuevas y remplazar al azar 100 000 de las del lote y entregar el pedido.
- Eliminar las válvulas malas y remplazarlas por nuevas y buenas.

Yo tenía que tomar la decisión; los criterios que debería usar para decidir eran mantener el buen nombre de la empresa, cumplir honestamente con nuestro compromiso y hacer todo esto al menor costo para la compañía.

La primera propuesta era la más costosa; además de tener que fabricar las 300 000 válvulas con cargo a nosotros, deberíamos pagar las multas por incumplimiento de contrato. El proponente argüía que si se trabajaba día y noche durante tres días era posible que se cumpliera el plazo estipulado. Pero había un problema: no nos alcanzaba la materia prima. Si se pedía el faltante ahora, pasarían dos días en el mejor de los casos hasta que llegara. Era poco probable que pudiéramos cumplir esta propuesta.

La segunda implicaba una actitud deshonesta de nuestra parte; sabiendo que el lote incumplía abiertamente las normas de calidad que estábamos garantizando, nos exponíamos a perder un buen cliente, el nombre de la compañía y demandas millonarias por daños y perjuicios. Tampoco era aconsejable seguir esta línea de acción.

La tercera tenía más sentido. Si el porcentaje de rechazos era del 35% aproximadamente, el total de válvulas malas se acercaba a 100 000, cifra que podríamos fabricar en dos días. Se podrían enviar las 200 000 "buenas" ya y las otras 100 000 una vez que el lote estuviera listo. No habría problema con tiempos ni con multas y se habría salvado el buen nombre de la compañía a un costo razonable. Pero había un problema con la selección de las 100 000 que se iban a remplazar al azar, cuando se sabía que el lote de

las 200 000 restantes seguía teniendo una tasa de rechazo del 35%. Por tanto, era parecida a la propuesta número dos pero con un lote que en promedio tenía una tasa de rechazo menor.

Finalmente, la cuarta propuesta parecía la más sensata. Se analizaban todas las válvulas (¿cómo?), se cambiaban las malas por buenas y se enviaba el lote completo. El problema era el tiempo necesario para el análisis de todas las válvulas. En cuanto a la producción de los remplazos se dio la orden de empezar a producirlos; se pidió al Departamento de Ingeniería que elaborara un plan para la revisión de las válvulas, el tiempo estimado para llevarlo a cabo ya y el costo del mismo.

Los ingenieros electrónicos del Departamento de Ingeniería diseñaron una estación de pruebas para calibrar las válvulas; en lugar de medir el ángulo y comprobar si estaba dentro de las tolerancias ( $45^\circ \pm 1^\circ$ ) se pasaba la válvula por una estación que indicaba si cumplía o no la tolerancia, sin medir realmente el ángulo. En las plantas de producción se usan instrumentos de medida cuando se necesita saber con exactitud la dimensión de un objeto. Pero a veces se requiere solamente saber si una determinada pieza cumple o no las especificaciones del caso. Si cumple se acepta; de lo contrario se rechaza. Estos aparatos que permiten efectuar esta operación se denominan calibradores. Por ejemplo, si se desea comprobar que los resortes que impulsan las válvulas de un motor están dentro de las especificaciones impuestas por el fabricante del motor, se usará un calibrador como el que aparece en la figura 4.9.

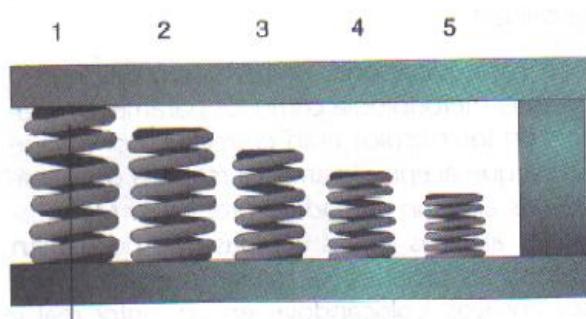


Figura 4.9. Calibrador de resortes.

Claramente se observa que si el resorte número uno es el de dimensiones correctas, los restantes no están dentro de las especificaciones establecidas y, por consiguiente, se rechazan. Por otro lado, si el deseo es establecer la medida promedio de un lote de resortes se recurrirá a un instrumento con el que se medirán las dimensiones de cada uno de los resortes del lote y de todas las medidas se sacará el promedio.

Los ingenieros electrónicos propusieron el ingenioso calibrador de ángulos de válvulas, que aparece en la figura 4.10. El funcionamiento del mismo es como sigue:

Un operario sujeta firmemente la válvula en un soporte que ha sido fijado previamente con gran exactitud. Un rayo láser incide directamente sobre el chaflán de la válvula; su reflejo golpea una célula fotoeléctrica conectada a un medidor de intensidad. Se ha calibrado el conjunto para que si el ángulo de la válvula se encuentra entre los límites permitidos ( $45^\circ \pm 1^\circ$ ) el rayo reflejado golpea la superficie de la celda. Esto genera un impulso de corriente que desplaza la aguja del medidor e indica que la válvula pasó la prueba y que es buena. Si el ángulo de la válvula se encuentra fuera del rango permitido, el rayo reflejado no encuentra la

celda fotoeléctrica y por tanto el instrumento medidor no señala nada; la válvula está mala. Una mejora a este diagrama fue propuesto por uno de los integrantes del Departamento de Ingeniería: en lugar de colocar una sola celda se proponía colocar tres, una al lado de la otra. Las distancias entre las mismas se calculaban fácilmente de acuerdo con el siguiente razonamiento: el procedimiento inicial, aunque bueno, descartaba las válvulas cuyo ángulo era superior a  $45^\circ$ , sabiendo que éstas podían ser pasadas por el torno y rebanadas hasta dejarlas dentro de las tolerancias. Podían aprovecharse. Las que tenían un ángulo inferior deberían remplazarse por nuevas. ¿Cómo distinguir las que estaban por debajo de las que estaban por encima? Simplemente colocando dos celdas adicionales: si el ángulo de la válvula era  $< 44^\circ$ , el rayo reflejado incidía sobre la celda de la izquierda: válvula irrecuperable. Si el rayo reflejado incidía sobre la celda del centro, válvula buena: no había que hacerle nada. Si, por el contrario, el rayo incidía sobre la celda de la derecha, ángulo  $> 46^\circ$ , la válvula podía ser ajustada rebanando un poco su superficie.

La idea no era mala, pero exigía un banco de calibración más sofisticado. Se pidió un estudio

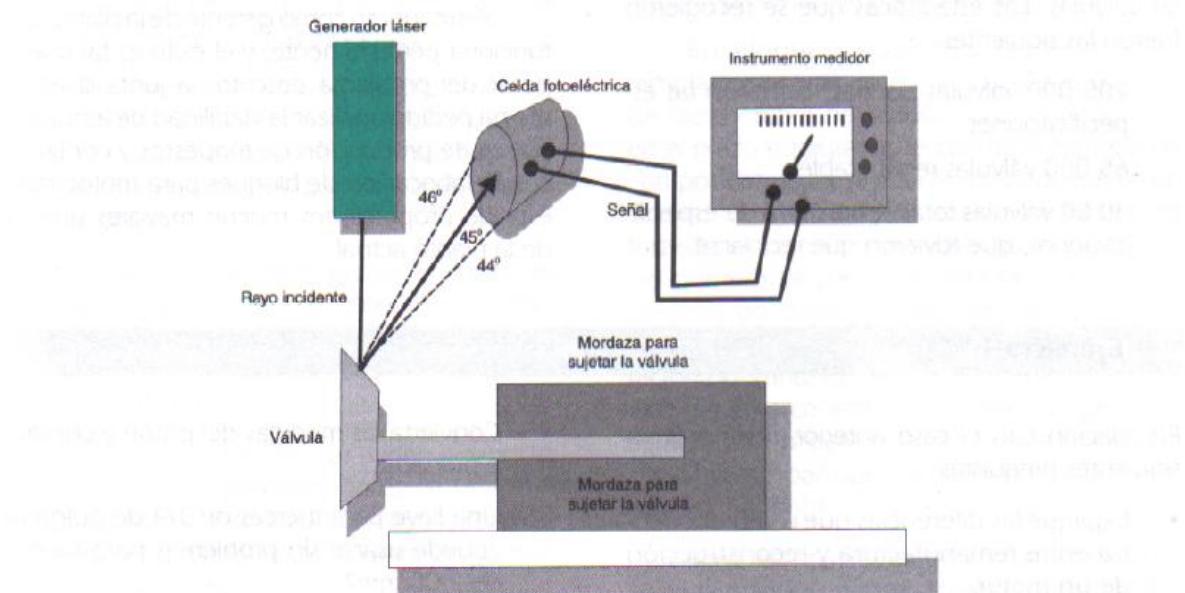


Figura 4.10. Croquis de la propuesta para medir el estado de las válvulas.

dio rápido sobre ventajas y desventajas de cada propuesta. Se llegó a la conclusión de que la segunda propuesta era mejor, pues permitía reducir los costos y el grado de dificultad en armar un banco de calibración no era tan complicado como se veía inicialmente. Se hicieron pruebas y se llegó a la conclusión de que un operario podría probar tres válvulas por minuto, en promedio. Es decir 180 por hora; trabajando 24 horas al día se podrían probar 4 320 válvulas al día. En dos días se probarían 4 340. Suponiendo un factor del 80% por descansos, fatiga, etcétera, se podrían probar casi 3 500 válvulas por operario y día. Para probar las 300 000 válvulas fue necesario armar 100 bancos de calibración. A pesar de los costos que eso representaba era la única opción que tenía la empresa para cumplir sus obligaciones y mantener el *goodwill*, ganado éste con mucho esfuerzo y dedicación a lo largo de tantos años.

No fue necesario armar los 100 bancos de prueba ya que se pudo comprobar que a medida que los operarios ganaban experiencia el número de válvulas que podían probar llegó a seis por minuto, y que esa productividad se mantenía por espacio de dos horas. Combinando turnos de dos horas de trabajo y dos horas de descanso se necesitaron solamente 50 bancos de calibración para cumplir la prueba de todas las válvulas. Las estadísticas que se recogieron fueron las siguientes:

- 205 000 válvulas buenas; cumplían las especificaciones.
- 65 000 válvulas recuperables.
- 30 000 válvulas totalmente fuera de especificaciones, que tuvieron que reciclarse.

El costo de recuperación de una válvula se calculó en US\$0,30, por lo que la recuperación de las 65 000 tuvo un costo de US\$19 500. Por otro lado, para armar un banco de calibración fue necesario adquirir los elementos y montarlos; cada banco costó US\$20, con lo que el costo de esta parte ascendió a US\$1 000. Finalmente, reponer las 30 000 válvulas irrecuperables tuvo un costo de US\$90 000 es decir US\$3,00 por válvula. Sumando todas las cantidades anteriores se llega a la cifra de US\$110 500. De no haberse tomado esta medida y haber incumplido el contrato, la multa hubiera sido de US\$180 000, es decir el 10 % del valor del contrato que era de US\$1 800 000. El costo de salir del problema fue menor que la posible multa que hubiéramos tenido que pagar. En el fondo creo que salimos bien librados.

Ordené revisar todos los procedimientos que se seguían en la planta, de modo que un acto burocrático no volviera a poner en peligro la producción de la misma. Se le pidió a la empresa fabricante de los tornos que revisara el diseño del módulo de ajuste del portaherramientas, pues ya en otras ocasiones se habían presentado problemas sin llegar a la situación narrada.

Permanezco como gerente de la planta que funciona perfectamente, y el éxito es tal que, a pesar del problema descrito, la junta directiva me ha pedido analizar la viabilidad de ampliar la planta de producción de repuestos y continuar con la fabricación de bloques para motor, tarea ésta de proporciones mucho mayores que las de la planta actual.

## Ejercicio 1

En relación con el caso anterior, responda las siguientes preguntas:

- Explique las diferencias que usted encuentra entre remanufactura y reconstrucción de un motor.
- ¿Qué es costo fijo? ¿Qué es costo variable? Ilustre su explicación con un ejemplo.
- Convierta las medidas del pistón y cilindros a pulgadas.
- Una llave para tuercas de 3/4 de pulgada, ¿puede usarse sin problemas para tuercas de 2,00 mm?
- Consiga una válvula de admisión y otra de escape. Efectúe las medidas correspondientes.

tes, haga un diagrama a mano alzada y escriba en el mismo las medidas.

- Haga un diagrama a mano alzada del segundo banco de pruebas que propusieron los ingenieros electrónicos. Asérese bien pues hay un detalle que no se explicó y es importante.
- ¿Qué otras soluciones se le ocurren a usted además de las que se propusieron para resolver el problema?
- ¿Cuál hubiera escogido usted? Dé una explicación.

Considere las siguientes cifras:

## 4.2. Unidades de medida

Un adagio en ingeniería dice que *lo que no se puede medir, no sirve*. Algunos ingenieros, con una cierta exageración, van más lejos: “*Lo que no se puede medir, no existe*”. En realidad, el punto que se quiere resaltar es que el ingeniero trabaja con números que son el producto de mediciones:

- El ingeniero civil mide la superficie de sus construcciones en  $m^2$ , calcula los  $m^3$  del material que hay que trasportar.
- El ingeniero electrónico mide la temperatura de una variable de un proceso industrial en  $^{\circ}C$  y calcula la corrección que hay que efectuar en la misma para lograr el valor final deseado.
- El ingeniero industrial establece controles que toman muestras aleatorias de los diferentes papeles que fabrica una papelera para determinar si se cumplen las normas de calidad ISO 9000.
- Los ingenieros de sistemas miden la productividad de los programadores de una empresa para conocer con la mayor precisión posible el tiempo necesario para programar una aplicación.
- Los ingenieros electricistas miden el consumo de energía en  $kwh$ .

Se hubieron de fabricar 150 000 válvulas buenas, 100 000 válvulas recuperables, 50 000 válvulas fuera de especificaciones.

Costo de recuperar una válvula: US\$ 0,50; costo de fabricación de un banco de pruebas US\$ 50. El costo de producir una válvula es de US\$ 4,00.

- ¿Cuál hubiera sido el costo de resolver el problema?
- Si el monto de la multa fuera el mismo, ¿usted habría aconsejado incumplir el pedido, para no incurrir en costos tan altos? Dé una explicación a su respuesta.

Los ingenieros mecánicos usan con frecuencia las unidades térmicas del sistema inglés, BTU (British Thermal Units) para dimensionar los sistemas de aire acondicionado.

En todos los casos, se efectúa una medición y de ella se deriva una serie de cálculos. Éstos, los cálculos, representan la segunda fuente importante de información con que se nutren los procesos de diseño en ingeniería.

En algunas ocasiones, la medición se remplaza por un conteo: se cuenta el número de días-hombre necesarios para terminar obra en el plazo estipulado; se cuenta el número de componentes que se pueden empaquetar en un circuito VLSI, sin que sea necesario enfriamiento forzado; el ingeniero industrial lleva una cuenta del número de piezas rechazadas por diversos defectos en el proceso de manufactura de los cilindros del motor de un auto construido en una factoría durante un mes; y el ingeniero de sistemas necesita controlar el número de procesos activos en un determinado momento, en un computador para que el sistema no se vuelva demasiado lento.

Pero, en un altísimo porcentaje, el ingeniero mide más que cuenta. Mide tiempos, longitudes, volúmenes, fuerzas, energía y demás. Para expresar el resultado de sus mediciones debe usar

un sistema de unidades. Desde los albores de las primeras civilizaciones, el ser humano usó medidas básicas para las principales magnitudes que debía medir diariamente: distancia, volumen, peso y tiempo. El filósofo griego Protágoras decía: *"El hombre es la medida de todas las cosas"*. Los primeros sistemas de medida tomaban las partes del cuerpo humano como referencias básicas: la unidad para medir la distancia se basaba en el tamaño del dedo pulgar (*pulgada*) o en el tamaño del pie (*pie*) o de un brazo (*brazada*). También se usaban otras medidas humanas como indicadores para distancias más largas. Los campesinos todavía usan las expresiones *"está a dos tabacos de aquí"* o *"a dos vistas"* (lo que alcanza a ver el ojo) para señalar distancias mayores.

En los mercados indígenas aún se utiliza el cuenco de la mano para establecer la medida de volumen en la venta de cereales, leguminosas, ... En la antigüedad se usaban vasos, recipientes, entre otros, como medidas de referencia en las transacciones con líquidos: aceite, vino, y otros. En las transacciones que requerían conocer el peso de los objetos se empleaban piedras, semillas de plantas, ..., con las que se llenaban recipientes y por comparación se sabía aproximadamente el peso de los objetos. La famosa libra usada tan extendidamente en nuestros países se relaciona con la masa de un material denso (metal o piedra) que cabe en nuestra mano. El tiempo se media en función de las estaciones, o de la duración del día.

A medida que las transacciones comerciales se volvieron más complejas, fue necesario desarrollar unidades más confiables; si se utilizaba como unidad de longitud el dedo pulgar o el tamaño del pie, ¿de quién era ese dedo o ese pie? En esa época, la medida la imponía el poder, así que el dedo del rey o su pie servían de estándares para las mediciones de longitud en su reino. Pero ¿qué sucedía al entrar en otro reino en el que el rey era más grande y las dimensiones de sus dedos y pie eran diferentes de las del rey vecino? Sobra decir que todo esto generaba gran confusión, la cual no se solucionó hasta bien entrada la edad moderna. Los sajones fueron los primeros que introdujeron un esquema de unidades que dio origen a denominado Sistema imperial británico de medidas

basado en la pulgada, el pie, la milla, la libra, el galón y el segundo. La reina Isabel I de Inglaterra estableció la base de este sistema que se extendió a lo largo de todo el mundo, cuando después de derrotar a la Armada Invencible española, el comercio británico llegó a todos los países conocidos. La libra que usamos junto con el kilogramo para medir el peso de los bienes que compramos se deriva de esa época en la que los barcos ingleses calaban en nuestros puertos extendiendo sus costumbres, su moneda, sus unidades de medida y más adelante sus deportes (el fútbol).

Sin embargo, el sistema británico de medida llegó a tales extremos de complejidad que realizar transacciones usando las decenas de diferentes unidades de medida que habían ido creándose, con el tiempo terminó convirtiéndose en un verdadero rompecabezas. En el continente europeo, ya en los comienzos de 1600 se realizaron algunos intentos para introducir orden en el sistema de unidades empleado; en 1792, la Asamblea Nacional Constituyente de Francia, hija de la Revolución francesa, encargó a la Academia de Ciencias que diseñara *"un sistema estándar invariable para todas las medidas y todos los pesos"*. Con muchas dificultades derivadas de los momentos que atravesaba Europa, hombres de ciencia franceses midieron una cuarta parte del meridiano que pasa entre Dunquerque y Barcelona. De esta imprecisa medición derivaron la unidad fundamental de longitud: el *mètre*, la diezmillonésima parte del meridiano medido. El estándar físico de esta unidad se construyó con base en una barra de platino e iridio que se guarda en la Oficina de Pesas y Medidas de París. Las restantes unidades se crearon tomando como base el metro. El litro y el kilogramo se derivan del metro: el litro es la capacidad de un decímetro cúbico, y el kilogramo es la masa de un litro de agua a 4° C y al nivel del mar. Se derivaron múltiplos y submúltiplos relacionados entre sí mediante potencias de 10, un avance significativo sobre el sistema británico que usaba en algunas ocasiones múltiplos submúltiplos de 16 y otras veces de 12 (12 pulgadas hacen 1 pie; mientras que la pulgada se mide en incrementos de 1/32, en 1/8, y así sucesivamente).

La triunfante Revolución francesa (*libertad, igualdad y fraternidad*) se extendió por todos los países occidentales, entre ellos los latinoamericanos, enfrascados en sus guerras de independencia; fue una decisión política la que llevó a todos estos países a adoptar el nuevo sistema de medidas retóño de la Revolución francesa y trasportado por los victoriosos ejércitos de Napoleón a lo largo y ancho de Europa. Como se puede observar, el sistema británico se extendió como consecuencia natural del comercio de los ingleses con el resto del mundo; el sistema francés (el sistema métrico) fue tanto un éxito político como técnico. Hasta los Estados Unidos, cansados de tantas dificultades en sus mediciones, redefinieron la pulgada y el galón tomando como referencia el sistema métrico. Es decir, empezaron a mezclar de alguna forma ambos sistemas de unidades, situación que aún perdura en nuestros días.

Sucesivas convenciones mundiales refinaron el sistema métrico, independizando la definición de su unidad fundamental de las imprecisas y variables medidas de un meridiano terrestre. Hoy se define el metro como “*la distancia recorrida por un rayo de luz en el vacío durante un intervalo de tiempo equivalente a un  $1/299\ 792\ 458$  de un segundo*”. De igual manera se definen las demás unidades fundamentales del Sistema internacional de unidades, SI, cuyas unidades fundamentales y símbolos aparecen en el cuadro 4.2<sup>1</sup>.

Sin embargo, en ingeniería todavía siguen usándose con frecuencia las unidades del Sistema imperial británico de medidas. Por ello, el cuadro 4.3<sup>2</sup> relaciona las unidades de medida fundamentales de este sistema, añadiendo otras que no son fundamentales pero sí muy usadas, junto con su equivalencia en el SI.

**Cuadro 4.2. Unidades del SI fundamentales**

Magnitud	Unidad	Símbolo	Definición
Longitud	metro	m	Es la unidad SI de longitud.
Masa	kilogramo	kg	Es la unidad SI de masa.
Tiempo	segundo	s	Es la unidad SI de tiempo
Corriente eléctrica	ampere	A	Es la unidad SI de intensidad de corriente eléctrica.
Temperatura termodinámica	kelvin	K	Es la unidad SI de temperatura termodinámica.
Intensidad luminosa	candela	cd	Es la unidad SI de intensidad luminosa.
Cantidad de sustancia	mol	mol	Es la unidad SI de cantidad de sustancia.

**Cuadro 4.3. Unidades comunes del Sistema Británico y sus equivalencias en el SI**

Magnitud	Unidad	Símbolo	Factor de conversión	Unidad Resultante
Longitud	Pulgada	in	2,54000	mm
Longitud	Pie	ft	0,3048	m
Longitud	Milla	mile	1,60934	km
Superficie	Acre	acre	4 046,86	$\text{m}^2$
Masa	Libra	lb	0,453592	kg
Masa	Onza	oz	28,3495	g
Volumen	Galón	gl	3,78541	l
Temperatura	° Farenheit	°F	5/9 * (°F - 32)	° C

### Ejemplo 2

Los talleres para reparación de automóviles nos dan un ejemplo clásico de esta convivencia entre los dos sistemas de medidas: deben mantener un juego de herramientas para trabajar en autos que fueron fabricados usando el sistema inglés (EE.UU. e Inglaterra) y poseer un juego equivalente para atender los autos fabricados en Europa y Japón. Por ejemplo, calibradores de hojas de 0,0015 pulgadas a 0,035 pulgadas y calibradores de hojas de 0,050 mm a 0,100 mm.

### Ejercicio 2

Hallar las dimensiones del vehículo de la figura 4.11 en las unidades correspondientes del SI.

### Ejemplo 3

Las ruedas de los automóviles deben inflarse con la presión adecuada, de acuerdo con las especificaciones que recomienda el fabricante. Al quedar con mayor o menor presión se corre el riesgo de disminuir la vida útil de las mismas, pues empiezan a desgastarse desigualmente. Cuando la presión es excesiva hay menos contacto entre la rueda y el piso, lo que hace que la pre-



Figura 4.11. Dimensiones de un vehículo.

sión sobre la zona de contacto sea muy alta y eso acelera el desgaste. Por el contrario, cuando la presión es menor que la normal, aumenta el área de contacto y debido a la geometría y construcción de las ruedas, las partes exteriores de la misma hacen más contacto que la central y ocasionan desgaste en el exterior, mientras que el interior se mantiene más o menos nuevo.

La presión se expresa en libras por pulgada cuadrada ( $\text{lb/in}^2$ ,  $\text{lb/in}^2$ ) en el sistema inglés, pero se expresa, comúnmente, en  $\text{kg/cm}^2$  en el sistema métrico. Por ejemplo, para el Mazda 626 se recomienda una presión de  $28 \text{ lb/in}^2$  que equivalen a  $2,0 \text{ kg/cm}^2$ .

Para hallar el factor de conversión entre  $\text{lb/in}^2$  y  $\text{kg/cm}^2$  se efectúan las siguientes operaciones:

Primero se convierten las lb a kg, para lo cual se multiplican las libras por 0,453592. A con-

tinuación se convierten las  $\text{in}^2$  a  $\text{cm}^2$ , para lo que se divide por 2,54 al cuadrado, es decir por 6,4516. Efectuando la operación se obtiene:

$$1 \text{ lb/in}^2 = (0,453592/6,4516) \text{ kg/cm}^2 = 0,070307 \text{ kg/cm}^2$$

Por tanto, la presión de esa rueda, expresada en unidades del sistema métrico, será:

$$28 * 0,070307 = 2,11 \text{ kg/cm}^2$$

### Ejercicio 3

El automóvil que aparece en la figura 4.12 tiene un tanque de gasolina con una capacidad de 16,9 galones. Su consumo estimado de gasolina para el modelo manual es de 26 millas por galón, si se conduce en la ciudad. Si se conduce en carretera el consumo es de 33 millas por galón.

Si el precio de la gasolina es de US\$ 1,26 por galón, calcular:

El consumo expresado en kilómetros/litro de gasolina en la ciudad.

El costo en pesos de hacer un viaje de 250 km, sabiendo que la tasa de cambio entre el peso y el dólar americano es de \$2 200 pesos por US\$1.

En los ejemplos de este texto se trabajará normalmente con unidades del SI, aunque en algunos casos se presentarán ejemplos en los que se usan las unidades del sistema inglés, pues las dimensiones de muchas máquinas, herramientas, objetos,... siguen expresándose en estas unidades debido a la influencia que sobre nuestro modo de vida tienen los productos manufacturados en Estados Unidos. Por ejemplo, una enorme cantidad de términos aeronáuticos se expresan en pies (ft); la altura a la que vuelan los aviones se registra en pies: 33 000 pies sobre el nivel del mar.

Sin importar el sistema que se use, el resultado de una medida expresa el número de veces que un objeto contiene la unidad fundamental de la magnitud en cuestión; por ejemplo, si se está midiendo la longitud de una lámina de acero, el número de veces que con-

tenga al metro se expresa por un número: la medida de la longitud de la lámina. Nunca se debe expresar el resultado de una medida como una cantidad exacta; en realidad, nunca se conoce el verdadero valor de esa medida: sólo se conoce una aproximación a ese verdadero valor. La aproximación será tan grande como se desee, pero nunca se llegará al verdadero valor.

Para finalizar este apartado, hay que añadir que debido al rango tan grande que existe entre las dimensiones más pequeñas y las más grandes (por ejemplo, en la física el tamaño del electrón y la distancia de la Tierra al Sol), que se deben medir, ha sido necesario crear múltiplos y submúltiplos de las unidades fundamentales. Por ejemplo, el metro (m) se divide en 100 centímetros (cm) y en 1 000 milímetros (mm). A su vez, para medir distancias mayores se usan múltiplos del metro, como el kilómetro (km). Se han definido unos prefijos y unos símbolos para identificar estos múltiplos y submúltiplos, los cuales aparecen en el cuadro 4.4<sup>3</sup>, junto con algunas referencias que servirán para dar una idea del significado de los prefijos<sup>4</sup>.



Figura 4.12. Sedán de turismo



Cuadro 4.4. Prefijos y sus símbolos

Múltiplo y Submúltiplos	Prefijos	Símbolos	Ejemplos
$10^{18}$	exa	E	Masa (kg) de la atmósfera de la Tierra.
$10^{15}$	peta	P	Tiempo (s) que le toma al Sol orbitar la galaxia.
$10^{12}$	tera	T	Tiempo (s) promedio de vida de los restos de una supernova.
$10^9$	giga	G	La capacidad de los discos DVD se expresa en gigabytes; por ejemplo: 17 GB.
$10^6$	mega	M	La cantidad de memoria RAM en los computadores se expresa en megabytes; por ejemplo: 128 MB.
$10^3$	kilo	k	La capacidad explosiva de las bombas atómicas se expresa en kilotonnes, equivalente a 1 000 veces el poder destructivo de la bomba que se arrojó sobre Hiroshima.
$10^2$	hecto	h	La cosecha de vino se expresa en hectolitros; por ejemplo: la cosecha de 1992 fue de 3 millones de hl.
10	deca	da	Los ingenieros usan decámetros (cintas métricas de 10 m de longitud) para efectuar las mediciones sobre el terreno.
$10^{-1}$	deci	d	Resolución (arcsegundos) del telescopio espacial Hubble.
$10^{-2}$	centi	c	Ruido ( $\text{Wm}^{-2}$ ) de una cortadora de pasto.
$10^{-3}$	mili	m	El tiempo de acceso a la información en un disco duro se mide en milisegundos. Por ejemplo, el disco Quantum Modelo xxx tiene un tiempo de acceso promedio de 12 ms.
$10^{-6}$	micro	$\mu$	Tamaño (m) típico de una célula.
$10^{-9}$	nano	n	Velocidad ( $\text{ms}^{-1}$ ) con que se desplaza la falla de San Andrés.
$10^{-12}$	pico	p	Masa (kg) típica de una célula.
$10^{-15}$	femto	f	Masa (kg) aproximada de una molécula de ADN humana.
$10^{-18}$	atto	a	Radio (m) clásico del protón.

**Ejemplo 4**

- En el cuadro 4.5<sup>4</sup> se presentan algunos ejemplos curiosos de medidas.

**Cuadro 4.5. Algunas medidas curiosas**

Descripción	Medición	Unidad
Masa típica de un mosquito	$1 * 10^{-5}$	
Masa de un meteorito antes de entrar en la atmósfera	100	
Masa de un Tyrannosaurus rex	10	
Masa de un cometa	$10^{13}$	
Masa de la Tierra	$5,98 * 10^{24}$	
Masa del Sol	$1,99 * 10^{30}$	
Densidad del aire en condiciones normales	1,3	
Densidad del hierro	7 860	
Densidad del oro	19 300	
Energía promedio de un kg de comida	$2 * 10^7$	
Energía total producida por un ser humano durante su vida	$2 * 10^{11}$	

**Ejercicio 4**

Como ejercicio, escriba en el cuadro 4.5 las unidades que corresponden a las medidas dadas.

**Ejemplo 5**

La represa Hoover (*Hoover Dam*) es una de las siete maravillas de la ingeniería civil que se han construido en los Estados Unidos. Represa las

aguas del río Colorado y almacena 35 200 000 metros cúbicos de agua, con una capacidad de producción de energía eléctrica de 2 000 megavatios. En su construcción se usaron más de 4 400 000 yardas cúbicas de concreto, 6 500 000 libras de explosivos y 45 000 000 libras de acero reforzado. Su peso aproximado es de 6,6 millones de toneladas.

**Ejercicio 5**

Exprese los datos del ejemplo 5 en unidades del sistema métrico y use los múltiplos y submúltiplos del cuadro 4.4, de tal modo que las cifras finales se encuentren entre 1 y 1 000.

**4.3. Cifras significativas**

Cuando se expresa el resultado de una medida, o un resultado derivado de una o varias medidas, se usa un número finito de cifras para ex-

presar su valor<sup>5</sup>; por ejemplo, las medidas de una página tamaño carta son (véase figura 4.13): 216 mm de ancho por 279 mm de largo.



Se está garantizando que las medidas, en este caso, se dan con tres cifras significativas, de las cuales, las dos primeras son *seguras* y la tercera (última) es *razonablemente segura*. En ingeniería, se acepta como norma que de las cifras con que se expresa el resultado de una medida o un cálculo en el que intervienen mediciones, la última es aproximada, razonablemente segura, y las anteriores son seguras. En el ejemplo de la página tamaño carta, las medidas se expresaron con tres cifras significativas.

### Ejemplo 6

En el cuadro 4.6 se ofrecen los resultados de algunas mediciones, expresadas tanto en formato común como en formato exponencial científico.

**Cuadro 4.6. Resultados de mediciones realizando la última cifra significativa**

Longitud (cm)	Expresión en notación científica	Número de cifras significativas
12,74	$1274 \times 10^{-2}$	4
11,5	$115 \times 10^{-1}$	3
1,50	$150 \times 10^{-2}$	3
1,5	$15 \times 10^{-1}$	2
0,45	$45 \times 10^{-2}$	2
0,8	$8 \times 10^{-1}$	1
0,05	$5 \times 10^{-2}$	1

En el cuadro 4.6, se destacó con negrita la cifra razonablemente segura.

Se presenta alguna confusión en casos en los que hay ceros a la izquierda. Estos ceros a la izquierda no son cifras significativas; para eliminar esta confusión puede representarse el mismo número en notación científica, como aparece en la segunda columna del cuadro 4.6.

Siga las **cuatro reglas** que se dan a continuación para saber cuántas cifras significativas tiene un número:

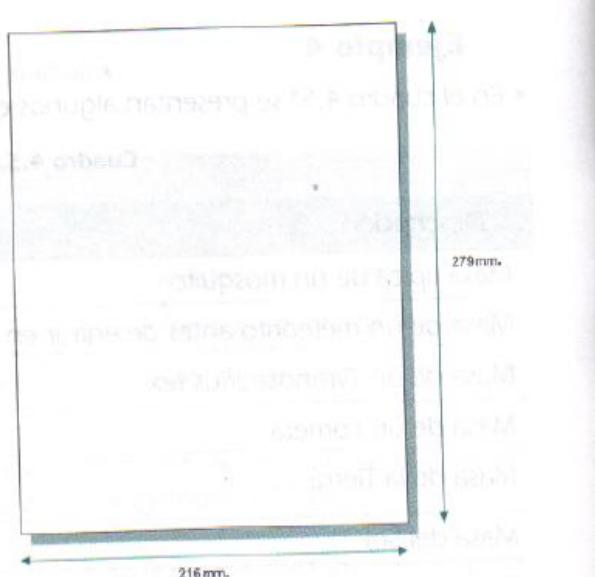


Figura 4.13. Dimensiones de una hoja tamaño carta.

- Todos los dígitos diferentes de cero son significativos.
- Todos los ceros que tienen algún dígito diferente de cero a su izquierda son significativos.
- Cualquier cero que no esté incluido en la regla 2 no es significativo.
- Cuando el número se exprese en notación científica, todos los dígitos que se encuentren a la izquierda de la potencia de 10 son significativos.

## Ejercicio 6

Complete el cuadro 4.7 escribiendo en la columna 2 la medida de la columna 1 en notación científica.

científica. En la columna 3 escriba el número de cifras significativas de la medida.

**Cuadro 4.7. Ejercicio sobre cifras significativas**

Longitud (cm)	Expresión en notación científica	Número de cifras significativas
17,87	1,787 x 10 <sup>1</sup>	4
0,4730	4,730 x 10 <sup>-1</sup>	4
17,9	1,79 x 10 <sup>1</sup>	3
0,473	4,73 x 10 <sup>-1</sup>	3
18	1,8 x 10 <sup>1</sup>	2
0,47	4,7 x 10 <sup>-1</sup>	2
134	1,34 x 10 <sup>2</sup>	3
156 700	1,567 x 10 <sup>5</sup>	4
20 000 000 000,0	2,0 x 10 <sup>11</sup>	2
1,001	1,001 x 10 <sup>0</sup>	4
1,000	1,00 x 10 <sup>0</sup>	3

## Ejemplo 7

Las proporciones de una mezcla de concreto se dan en la siguiente lista:

Cemento	1,00 partes
Arena	2,45 partes
Grava fina	1,75 partes
Grava mediana	1,46 partes

Grava gruesa 1,66 partes

Adhesivos 2,18 partes

Agua 0,54 partes

Todas las cantidades con excepción de la última tienen tres cifras significativas; la última tiene solamente dos.

## Ejercicio 7

Expresar los datos del ejemplo 7 en notación científica.

### 4.4. Operaciones con cifras significativas

¿Qué sucede cuando se efectúan cálculos con números que son aproximaciones del verdadero valor de la medida de una variable? Si se suman los lados de un polígono, los cuales se midieron aproximadamente, ¿con cuántas cifras

significativas podrá expresar el resultado? ¿Con cuántas cifras significativas se podrá expresar la superficie de una hoja de papel tamaño carta cuando sus lados miden 216 mm y 297 mm, respectivamente?

Cuando se efectúan operaciones con números que son el resultado de mediciones, se genera un error que va propagándose a medida que crece el número de operaciones que se efectúa con ellos. Por esta razón, se necesitan computadores científicos de elevadas capacidades de cálculo para lograr resultados con el número de cifras significativas que se requieren en los cálculos industriales y científicos.

#### 4.4.1. Reglas para sumar y restar

La suma o diferencia de números aproximados no puede tener más cifras significativas a la derecha de la coma decimal que el número con menor número de dichas cifras; por ejemplo:

$$160,45 + 6,732 = 167,18$$

La respuesta solamente puede darse con dos decimales significativos, que es el número de decimales correspondiente a 160,45, el que tiene menor número de decimales a la derecha de la coma.

Tomemos otro ejemplo:

$$45,621 - 6,41 + 4,3 = 43,5$$

#### Ejercicio 8

Los momentos que actúan sobre un eje son los siguientes (todos en la misma dirección, expresados en N.m):

$$23,45 \quad 45,25 \quad 123,0 \quad 33,29 \quad 2,346$$

Halle el valor de la resultante de todos estos momentos con el número adecuado de cifras significativas.

#### 4.4.2. Reglas para multiplicar y dividir

Las reglas para multiplicar o dividir números aproximados son más sencillas:

*El resultado tendrá tantas cifras significativas como el factor que tenga menos;* por ejemplo:

$$0,000170 * 100,40 = 0,017068$$

En este caso se toma una sola cifra decimal, que corresponde al caso de 4.3. El lector podrá darse cuenta de la degradación a la que se puede llegar en las sumas de números aproximados; la forma tan rápida como se pierden cifras significativas cuando los elementos que componen la operación difieren grandemente de la cantidad de cifras significativas con que se expresan.

#### Ejemplo 8

El consumo de energía eléctrica en una casa es la suma de los consumos individuales de cada uno de los electrodomésticos. Mediante mediciones efectuadas a lo largo de varios días se obtuvieron los siguientes valores promedio mensuales:

Lavadora	15,0 kwh
Nevera	67,5 kwh
Horno	24,0 kwh
Calentador	52,80 kwh
Plancha	24 kwh
Iluminación	60,0 kwh

La suma es 243,3 kwh. Solamente se conserva una cifra decimal.

El resultado final solamente puede expresarse con tres cifras significativas, ya que 0,0000170 sólo tiene tres.

Otro ejemplo:

$$2,000 * 10^4 / 6,0 * 10^{-3} = 333333,33333$$

Solamente se puede expresar el resultado con dos cifras significativas.

El resultado no puede tener más cifras significativas que el más pobre de los factores.

#### Ejemplo 9

Un estudiante<sup>6</sup> necesitó una vez un cubo de metal que debía tener una masa de 83 gramos (véase figura 4.14). Sabía que la densidad de

ese metal era  $8,67 \text{ g/cm}^3$ , lo que le indicaba el volumen del cubo (**calcular el volumen del cubo**). Creyendo que las cifras significativas habían sido inventadas solamente para hacer difícil la vida de los estudiantes de ingeniería y

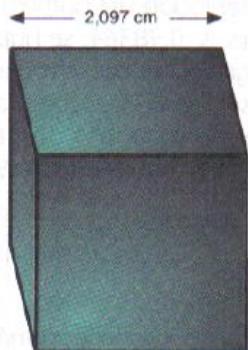


Figura 4.14. Cubo del ejemplo.

que no tenían un uso práctico en el mundo real, calculó el volumen como  $9,573 \text{ ml}$ . De ahí determinó que el lado del cubo tenía que ser  $2,097 \text{ cm}$  (**calcular la longitud del lado del cubo**). Llevó sus diagramas y dibujos al taller de mecánica donde a su amigo le habían hecho el mismo tipo de trabajo el año anterior. El jefe del taller dijo: «Sí, claro, nosotros podemos hacer esto de acuerdo con sus especificaciones, pero le advierto que será costoso».

«Está bien,» respondió el estudiante. «Este trabajo es muy importante para mí». Sabía que

su amigo había pagado US\$35, y que a él le habían dado US\$50 del presupuesto de la facultad para realizar el trabajo. Le quedarían US\$15.

Regresó al siguiente día, suponiendo que el trabajo ya estaba hecho. «Lo siento,» dijo el jefe del taller. «Estamos todavía trabajando en eso. Regrese la semana entrante». (**¿Por qué estaban tardando tanto?**) Finalmente, llegó el día, y nuestro amigo tuvo su cubo. Lucía muy, muy pulido, brillante y hermoso en su caja de terciopelo. Al observarlo, nuestro héroe tuvo una premonición de desastre y se puso un tanto nervioso. Pero sacó el valor suficiente para preguntar por la cuenta. «US\$500, y es barato este precio. Tuvimos que trabajar arduamente para lograrlo exacto; tuvimos que hacer tres antes de lograr uno bueno».

«¡Pero, ... pero ... mi amigo pagó solamente US\$35 por lo mismo!»

«No. Él quería un cubo de  $2,1 \text{ cm}$  de lado, y las especificaciones de usted pedían uno de  $2,097 \text{ cm}$ . Tuvimos el suyo muy cercano a  $2,1 \text{ cm}$  el mismo día por la tarde, pero fue la limada y el mecanizado necesarios para bajarlo a  $2,097 \text{ cm}$  lo que tomó tanto tiempo y costó tanto dinero. El primero que hicimos tenía  $2,089 \text{ cm}$  de lado cuando lo terminamos, por lo que tuvimos que tirarlo. El segundo se acercó mucho más, pero no era lo que usted había especificado. Esa es la explicación de los tres intentos».

«¡Oh!», fue lo único que alcanzó a balbucear nuestro héroe.

### Ejercicio 9

Explique cuál fue el error de nuestro héroe.

#### 4.4.3. Redondeo

¿Cómo se eliminan de un número los dígitos no esenciales? Por ejemplo, en el caso anterior, ¿cómo se presenta  $3333333,333333$ ?

Si bien existen reglas para redondear una cantidad dada a un número de cifras, el problema radica en saber escoger ese número. Aquí entra a jugar tanto el sentido común como la experiencia.

### Ejemplo 10

En ingeniería es costumbre usar dos cifras decimales en las respuestas. Todos los cálculos intermedios deben realizarse con el mayor número de cifras significativas, pero el resultado debe redondearse a dos decimales, normalmente. Cuando se trata de cantidades muy grandes no se colocan decimales.

Los hombres de ciencia acostumbran usar muchos decimales, sobre todo cuando están trabajando en alguna investigación, en la que el decimoquinto decimal puede ser la explicación de un raro fenómeno científico.

## Ejercicio 10

Después de realizar una serie de cálculos, se llegó a los siguientes resultados:

23 400,3563 m<sup>2</sup>

12 316,25 m

1 536,23 kwh

285,32 A

115,27 V

2.3695 mg de As

2,2634 g de CO<sub>2</sub>

10,52 ppm de CO

Redondee las cantidades anteriores de acuerdo con lo que la práctica aconseja.

El proceso de eliminar las cifras no esenciales se denomina *redondeo* y para su aplicación correcta es necesario seguir las reglas que se enumeran a continuación:

- Definir con cuántas cifras significativas desea expresar una cantidad; por ejemplo, se desea expresar el número 0,98764 con dos cifras significativas: 0,98364.
- Se analiza el dígito a la derecha de la última cifra significativa deseada; en nuestro caso, es el 3.
- Si esa cifra es menor de cinco, se elimina esa cifra y todas las que se encuentren a su derecha; en nuestro caso es un 3. Se eliminan el 3, el 6 y el 4. Quedaría 0,98.

- Si el dígito analizado hubiera sido mayor que 5, se aumenta la última cifra significativa deseada en uno, y se eliminan los otros dígitos a su derecha. Por ejemplo, si se hubiera deseado una representación del número con tres cifras significativas, 0,98364, se hubiera examinado el dígito 6, se hubiera comparado contra 5 y, al ser mayor, se hubiera aumentado el 3 en una unidad, a 4, con lo que la representación final hubiera sido 0,984.

El caso más difícil de tratar es cuando el dígito analizado es 5. Entonces hay que hacer lo siguiente:

- Si a su derecha se encuentran más dígitos diferentes de cero, redondee la última cifra significativa al siguiente valor.
- Si a su derecha no hay más dígitos o son ceros, redondee a la siguiente cifra si el último dígito significativo a su izquierda es impar. Si fuera par, déjelo tal cual. Por ejemplo, el número 4,565 desea redondearse a 3 cifras significativas. El dígito analizado sería el 5. Como no hay más dígitos a su derecha y la última cifra significativa es par, no se toca y se deja tal cual: 4,56.

Tomemos otro caso: redondear el número 5,68256 con cuatro cifras significativas. El dígito analizado es el 5; a su derecha está un 6. En este caso se redondea la última cifra significativa aumentando uno: es decir, quedaría 5,683.

### Ejemplo 11

Efectué los siguientes ejercicios de redondeo tal como se indica:

**A dos cifras**

**Al 0,1 más cercano: Al 0,01 más cercano: Al entero más cercano:**

(1)  $2,16347 \times 10^5$       (2) 3,64

22 \* 105

(3) 6,675      (4) 56,912

6,68

57

## Ejercicio 11

Efectúe los siguientes ejercicios de redondeo tal como se indica:

A dos cifras:      Con un decimal:      Al 0,001 más cercano:      Redondee el último dígito de la derecha

- (1) 3,512      (2) 54,7421      (3) 5,687524      (4) 2,473

## 4.5. Precisión y exactitud

Con mucha frecuencia se usan los términos precisión y exactitud indistintamente. Hablando de medidas, la *exactitud* de una medida se define como la diferencia entre el valor que arroja la medida y el valor verdadero. Es una indicación de cuán cercano al verdadero valor se encuentra la medida.

Por *precisión* se entiende la reproducibilidad de la medida y, en otras palabras, nos indica la

calidad del instrumento usado. Si al efectuar una medida varias veces, los valores obtenidos se diferencian muy poco, se dice que el aparato es muy preciso. Si, por el contrario, los valores se encuentran muy dispersos, la confianza que le debemos tener al aparato será pequeña.

En la figura 4.15 se aprecia una gráfica en la que estos conceptos se encuentran expresados de una forma muy clara.

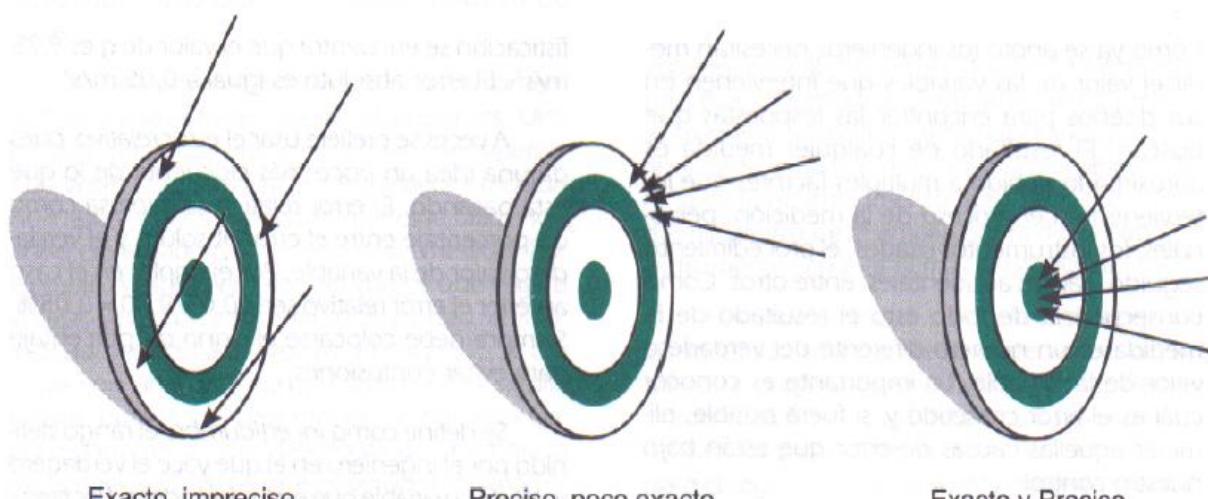


Figura 4.15. Precisión y exactitud.

## Ejemplo 12

Cuando se desea aumentar la precisión con que se entrega el resultado de una medición se acostumbra repetir la misma un gran número de ve-

ces. De esta manera los errores accidentales van reduciéndose.

## Ejercicio 12

Con base en el cuadro 4.8, que representa mediciones efectuadas sobre cierta variable, indí-

que para cada columna si es preciso, impreciso, exacto, inexacto.

Cuadro 4.8. Mediciones efectuadas

A	B	C	D
0,85	1,00	0,98	0,83
0,79	1,05	0,63	0,81
0,63	1,02	0,80	0,79
1,24	0,98	1,25	0,80

## 4.6. Mediciones y errores

Como ya se anotó los ingenieros necesitan medir el valor de las variables que intervienen en sus diseños para encontrar las respuestas que buscan. El resultado de cualquier medida es aproximado debido a múltiples factores que intervienen en el proceso de la medición: personales, los instrumentos usados, el procedimiento seguido, causas accidentales, entre otros. Como consecuencia de todo esto el resultado de la medida es un número diferente del verdadero valor de la variable. Lo importante es conocer cuál es el error cometido y, si fuera posible, eliminar aquellas causas de error que están bajo nuestro control.

### 4.6.1. Términos más usados

La diferencia absoluta entre el verdadero valor de una variable y su medida se denomina error absoluto; debe expresarse en las mismas unidades físicas que la variable medida. Por ejemplo, mediante un elaborado experimento se llegó a saber que el valor de la constante  $g$  es igual a  $9,80 \text{ m/s}^2$ . En una prueba realizada sin tanta so-

fisticación se encuentra que el valor de  $g$  es  $9,75 \text{ m/s}^2$ . El error absoluto es igual a  $0,05 \text{ m/s}^2$ .

A veces se prefiere usar el error relativo, pues da una idea un poco más elocuente de lo que está pasando. El error relativo se expresa como un porcentaje entre el error absoluto y el verdadero valor de la variable. Por ejemplo, en el caso anterior el error relativo sería  $0,05/9,80 = 0,05\%$ . Siempre debe colocarse el signo de porcentaje para evitar confusiones.

Se define como *incertidumbre* el rango definido por el ingeniero en el que yace el verdadero valor de la variable que está midiéndose. Por ejemplo, si se mide con una regla con graduaciones hasta los milímetros, es costumbre agregar a la medida el rango de incertidumbre. En este caso, la medida podría ser  $6,35 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$  indicando que el verdadero valor se debe encontrar en el rango entre 6,30 y 6,40 centímetros.

Un *error sistemático* ocurre cuando las medidas se encuentran sesgadas en determinada dirección. Por ejemplo, un metro ha encogi-

do con el tiempo y su verdadera longitud es de 0,980 m. Es muy fácil introducir la corrección en las medidas efectuadas con este metro. Cuando se mide el tiempo que toma a un objeto caer desde cierta altura, se presiona el botón del cronómetro. En ese instante empieza a contarse el tiempo de la caída; sin embargo, existe un ligero desfase entre el momento en el que el cerebro da la orden a la mano y el momento en el que ésta obedece. Este tiempo de reacción se puede calcular y debe agregarse a los tiempos que se obtengan en desarrollo de la prueba.

**Los errores aleatorios** son los más frecuentes en las medidas; obedecen a diversas causas: el instrumento, el entorno, la persona que efectúa la medida, etcétera. Son imposibles de eliminar por completo, pero pueden tomarse en cuenta, pues la mayor parte de los mismos son de naturaleza *gausiana* (es decir, que se pueden describir mediante una distribución de probabilidad normal o de Gauss, como se verá en seguida). La mejor forma de eliminarlos es repitiendo la medida un elevado número de veces.

La *precisión* de una medida está íntimamente ligada a los errores aleatorios presentes. Una medida será más precisa si en vez de repetirla 100 veces la repito 1 000. Una mayor precisión no implica mayor *exactitud*, que es la diferencia entre el verdadero valor y el valor medido. Por ejemplo, se mide el valor del voltaje que llega a la casa. Se usa un instrumento de calidad; el valor indicado es de 123,1 voltios. El resultado se entrega con una precisión de cuatro cifras significativas, pero se sabe por medidas efectuadas por el Departamento de Metrología de la Empresa de Servicios Públicos que el verdadero valor es de 120,0 voltios. La medida era precisa pero poco exacta.

#### 4.6.2. Instrumentos usados en las mediciones

La primera decisión que debe tomar un ingeniero al medir es escoger el instrumento más adecuado. Sobra decir que para cada tipo de variable existe una clase de instrumento. Para medir longitudes el metro y sus derivados; para medir



Figura 4.16. Multímetro.

voltajes, el voltímetro. En la medida de presiones, flujos, humedad, entre otras, se emplearán instrumentos especialmente elaborados para esa finalidad. Se da por descontado que se escogerá la clase de instrumento apropiado. Pero falta definir dentro de la amplia gama de ese tipo de instrumentos cuál es el más aconsejable.

Hay que empezar por definir el rango de las medidas: se va a medir el perímetro de un lote o la longitud de una hoja de papel. Para el primer caso buscaré un decámetro similar al usado por los topógrafos en sus mediciones. Pero para el segundo caso buscaré una regla graduada en milímetros cuya longitud no sobrepase los 50 cm. Si se tuviera que medir el voltaje a la entrada de una subestación se necesitaría un voltímetro de pinzas capaz de medir hasta 1 500 voltios. Pero para medir el voltaje entre las terminales de un circuito integrado solamente necesito un voltímetro con capacidad para medir hasta 10 ó 15 voltios (véase figura 4.16).

En segundo lugar, es necesario definir la precisión con que se desea efectuar la medi-

da. Si se quiere medir el tiempo con una precisión de décimas de segundo, se utilizará un cronómetro. Si se desea medir un tiempo con centésimas de segundo (por ejemplo en una carrera de 80 metros libres), será conveniente emplear cronómetros electrónicos que permiten hasta las milésimas de segundo.

#### 4.6.3. Procedimientos en las mediciones

No menos importante que los instrumentos usados es el procedimiento utilizado para efectuar las mediciones. Un procedimiento inadecuado puede arruinar todo lo demás e introducir toda clase de errores que harán las medidas inútiles.

En primer lugar, debe anotar cuidadosamente todos los detalles que influyan de alguna manera en la realización de las mediciones. Debe hacerlo de tal manera que otra persona pueda repetir las mediciones efectuadas por usted y llegar a los mismos resultados. Si es necesario tomar fotografías de algún detalle en particular, hágalo. Si es preciso filmar algunas partes del trabajo de campo, no lo dude. En caso de que algunas cosas no funcionen a la hora de realizar los cálculos, siempre será posible observar cómo se llevaron a cabo las mediciones y corregir lo que fuere necesario.

Planee su experimento con anticipación; no deje nada al azar. Analice la medición desde varios ángulos y descubra todos esos pequeños detalles que pueden hacer fracasar su prueba o volverla complicada. Identifique los puntos críticos en las mediciones; infórmese bien cómo lo han realizado en otras partes; busque maneras creativas de resolver los puntos difíciles del problema.

Elimine en lo posible el registro manual de datos; si puede disponer de algún aparato electrónico y un equipo de computación que tomen los datos por usted, mucho mejor. Hay una gran cantidad de errores sistemáticos introducidos por malas lecturas, malos registros, insuficiente información, .... Por ejemplo, para anotar el tiempo

en que toca el suelo un objeto pesado se puede usar un detector de impacto conectado a un computador. En el mismo instante en que el objeto alcanza el suelo se dispara el circuito y se registra exactamente el tiempo de llegada. Si se efectúa la medición manualmente, será necesario disponer de un cronómetro y estar listo para que en cuanto nos demos cuenta que tocó el suelo, presionar el botón del cronómetro. Siempre habrá una pequeña diferencia. ¿Ya se explica usted la razón de que haya varios jueces en las competencias de atletismo?

Si se dispone de varios procedimientos para llegar al mismo resultado, seleccione el que optimice los siguientes criterios:

- \* Menos costoso.
- \* Menos errores.
- \* Más fácil de llevar a cabo.
- \* Aparatos menos complicados.

Procure que los instrumentos que se usen en las varias medidas para realizar sean de la misma precisión; no olvide que la precisión final (el error) estará determinada por el menos preciso de los instrumentos que utilice. Si mide una longitud con un metro graduado en centímetros y después otra longitud con un vernier que mide hasta diezmilésimas de centímetro, la precisión final estará marcada por el metro de tendero.

Es posible que cuando realice los cálculos encuentre algunos puntos o datos que no encajan con los demás. ¿Cómo saber si se pueden eliminar y trabajar con los restantes? En primer lugar, eliminar datos es una práctica que está permitida y nadie debe confundirla con preparar los datos para que respalden mi hipótesis. Por ejemplo, se midió el periodo de oscilación de un péndulo y resultaron los siguientes valores: 3,8; 3,5; 3,9; 3,9; 3,4 y 1,8. Se ve claramente que este último punto corresponde a una mala medida y que debe ser desecharlo para no contaminar el resto de las medidas. A esta conclusión se puede llegar matemáticamente.

## 4.7. Toma de decisiones

Toda persona se enfrenta con una *toma de decisión* cuando debe escoger entre dos o más opciones: cancelar una materia o seguir hasta el final; comprar un carro o endeudarse en la compra de una vivienda; usar el lenguaje C ++ o herramientas de cuarta generación; comprar un instrumento de medida o construirlo; usar estructuras metálicas en una construcción o utilizar tecnología convencional; ampliar la planta de producción o contratar capacidad adicional con otras plantas; fortalecer el centro de sistemas de la empresa o escoger el *outsourcing* con una empresa especializada local.

Para tomar decisiones debe tenerse la información necesaria; sin información adecuada no deberían tomarse decisiones. La toma racional de decisiones se basa en información adecuada y oportuna. En muchas ocasiones nos vemos en la necesidad de tomar decisiones sin cumplir este requisito; por diversas causas tenemos que tomar una determinación ya, no es posible esperar. Si esperamos, otro puede de tomar la decisión antes que nosotros y podríamos perder la oportunidad de hacer un espléndido negocio con grandes ganancias. Nos arriesgamos a tomar la decisión, aun sabiendo que no tenemos todos los elementos necesarios para dar ese paso. Sin embargo, lo hacemos: los riesgos que se corren son menos costosos que las oportunidades de ganar. Hay que correr el riesgo.

### Ejercicio 13

En el caso narrado en el ejemplo 13, el lote lo componen 5 000 radiadores, de los cuales 4 200 se ensamblan con el motor eléctrico original y el resto con el motor sustituto. Si la empresa que compra los radiadores escoge una unidad al azar para inspeccionarla, ¿cuál es la probabilidad de que salga con el motor de 17 w?

Dicho resultado debe obtenerse con una probabilidad de 95% y dentro de 3 días, con libertad de devolución en caso de no cumplir con las especificaciones.

### Ejemplo 13

El gerente de Producción de una empresa fabricante de partes automotrices debe entregar un lote de radiadores con sus respectivos ventiladores dentro de cinco días. Hay un contrato firmado que impone severas sanciones en caso de incumplimiento. Sin embargo, el stock del motor eléctrico que mueve las aspas del radiador se agota y no es posible producirlo en cantidades suficientes a tiempo. En el almacén se encuentra un lote de motores con especificaciones casi equivalentes: las mismas dimensiones físicas (cabe en el mismo hueco), aunque su potencia es algo menor. El original es de 20 w, mientras que el sustituto es de 17 w.

Dado que en los diseños todo se calcula con un factor de seguridad para disminuir los riesgos, el gerente autoriza el ensamble del resto del pedido con el motor sustituto, suponiendo que el factor de seguridad compensará la diferencia y el sistema seguirá funcionando bien.

La probabilidad de que el comprador se dé cuenta del cambio es muy pequeña (¿nota usted algún problema de tipo ético en esta actividad?) y en caso de que eso ocurra, el costo de arreglar el reclamo es mucho menor que los perjuicios causados por el incumplimiento del tiempo de entrega. Toma la decisión sabiendo que existe la posibilidad de que las cosas no salgan como él piensa.

### Ejemplo 14

Una persona llega a un banco a cobrar un cheque y observa que en todas las ventanillas hay colas con gente esperando; debe escoger una de ellas. Si hay una más corta que las demás, la opción parece clara. Pero puede suce-

der que en esa fila estén efectuándose transacciones de larga duración y eso ocasiona que otras personas hayan abandonado esa fila para situarse en las restantes. Lo aconsejable sería

### Ejercicio 14

Con base en su experiencia, identifique tres indicadores que permitirían seleccionar la mejor fila de espera cuando entra en un banco a efectuar una transacción.

En la gran mayoría de las ocasiones, una vez tomada la decisión no es posible cambiarla y, por ello, es indispensable analizar cuidadosamente las opciones antes de tomar la decisión. Cuanto más informados estemos sobre los diferentes aspectos que intervienen en nuestra decisión, mejor.

### Ejemplo 15

A veces ocurre, en nuestras carreteras, que vamos a relativa alta velocidad y se nos atraviesa

el ganado; las opciones claras son: frenar, para evitar la colisión; acelerar y evitarlo. ¿Cuál de ellas es la recomendada? Depende de la velocidad, de la distancia, del estado de los frenos, de las condiciones de la carretera, de la habilidad del conductor,...

En general, si se toma la opción de acelerar y evitarlo es bueno saber que, en la gran mayoría de las situaciones, el ganado no retrocede, no echa hacia atrás: siempre hacia delante o se queda quieto. Por tanto, si toma la opción de pasarlo, busque siempre hacerlo por la parte de atrás. Los riesgos inherentes en la toma de decisiones se disminuyen en la medida que tengamos más información.

### Ejercicio 15

Existen restricciones a la velocidad a la que se puede desplazar una persona en un vehículo por una vía pública. Las señales de tránsito indican los límites que no deben traspasarse. Pero en el supuesto que no hubiera límites legales en cuanto a la velocidad, ¿qué criterio(s) seguiría para armonizar alta velocidad con bajo riesgo de accidente?

### Ejemplo 16

Muchas personas tienen dudas a la hora de adquirir un computador personal. Por un lado les ofrecen equipos baratos, que no tienen marca. Son los famosos *clones*. Por otro lado, hay costosas ofertas de equipos de marca. Eliminando otras consideraciones, los factores que intervienen en la elección son el precio y la posibilidad de defectos en el equipo. Los equipos de marca son sometidos a duras pruebas de calidad, lo que incide

en diferentes opciones que hay detrás de toda toma de decisión implican diferentes premios, costos, oportunidades, riesgos,... Y no es intuitivo, en la gran mayoría de casos reales, distinguir a simple vista cuál de todas las opciones es la mejor. Más aún: debería definirse qué se entiende por mejor.

en su mayor precio. Por otro lado, los *clones* se arman con piezas y componentes que, en algunos casos, no pasan por controles de calidad demasiado estrictos.

La experiencia muestra que hay clones que pasan varios años sin presentar una falla; y se han dado casos de equipos de marca que llegan funcionando mal desde el momento de la compra.

## Ejercicio 16

Usted es un ingeniero mecánico que se ha dedicado a la remanufactura de motores de automóviles. Trabaja para empresas grandes y para particulares. Para las primeras usa repuestos de marcas reconocidas, mientras que para los encargos de particulares utiliza repuestos genéricos. Describa la lógica (si la hay) que se esconde detrás de esta decisión.

## Ejemplo 17

Un par de ingenieros ha diseñado un *kit* para remplazar el sistema de inyección tradicional en los motores de gasolina por uno que usa el gas natural. El gobierno ofrece incentivos tributarios para quienes utilicen gas natural como combustible en sus vehículos. Sin embargo, la producción de los

*kits* en masa exige una alta inversión económica que impide que puedan tomar la decisión, antes de hallar un socio capitalista que aporte el dinero.

Encuentran un inversionista que está dispuesto a aportar el capital necesario si son capaces de demostrarle que el negocio producirá ganancias a corto plazo. En otras palabras, ¿cuál es el precio de venta del *kit*? ¿Cuál es la ganancia por unidad vendida? ¿Cuántos esperan vender?

Las dos primeras preguntas son fáciles de responder, pues disponen del análisis de costos que un ingeniero industrial les proporcionó. Pero no tienen información suficiente para responder la última pregunta en forma racional.

## Ejercicio 17

Si usted fuera uno de los dos ingenieros, ¿qué haría para obtener la información que necesita su posible socio capitalista para arriesgar el dinero en su negocio?

### 4.7.1. Decisiones con riesgo

En la gran mayoría de las ocasiones las personas deben tomar decisiones sin conocer toda la información que se necesita. A veces falta información o la que se posee no es suficiente. Al tomar una decisión en estas circunstancias, se acepta correr un riesgo, el cual se busca minimizar. Aquí hay que manejar la probabilidad y otros conceptos relacionados con la misma.

#### Esperanza matemática o valor esperado

El riesgo que se está dispuesto a correr debe estar equilibrado por el premio o beneficio que se espera obtener. Si no existe este equilibrio, el sentido común y la teoría de la probabilidad nos indican que no deberíamos correr el riesgo. La decisión final la tomamos nosotros.

La esperanza matemática es un número que resulta al multiplicar la probabilidad de lograr un

objetivo por el beneficio que ese objetivo representa<sup>7</sup>. Si el resultado es positivo, existe un beneficio. Si es negativo, es un perjuicio.

Con mucha frecuencia en las decisiones que hay que tomar en ingeniería debemos equilibrar el riesgo que corremos con el beneficio esperado. Por ejemplo, en el contrato que se firma con una empresa que ha contratado nuestros servicios se establece que si se incumple se pagará una determinada cantidad como multa. A pesar de nuestros cálculos siempre existe la posibilidad de que se incumpla y por tanto deberá pagarse la multa. Para balancear esta situación es necesario que la ganancia o beneficio que obtengamos sea igual o superior a la probable multa que haya que pagar.

La fórmula es la siguiente:

$$\text{Valor esperado} = \text{probabilidad} * \text{beneficio esperado}$$

Para tomar la decisión correcta en forma racional es necesario conocer las probabilidades de los sucesos que afectan nuestra situación. El problema es, entonces, cómo calcular esa probabilidad.

### Ejemplo 18

Un amigo está vendiendo el disco duro de su computador usado, pues piensa comprarse uno nuevo de mayor capacidad. El disco es de 4,25 GB y lo ofrece por \$50 000. Nuevo puede costar \$120 000. Hace dos años que tiene el equipo y no lo ha utilizado mucho. El fabricante garantiza para el disco duro un tiempo promedio entre fallas de 100 000 horas. Según lo que dice mi amigo, lo ha estado usando unas cuatro horas diarias, en promedio, durante cinco días a la semana, lo que da, aproximadamente, unas 2 000 horas de uso.

En principio, parece un excelente negocio, ya que, si en 2 000 horas de uso no ha tenido fallas, el equipo puede trabajar en óptimas condiciones con casi la misma probabilidad de fallar que cuando era nuevo. Pero, como se está hablando de probabilidades, siempre será posible que el equipo falle. De todas maneras, en este caso, está estimándose el riesgo de comprarlo por un módico precio; la respuesta es clara: el riesgo que se corre de que el disco se estropee está justificado por el beneficio que se va a obtener, el precio tan bajo.

### Ejercicio 18

Unos amigos hacen apuestas a ver quién se atreve a pasar una autopista muy transitada con los ojos vendados. Se realizaron medidas de tráfico y se detectó que el intervalo de tiempo entre carro y carro es de, aproximadamente, dos minutos. Es decir, que si pasa un carro en el instante  $t=0$ , en promedio, volverá a pasar otro carro dentro de dos minutos. Pero como estamos hablando de probabilidades, el segundo carro puede pasar inmediatamente después del primero.

Se ofrece un premio de \$10 000 000 a quien cruce la autopista con los ojos cerrados. ¿Lo haría usted?

¿Qué datos necesitaría conocer para argumentar adecuadamente su respuesta?

Sea  $p_n$  la probabilidad de que no falle el equipo nuevo.

Sea  $p_u$  la probabilidad de que no falle el equipo usado.

Sean  $P_n$  y  $P_u$  los precios del equipo nuevo y usado, respectivamente.

Entre estas variables se cumplen las siguientes desigualdades:

$$P_n > P_u$$

$$P_n \gg P_u$$

Por tanto:

$$P_n, p_n \gg P_u, p_u$$

Es aconsejable comprar el disco duro usado.

Si se asignan valores a las anteriores variables, por ejemplo para  $p_n = 0,95$ ,  $p_u = 0,80$ ,  $P_n = 120\,000$  y  $P_u = 50\,000$

$$0,95 * 120\,000 = 114\,000$$

$$0,80 * 50\,000 = 40\,000$$

$$114\,000 > 40\,000$$

### Ejemplo 19

En un juego de azar uno de los participantes elige una de tres cajas (véase figura 4.17). Una de ellas oculta un jugoso premio. En las otras dos no hay ninguno.

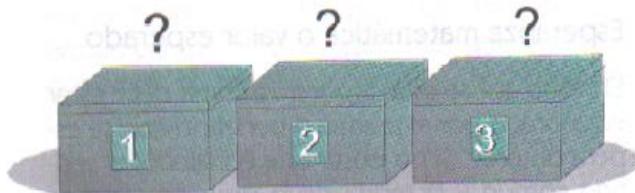


Figura 4.17. ¿Cuál de las tres cajas?

El participante escoge la caja 1 y, entonces, el presentador abre la caja 3 para mostrar que en ella no hay nada. En este momento se le ofrece al participante quedarse con su selección original (1) o escoger la caja 2, dado que la caja 3 mostró que no tenía nada (véase figura 4.18).

¿Qué le aconsejaría usted al participante? ¿Quedarse con la 1? ¿Pasarse a la 2? ¿El hecho de que la caja 3 hubiera mostrado que no había nada en ella aumenta la probabilidad de que haya premios en la 1 ó la 2?

La mayoría de participantes se quedan con la selección original. De todas maneras, existe una posibilidad entre tres (33.33% de probabilidad) de acertar sin tener información. Ahora, que se sabe que en la caja 3 no hay nada, la probabilidad aumentó al 50%.

¿Está usted de acuerdo con que la probabilidad aumentó por el hecho de tener más información? ¿No será que la situación sigue igual?

### Ejercicio 19

En relación con el ejemplo anterior, si tuviera oportunidad de cambiar, ¿se quedaría con la caja 1 o con la caja 2?

#### 4.7.2. Concepto de probabilidad

Cuando no se dispone de toda la información para tomar una decisión no hay que recurrir al azar para que decida por nosotros; existen herramientas matemáticas que pueden acercarnos suficientemente al estado ideal de conocer lo que se necesita para decidir. Cuando un estudiante tiene que afrontar la penosa realidad de cancelar una materia porque no cree poder pasarla al fin del semestre, juega con información completa: por un lado, las notas que ya conoce y, por otro, las probables notas que obtendrá en las evaluaciones futuras. Sin embargo, su decisión no puede esperar hasta ese entonces: existe un plazo para cancelar materias. Pasado ese plazo, ya no podrá cancelarlas. Tiene que hacer cálculos y estimar las notas que debe sacar para poder acercarse suficientemente, o pasar, a la nota mínima

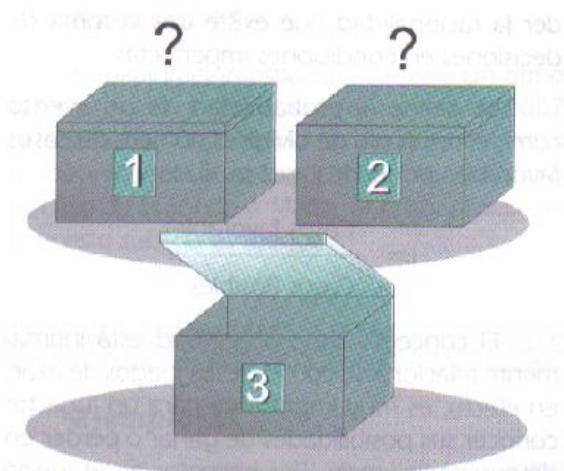


Figura 4.18. ¿Cuál de las dos cajas?

Si usted apostó a que la situación sigue igual está en lo correcto; este es un ejemplo de probabilidad condicional.

Algunos datos adicionales:

• La probabilidad de que la caja 1 contenga un premio es de 1/3.

• La probabilidad de que la caja 2 contenga un premio es de 1/3.

• La probabilidad de que la caja 3 contenga un premio es de 1/3.

• La probabilidad de que la caja 1 contenga un premio es de 1/2.

• La probabilidad de que la caja 2 contenga un premio es de 1/2.

• La probabilidad de que la caja 3 contenga un premio es de 0.

aprobatoria. Si su registro académico muestra que su comportamiento en las segundas evaluaciones ha sido, históricamente hablando, mejor que en las primeras, puede arriesgarse sabiendo que existen fundadas posibilidades de triunfar. Si, por el contrario, lo normal es que en las próximas evaluaciones su desempeño sea inferior al obtenido inicialmente, es mejor que cancele de una vez sus posibilidades parecen pequeñas.

La toma de decisiones requiere dominar una herramienta matemática conocida como *teoría de las probabilidades*, herramienta que permite tomar decisiones racionales, aun desconociendo toda la información requerida. Sin pretender profundizar en el tema, es necesario plantear algunos conceptos básicos para entender la importancia de la probabilidad en la toma de

der la racionalidad que existe tras la toma de decisiones en condiciones imperfectas.

Se define la probabilidad de un evento como el resultado de dividir el número de casos favorables por el de casos posibles.

$$p = \frac{\text{Casos favorables}}{\text{Casos Posibles}}$$

El concepto de probabilidad está íntimamente relacionado con el de los juegos de azar; en efecto, es muy importante para un jugador conocer sus posibilidades de ganar o perder en determinado juego. Por ejemplo, en el juego de los dados cada cara tiene las mismas oportunidades de salir; apostar al seis, al cinco, al tres debería ser lo mismo. Existen seis posibles resultados al lanzar un dado: que salga el 1, el 2, el 3, el 4, el 5 ó el 6. Si un apostador apuesta al 5, solamente uno de los seis posibles resultados es favorable para él. De entre seis casos posibles solamente uno le es favorable. La relación se denomina la probabilidad del suceso.

La probabilidad,  $p$ , de que salga un 4 al lanzar un dado es igual a:

$$p = 1/6 = 0,16666$$

Si se desea calcular la probabilidad de que salga un número inferior a 4, los casos favorables en esta ocasión son:

Que salga 1, 2 ó 3. Es decir existen tres casos favorables.

### Ejercicio 20

Las estadísticas que lleva una empresa productora de tornillos arrojan las siguientes cifras:

En promedio, por cada 100 000 tornillos producidos, 530 salen defectuosos. De éstos, 120 corresponden a materiales porosos, 250 a problemas con el buril del torno, 100 a mal ajuste de la máquina herramienta y el resto a problemas con el operador de la máquina.

Indique cuál es la probabilidad de que al comprar su empresa un lote de 100 000 tornillos salga un tornillo defectuoso. ¿Cuál es la probabilidad

de que ocurra este evento será:

$$p = 3/6 = 0,5$$

Expresando esta probabilidad en porcentajes, se diría que existe el 50% de probabilidad de que ocurra lo que estoy esperando. La certeza se define como el evento en el que el número de casos favorables es igual al número de casos posibles. En este caso, la probabilidad es igual a 1; en términos de porcentaje se diría que existe el 100% de probabilidad.

Por el contrario, la imposibilidad se define como el evento en el que el número de casos favorables es cero, cuando existe al menos un caso posible. Porcentualmente, se dice que existen 0% de probabilidad.

### Ejemplo 20

Una fábrica de chips de memoria RAM determina que por cada 100 chips producidos 2 salen defectuosos; es decir, el 2%. En un embarque de 20 000 chips saldrán

$$20\,000 * 0,02 = 400 \text{ chips defectuosos}$$

Esto no quiere decir que en todos los embarques de 20 000 chips saldrán 400 defectuosos; es posible que en unos salgan más y en otros menos. Pero, en promedio, después de muchos embarques, el promedio de chips defectuosos por embarque habrá sido de 400.

de que el defectuoso sea consecuencia de mal manejo por parte del operador de la máquina?

### 4.7.3. Posibilidad y probabilidad

Es necesario distinguir entre *possible* y *probable*; entre posibilidad y probabilidad. En el lenguaje común no se acostumbra distinguir el uso de estas dos palabras en situaciones que exigen una de ellas. Por ejemplo, se está hablando sobre la duda que se tiene en relación con pasar una asignatura. Un estudiante del grupo dice que "... es muy posible que...". El término *possible*

no debe usarse en este contexto; los eventos son posibles o imposibles, mas no “*muy posibles*”. Si quisiera opinar sobre la posibilidad de pasar la asignatura debería haber usado *probabilidad*, que es la expresión cuantitativa de la posibilidad de un evento. “Tiene el 30 % de probabilidad de pasar...” hubiera sido lo correcto, en este caso.

### Ejemplo 21

La exploración espacial avanza a un ritmo tan acelerado que es posible que antes de 2007 pueda haber descendido un ser humano en el planeta Marte; sin embargo, después del último fracaso de la sonda a Marte, la probabilidad de que esto suceda es menor.

### Ejercicio 21

Lea la siguiente frase y reescríbala correctamente:

“No existe un pronóstico actualizado sobre el futuro del precio del petróleo, pero los expertos coinciden en que es poco posible que los precios actuales se mantengan, aunque admiten la probabilidad de que la OPEP pueda sostenerlo en los actuales niveles si se mantienen firmes en su decisión de no aumentar la producción del crudo”.

#### 4.7.4. Cálculo de la probabilidad

Para hallar la probabilidad de la ocurrencia de un evento es necesario calcular el número de casos posibles y el de casos favorables; una vez hecho esto, se realiza la división y el resultado, un número real entre 0,0 y 1,0, es el valor de la probabilidad. Expresada en términos porcentuales, entre 0,0%, la imposibilidad, y 100%, la certeza.

El verdadero problema es encontrar el número de casos favorables, CF, y el de casos posibles, CP. Hay situaciones sencillas en las que es inmediata la forma de hallar esos dos números, pero en otras ocasiones se vuelve un complicado problema de cálculo combinatorio. Algunos ejemplos ayudarán a mostrar el nivel de dificultad que puede hallarse.

### Ejemplo 22

Se lanza un dado 3 600 veces; los resultados se anotan y su registro se muestra en el cuadro 4.9. Debido a que un dado tiene seis caras, cada una de éstas tiene la misma probabilidad:

1 caso favorable / seis casos posibles:  $1/6 = 0,1667$

Si al lanzar el dado se observa, después de muchos lanzamientos que la frecuencia con la que salen los diferentes números no es aproximadamente igual, puede pensarse que el dado está cargado hacia algún número en particular. Para descubrir cuál número es necesario repetir el lanzamiento una gran cantidad de veces.

A simple vista puede notarse que el lado seis del dado presenta un número de ocurrencias mucho mayor que el que teóricamente debería ocurrir: 600 veces; las seis caras del dado tienen igual número de casos favorables (600). Si en la realidad salen 813 ocurrencias de este lado del dado, la conclusión a la que se debe llegar es que el dado está cargado.

En la figura 4.22 se muestran las curvas teórica y real de este caso. Si el dado no estuviera cargado, las dos curvas deberían coincidir, con algunas pequeñas variaciones.

120352

Cuadro 4.9 Resultados del lanzamiento de un dado

Caso	Resultado teórico	Resultado real	Diferencia
1	600	580	- 20
2	600	505	- 95
3	600	512	- 88
4	600	580	- 20
5	600	610	+ 10
6	600	813	+ 213
Totales	3 600	3 600	0

### Lanzamiento de un dado

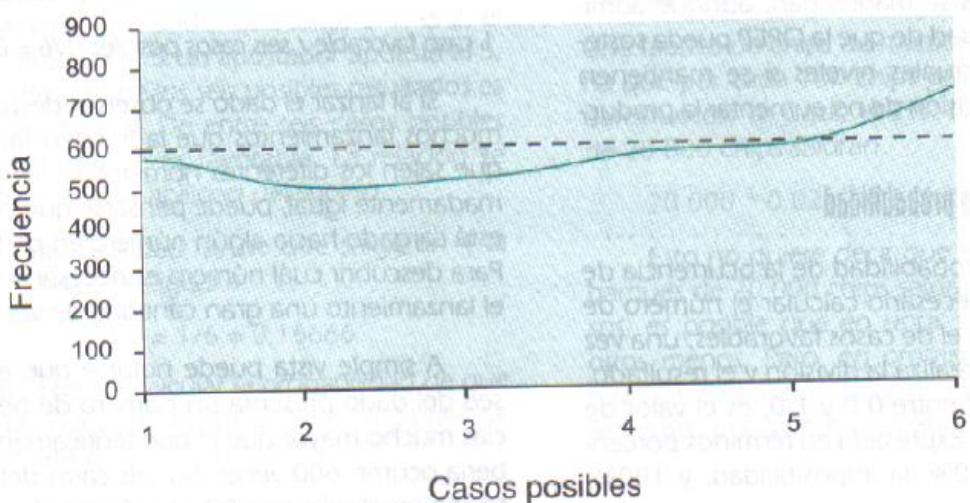


Figura 4.19. Curva teórica (-----) y real (—) del lanzamiento de un dado.

### Ejercicio 22

Con los datos mostrados en el cuadro 4.9 y la figura 4.19, indique usted, razonadamente, a qué número(s) apostaría en ese dado.

### Ejemplo 23

Se lanzan dos dados 3 600 veces consecutivas; De acuerdo con la teoría de los grandes números, con una cantidad de lanzamientos tan grande, la frecuencia de aparición de cada posible

combinación debería haber sido la misma. Se anotaron las veces que cada resultado salió, lo cual aparece en el cuadro 4.10.

**Cuadro 4.10. Frecuencia de aparición real y teórica**

Resultado	Posibles Combinaciones	Probabilidad	Frecuencia real	Frecuencia teórica	Desviación
2	1+1	1/36	60	100	- 40
3	1+2 ; 2+1	2/36	120	200	- 80
4	1+3; 3+1; 2+2	3/36	220	300	- 80
5	1+4; 2+3; 3+2; 4+1	4/36	340	400	- 60
6	1+5; 2+4; 3+3; 4+2; 5+1	5/36	400	500	- 100
7	1+6; 2+5; 3+4; 4+3; 5+2; 6+1	6/36	700	600	+100
8	2+6; 3+5; 4+4; 5+3; 6+2	5/36	570	500	+70
9	3+6; 4+5; 5+4; 6+3	4/36	470	400	+70
10	4+6; 5+5; 6+4	3/36	390	300	+90
11	6+5; 5+6	2/36	260	200	+60
12	6+6	1/36	70	100	- 30
Totales			3 600	3 600	+ 00

Del análisis de los datos del cuadro 4.10 se desprenden que los dados usados no son imparciales; dicho de otro modo, parece que están cargados para que determinados resultados salgan más que otros. Se desea conocer cuál o cuáles son las caras del o de los dados que están cargadas.

Lo primero que hay que hacer es calcular las frecuencias teóricas que a cada combinación

le corresponde. Para ello, es necesario obtener las combinaciones de caras de los dados que dan las sumas 2, 3, 4, ... Una vez obtenidas, una simple regla de tres indicará cuál debería ser la frecuencia para esa combinación. Por ejemplo, para la suma 3 existen las combinaciones (1,2), (2,1); en total 2 casos favorables de 36 posibles (de dónde sale el número 36?). (Véase figura 4.20).

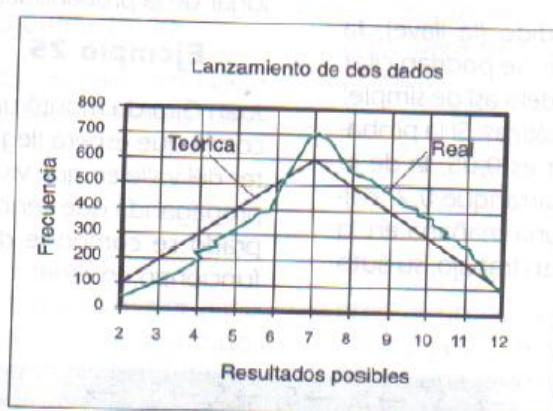


Figura 4.20. Curvas teórica y real del lanzamiento de dos dados.

### Ejercicio 23

En relación con el cuadro 4.10 y la figura 4.23, indique, razonadamente, a qué números aportaría al lanzar los dos dados.

En ingeniería es muy común encontrar sistemas compuestos por varios dispositivos, los cuales actúan de forma interdependiente; si uno de los dispositivos falla, el sistema deja de funcionar. Por ejemplo, si el computador que controla las puertas de acceso a las rampas para abordar los aviones falla (se cae el sistema) deben suspenderse las salidas de aviones mientras se corrige la falla. Para calcular la probabilidad de que un sistema complejo falle, es necesario conocer la probabilidad de falla de cada uno de sus componentes.

### Ejemplo 24

En una empresa que ensambla microcomputadores se tienen las siguientes estadísticas:

Por cada 1000 CPU fallan en promedio 2.

Por cada 1000 teclados salen 3 con defectos.

Una pantalla de cada 100 no funciona adecuadamente.

- ¿Cuál es la probabilidad de que al empacar un equipo completo el conjunto no funcione?

Para obtener la respuesta es necesario hallar la probabilidad de falla de cada componente. De acuerdo a los datos, estas probabilidades son:

Para las CPU: 0,2%

Para los teclados: 0,3%

Para las pantallas: 1%

Si falla cualquiera de los anteriores, el sistema deja de funcionar. Por tanto, la probabilidad de falla es la suma de las respectivas probabilidades:

$$\text{Probabilidad de falla total} = 0,2\% + 0,3\% + 1\% = 1,5\%$$

Expresando lo anterior en forma más gráfica puede afirmarse que de cada 200 equipos que se ensamblen es probable que fallen 3.

### Ejercicio 24

Cuando se prende el automóvil por la mañana existe una alta probabilidad de que alguno de los elementos claves del encendido no funcionen y el auto no se active. Los elementos clave son:

El interruptor de encendido (la llave), la batería y el motor de arranque. Se podrían citar otros, pero se va a dejar el modelo así de simple, para no entorpecer las matemáticas. Si la probabilidad de falla del interruptor es 0,05, la de la batería 0,1 y la del motor de arranque 0,2, calcule la probabilidad de que una mañana en la que necesita llegar a tiempo a su trabajo, su auto lo deje plantado.

Un concepto muy utilizado en ingeniería es la *fiabilidad* que se encuentra estrechamente relacionado con la probabilidad. Por ejemplo, en el caso anterior se podría haber hablado de la *fiabilidad del sistema de encendido del vehículo*, en lugar de la probabilidad de que no funcione.

### Ejemplo 25

Juan Girardo montó una estación de Tv privada con la que espera llegar a los 100 000 habitantes del valle en que vive y ganarse la vida con la propaganda que venda. El equipo que ha comprado se compone de cinco subsistemas que funcionan en serie:

Entrada

→  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow$

Salida

La confiabilidad de cada uno de los subsistemas es, respectivamente, 0,85; 0,88; 0,90; 0,95 y 0,98.

La confiabilidad de todo el sistema es producto de todas las confiabilidades individuales. Es decir:

$$\text{Confiabilidad del sistema} = 0,85 * 0,88 * 0,90 * 0,95 * 0,98 = 0,63$$

### Ejercicio 25

La confiabilidad del transporte público se ha estipulado que debe ser, al menos, de 0,70. Por medio de estadísticas efectuadas se calcula que la confiabilidad del parque automotor es del 0,80. Si solamente queda pendiente la confiabilidad del elemento humano, ¿cuál debería ser ésta para montarse tranquilamente en un autobús?

### Ejemplo 26

Al comprar un billete de lotería se tiene una exigua probabilidad de sacar el premio. Esta probabilidad se calcula así:

$$1/\text{número de billetes emitidos}$$

Si el billete se compone de cuatro dígitos, desde el 0000 al 9999, la cantidad de billetes emitidos es de 10 000. Por tanto, la probabilidad de sacar el primer premio es de 0,0001; es decir, una diezmilésima. Si el premio mayor es de \$10 000 000 la esperanza matemática o premio esperado es de

$$0,0001 * 10\,000\,000 = 1\,000$$

Para que haya justicia, el valor del billete debe ser igual o menor que la esperanza mate-

### 4.8. Estadística

Se vive en un mundo en el que la mayor parte de nuestras decisiones se toman con riesgo; donde el mayor o menor conocimiento que se posea de la situación en la que se tiene que decidir aumentará la probabilidad de que la decisión sea correcta. Por ello se hace necesario

Como la norma establece que debe haber un mínimo de 0,40 de confiabilidad, Juan cumple sobradamente con la norma y puede emitir la señal sabiendo que la publicidad que emita (y por la que están pagando los anunciantes) llegará a los habitantes de la región.

mática. En otras palabras, no se debería pagar más de \$ 1 000 por el billete. Si el billete cuesta más, el riesgo que se corre de no ganar el premio no corresponde con el beneficio esperado.

### Ejemplo 27

Si además de ofrecerse un primer premio, se ofrecen otros premios adicionales, la esperanza matemática será

$$\sum p_i * \$i$$

En donde:

**p<sub>i</sub>** : es la probabilidad de sacar uno de los premios.

**\$i** : es el valor del premio.

Por ejemplo, si se ofrecen premios de \$5 000 000 y de \$1 000 000, entonces la esperanza matemática sería de:

$$0,0001 * (\$10\,000\,000 + \$5\,000\,000 + \$1\,000\,000) = 1\,600$$

El precio del billete podría llegar hasta \$1 600, para que hubiera justicia para el comprador.

precisar un poco sobre las características esenciales de esas situaciones en las que los eventos tienen una probabilidad de que ocurran, pero nunca la certeza. La estadística trabaja con variables cuyos valores no se encuentran definidos; pueden tomar diferentes valores cada uno

de ellos con una cierta probabilidad. A diferencia del dado que solamente tiene seis caras y por tanto seis posibles valores, los casos que trata la estadística se refieren a aquellos en que el número de valores que puede tomar una variable es muy grande y en algunos casos infinito. Para hallar la probabilidad de ocurrencia de un evento en estas condiciones, no es posible aplicar directamente los mismos principios que usamos en los ejemplos anteriores.

Se podría decir que la estadística es una parte de las matemáticas que nos guía a la hora de tomar decisiones en situaciones en las que la probabilidad de ocurrencia de los eventos se obtiene a partir del estudio y análisis de los datos obtenidos de la observación de un determinado fenómeno o situación.

Por ejemplo, en la fabricación de clavos de 1" para la industria de la construcción se observa que la medida de los mismos no es siempre 1", sino que presentan valores de 1,02", 1,01", 1,03", 0,98", .... Cuando se vende una caja de clavos de 1" debe dársele al cliente una cierta seguridad que, evidentemente, las longitudes de los

clavos que encontrará dentro son muy cercanos a 1". La estadística permite precisar el grado de aproximación logrado a esa medida deseada de 1".

Para obtener esa información se registran los valores de la o las variables del estudio (la longitud del clavo) y se derivan de ellos unos números que servirán para la toma de decisiones. Se acostumbra usar el término *población* para referirse a todos los elementos (todos los clavos) del conjunto de estudio. Sin embargo, cuando el número de elementos es muy grande se toma una *muestra* (menor que la población) y de ella se derivan los indicadores utilizados para la toma de decisiones.

### Ejemplo 28

Todos los chips de memoria que se producen en una fábrica de Taiwán compondrán la población de los chips. Analizando uno a uno dichos chips se podría tomar una decisión 100 % segura sobre la confiabilidad de los mismos: los que no pasan las pruebas de calidad son desechados. Sólo los que las pasan salen al mercado.

### Ejercicio 26

Está desarrollándose un estudio acerca de la contaminación de las aguas de un río. Indique cuál sería la población de estudio para los datos del informe.

Se utiliza el término *muestra* para indicar el número de elementos de la *población* que se usarán para poder tomar decisiones sin tener que estudiar todos los elementos de la misma. Ahí es donde entra a desempeñar un papel importante la estadística, pues con base en los datos tomados de la *muestra* pueden sacarse conclusiones acerca de toda la población garantizando un determinado índice de confiabilidad sobre los resultados. Al tomar decisiones basadas en el conocimiento parcial muestra, se corre un riesgo; al tomar decisiones basadas en el conocimiento total (población) no se corren riesgos.

### Ejemplo 29

Con el objeto de planear adecuadamente el sistema vial de una región se lleva a cabo un estudio del tráfico en la zona; se anotan entre otros los datos de los vehículos, su origen, destino, hora, día. Se conoce que el flujo vehicular diario es de más de 200 000: vehículos de carga, autos, motos, y demás. Para el estudio se toma una muestra de 5 000 vehículos, distribuidos a lo largo de las diferentes horas del día, durante los siete días de la semana. La estadística indica que con esta muestra los resultados que se obtengan pueden aceptarse con un 95% de confiabilidad. Si se desea llegar a tener un grado de confiabilidad del 100%, es necesario tomar los datos de los 200 000 vehículos.

## Ejercicio 27

Un ingeniero de software se encuentra probando el funcionamiento de un software diseñado para controlar el movimiento de los sistemas de navegación y posicionamiento de un avión. Los cálculos indican que existen más de 100 000 combinaciones posibles que es necesario probar para tener garantía total de que el software funciona correctamente. Cada posible combinación toma 1 minuto. Calcule el tiempo que tomaría probar todas las combinaciones. ¿Probaría todas las combinaciones? Explique razonadamente su respuesta.

## Ejemplo 30

Una fábrica de bombillos acaba de sacar al mercado un nuevo bombillo de larga vida: 2 000

horas. Para poder dar esta garantía, la fábrica conecta 2 000 bombillos durante tres meses y ha ido tomando nota del número de bombillos que fallan a lo largo del período. Con los datos obtenidos, y usando la estadística adecuadamente, la empresa pudo ofrecer esa garantía. No necesita probar cada uno de los 400 000 bombillos que produce cada mes. Con esa muestra es suficiente.

Si se hubieran probado todos los bombillos (*población*) se hubiera podido dar una mejor garantía a los compradores; pero como eso sale extremadamente costoso, la garantía se basa en los datos obtenidos de una muestra de 2 000 bombillos. La garantía que se da es de menor calidad para disminuir los riesgos. Estamos hablando de probabilidad y no de certeza.

## Ejercicio 28

Una empresa produce 200 000 neumáticos para bicicleta. Si esta empresa garantiza que el 100% de sus neumáticos salen al mercado sin imperfecciones, ¿cuál es el porcentaje de neumáticos que se prueban de los 200 000 que producen? Dé una respuesta razonada.

### 4.8.1. Valor promedio

Para poder trabajar cuantitativamente con variables cuyos valores no son fijos, sino que varían constantemente, dentro de ciertos límites, es necesario crear una variable y asignarle un valor que refleje lo más aproximadamente los diferentes valores que puede tomar en el entorno de su existencia. Por ejemplo, en una fábrica se rechaza diariamente una determinada cantidad de piezas por imperfectos varios; el número varía diariamente. Al final del mes se suman todas las cifras diarias y se divide por 30; el resultado es el *promedio* de piezas rechazadas por día. Esta cifra, el *valor promedio*, da una idea del número de piezas que diariamente se rechazan en la fábrica. Si se desea efectuar un análisis sobre el modelo de producción de piezas de la empresa, con el fin de reducir dicha cifra, se to-

mará el valor promedio como indicador en los cálculos que se efectúen.

En casi todas las actividades diarias hay situaciones en las que los valores de las variables que se necesitan medir para tomar decisiones varían continuamente, y es necesario remplazarlos por el valor que mejor los representa: su *valor promedio*. A veces, el valor promedio se toma sobre toda la población (cuando es pequeña), aunque normalmente se toma sobre una muestra de la misma.

Un técnico de laboratorio analiza la composición de una muestra de las aguas residuales que arroja una planta industrial a un río, con el fin de comprobar si está dentro de los límites de contaminación establecidos; lo que tiene es una muestra y sobre esta muestra debe tomar la decisión de recomendar cerrar la planta o dejarla seguir funcionando.

Un ingeniero civil efectúa mediciones de tráfico en una carretera; durante varios días mide el número de vehículos que discurren por la carretera y anota entre otros datos, sus características, origen y destino. La idea es obtener información para recomendar ampliar la carre-

tera actual o construir una nueva. Para tomar esa decisión bastarán los datos que tome durante unos días.

Un ingeniero industrial mide los tiempos que un operario emplea para realizar una determinada labor en un proceso industrial. Se repite la medición una y otra vez para estimar con mayor precisión el tiempo empleado, pues es esencial en la eficiencia del citado proceso. No se garantiza que ese operario sea el que realizará el proceso indefinidamente, así que los resultados que arroje el estudio deberán servir para cualquier operario.

Un ingeniero electricista registra los datos del consumo de energía eléctrica en un determinado sector para poder predecir el aumento del consumo en los próximos años. Tampoco aquí se puede garantizar que sean las mismas personas, con los mismos hábitos las que vivirán en ese sector en un futuro. Sin embargo, de los datos obtenidos deberá inferirse el comportamiento futuro.

Un ingeniero mecánico realiza pruebas de resistencia sobre los materiales que se usarán en el diseño de una estructura, con el fin de efectuar los cálculos con un alto coeficiente de seguridad. Aunque se lleva un excelente control de calidad en la fabricación de los materiales empleados, siempre hay diferencias entre lo que llegó hoy al laboratorio y el que se empleará en la construcción de la estructura. Los cálculos deben contemplar ese rango en las características de los materiales usados.

Para el ingeniero de sistemas es indispensable conocer el tiempo que se necesita para ejecutar un proceso o para desarrollar una aplicación, pues sin estos datos no es posible comprometerse a entregar el diseño de un nuevo producto informático en el tiempo exigido por un cliente. Necesita conocer esta información,

independiente de las personas que la podrán llevar a cabo, dada la alta rotación que hay en este sector de la industria.

Todos los anteriores casos se parecen entre sí porque en ninguno se conoce la información totalmente: solamente información sobre una muestra. Y de la información que ésta arroja se deberán sacar conclusiones válidas para un conjunto mucho mayor que el usado en las pruebas.

El valor promedio es una medida de la tendencia central de un conjunto de observaciones o pruebas. Este valor es el más cercano al verdadero valor de la variable medida, si se toma toda la población.

### Ejemplo 31

En un salón de clase se midieron las estaturas de los estudiantes y en el cuadro 4.11 aparecen las medidas encontradas. También se midió el peso y se anotó la edad.

Si se quisiera hablar de la estatura del grupo se debería usar una estatura que reflejara de la mejor manera las diversas estaturas de los integrantes del grupo. ¿Cuál es esa estatura?

La mejor manera de reflejar la estatura del grupo con una cantidad es sumando todas las estaturas y dividiéndola por el número de integrantes del grupo; en este caso, 20. Al número que resulta se le denomina *valor promedio* o *media aritmética*, y se representa por una letra minúscula (relacionada con el nombre de la variable; por ejemplo, para el peso,  $p$ ) con una barra encima:  $\bar{p}$ .

Valor promedio de la estatura del grupo =  
 $(\text{estaturas} / \text{número}) = 3321 / 20 = 167 \text{ cm}$

Entonces, la mejor manera de representar en forma general una característica de una población con una distribución que no está sesgada por valores extremos es mediante su *valor promedio*.

### Ejercicio 29

Con los datos del cuadro 4.11, calcule el valor promedio del peso de toda la población de estudiantes. Repita el proceso tomando al azar 4 muestras

de 7 estudiantes cada una, saque los promedios de las muestras y compárelos con el que obtuvo para toda la población. ¿A qué conclusiones llega?

**Cuadro 4.11. Características de los estudiantes**

Estudiante	Peso (kg)	Estatura (cm)	Edad (años)
1	54,6	166	18
2	52,3	168	17
3	58,0	171	17
4	61,2	159	16
5	49,5	167	16
6	51,0	159	16
7	53,4	161	18
8	55,2	163	17
9	46,2	165	16
10	44,8	168	16
11	50,8	170	17
12	49,2	162	16
13	48,8	168	15
14	60,0	169	18
15	59,8	168	17
16	58,8	159	17
17	56,2	171	16
18	49,5	163	16
19	48,2	175	17
20	50,8	169	16
Totales	1 058,3	3 321	332

A propósito, ¿qué procedimiento utilizaría para escoger al azar cada muestra de 7 estudiantes?

### Ejemplo 32

Un grupo de estudiantes de química obtuvieron los siguientes resultados al pesar en una balan-

za muy precisa varias ampollas de vidrio usadas en las prácticas de los laboratorios<sup>a</sup>. Los pesos en gramos se muestran en el cuadro 4.12.

El valor promedio de los pesos obtenidos se obtuvo sumando todos y dividiendo por 16. El resultado es 2,1610 g.

**Cuadro 4.12. Resultados del experimento de química**

2,1624	2,1599	2,1612	2,1608
2,1598	2,1630	2,1616	2,1598
2,1601	2,1608	2,1625	2,1609
2,1614	2,1610	2,1591	2,1617
2,1588	2,1605	2,1617	2,1622

### Ejercicio 30

Calcule el valor promedio del peso de las ampolas de cada una de las cuatro columnas del cuadro 4.12. A continuación sume los cuatro valores obtenidos y el resultado divídalo por cuatro. Compare los resultados obtenidos con el valor promedio de la población. ¿A qué conclusiones llega?

#### 4.8.2. Moda y mediana

En algunas situaciones es conveniente definir la característica del grupo usando otras cantidades. Las más utilizadas son:

**Moda:** es el valor que ocurre con mayor frecuencia entre un grupo de números.

### Ejercicio 31

Calcule la moda y la mediana de los datos del ejemplo 31, las edades de los estudiantes (véase cuadro 4.11).

#### 4.8.3. Histograma

El valor promedio de una población o muestra da una idea del valor más probable de la variable en estudio, pero no ofrece una visión clara acerca de la mayor o menor dispersión de valores de la misma: ¿qué tan cerca del promedio se encuentran esos valores? El valor promedio de la edad de un grupo es de 35 años, pero hay gente de 14, 21, 35, 45, 57, 65, 72, ... años. ¿Qué tan representativo es el promedio en este caso?

En el ejemplo 18, la moda de la edad es 16.

**Mediana:** es el valor central de un grupo de números ordenados. En el ejemplo 18, para la edad, la mediana es  $(15 + 18) / 2 = 16,5$  años. Se usa cuando los valores muestran un cierto sesgo hacia los extremos. En ese caso el valor promedio o media aritmética no representa bien la tendencia central.

### Ejemplo 33

La mediana y la moda para los datos del ejemplo 32 son 2,1610 g y 2,1598 g, respectivamente.

Por ejemplo, en el caso de los clavos de 1", el comprador puede exigir que el 95% de las longitudes de los clavos se encuentren entre 1,05" y 0,95", pues de no ser así no le sirven para su trabajo. Si se miden las longitudes de los clavos de la caja y se construye un cuadro como el 4.13, en la que aparece la cantidad de clavos que corresponde a cada intervalo, entonces el comprador puede apreciar qué cantidad de clavos le sirven y si comprará la caja o no. Si los números que aparecen en el cuadro se presentan gráficamente, a la figura que resulta se le denomina histograma.

Cuadro 4.13. Frecuencia de acuerdo con las dimensiones de los clavos

Intervalo en "	0,85-0,90	0,90-0,95	0,95-1,00	1,00-1,05	1,05-1,10	1,10-1,15
Cantidad	25	45	250	280	45	20

Para la construcción del histograma se agrupan los datos en intervalos; se cuentan los datos que hay en cada intervalo y se dibuja un rectángulo cuya altura sea proporcional al número ha-

llado. De esta manera se obtiene una gráfica compuesta por rectángulos de desigual altura que indican cuántos elementos del grupo hay en cada intervalo.

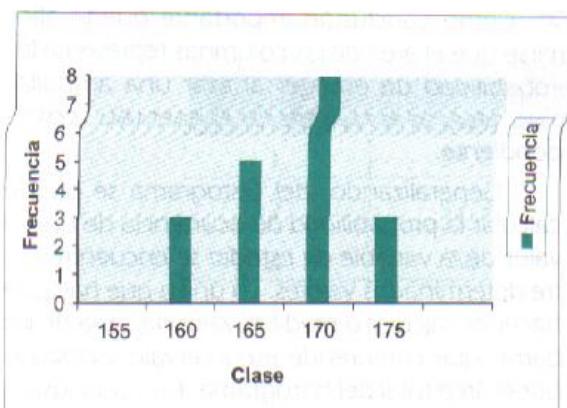


Figura 4.21. Histograma de las estaturas.

**Ejemplo 34**

Para el caso de la estatura de los estudiantes, se define un intervalo de 5 cm. En la figura aparece el número de estudiantes que hay en cada intervalo.

Como se puede apreciar, la altura de cada barra (véase figura 4.21) es igual al número de

elementos que caen dentro del intervalo. Si se usa un intervalo más estrecho (2 cm, por ejemplo), se obtiene una gráfica como la que aparece en la figura 4.22.

Ahora se aprecian cambios significativos en los datos. La selección del tamaño del intervalo puede dar ideas muy diferentes sobre lo que está ocurriendo.

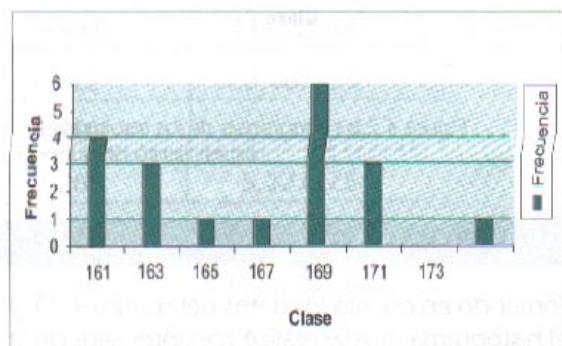


Figura 4.22. Histogramas con intervalos de 2 cm.

**Ejercicio 32**

Represente el histograma para las dos variables, edad y peso, usando diversos intervalos.

**Ejemplo 35**

Para el caso de los pesos de las ampollas usadas en el laboratorio de química (véase cuadro 4.12), el histograma respectivo se hallaría de la siguiente manera: se busca el mayor valor (2,1630 g) y el menor (2,1588 g). La diferencia entre los dos (el rango) es 0,0042 g. Se escogen arbitrariamente cinco barras para el histograma, lo que le da una anchura a cada barra de  $0,0042/5 = 0,00084$  g que al redondear queda en 0,0008 g, o expresado en formato científico sería  $8 \times 10^{-4}$  g.

La altura de cada barra indica el número de pesadas que caen en cada intervalo (véase figura 4.23). En el intervalo entre 2,1612 g y 2,1620 g se encuentra el mayor número de pesadas. No hay que olvidar que el valor promedio hallado fue 2,1610.

Analicemos estas barras de forma distinta: si se lanzara un dado sobre la superficie limitada por las barras, ¿cuál sería la probabilidad de que cayera en la barras de mayor altura?

La respuesta a esta pregunta se puede obtener calculando el área de la barras de mayor altura

$$6 * 0,0008 = 0,0048$$

y dividiéndola por el área total de las barras, que es

$$0,0016 + 0,0032 + 0,0048 + 0,0032 + 0,0024 + 0,0008 = 0,0160$$

El resultado es 0,3.

Si lanzar el dado se reemplaza por tomar una de las ampollas al azar, la probabilidad de que sea una ampolla cuyo peso oscile entre 2,1612 g y 2,1620 g es del 30%.

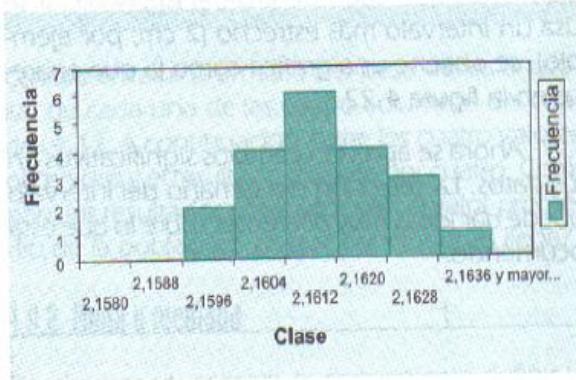


Figura 4.23. Histogramas de los resultados del experimento de química.

Como conclusión importante puede afirmarse que el área de las columnas representa la probabilidad de escoger al azar una ampolla cuyo peso se encuentre en el intervalo correspondiente.

Generalizando, del histograma se puede calcular la probabilidad de ocurrencia de que el valor de la variable en estudio se encuentre entre determinados valores. Lo único que hay que hacer es calcular o medir el valor del área de las barras que comprende ese intervalo y dividirlo por el área total del histograma. Esta conclusión es muy importante, pues permite obtener el valor de la probabilidad, elemento fundamental para tomar una decisión racional.

### Ejercicio 33

Tomando en cuenta los datos del cuadro 4.11 y el histograma que se realizó con intervalos de 2 cm, calcule la probabilidad de seleccionar al azar un estudiante cuya edad se encuentre entre 17 y 18 años.

#### 4.8.4. Desviación estándar

Como ya se anotó, el valor promedio es una excelente descripción de determinada característica de una población, pero no da una idea de cómo se encuentran agrupados esos valores; es decir, si los valores están muy próximos al valor promedio o se encuentran dispersos.

Para obtener una idea aproximada de la dispersión de los valores, se acostumbra describir la población con otra cantidad, complementaria a la del valor promedio. Esta cantidad se denomina *desviación estándar* y muestra la dispersión de los valores individuales respecto al valor promedio. Se usa la letra griega sigma  $\sigma$ .

La fórmula para calcular  $\sigma$  es la siguiente:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{X} - x_i)^2}{N - 1}}$$

En donde  $\bar{X}$  es el promedio de los datos,  $x_i$  es el valor de un dato en particular y  $N$  es el número de datos. La aplicación de esta fórmula se aclara con el siguiente ejemplo.

### Ejemplo 36

En el cuadro 4.14 aparecen los datos del ejemplo 38, junto con otra información adicional.

La desviación estándar puede calcularse directamente en muchas calculadoras científicas que ya ofrecen una tecla programada para esto. También las hojas electrónicas permiten el cálculo de las diversas funciones estadísticas fácilmente.

Cuanto mayor es la desviación estándar mayor es la dispersión: los valores individuales no se agrupan alrededor del valor promedio, se encuentran alejados del mismo. Si la desviación estándar, por el contrario, es muy pequeña, los valores individuales se agrupan alrededor del valor promedio y éste sí tiene significado: si refleja fielmente a la población en estudio. Se puede tomar como una medida verdaderamente representativa de la población que se está estudiando.

Cuadro 4.14.

Estudiante N=20	Peso (kg) P	Diferencia (promedio-p)	Diferencia <sup>2</sup> (promedio-p) <sup>2</sup>
1	54,6	1,685	2,839225
2	52,3	0,615	0,378225
3	58	-5,085	25,857225
4	61,2	-8,285	68,641225
5	49,5	4,415	11,662225
6	51	1,915	3,667225
7	53,4	-0,485	0,235225
8	55,2	-2,285	5,221225
9	46,2	6,715	45,091225
10	44,8	8,115	65,853225
11	50,8	2,115	4,473225
12	49,2	3,715	13,801225
13	48,8	4,115	16,933225
14	60	-7,085	50,197225
15	59,8	-6,885	47,403225
16	58,8	-5,885	34,633225
17	56,2	-3,285	10,791225
18	49,5	3,415	11,662225
19	48,2	4,715	22,231225
20	50,8	2,115	4,473225
TOTALES	p =52,915	0,0	446,0455

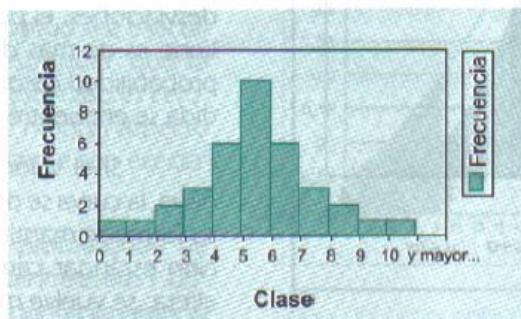


Figura 4.24. Histograma con una distribución normal.

### Ejercicio 34

Con los datos de las ampollas de vidrio, (véase cuadro 4.12), obtenga la desviación estándar.

#### 4.8.5. Distribución normal

Si se escoge al azar un grupo numeroso de personas y se mide su estatura, su peso, su edad, entre otros y se dibuja su histograma, se observará cómo éste toma una forma parecida a la de la figura 4.25. Se nota que existe una aparente simetría entre la barra central y la distribución de las barras a su derecha y a su izquierda.

Este tipo de variables adopta una distribución que se denomina *normal*, debido a que es simétrica, cae rápidamente por los lados y se acerca a cero; hay, aproximadamente, tantas ocurrencias por encima del valor promedio como por debajo del mismo. Este tipo de distribución es frecuente encontrarlo en gran cantidad de situaciones en ingeniería. Cuando se mide el tiempo que toma un programa en ejecutarse en un computador, y esa medida se repite un determinado número de veces, la distribución de los tiempos medidos se asimila a la distribución normal. De la misma manera, si se toman los tiempos que tardan distintos operarios en armar un mismo artefacto, esos tiempos también se distribuyen normalmente.

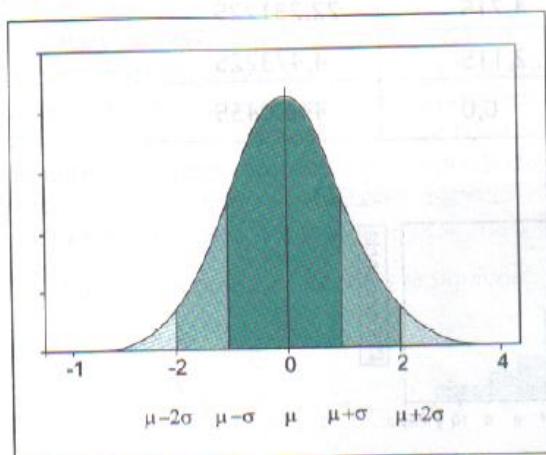


Figura 4.25. Curva normal o de Gauss.

Lo mismo sucede cuando se miden las longitudes de los lados de 1 000 hojas de papel tamaño carta: las longitudes medidas, al representarse gráficamente muestran un aspecto similar al del histograma de la figura 4.25. La distribución de las medidas de temperaturas, presiones, velocidades, longitudes, entre otras, toma una forma similar en todos estos casos. También muchas variables que se usan en áreas como la economía, la sociología, la fisiología. Toman valores que se distribuyen en forma similar a las anteriores. Se dice que su distribución de frecuencias es normal, en forma de campana o *gausiana*.

Si la anchura de las barras (el intervalo) se reduce hasta que se confunden sus lados verticales, el histograma se transforma en una curva parecida a una campana. (véase figura 4.25). Esta curva es simétrica alrededor de un eje vertical que pasa por el valor promedio.

La ecuación de la curva normal viene dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Si se trazan dos líneas verticales a ambos lados del valor promedio y cuyas distancias respecto a éste sean  $\pm 1\sigma$  se obtiene un área debajo de la curva cuyo valor es igual al 68 % del área total. Si las líneas se trazan a  $\pm 2\sigma$  entonces el área bajo la curva y las dos perpendiculares es, aproximadamente, el 95% del área total de la curva. Si se extiende lo anterior a un intervalo que va desde menos tres desviaciones a más tres desviaciones, el porcentaje de curva que se obtiene es de más del 98%. En otras palabras, la probabilidad de que un valor de la variable medida se encuentre entre  $\pm 3\sigma$  es de casi el 100%.

Si el valor promedio aumenta o disminuye, la curva se desplaza horizontalmente, pero su forma se mantiene. Sin embargo, si la desviación estándar cambia, la forma de la curva se altera: se vuelve más aplana a medida que la desviación estándar aumenta. Se vuelve más aguda a medida que la desviación estándar dis-

minuye. La explicación se dio ya: un menor valor de  $\sigma$  indica que los valores de la variable difieren poco del valor promedio; lo opuesto: cuando el valor de  $\sigma$  aumenta, se obtiene una gran dispersión en los valores de la variable. En la figura 4.27. se aprecian tres casos con diferentes valores de  $\sigma$ :  $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$  ( $\sigma_1$  es la que corresponde a la curva más aguda).

Esta curva tiene interesantes propiedades; el área bajo la curva desde  $-\infty$  a  $+\infty$  es igual a 1. Desde el punto de vista de la probabilidad, puede interpretarse como que el área bajo la curva representa la probabilidad de que un suceso ocurra.

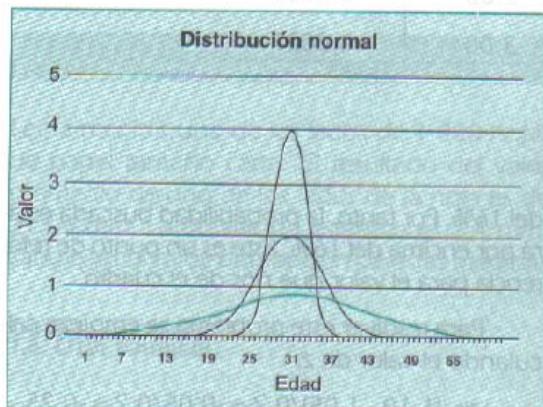


Figura 4.26. Variación de la forma con  $\sigma$ . La probabilidad de que un clavo tenga cualquier longitud es 1: la certeza. La probabilidad de que en un salón de clases al preguntar la edad de un estudiante sea cualquier edad, es 1: la certeza.

Siguiendo con el razonamiento anterior. Si se desea conocer la probabilidad de que al escoger un clavo de la caja su longitud sea exactamente 1,0022", se puede responder que la probabilidad de ocurrencia de este caso es cero. No es posible garantizar desde ningún aspecto que la medida del clavo que saque sea exactamente la que se pidió.

Pero si preguntan por la probabilidad de que la medida del clave se encuentre entre 1,05" y 0,95", la respuesta se puede dar fácilmente, si se conoce cuál es la curva de distribución de frecuencias de los clavos de la caja.

La fórmula del área bajo la curva normal entre dos abscisas,  $a$  y  $b$ , es la siguiente:

$$F(x) = \int_a^b \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

Si se realiza el siguiente remplazo :

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

se obtiene una curva normalizada (véase figura 4.27) en la que el valor promedio vale cero ( $\mu=0$ ) y la desviación estándar vale 1 ( $\sigma=1$ ). En estas condiciones, puede calcularse el área bajo la curva, y del área obtener la probabilidad de que ocurra un determinado suceso, cuya función de distribución está representada por la curva normal.

En el cuadro 4.15 se han calculado las áreas que hay en las colas de la curva normal (hacia  $+\infty$ , hacia  $-\infty$ ), tal como se puede apreciar en la figura 4.27.

El área calculada en el cuadro 4.15 es la correspondiente a la suma de las zonas sombreadas de la figura 4.27. Como se trata de una curva normalizada en la que se usa  $z$ , que corresponde a un múltiplo de  $\sigma$ , es muy sencillo calcular la probabilidad de un evento si se conoce su curva de distribución, su valor promedio y su desviación estándar.

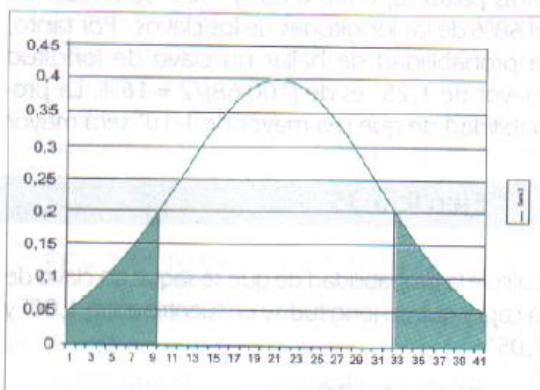


Figura 4.27. Curva normalizada con la variable  $z$ .

Cuadro 4.15. Para calcular la probabilidad ( $P$ ) dado el valor de  $z$ , se calcula el valor fuera de las coordenadas  $\pm z$

Valor de $z$	Valor de $P$	Valor de $z$	Valor de $P$
0,00	1,0000	1,60	0,1096
0,20	0,8415	1,80	0,0719
0,40	0,6892	2,00	0,0455
0,60	0,5485	2,20	0,0278
0,80	0,4237	2,40	0,0164
1,00	0,3173	2,60	0,0093
1,20	0,2301	2,80	0,0051
1,40	0,1615	3,00	0,0027

### Ejemplo 37

Suponiendo que el valor promedio en la caja de clavos fuese  $1,05''$  y que la desviación estándar fuera de  $0,2''$ , se pregunta la probabilidad de que al sacar un clavo de la caja su longitud sea mayor o igual a  $1,10''$ .

En primer lugar, hay que comprender bien lo que significan estas cifras, para tener una idea adecuada del rango de valores en que se debe esperar la respuesta. La desviación estándar de  $0,2''$  indica que el 68% de los valores de los clavos se encuentra entre  $1,05 - 0,2$  y  $1,05 + 0,2$ . En otras palabras, entre  $0,85''$  y  $1,25''$  se encuentra el 68% de las longitudes de los clavos. Por tanto, la probabilidad de hallar un clavo de longitud mayor de  $1,25''$  es de  $(100-68)/2 = 16\%$ . La probabilidad de que sea mayor de  $1,10''$  será mayor

del 16%. Por tanto, la probabilidad buscada estará por encima del 16%. Este es un punto de referencia para el valor que nos dé el cuadro.

Para resolver este problema se empieza calculando el valor de  $z$ :

$$z = -(1,10 - 1,05)/0,2 = -0,05/0,2 = -0,25$$

Sin importar el signo, se busca en el cuadro el valor de  $P$  correspondiente a  $z=0,25$ ; este valor es 0,8026. Como este número es la suma de las dos zonas rayadas, se debe dividir por dos y el resultado corresponde a la zona rayada de la derecha, es decir, para el caso en que  $x > 1,10''$ . La respuesta es 0,4013, es decir el 40% de probabilidad de que al sacar un clavo su longitud sea mayor o igual a  $1,10''$ .

### Ejercicio 35

Calcule la probabilidad de que se saque un clavo de la caja y que su longitud se encuentre entre  $1,00''$  y  $1,05''$ .

### Ejemplo 38

Un ingeniero civil realiza pruebas de resistencia en un terreno con el objeto de identificar si se puede construir un proyecto de bloques

multipartidores compuesto por cinco edificios de 12 pisos cada uno.

Se practican pruebas aleatorias en todo el terreno y se mandan los cilindros al laboratorio para su análisis. Los resultados indican que la resistencia promedio es  $160 \text{ kg/cm}^2$  y que la desviación estándar es de  $15 \text{ kg/cm}^2$ . Se puede

construir siempre que la probabilidad de que se encuentre una zona con una resistencia inferior a  $140 \text{ kg/cm}^2$  sea inferior al 2%.

Para resolver este problema se debe hacer lo siguiente:

Primero comprender el problema y tener idea del rango en que puede hallarse la respuesta. De acuerdo con las propiedades de la curva normal, existe una probabilidad del 95% de que el terreno tenga una resistencia entre  $160-15$  y  $160+15$ ; es decir, entre  $145$  y  $175 \text{ kg/cm}^2$ .

Para aplicar el cuadro de las probabilidades normalizadas, se hace la trasformación a la

### Ejercicio 36

Se ha medido uno de los lados de 1 000 hojas de papel tamaño carta. El resultado del valor promedio de uno de los lados de la hoja es de  $215,6 \text{ mm}$ . La desviación estándar es  $2,4 \text{ mm}$ . Dibuje la curva de distribución de estas medidas

### 4.9. Error estándar

El error estándar es una medida de la confianza que se tiene en el valor promedio de una serie de medidas. Cuando se mide el valor de una variable un determinado número de veces, se obtiene una distribución de las medidas que puede representarse por una distribución normal. Se calcula el valor promedio y la desviación estándar, con lo que se especifica lo necesario para describir la serie de medidas. ¿Con cuántas cifras significativas se puede expresar el valor promedio?

La desviación estándar del valor promedio, denominada *error estándar*, EE, indica el grado de confianza en el valor promedio. La fórmula para calcular el error estándar es la siguiente:

$$\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

En la medida que el número de veces que se repite la prueba aumenta, el error estándar disminuye y aumenta la confianza en el valor promedio de las pruebas.

variable  $z$  y luego se busca el valor respectivo en el cuadro 4.15.

La trasformación arroja el siguiente valor:

$$z = -(140-160)/15 = 20/15 = 1,33$$

Para  $z=1,33$ , la probabilidad es del 18%, aproximadamente. Tomando la mitad de este valor (correspondiente a la zona rayada de la izquierda) queda como respuesta el 9% de probabilidad de que el terreno tenga en algún punto una resistencia inferior a  $140 \text{ kg/cm}^2$ . No debe construir.

Suponiendo que puede representarse por una curva normal.

¿Qué probabilidad hay de que al escoger cualquier hoja la longitud del lado esté entre  $215,5 \text{ mm}$  y  $216,0 \text{ mm}$ ? Mida el área bajo la curva.

En términos prácticos, el EE indica el número de cifras significativas con que se puede expresar el valor promedio.

### Ejemplo 39

En una serie de pesadas se encontró que el valor promedio es  $50,01213$ . La cifra 3 no debería agregarse pues de acuerdo con las reglas que se han establecido no es cifra significativa, pero para efectos que se verán ahora se retiene. La desviación estándar es  $2,1 * 10^{-4} \text{ g}$ . El experimento se ha repetido  $N=3$  veces, por lo que el error estándar es:

$$\text{EE} = 2,1 * 10^{-4} / \sqrt{3} = 1,2 * 10^{-4} = 0,00012$$

Como la primera cifra diferente de cero en el EE está en la cuarta posición decimal, puede afirmarse que el valor promedio se expresa con cuatro cifras decimales; es decir,  $50,0121$ . El 3 que se había reservado por si acaso, se desprecia finalmente.

En Resumen, el EE se toma como el rango de incertidumbre del valor promedio. En este caso se podría expresar como:

### Ejercicio 37

Usando los datos del ejemplo 32 (el de las ampollas de vidrio, calcule el error estándar.

## 4.10. Cálculo aproximado

En muchas situaciones, el ingeniero debe efectuar cálculos aproximados; no necesita conocer el valor del resultado con elevada precisión. Se conforma con una aproximación del 20% ó 30%. Este nivel de incertidumbre es normal encontrarlo en algunos cálculos iniciales que realizan los ingenieros para darse una idea de las dimensiones de un problema.

En muchas ocasiones, estos cálculos deben hacerse mentalmente, sin necesidad de acudir a calculadoras o computadores. Es preciso que nuestros estudiantes se acostumbren a este tipo de situaciones y que las dominen. El proceso implica dos habilidades: primero, desarrollar rápidamente un procedimiento que nos permita llegar al resultado final; la segunda es el cálculo mental, que implica efectuar operaciones aritméticas mentalmente (suma, resta, multiplicación o división). Un ejemplo aclarará lo anterior.

Considérese el caso siguiente: si no se hubiera descubierto el caucho sintético y la ingeniería no hubiera sido capaz de descubrirlo, ¿cuántas hectáreas se estarían sembrando hoy de caucho natural para abastecer la demanda mundial actual?

En primer lugar, hay que elaborar un procedimiento para llegar al resultado; podría ser el que sigue: inicialmente debe conocerse la cantidad de caucho que necesita una llanta en promedio. Para averiguar esto hay que comunicarse con alguna fábrica de llantas y solicitar este dato. Normalmente se expresará en kg de caucho por llanta.

En segundo lugar, se averigua el número de llantas que se consumen anualmente. Esta

$$(50,0121 \pm 1,2 * 10^{-4}) \text{ g}$$

cifra se puede obtener de la producción mundial de autos que hay en el mundo. Recuerde que cada auto necesita 5 llantas. Para obtener esta cifra consulte un almanaque mundial que publique la cifra de autos que cada país produce. Además, hay que tener en cuenta que los autos usados cambian de llantas periódicamente. En promedio cambian 2 llantas por año. Se suman estas cifras y se obtiene el dato pedido.

Con los dos datos anteriores ya se puede conocer la demanda mundial aproximada de caucho para la producción de llantas.

A continuación se investiga la cantidad de caucho que produce en promedio un árbol del caucho. Dividiendo la demanda mundial por el producido por un árbol del caucho se conocerá el número de árboles que se requieren.

Finalmente, se investiga el número de árboles de caucho que se pueden sembrar por ha. y de ahí se deduce el número de ha que deben sembrarse.

Según examen detenido de lo expuesto, están efectuándose varias aproximaciones: no todas las llantas son iguales, hay llantas para autos grandes, para autos pequeños, para camiones, para tractores, entre otras. Al hablar de un promedio está cometiendo un error; en todos los pasos descritos se usan aproximaciones en lugar de datos exactos. Por eso el resultado se da con un margen de error relativamente grande, pero dentro de lo que la ingeniería considera aceptable. Finalmente, lo que se desea conocer es, más que el valor exacto, el orden de magnitud de la demanda.

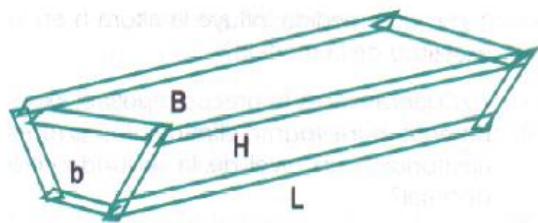


Figura 4.28. Modelo simple para el movimiento de tierra.

Otro ejemplo servirá para aclarar aún más el planteamiento central de este punto. Imagine que usted es un ingeniero civil contratado para efectuar el movimiento de tierras derivado de la construcción de una carretera. En determinado momento necesita subcontratar el transporte del material para lo cual debe fijar un precio. El asunto no puede esperar y usted tiene que llegar a un acuerdo con el dueño de los camiones. Él pide un precio y usted no tiene un criterio para dar una respuesta. Necesita conocer aproximadamente el costo de trasportar toda la tierra que se sacará, agregarle una ganancia adecuada y comparar la cifra que resulte con lo que le están pidiendo, para saber si la solicitud está dentro de lo que se puede llamar razonable.

La carretera tiene que pasar a través de una montaña; se debe abrir un cañón cuyo perfil se puede aproximar a un trapecio con la base inferior de menor tamaño que la superior.

Para calcular el volumen (cubicaje) de tierra se deberán tomar las medidas aproximadas de las bases superior e inferior (¿cómo?), la altura y la longitud. Usando una fórmula conocida: la semisuma de las bases por la altura, multiplicado por la longitud. Multiplica esta cantidad ( $m^3$ ) por la densidad de la tierra y este cálculo le permitirá conocer las toneladas de tierra que debe trasportar. Si se usan camiones de 20 t de capacidad, el número de viajes que se deben realizar aparece fácilmente. Conociendo la distancia que deben recorrer y el consumo promedio de un

camión cargado, se podrá obtener el costo aproximado de trasportar la tierra. Añada a estas cifras el 20% de imprevistos, el 10% por la depreciación de los camiones y el 40% de ganancia y el ingeniero tendrá una cifra para comparar con lo que le están pidiendo.

En este procedimiento se aprecia la cantidad de aproximaciones que se deben hacer; pero el resultado final dará un valor suficientemente cercano al verdadero, como para tener un criterio válido y llegar a un acuerdo con el dueño de los camiones.

Considérese el caso en que un ingeniero electricista debe conceptualizar si el calibre del cable con el que se ha cableado una planta industrial es adecuado para aguantar las cargas que deberá soportar. Se fija el calibre del cable y de acuerdo con su conocimiento sabe la corriente en amperios que puede aguantar sin recalentarse; a continuación hace un inventario de todas las máquinas que tomarán energía de ese cable. Para cada una de ellas, averigua su consumo en amperios; considera el caso peor en el que todas las máquinas estén funcionando al mismo tiempo y compara con el valor máximo aceptado por el cable. Si el resultado de sus operaciones muestra que el cable es capaz de aguantar la corriente que van a demandar las máquinas cuando se encuentren funcionando, y que además existe un margen adicional para futuras ampliaciones, puede considerar que el calibre empleado es adecuado.

El estudiante debe entender que muchas situaciones en la vida del ingeniero requieren de él tomar determinaciones que no admiten espera. Debe dar una respuesta inmediata y para ello necesita algún criterio que le permita tomar esa determinación corriendo riesgos calculados. A medida que va adquiriendo experiencia, este tipo de situaciones se afrontan con mayor confianza y los márgenes de error van reduciéndose sustancialmente.

## 4.11. Ejercicios y problemas

1. En qué múltiplos o submúltiplos de la unidad respectiva expresaría usted:

\* El crecimiento radial de un árbol.



Figura 4.29. Esfinge de Giza.

- \* La cantidad de agua que sale de un manantial.
  - \* La cantidad de sal que tiene el agua del mar.
  - \* El desgaste de la esfinge de Giza (véase figura 4.29.) producido por la erosión.
  - \* El aire que atraviesa la pared de un envase plástico.
  - \* El desgaste de una rueda de un auto.
2. Indique razonadamente qué probabilidad existe de que existan dos personas en la Tierra que tengan exactamente el mismo número de cabellos en la cabeza.
- Nota:** no es posible hallar más de cuatro cabellos por  $\text{mm}^2$  de cuero cabelludo.
3. Para medir la constante universal de la gravedad,  $g$ , se deja caer un objeto pesado desde cierta altura,  $h$ . Con un cronómetro se mide el tiempo que toma al cuerpo tocar el suelo. Indique:
- \* ¿Qué variables es necesario medir?
  - \* ¿Qué instrumentos usaría y de qué precisión para obtener  $g$  con dos cifras significativas?
  - \* ¿Qué tipos de errores se pueden presentar en las medidas?
  - \* ¿Qué pasos daría para disminuir a un nivel razonable estos errores?

\* ¿En qué medida influye la altura  $h$  en la exactitud de la medida?

\* ¿Cuántas veces es preciso repetir el experimento para lograr eliminar los errores aleatorios a un nivel de la segunda cifra decimal?

4. Obtenga el peso de una gota de agua en condiciones ambientales normales. Siga las indicaciones dadas en el problema anterior. Antes de iniciar el experimento, ¿cuánto cree que pesa una gota de agua?
5. Para medir la altura a la que vuela un avión se usan varios métodos: mediante el uso de la medida de la presión barométrica; mediante el uso del radar
  - \* ¿Cuál de los dos métodos arroja mayor precisión? ¿Por qué?
6. Se le contrata a usted para cortar 60 000 cubos de madera de cedro (averigüe su densidad) de 3 cm de lado que se requieren para la fabricación de dados infantiles, los que se empacan en cajas para su envío.  
La empresa maderera local solamente vende tablones de sección rectangular de 30 cm por 6 cm, y 2 m de longitud.
  - \* ¿Cuántos tablones debe comprar para cumplir el pedido?
  - \* Si cada caja de dados pesa 3,24 kg, ¿cuántos cubos contiene?
  - \* ¿Cuántas cajas conforman el contrato?
7. En la producción de cemento se prefiere que las fábricas se encuentren cerca de los yacimientos de caliza, antes que de los centros de consumo. ¿Puede explicar la razón?  
Investigue las materias primas empleadas en la producción del cemento, el proceso de fabricación y establezca la proporción que del costo de producción representan las materias primas, la energía y la obra de mano.
8. Para determinar la densidad de un líquido se tomó una probeta graduada cuyas divisiones estaban hechas de  $1 \text{ cm}^3$  en  $1 \text{ cm}^3$ , y se colocaron en ella  $10,0 \text{ cm}^3$  del líquido.

La masa del mismo medida en una balanza fue de 15,83 g.

Calcule la densidad del líquido expresándola con el número de cifras significativas adecuadas.

- Si se hubiera pesado el líquido en una balanza más precisa ¿se habría obtenido mayor exactitud en el valor de la densidad?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

- Cada lado de un cuadrado mide  $(2,00 \pm 0,02)$  cm. Encuentre su perímetro y su área con las cifras significativas adecuadas.
- Sume las siguientes longitudes:  $2,0 \times 10^{-4}$ ,  $3,16 \times 10^3$  y  $0,00513$ , todas expresadas en cm.

Su respuesta debe darla con el número de cifras significativas apropiadas.

- Efectúe la siguiente operación dando la respuesta con el número correcto de cifras significativas.

$$\frac{3,2 \times 10^{-9} \times 500}{16 \times 10^{-27}}$$

- Al realizar varias mediciones de su propia masa, un estudiante obtuvo los siguientes resultados: 62,73; 62,76; 62,80; 62,76; 62,70 expresado en kg.

- ¿Cuál es el valor más probable de su masa?
- ¿Cuál es la desviación absoluta del valor más probable?
- ¿Cuál fue el error relativo del resultado?

- En una empresa que ensambla microcomputadores se tienen las siguientes estadísticas:

Por cada 100 CPU fallan en promedio 2.

Por cada 100 teclados salen 3 con defectos.

Una pantalla de cada 200 no funciona adecuadamente.

- ¿Cuál es la probabilidad de que al empacar un equipo completo el conjunto no funcione?

- Una evaluación se compone de cinco preguntas que se responden con un sí o con

un no. Si para pasar la evaluación solamente es necesario contestar correctamente tres preguntas, ¿cuál es la probabilidad de que un estudiante pase la prueba lanzando una moneda al aire?

- El tiempo promedio entre fallas de un equipo es de 3 000. Su precio nuevo es de \$500 000. Después de 1 200 horas de uso, ¿cuál cree usted que es el precio correcto?
- Tome una bolsa negra e introduzca en ella 16 fichas idénticas en forma y peso, pero marcadas con un color distinto. Así: 4 fichas de color azul, 3 de amarillo, 3 rojas, 2 verdes, 2 de color naranja, 1 de color café y 1 de morado. Saque 160 veces de la bolsa 1 bola volviéndola a restituir y agitando bien las fichas. Haga un cuadro de las frecuencias de aparición de los diferentes colores. Construya su propio histograma. ¿Qué clase de curva de distribución encuentra?
- Exprese el número  $\pi$  con seis cifras significativas usando el redondeo. Investigue con cuántas cifras significativas llegaron a conocer este número los egipcios.
- Para medir experimentalmente la constante  $g$  se usa un péndulo simple. Obtenga la fórmula que da el valor de  $g$  mediante este experimento. Indique los instrumentos que usaría y la precisión de cada uno de ellos para obtener la respuesta con dos cifras significativas.
- Un ingeniero electrónico desea medir la potencia consumida por su equipo de cómputo. Describa cuál sería el procedimiento que seguiría, la fórmula usada y los aparatos que emplearía.
- Describa el procedimiento que usaría para medir el consumo promedio de gasolina de su automóvil (se supone que tiene uno). Indique hasta cuántas cifras significativas obtendría.
- Para medir la profundidad de un pozo se lanza una piedra y se mide el tiempo que tarda en oírse el ruido del golpe con el fondo. Indique el grado de exactitud que puede esperarse y qué elementos se pueden manipular para aumentar la exactitud de la medida.

22. ¿Qué ideas puede dar para medir la velocidad del agua que fluye por un río?

23. Cuáles de las siguientes igualdades son correctas en relación con las cifras significativas de los resultados de las operaciones indicadas:

$$1,50 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \cdot 10^1 = 0,0003$$

$$2,42 \cdot 10^4 + 3,1 \cdot 10 = 2,4231$$

$$3,41 \cdot 10^8 - 5,2 \cdot 10^2 = 3,41 \cdot 10^8$$

$$1,701 \cdot 2,00 \cdot 10^{-3} = 3,3 \cdot 10^{-3}$$

$$9,2 \cdot 10^5 / 3,0 \cdot 10^2 = 3,1 \cdot 10^3$$

24. Complete con la palabra adecuada:

- Para aumentar la *exactitud* de una medida debo controlar los errores \_\_\_\_\_.
- Para aumentar la *precisión* de una medida debo controlar los errores \_\_\_\_\_.

## Taller Corto 5

### Cifras significativas y operaciones aritméticas

#### Justificación

Al ingeniero se le relaciona estrechamente con las matemáticas; en realidad una de las habilidades más sobresalientes de un buen ingeniero es su habilidad numérica. Rapidez para el cálculo mental, para acercarse rápidamente al resultado numérico con un sólido sentido común de no dar más de lo que se puede garantizar ni menos de lo que se puede lograr. El número de cifras significativas con que se da un resultado refleja claramente la poca o mucha comprensión que se tenga sobre el contexto en el que se desarrolla un problema.

#### Objetivos

- Identificar el número de cifras significativas de un resultado.
- Expresar un resultado con sus cifras significativas.

#### Descripción

A continuación se ofrecen una serie de casos en los que se debe determinar el número de cifras significativas de una cantidad, del resultado de operaciones diversas o de cálculos algo más complejos. Para cada uno de ellos debe responderse acordeamente.

1. Observe detenidamente los siguientes instrumentos de medida e indique el valor más probable de la medida. La flechita hacia arriba indica el valor que se debe leer (centímetros).

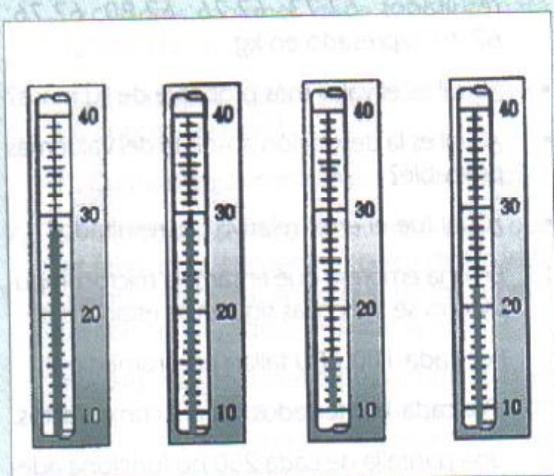


Respuesta: \_\_\_\_\_

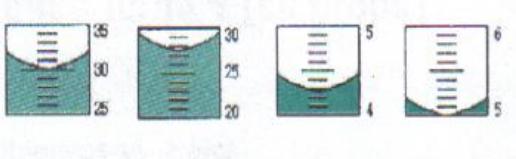


Respuesta: \_\_\_\_\_

2. Repita lo mismo pero respecto a la medida de la temperatura en ° C.



3. Cuando se efectúan mediciones en química usando probetas calibradas, el líquido internamente no adopta una forma plana en la superficie, sino curvada. Para medir es ne-



cesario fijarse en el punto más bajo. Escriba las lecturas que arrojarán en cm 3 las siguientes figuras:

4. Indique el número de cifras significativas:

3,0800

0,00418

$7,09 \times 10^5$

91,600

0,003005

$3,200 \times 10^9$

5. Efectúe las operaciones siguientes, dando el resultado con el número de cifras significativas correctas:

$$461\,728 + 14,91 + 0,980001 + 5,2631$$

$$23,1 + 4,77 + 125,39 + 3,581$$

$$22,101 - 0,9307$$

6. Efectúe las operaciones indicadas, dando los resultados con el número correcto de cifras significativas:

$$(3,4617 \times 10^7) + (5,61 \times 10^4)$$

$$[(9,714 \times 10^5) \times (2,1482 \times 10^{-9})] + [(4,1212) \times (3,7792 \times 10^{-5})]$$

7. Realice los siguientes ejercicios de redondeo tal como se indica:

**A dos cifras:**

(1)  $2,16347 \times 10^5$

(2)  $4,000574 \times 10^6$

**Al 0,1 más cercano:**

(3) 3,64

(4) 4,55

**Al 0,01 más cercano:**

(5) 6,675

(6) 0,4203

**Al entero más cercano:**

(7) 56,912

(8) 3,4125

**A dos cifras:**

(1) 3,512

(2) 25,631

**Con un decimal:**

(3) 54,7421

(4) 100,0925

**Al 0,001 más cercano:**

(5) 5,687524

(6) 39,861214

**Redondee el último dígito de la derecha**

(7) 2,473

(8) 5,396

8. Calcule el volumen de un listón de madera que tiene las medidas siguientes:

$$10,0 \text{ cm} \times 100,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm}$$

Seleccione la respuesta correcta entre éstas:

1 000,0  $\text{cm}^3$       111,0  $\text{cm}^3$

1,00  $\times 10^3 \text{ cm}^3$       1  $\times 10^3 \text{ cm}^3$

1,0  $\times 10^3 \text{ cm}^3$

Ninguna de las anteriores.



# Taller corto 6

## Probabilidad, estadística y toma de decisiones

### Justificación

En casi todas las situaciones reales en que debe intervenir un ingeniero, el conocimiento de la información requerida es imperfecto; se conoce parte de la información o una aproximación a la información requerida. En todos los casos, el ingeniero debe tomar decisiones que conduzcan al mejor resultado corriendo el menor riesgo posible. Existen algunas guías que permiten al ingeniero no dejar sus decisiones al azar.

### Objetivos

- \* Conocer algunos casos en los que la información es imperfecta.
- \* Usar algunas reglas para tomar decisiones en las que se busca reducir el riesgo.

### Descripción

A continuación se presentarán algunos casos sencillos en los que es necesario usar algunas herramientas matemáticas para tomar la decisión correcta.

1. Un fabricante de *chips* para equipos electrónicos ha encontrado, en promedio, que de cada 200 *chips* montados un *chip* sale defectuoso. Diariamente se montan 10 000 *chips*; indique la probabilidad de que salga un *chip* defectuoso en el embarque diario. Calcule también cuántos *chips* defectuosos, en promedio, van en cada embarque diario.
2. Para eliminar los *chips* defectuosos se establece un elaborado plan de pruebas: todo *chip* es probado y el que no pasa las pruebas de calidad se devuelve a la sección de montaje, en donde se vuelve a montar cuidadosamente, se prueba y se manda a la sección de embarque funcionando correctamente. De esta manera se consigue que el 100% de los *chip*, salgan de la planta funcionando correctamente. Sin embargo, el costo de probar cada *chip* es de \$5 por *chip* lo que encarece el producto y hace menos competitiva la empresa. El gerente de la planta decide arriesgarse y no probar los *chips*; se ahorra el costo de las pruebas, pero arriesga una demanda por daños ocasionados por la falla del *chip* (imágnese que el *chip* forma parte del control de vuelo de un avión) o la pérdida de imagen y la consiguiente reducción en las ventas. El Departamento de estadística evalúa las consecuencias negativas de la decisión y estima que existe el 80% de que durante un año de producción se presenten demandas y pérdidas de ventas por un valor combinado de \$90 000. Aparte de las consideraciones éticas de la decisión, ¿considera usted que es una decisión acertada desde el punto de vista económico?
3. Se desean invertir \$100 millones; existen varias alternativas. Entre las que más llaman la atención está entregarlos a una fiduciaria que ofrece un retorno del 26% anual sobre el capital entregado. No hay problemas de riesgo pues la empresa es la más grande del mundo. La otra es comprar bonos del tesoro que tienen el 80% de probabilidad de retornar el 38% de interés anual. Existe el riesgo, de que las predicciones de los expertos no se cumplan y los bonos del tesoro retorne menos de lo esperado. ¿Con cuál de las dos alternativas se quedaría?

# Taller largo 4 [En grupo]

## Mediciones

### Objetivos generales

- \* Lograr un conocimiento adecuado de cómo planificar un experimento.
- \* Conceptualizar de una manera práctica aspectos básicos de estadística.

### Objetivos específicos

- \* Planificar todos los aspectos de un experimento.
- \* Escoger los instrumentos de medición adecuados.
- \* Diseñar el procedimiento.
- \* Identificar las fórmulas.
- \* Efectuar las mediciones de velocidad de transmisión en una red, en un disco duro y en un disquete.
- \* Sacar conclusiones.

### Trabajo que se debe desarrollar

1. Todos usamos la red para efectuar transmisión de la información; así mismo, guardamos archivos en un disquete, y en el disco duro para su posterior uso. Existen unas velocidades de transmisión de la información nominales o máximas, pero éstas raras veces son alcanzadas debido a congestión en la red, o fragmentación de los archivos en los discos. ¿A qué velocidad real se transmite la información? Esa es la respuesta que busca este experimento.
2. Para realizar un experimento hay que planearlo de modo que las respuestas se acerquen al máximo al valor verdadero (*exactitud*) y los errores omnipresentes se disminuyan a su mínima expresión (*precisión*). La planeación es un proceso que debe preceder a la acción; en la planeación se identifican los instrumentos que se van a usar, los archivos de prueba que se van a utilizar en la transmisión (en este experimento), los

momentos en que se van a desarrollar las pruebas, y demás. Todo lo anterior seleccionado de acuerdo con criterios. Las cosas no se eligen porque sí; siempre hay (debe haber) una razón, un criterio de selección detrás de todo lo que se hace. Ninguna de nuestras acciones debe ocurrir por azar.

Las mediciones deben realizarse repetidas veces para disminuir la incidencia de los errores aleatorios y aumentar de este modo la precisión (número de cifras significativas) de la respuesta.

Para las mediciones de velocidad de la red se colocará un archivo de 20 MB en un directorio que se definirá en el momento. A través de la red ustedes tomarán una copia y registrarán el tiempo que dura la transmisión. Esta operación la repetirán 10 veces (¿el mismo individuo u otro individuo?) para sacar el promedio, la desviación estándar y la incertidumbre del valor promedio.

Para la medición de la velocidad de transmisión desde un disquete efectuarán el siguiente proceso:

Seleccionen un archivo grande (entre 1 Mb y 1,44 MB). Lo almacenan en el disco duro y luego lo guardan en el disquete. Toman el tiempo que se tarda en guardarlos. Aquí deben estar atentos, pues no es claro el momento en que se empieza a guardar y el momento en que termina (¿cómo van a resolver este problema?). Repitan la operación 20 veces y toman los tiempos. Sacan promedio, desviación estándar e incertidumbre.

Para medir la velocidad de la red se toma un archivo grande (unos 20 megabytes). Se pide el archivo desde un PC conectado a la red; se mide el tiempo desde que se pide hasta que se recibe todo. Piensen el modo en que van a saber cuándo ocurren estos eventos. Lo repiten varias veces y calcula promedio, desviación estándar y nivel de incertidumbre.

Para medir la velocidad de trasmisión desde el disco duro se hace lo mismo; en esta prueba se usa un archivo grande: 15 ó 20 MB (el mismo) y se transfiere del disco duro a la memoria. Luego lo guardan en el disco nuevamente, toman los tiempos y efectúan los cálculos como en el caso anterior.

### Procedimiento

1. Se reúne el grupo, lee detenidamente este documento y hacen un cronograma

de trabajo y se distribuyen las responsabilidades.

2. Deben averiguar (no sé cómo) las velocidades nominales de trasmisión de la red de la universidad, de un disco duro y de un disquete.
3. Comparen estas velocidades con las que ustedes obtuvieron.
4. Saquen conclusiones válidas.

## Referencias bibliográficas

1. International Systems of Units, National Institute of Standards (NIST), <http://physics.nist.gov/cuu/Units/index.htm>, Jun 2000.
2. Standard Practice for Use of the International System of Units, Documento E380-91 a, ASTM Committee E-43, 1991.
3. International Systems of Units, National Institute of Standards (NIST), <http://physics.nist.gov/cuu/Units/prefixes.html>, Jun 2000.
4. POTTER, Frank, *Frank Potter's Science Gems*, <http://www.sciencegems.com/>, Jun 2000.
5. GIANCOLI, Douglas C., Física, 3<sup>a</sup> edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
6. Are Significant Figures Important?, A Fable, [http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/SigFigs\\_Fable.html](http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/SigFigs_Fable.html), Jun 2000.
7. DOMS, F.P., Estadística elemental, 4<sup>a</sup> edición, Editorial Paraninfo, Madrid, 1989.
8. GOLDBERG, David E., Fundamentals of Chemistry, Web Resources, <http://www.chem.scasd.k12.pa.us/chem1/Chapter2.html>, Jun 2000.

## Direcciones de internet recomendadas

1. Potter, Frank, Frank Potter's Science Gems, <http://www.sciencegems.com/>, May 2000.

En esta dirección se encuentra una enorme cantidad de información relacionada con casi todos los temas de la ciencia y la tecnología.

2. Lienhard, John H., Engines of Our Ingenuity, <http://www.uh.edu/engines/epi101.htm>, June 2000.

Esta es una dirección en la que se encuentra una gran cantidad de episodios relacionados con aspectos culturales, tecnológicos, entre otros, que de alguna manera tienen que ver con la ingeniería. Algunos de los episodios relatados involucran los cálculos, las cifras significativas, las medidas.

3. Logan, Ralph, *Significant Digit Lesson*, <http://edie.cprost.sfu.ca/~rhlogan/>, The Centre for Policy Research on Science and Technology at Simon Fraser University, Jun 2000.

4. Mathiesen, Ben, Zerger, Jon, <http://www.physics.Isa.umich.edu/IP-LABS/>, U. Michigan, Physics Laboratory, Jun 2000.

En estas dos últimas direcciones el lector encontrará varias lecciones muy bien explicadas sobre cifras significativas, operaciones con las mismas, errores, ... También se ofrecen exámenes de prueba con sus resultados.

# 5

# Búsqueda de la información

*"Je ne cherche pas; je trouve."*

Pablo Picasso

## Objetivo general

- Desarrollar habilidades para hallar información.

## Objetivos específicos

- \* Identificar la información que se requiere.
- \* Identificar las fuentes donde se encuentra la información.
- \* Usar diversos mecanismos para encontrar la información necesaria.
- \* Desarrollar criterios para aceptar la información obtenida.

# D

## 5.1. Introducción

Desde el primer momento en que se entra a definir correctamente el problema debe iniciarse la búsqueda de información pertinente. Es posible que el problema en cuestión tenga similitud con otros ya resueltos; es posible que el ingeniero haya resuelto problemas similares en otras ocasiones; no hay que reinventar la rueda. La experiencia que se tenga en la solución de problemas similares al actual permitirá acortar los tiempos de desarrollo y aumentar la calidad de la solución.

Con frecuencia ocurre que sobre el problema que se pretende resolver no existe experiencia anterior; es necesario encontrar información pertinente y este proceso de búsqueda nos conduce a otro problema:

*Cómo encontrar la información necesaria.*

Para que este proceso de búsqueda sea efectivo hay que aprender algunas técnicas de búsqueda de la información que se requiere, así como desarrollar habilidades de búsqueda de información y adoptar actitudes adecuadas para enfrentar las situaciones que se presentan normalmente durante todo este proceso<sup>1</sup>.

Como regla de oro tenga en cuenta el criterio siguiente:

*El tiempo empleado en la búsqueda de información debe ser apreciablemente menor que el que tomaría resolver el problema sin información adicional.*

En otras palabras: el proceso de búsqueda de información implica<sup>1</sup>:

1. Identificar la información que se requiere.
2. Identificar las fuentes de información.
3. Buscarla y encontrarla.
4. Seleccionar la pertinente.
5. Acondicionarla para usarla posteriormente.

## 5.2. Identificar la información requerida

La definición del problema es el primer paso en el proceso de diseño; de este paso se desprenden una serie de interrogantes relacionados con la información que es preciso reunir para seguir adelante.

### Ejemplo 1

Se ha podido comprobar que el servicio de fotocopias en una universidad está lejos de ser óptimo; continuamente se presentan quejas sobre los tiempos, excesivamente largos, para sacar fotocopias. Después de un estudio minucioso del problema se llega a la siguiente definición del mismo:

*Se debe diseñar un sistema que permita obtener 10 ó menos fotocopias con un tiempo total de espera no superior a 5 minutos.*

Para llegar a resolver con éxito este problema se necesita contestar las siguientes preguntas (entre otras):

- ¿Cuánto tiempo toma sacar una fotocopia?
- ¿Cuántas personas, en promedio, hacen fila para sacar fotocopias?
- ¿Este promedio es permanente, o varía de acuerdo con la época, la hora del día, u otras?

### Ejercicio 1

Usted tiene que matricularse en la asignatura de análisis matemático; en la cartelera de horarios aparecen cuatro grupos cuyo horario está de acuerdo con sus disponibilidades de tiempo. Cada grupo tiene asignado un profesor diferente, a ninguno de los cuales conoce. Antes de tomar la decisión de matricularse decide informarse apropiadamente, para no tener que arrepentirse más adelante.

El problema que debe resolver podría expresarlo suavemente de la manera siguiente:

*Debo escoger el profesor del que pueda aprender más y que al mismo tiempo optimice mi probabilidad de ganar la asignatura con una buena nota.*

Aplique lo expuesto en este apartado para tomar una decisión en forma racional.

Para identificar la información necesaria y resolver determinado problema se aconseja el siguiente procedimiento:

Use la técnica de pensamiento divergente, en el inicio, haga una lista de todo aquello que usted crea que le puede servir. No critique nada de lo que se le ocurra. Deje que su mente actúe libremente. Hágase las siguientes preguntas:

- ¿Alguien más ha tenido este problema?

- ¿A quién se puede pedir ayuda?
- ¿Qué información se posee?
- ¿Se está sesgado respecto a este problema?
- ¿Qué se debe leer, escuchar, ver, visitar, aprender?
- ¿Qué se debe explorar, sentir, oler, probar?
- ¿Qué resultados se han obtenido de los intentos ya realizados?
- ¿Hay algo que impida hacer lo que se desea hacer?

Una vez que haya reunido suficiente información, seleccione la que le interesa aplicando la técnica del pensamiento convergente. Hágase las preguntas siguientes:

- ¿Cuál es la información más importante que se debe tener en cuenta?
- ¿Qué sesgos se aprecian a lo largo de toda esta información?
- ¿Se puede agrupar esta información?
- ¿Qué se debe resolver primero?
- ¿Hace falta más información antes de seguir adelante?

## Ejemplo 2

En relación con el ejemplo de las fotocopias, al aplicar la técnica divergente-convergente para obtener la información requerida, se obtiene lo siguiente:

- ¿Alguien más ha tenido este problema?

*Posiblemente otras instituciones similares a la del problema.*

- ¿A quién se puede pedir ayuda?

*A los operadores de las fotocopiadoras, a los directores de publicaciones, a los estudiantes que usan el sistema.*

- ¿Qué información se posee?

*Yo he sufrido este problema; tengo idea de cuánto hay que esperar, cuáles son los problemas que se presentan, etcétera.*

- ¿Se está sesgado respecto a este problema?

*Tengo prevención contra el sistema; creo que no pienso objetivamente. Debo adoptar una actitud imparcial al tomar decisiones y al evaluar los datos que obtenga.*

- ¿Qué se debe leer, escuchar, ver, visitar, aprender?

*Debo visitar otras instituciones, ver cómo se lleva a cabo el proceso en ellas; escuchar lo que dicen los usuarios del servicio; tomar fotografías, filmar lo que pasa, leer informes, entre otros.*

- ¿Qué se debe explorar, sentir, oler, probar?

*Debería efectuar algunas encuestas, entrevistas... para darme cuenta más precisa de algunos aspectos que no son perceptibles a simple vista.*

- ¿Qué resultados se han obtenido de los intentos ya realizados?

*A lo mejor la universidad, u otras instituciones, tuvieron el mismo problema anteriormente y realizaron esfuerzos por mejorar el sistema. ¿Qué pasó? ¿Cuáles fueron los resultados? ¿Dónde puedo obtener más información?*

- ¿Hay algo que impida llevar a cabo lo que se necesita hacer?

*Puede haber impedimentos de orden legal: un contrato que impide divulgar información confidencial.*

*La institución no desea que otras conozcan sus sistemas para que no los copien.*

*Las personas que deseo entrevistar no desean hablar con extraños.*

Después de aplicar la fase de pensamiento divergente a la información recogida. Se aplica la fase convergente:

- ¿Cuál es la información más importante que se debe tener en cuenta?

Posiblemente la que yo pueda observar personalmente; actuaré con actitud crítica cuando se trate de usar información proveniente de entrevistas, encuestas, entre otras, pues éstas pueden estar sesgadas debido a que la gente no desea que otros se enteren de que algo anda mal en su institución.

- ¿Qué sesgos se aprecian a lo largo de toda esta información?

*Posiblemente se aprecia que todo el mundo tiene el mismo problema: tiempos muy largos para obtener fotocopias; es posible que en otras partes hayan optado por sacar las fotocopias por otros medios: por ejemplo, los mismos estudiantes han organizado sus propios sistemas de sacarse las fotocopias, más baratas y rápidamente.*

- ¿Se puede agrupar esta información?

Observo que las universidades privadas manejan situaciones diferentes a las públicas. También identifico problemas relacionados con la atención de los operadores, el comportamiento de los usuarios al hacer fila, el estado de los equipos, entre otros, como factores que inciden en la prestación del servicio.

- ¿Qué se debe resolver primero?

Lo primero que se debe resolver es lo relacionado con el tiempo real que se toma para sacar una fotocopia y para sacar 10 fotocopias. Esto servirá para determinar el tiempo mínimo que debo poder garantizarles a los usuarios. Si sacar

10 fotocopias toma más de 5 minutos, no puede ofrecer un sistema con esperas menores a este tiempo.

- ¿Hace falta más información antes de seguir adelante?

*Si algún punto no quedó suficientemente documentado, se debe regresar a las fuentes originales y acopiar la información faltante, o corregir la que no pareciera estar correctamente.*

## Ejercicio 2

Continuando con el problema de seleccionar el profesor para el curso de análisis matemático, aplique los pasos de enfoques divergente y con-

### 5.3. Fuentes de información

El estudiante de ingeniería debe convencerse de la importancia que tiene la información. Sin duda alguna una, de las diferencias más notables entre las sociedades postindustriales y las que aún se encuentran estrechamente dependientes de los procesos productivos industriales es su relación con la información. Las sociedades como las de Estados Unidos y Japón, derivan una altísima proporción de sus ingresos de la venta de servicios, de la venta de información. Los países del Tercer Mundo han recibido como herencia, de esos países, complejos industriales que fueron su fuente de ingresos durante muchos años. Una de las diferencias entre un universitario de nuestros países y otro de aquellos países la constituye la facilidad que tienen para conseguir la información requerida para desarrollar sus trabajos. Mientras en Estados Unidos es muy sencillo conectarse a cualquier base de datos que contiene la información necesaria, en otros países la consecución de la información aún sigue siendo una labor ardua.

La información se puede conseguir de distintas fuentes (primarias, secundarias, terciarias) y en variados formatos: texto, gráficas, video, audio, físicamente, entre otros. Los documentos incorporan información en una sola forma o como combinación de varias formas; hoy día es usual encontrar documentos con información textual y gráfica: una imagen con un texto. La imagen pudo haber sido obtenida mediante un escáner y, a través de un procesador de texto, incorporada al documento con la ubicación y con el tamaño necesario. En la actualidad, los

vergente para la identificación de las características de la información que necesita.

paquetes para el manejo automáticos de la información en las oficinas utilizan combinación de voz, datos, video, gráficas, simulando cada vez más el ambiente real de una oficina.

Algunas de las cualidades de la información que hay que tener presente cuando está planeándose la manera de conseguirla, son:

- Calidad: ¿es confiable?
- Oportunidad: ¿la tendré a tiempo?
- El medio: ¿el medio en que viene la información es compatible con el resto del sistema que estoy usando?
- El costo: ¿cuánto cuesta obtener esa información?

La información requerida podrá obtenerse desde variadas fuentes, entre las que se citarán las más significativas:

- Directamente o información primaria.
- Por enciclopedias.
- Mediante libros.
- Por revistas.
- Tesis de grado.
- Tesis de grado.
- Por el computador
  - \* Usando los servicios de internet.
  - \* WWW.
  - \* Gopher.

- \* FTP.
- \* Correo electrónico.
- \* Conectándose a bases de datos especializadas.
- \* Leyendo en carteleras electrónicas (*bulletin Boards, BBS*).
- \* Suscribiéndose a listas de interés (*news Groups*).
- \* Mediante CD ROMS.
- Asistiendo a congresos, seminarios o encuentros.

## Directamente

En muchas ocasiones es necesario recoger la información en el sitio mismo: hay que ir a buscarla. Se trata de información reciente, que no ha sido registrada aún; o bien se trata de información que no tiene un interés general y que, por tanto, nadie va a tomarse la molestia de registrarla para su uso posterior. Por ejemplo, la información necesaria para el estudio del sistema de fotocopias sería: observar las largas filas, contar cuánto tiempo toma sacar una fotocopia, entrevistar a los operadores, hacer encuestas entre los usuarios, tomar fotografías para documentar nuestros hallazgos, filmar el modo como se sacan las fotocopias, etcétera.

Las técnicas más comunes para obtener la información físicamente son las siguientes:

## Ejercicio 3

¿Qué fuente de información recomendaría usted a nuestro estudiante que necesita decidir en qué grupo va a matricular la asignatura de análisis matemático?

## Enciclopedias

Las enciclopedias son una fuente muy valiosa para hallar información. Algunas de éstas se citan a continuación:

Enclopedia Espasa.

Enclopedia Británica<sup>2</sup>.

Enclopedia Grolier.

- Observación personal registrada mediante fotografías, videos, o bocetos.
- Encuestas elaboradas haciendo preguntas que nos darán la información necesaria.
- Entrevistas grabadas, o filmadas, las cuales documentarán nuestros informes.

## Ejemplo 3

La universidad necesita mejorar su actual sistema de información mediante carteleras, pues la experiencia ha demostrado que el que se usa no es eficaz: los estudiantes continuamente afirman que no se han enterado de los mensajes que se colocan en las diversas carteleras que hay espaciadas por todo el campus universitario. Se abre un concurso para ver quién ofrece la mejor solución al problema presentado.

La situación es típica de aquellas en las que los libros, enciclopedias, internet, entre otras, no ofrecerán soluciones para la información requerida: ¿se imaginan un libro que hable de cómo organizar las carteleras de una universidad? Aunque teóricamente es posible, la probabilidad de que ocurra esto acerca nuestro suceso es casi imposible. La fuente de información más abundante es la primaria: visitar diversas universidades y fijarse cómo cada una de ellas ha resuelto su problema. Tomar fotografías o hacer dibujos a mano alzada, para documentar nuestra solución, sería lo más recomendable.

## Enclopedia Encarta<sup>3</sup>.

Las enciclopedias contienen información de muy buena calidad; su contenido ha sido decantado a lo largo del tiempo lo que garantiza la autenticidad de lo publicado. Sin embargo, se trata de información madura, no es información nueva. Sirve para iniciar un proceso de búsqueda, o para respaldar alguna información. Muchas de estas enciclopedias vienen ya en CD ROM, y muchas universidades tienen sus enciclopedias en línea, (véase figura 5.1) lo que facilita la consulta mediante internet. Específicamente, uno puede suscribirse a estas enciclopedias para la consulta electrónica desde el computador personal.

## Búsqueda de la información

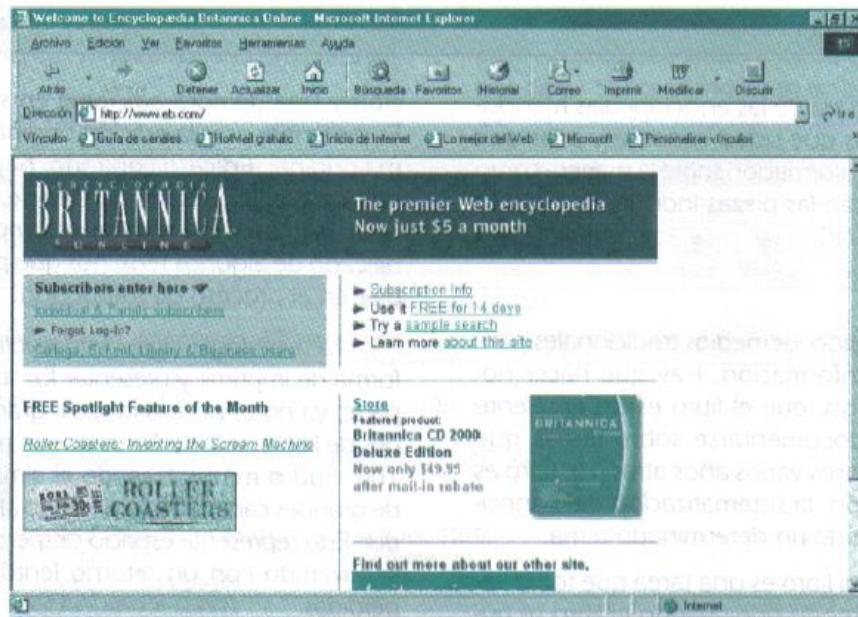


Figura 5.1. Portal de la encyclopedie Britannica.

Fuente: [www.eb.com](http://www.eb.com)

Encarta (véase figura 5.2) a través de internet, en forma impresa, en CD ROM o en DVD.

Veamos lo que muestra esta encyclopedie en un artículo que trata sobre aspectos de construcción de rellenos sanitarios (*landfill*.)

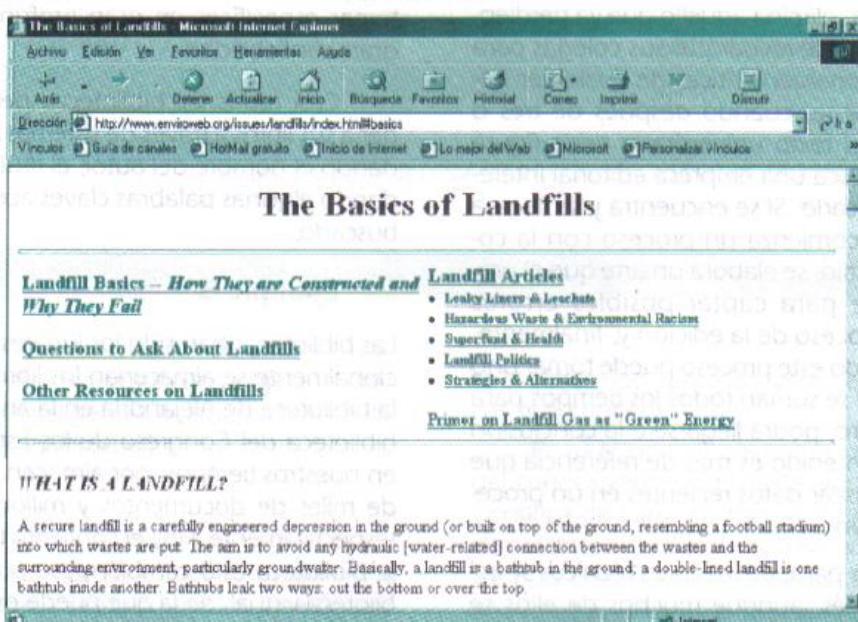


Figura 5.2. Ejemplo de información hallada en la encyclopedie Encarta 99.

Fuente: [www.encarta.com](http://www.encarta.com)

## Ejercicio 4

Busque en alguna de las encyclopedias mencionadas (u otras que usted conozca y a las que tenga acceso) información sobre la manera como se manufacturan las piezas industriales usando CAD, CAM y CNC.

### Libros

Los libros han sido los medios tradicionales para conseguir la información. Hay que hacer notar, sin embargo, que el libro es un excelente medio para documentarse sobre temas que fueron novedosos varios años atrás. Un libro es la consolidación, la sistematización del conocimiento acerca de un determinado tema.

Escribir un libro es una tarea que toma varios años, de modo que cuando el libro se publica el contenido del mismo no es novedoso, desde el punto de vista del conocimiento; cosa diferente es que el libro enfoque un tema con una metodología distinta a la tradicional, o con una orientación pedagógica diferente.

Para escribir un libro el autor reúne durante varios años sus notas de clase (si es un profesor de universidad), las pule, agrega ejemplos, ejercicios, elimina aquello que va perdiendo interés; lo hace revisar por sus colegas para que le retroalimenten críticas de cualquier género. Finalmente, cuando después de tres o cuatro años el texto universitario tiene figura de libro, se busca una empresa editorial interesada en publicarlo. Si se encuentra y se llega a un acuerdo, comienza un proceso con la corrección de estilo, se elabora un arte que el profesor corrige para captar posibles errores durante el proceso de la edición y, finalmente, se publica. Todo este proceso puede tomar uno o dos años. Si se suman todos los tiempos para publicar el libro, podrá llegarse a la conclusión de que su contenido es más de referencia que lugar para buscar datos recientes en un proceso investigativo.

La mayor parte de los libros técnicos se escriben en inglés, aunque muchos de ellos se traducen a otros idiomas, como el castellano. Los libros traducidos pueden añadir a los problemas de tiempo citados una pobre traducción y una demora adicional en su aparición.

Es preferible usar la edición original, en el idioma original. En caso contrario, hay que procurar que la edición traducida sea de una editorial seria. Aún así, será necesario comprobar el significado de algunos términos que pueden cambiar en el proceso de traducción.

La tecnología digital está revolucionando la forma de imprimir y presentar los libros. Por una parte, ya no es necesario sacar grandes cantidades de libros: sólo los libros que se necesitan (10, 100, 500 o más), obviando el almacenamiento de grandes cantidades esperando algún comprador. Esto representa espacio desperdiciado, dinero invertido con un retorno lento, entre otras pérdidas.

Por otro lado, está el libro electrónico bien en formato de CD ROM, DVD o a través de internet. Este libro tiene notables ventajas frente al libro tradicional: imágenes, vínculos a lugares en internet, interactividad, colores, entre otros. De todas maneras, el contenido del mismo no se diferencia del libro impreso tradicional: información estable, madura que trata temas específicos en gran profundidad y con gran confiabilidad.

Casi todas las bibliotecas permiten acceder a sus libros a través de sistemas informáticos, dando el nombre del autor, el título del libro, o dando algunas palabras claves acerca del tema buscado.

## Ejemplo 5

Las bibliotecas han sido los lugares donde tradicionalmente se almacenan los libros; es famosa la biblioteca de Alejandría en la antigüedad y la biblioteca del Congreso de los Estados Unidos en nuestros tiempos, por almacenar centenares de miles de documentos y millones de libros, respectivamente. Hoy el concepto tradicional de la biblioteca está cambiándose por el de la biblioteca virtual, de la que puede extraerse información mediante una conexión electrónica apropiada, o en la que puede comprarse el libro deseado. Como ejemplo se ofrece una vista del

sitio en la red que tiene la mayor biblioteca virtual del momento: [www.amazon.com](http://www.amazon.com). (véase figura 5.3).

En el ejemplo se solicitó una lista de los libros sobre ingeniería industrial de su catálogo. Algunos de los títulos se muestran en la figura 5.3.

The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer window displaying the Amazon.com website. The URL in the address bar is <http://www.amazon.com/exec/obidos/tg/browse/-/13769/002-7144381-4916822>. The page title is "Amazon.com Books / Engineering / Industrial, Manufacturing & Operational Systems / Manufacturing - Microsoft Internet Expl". The menu bar includes Archivo, Edición, Ver, Favoritos, Herramientas, Ayuda. The toolbar includes Back, Forward, Stop, Refresh, Home, Search, Favorites, History, Mail, Print, Modify, Help. The main content area shows a list of books under "Browse Bestsellers":

**1. The Goal: A Process of Ongoing Improvement**  
by Eliyahu M. Goldratt, Jeff Cox  
  
Usually ships in 24 hours  
North River Pr  
Paperback - 351 pages  
2nd Rev edition (1992)  
  
List Price: \$19.95  
Our Price: \$15.96  
You Save:\$3.99 (20%)  
[Click here for more info](#)  
  
**Avg. Customer Review:**  
  
**2. Critical Chain**  
by Eliyahu M. Goldratt  
  
Usually ships in 24 hours  
North River Pr  
Paperback - 246 pages  
(April 1997)  
  
List Price: \$19.95  
Our Price: \$15.96  
You Save:\$3.99 (20%)  
  
[Add to Shopping Cart](#)  
  
[Click here for more info](#)  
  
**Avg. Customer Review:**

Figura 5.3. Portal de la librería amazon.com, una tienda virtual para venta de libros.  
Fuente: [www.amazon.com](http://www.amazon.com)

## Ejercicio 5

Encuentre los títulos que sobre manufactura flexible, robótica, inteligencia artificial hay en la biblioteca de la universidad.

### Revistas

Las revistas o publicaciones periódicas son, hoy día, el medio más utilizado por los investigadores para mantenerse actualizados en su área de conocimiento y para obtener información sobre temas específicos. De la revista es tan importan-

te el contenido como las referencias bibliográficas que contiene.

Es muy normal encontrar que cada área del conocimiento la respalde alguna institución científica de carácter internacional y por varias de carácter nacional. Estas instituciones ofrecen sus publicaciones a través de las cuales los investigadores publican sus descubrimientos, inventos, contribuciones u otros. Los estudiosos obtienen información de calidad sobre los últimos avances del área.

Por ejemplo, en computación hay que citar la Automatic Computer Machinery (ACM) como la institución de mayor prestigio en el área de la informática. En electrónica hay que citar a la IEEE,

Institute of Electronics and Electrical Engineers, como la asociación mundial de mayor peso. La IEEE publica una gran cantidad de revistas algunos de cuyos títulos se muestran en la figura 5.4.

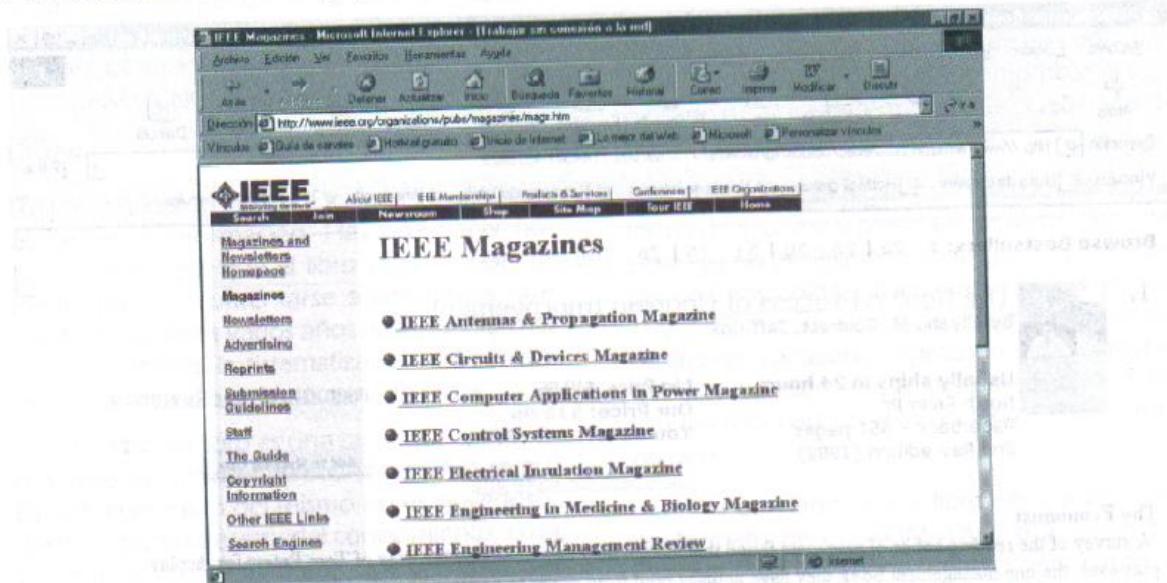


Figura 5.4. Nombres de algunas revistas publicadas por la IEEE.  
Fuente: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

Los ingenieros industriales tienen la IIE, Institute of Industrial Engineers. Los ingenieros civiles tienen su asociación mundial que es el ASCE, AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Y de la misma manera las otras disciplinas de la ingeniería y áreas del conocimiento humano.

La ACM tiene sus propias publicaciones, algunas de las cuales aparecen en la figura 5.5:

También puede hallarse una lista de algunas de las revistas más consultadas por los ingenieros industriales, publicadas por el Institute of Industrial Engineers.

Existen revistas publicadas por casas editoriales que no pertenecen a ninguna asociación profesional.

Las revistas especializadas son parte de esa élite de publicaciones que deben estar presentes en cualquier hemeroteca universitaria; como en ocasiones se podrá observar, todas ellas están en inglés, lo que refuerza la tesis de que sin poder comprender literatura técnica en inglés es muy

difícil estar actualizado en ingeniería. Hay muchas publicaciones diferentes que es necesario enumerar, pues son muy consultadas. Algunas de ellas son las siguientes:

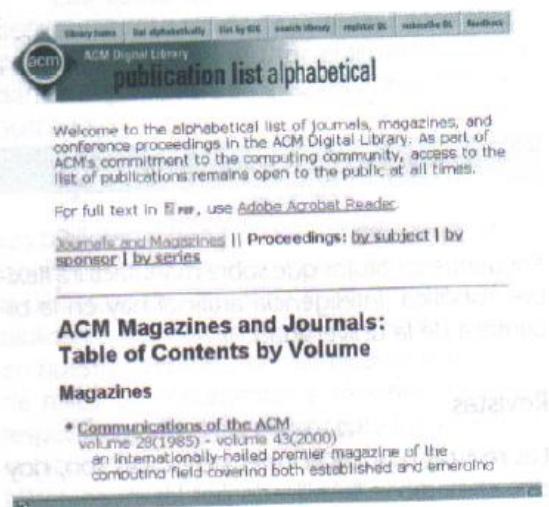


Figura 5.5. Algunas de las publicaciones de la ACM.  
Fuente: [www.acm.org](http://www.acm.org)

- PC Magazine.
- UNIXWORLD.
- McUser.
- MUNDO ELECTRÓNICO.
- Packaging.
- Construction World.

Estas revistas no tienen un carácter tan investigativo sino que son más de carácter divulgativo.

Las revistas proporcionan información relativamente reciente. Debido a la explosión de la información científica que ha tenido lugar en las últimas décadas, se han aumentado los tiempos de espera

para la publicación de los artículos. Por esto, cada año aparecen nuevas revistas científicas cuyo único objetivo es acortar el tiempo de espera que debe soportar la publicación de los descubrimientos.

### Tesis de grado

Uno de los medios más usados en la comunidad científica para conseguir información lo constituyen las tesis de grado doctorales y, en menor grado, las de *master*. En estos documentos se recoge información de frontera; información que presenta los últimos avances en el tema seleccionado. Estos trabajos se publican en las revistas especializadas, bien en su totalidad o en forma de resúmenes o *abstracts*. (véase figura 5.6).

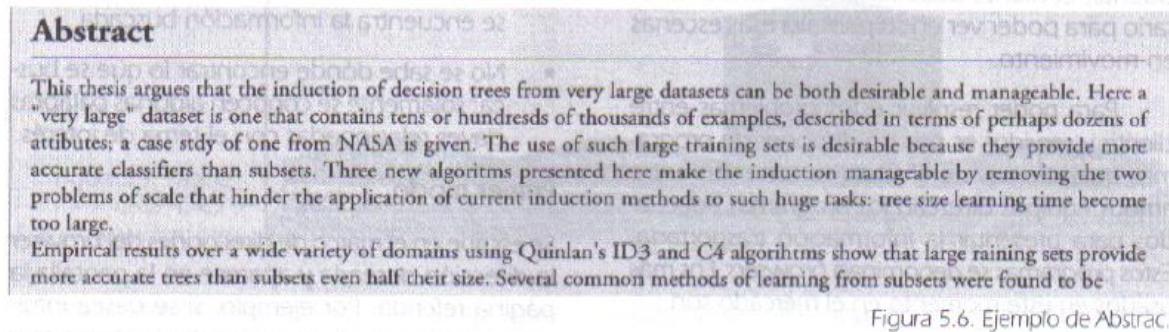


Figura 5.6. Ejemplo de Abstract.  
Fuente: documento personal

## 5.4. WWW [World Wide Web]

Internet y web son las palabras más pronunciadas en la última década del siglo XX. El transporte por internet de los documentos tipo hipertexto es sin duda alguna el servicio de la red que tiene más futuro. Ambos circundan el mundo, creando un espacio sin barreras para la información (véase figura 5.7).

Hay que precisar que internet es la autopista (equipos, antenas, líneas de comunicación, etcétera) por la que se trasporta la información; en esta autopista se ofrecen varios servicios en una autopista física pueden viajar automóviles, autobuses, camiones de carga, entre otros. Por la autopista de la información, internet, se puede transportar archivos (servicio FTP), directorios de archivos (servicio Gopher), hacer consultas a computadores remotos (servicio Telnet) y examinar documentos complejos: hipertexto, multimedia.

Para lograr lo anterior se diseñó la *World Wide Web* que permite visualizar en la pantalla del cliente la información solicitada a un computador servidor. En realidad, físicamente, las conexiones son las mismas que se establecen para usar uno de los otros servicios; la diferencia estriba en que las reglas para trasmisir la información y la información que se trasporta son diferentes.

La información que se busca a través de WWW puede contener: texto, gráficos, fotografías, audio, video, entre otras. El cliente (el computador desde que se está buscando) debe disponer de todo el hardware necesario para presentar la información que le envía el servidor, el computador que tiene la información solicitada. Por ejemplo, si la información que se envía contiene música, el equipo del cliente debe poseer tarjeta de sonido, parlantes, ... De lo contrario, no podría escucharse la música.

## Búsqueda de la información



Figura 5.7. Internet cubre nuestro planeta.

enviada. Si el servidor envía escenas de un accidente, el cliente debe tener el software necesario para poder ver en su pantalla esas escenas en movimiento.

Para poder resolver estos problemas entre cliente y servidor es preciso disponer de programas que además de efectuar la conexión entre ambos equipos ofrezcan los programas adecuados para presentar la información trasportada. Estos programas se denominan *browsers*. Los más usados en este momento en el mercado son :

- Netscape 6.xx.
- Microsoft Explorer 5.xx.

### Búsqueda de información en la WWW

Internet se ha vuelto el medio por el que se accede a la mayor fuente de información que existe en el mundo. Si bien no funciona como una biblioteca tan organizada como las que usualmente visitamos físicamente, está convirtiéndose en el lugar obligado para encontrar la información que se necesita para un proyecto. Por ello, es muy importante desarrollar habilidades específicas para encontrar la información buscada.

La búsqueda de información en el amplísimo espacio de la WWW puede efectuarse de dos modos básicos:

- Se conoce la dirección de la WWW donde se encuentra la información buscada.
- No se sabe dónde encontrar lo que se busca; solamente se conocen algunas palabras claves relacionadas con el tema de interés.

#### Primer modo

Se escribe en el marco de direcciones del browser la dirección deseada y aparece en la pantalla la página referida. Por ejemplo, si se desea información sobre los viajes espaciales lo lógico es ir a la página que tiene la NASA, <http://www.nasa.gov> (véase figura 5.8).

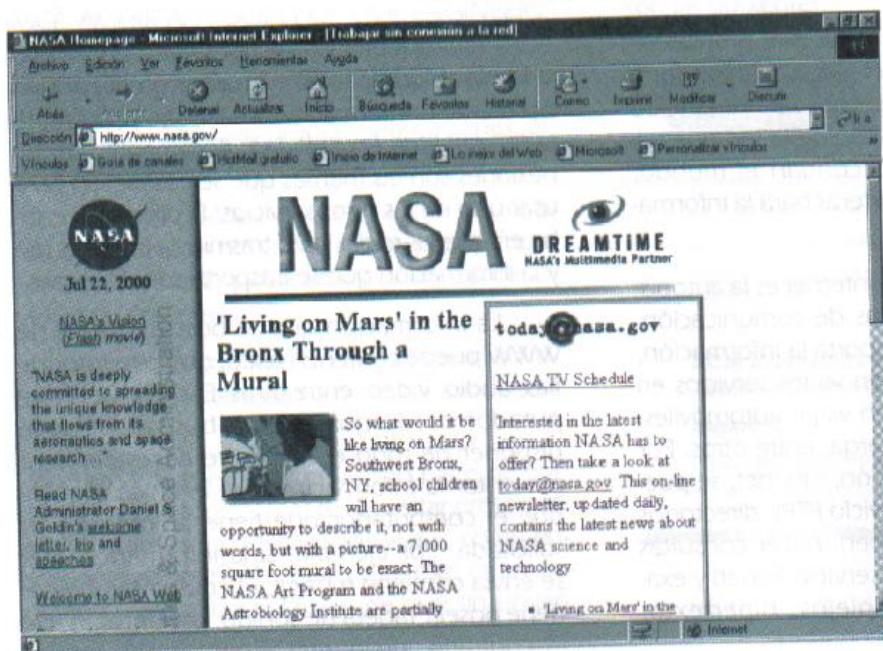


Figura 5.8. Página de la NASA.

Fuente: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

## Ricerca de la información

Si se desea información sobre automóviles marca Ford, se escribe la dirección de la página

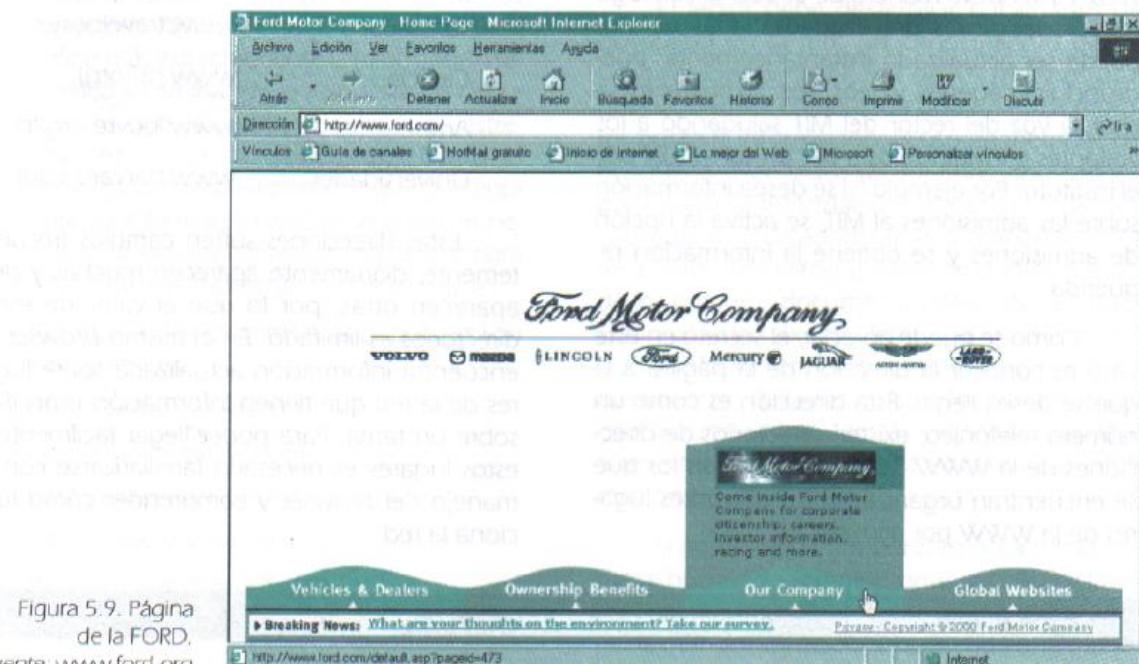


Figura 5.9. Página de la FORD.  
Fuente: www.ford.org

Si se desea información sobre programas académicos en el MIT, lo lógico es dirigirse a la

que mantiene la Ford en la WWW, la cual es: <http://www.ford.com> (véase figura 5.9).

Operando de acuerdo a los criterios establecidos en la figura 5.8, se obtendrá la siguiente información:

página del MIT: <http://www.mit.edu> (véase figura 5.10).

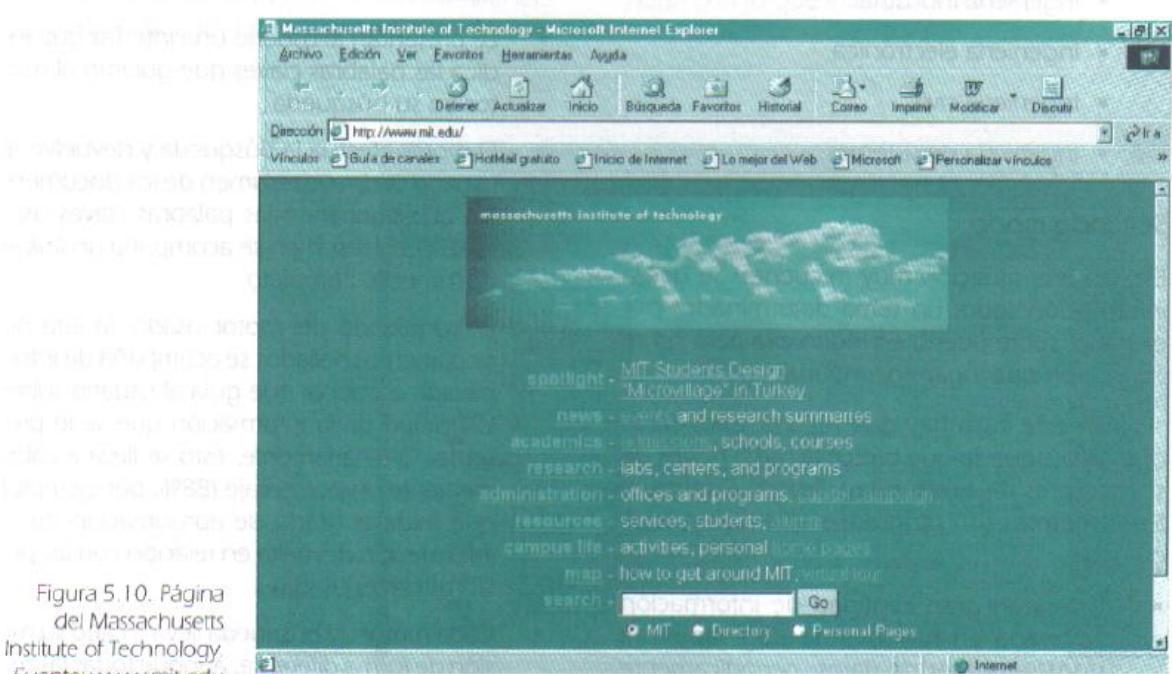


Figura 5.10. Página del Massachusetts Institute of Technology.  
Fuente: www.mit.edu

Desde esta página puede iniciarse un viaje por las distintas opciones que ofrece el MIT en la web. Es la nueva manera de ofrecer el catálogo tradicional de las universidades; más barato, puede ser actualizado instantáneamente, puede incluir imágenes, videos, voz. Se puede escuchar la voz del rector del MIT saludando a los visitantes e invitándolos a dar un tur virtual por el instituto. Por ejemplo, si se desea información sobre las admisiones al MIT, se activa la opción de admisiones y se obtiene la información requerida.

Como se puede apreciar, el secreto en este caso es conocer la dirección de la página a la que se desea llegar. Esta dirección es como un número telefónico; existen directorios de direcciones de la WWW. Son volúmenes en los que se encuentran organizados los diferentes lugares de la WWW por afinidad:

Banca:	( <a href="http://www.banesto.es">www.banesto.es</a> ).
Comercio:	( <a href="http://www.amazon.com">www.amazon.com</a> ).
Turismo:	( <a href="http://www.travelocity.com">www.travelocity.com</a> ).
Ciencia:	( <a href="http://www.nsf.org">www.nsf.org</a> ).
Arte:	( <a href="http://www.louvre.org.fr">www.louvre.org.fr</a> ).
Universidades:	( <a href="http://www.harvard.edu">www.harvard.edu</a> ).

Estas direcciones sufren cambios frecuentemente; diariamente aparecen muchas y desaparecen otras, por lo que el valor de estos directorios es limitado. En el mismo browser se encuentra información actualizada sobre lugares de la red que tienen información específica sobre un tema. Para poder llegar fácilmente a estos lugares es necesario familiarizarse con el manejo del browser y comprender cómo funciona la red.

## Ejercicio 6

Averigüe en cinco universidades diferentes: MIT, Carnegie Mellon, Universidad de California, Universidad de París, Universidad Pontificia Comillas los planes de estudio de las siguientes carreras:

- Ingeniería industrial.
- Ingeniería electrónica.
- Ingeniería civil.
- Ingeniería de sistemas.

## Segundo modo

Esta es una situación muy frecuente. Se desea información sobre un tema determinado; por ejemplo, sobre diseño en ingeniería pero no se conoce en qué lugar encontrarla.

En este caso hay que recurrir a los servicios de búsqueda que ofrece la red a través de sus motores de búsqueda (*Search Engines*). Estos motores son programas que hacen lo siguiente:

- Organizan gran cantidad de información contenida en millones de páginas de la WWW en bases de datos; periódicamente

se reorganiza esta información para mantenerla actualizada.

- Indican esta información de manera que las búsquedas posteriores sean eficientes, muy rápidas.
- Le presentan al usuario una interfaz que indica las palabras claves que guiarán al motor en su búsqueda.
- El motor efectúa la búsqueda y devuelve al usuario un breve resumen de los documentos que contienen las palabras claves usadas; con el resumen se acompaña un link al documento completo.
- Dependiendo del motor usado, la lista de documentos hallados se acompaña de información adicional que guía al usuario sobre la utilidad de la información que se le presenta. Ordinariamente, esto se lleva a cabo mediante un porcentaje (88%, por ejemplo) que mide el grado de aproximación de la información devuelta en relación con las palabras claves usadas.
- Cada motor de búsqueda lleva a cabo su misión de forma diferente, aunque todas las mi-

siones son muy parecidas. En casi todos los casos, la búsqueda puede refinarse usando lógica booleana, que permite utilizar los conectores AND, OR, NOT, entre otros, para definir más estrechamente la información requerida y eliminar de la respuesta los documentos que no estén relacionados estrechamente con lo solicitado. Dada la complejidad cada vez mayor que presenta obtener información valiosa de la red, es necesario desarrollar habilidades específicas para encontrar efectivamente lo que se busca<sup>4</sup>.

Algunos de los motores más populares son los siguientes:

<http://www.savvysearch.com>  
<http://www.excite.com>  
<http://www.yahoo.com>  
<http://www.lycos.com>  
<http://www.altavista.com>  
<http://www.infoseek.com>  
<http://www.hotbot.com>

La figura 5.11 muestra la comparación entre algunas características de los motores mencionados.

Existen otros, pero con los anteriores el lector tiene suficiente herramientas para efectuar

búsquedas efectivas en los documentos localizados en la WWW.

El lector debe desarrollar habilidades de búsqueda en la red: un conocimiento de las posibilidades; limitaciones de los motores usados; la manera como cada una de estos motores busca la información; el uso de métodos de búsqueda avanzados (búsquedas booleanas) para hallar la información requerida; el significado de los indicadores que acompañan a los resultados devueltos; el valor de la información de los primeros documentos devueltos en oposición al valor de los últimos; el momento en que ya no merece la pena seguir leyendo los documentos hallados, pues éstos no contienen información útil; y demás. Todo esto ayuda a aumentar la habilidad para encontrar la información buscada.

Si no se encuentra la información en la primera búsqueda, emplee otras palabras clave. Cambie de motor de búsqueda. No todos arrojan la misma información, pues cada uno maneja una base de datos de páginas web diferentes. En la red existen billones de líneas de información; cada día se aumenta este número. Es imposible pensar que no haya, por lo menos, una página en la que aparezca información relacionada con lo que está buscándose.

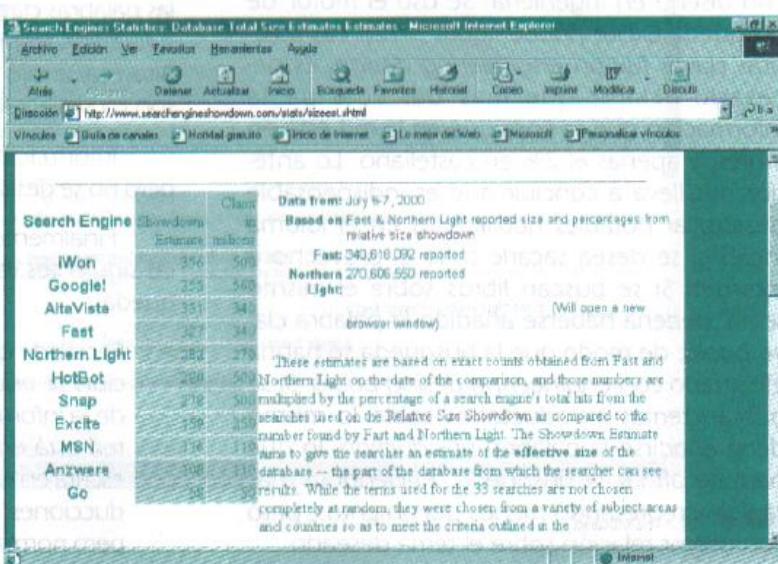


Figura 5.11. Fuente: [www.searchengineshowdown.com](http://www.searchengineshowdown.com)

Siga la estrategia que se recomienda a continuación; recuerde que el proceso de búsqueda es iterativo. Cada vez que lo ejecutamos nos acercamos más al objetivo final. Rara vez se consigue en el primer intento. Los pasos de la estrategia que se sugiere son los siguientes:

1. Defina correctamente el tema sobre el que va a efectuar la búsqueda.
2. Identifique palabras claves que lo describen precisamente. Cuantas más mejor; si es posible hallar frases asociadas con el tema y que son aceptadas universalmente el proceso convergerá rápidamente.
3. Escoja el motor de búsqueda que empleará en la misma. Es aconsejable iniciar con un metabuscador, para luego seguir con un motor específico.
4. Efectúe la búsqueda y tenga en cuenta que de los documentos que arroje esa búsqueda usted debe aprender para mejorar el siguiente intento.
5. Si la búsqueda en una determinada dirección no arroja los resultados que usted espera, abandone esa dirección y analice otras posibilidades. No se empeñe en seguir un camino que nada produce.

En las figuras siguientes se muestra el proceso de búsqueda de información relacionada con diseño en ingeniería. Se usó el motor de búsqueda Excite (Véase figura 5.12). Las palabras claves fueron *engineering design*. Es necesario aclarar que más del 90% de la información que se consigue en la red está en inglés, y apenas el 2% en castellano. Lo anterior nos lleva a concluir que es indispensable desarrollar notables habilidades en el idioma inglés si se desea sacarle todo el provecho a internet. Si se buscan libros sobre el mismo tema, debería haberse añadido la palabra clave *books*, de modo que la búsqueda se habría efectuado con *engineering design books*. Si se buscan temas introductorios sobre lo mismo debe añadirse la palabra *introduction*, lo que permite afinar la búsqueda, haciéndola más rápida y regresando menos documentos, pero con mayor relación sobre el tema deseado.

Cuando se introducen en el recuadro las palabras claves: *engineering AND design AND tutorial* aparecen las respuestas que muestra la figura 5.12.

Al analizar detenidamente esta página (parcialmente mostrada) se observa que Excite encontró 20 732 documentos en los que aparecen las tres palabras claves usadas. Si se leen los resúmenes de los documentos presentados se observa que el contexto en el que aparecen las tres palabras claves no es el que está buscándose. Aparecen documentos en los que se trata de otros temas, que también están encuadrados en ingeniería, diseño y tutorial, pero de otros asuntos. En cada resumen aparece un porcentaje que indica la relación del tema con la clave usada; esta relación va disminuyendo a medida que los documentos van alejándose del primero. Un porcentaje del 89% indica que la relación entre el tema y el documento es muy estrecha.

Si después de leer los resúmenes no se encuentra lo que se busca, pueden pedirse los 10 documentos siguientes y efectuar con ellos el mismo escrutinio. Si se encuentra algún documento que parece interesante se hace clic en el mismo y se obtiene el documento completo a través de la red.

Como puede observarse, no existe relación alguna entre lo buscado y lo obtenido. Quizás cambiando de motor de búsqueda o cambiando las palabras claves nos proporcionará mejores resultados. Cambiando a otro motor de búsqueda, Altavista, arrojó los siguientes resultados, que no son muy alentadores. (véase figura 5.13):

Información sobre ingeniería, en general, pero no se desea nada sobre ingeniería genética.

Finalmente, es necesario tener en cuenta las siguientes reglas para tener éxito en las búsquedas:

- Recuerde que la mayor parte de la información se encuentra en inglés; más del 95% de la información que se ha colocado en la red está en inglés. Solamente el 1,5% está escrita en castellano. Se están realizando traducciones de algunos de los documentos, pero normalmente esta traducción automá-

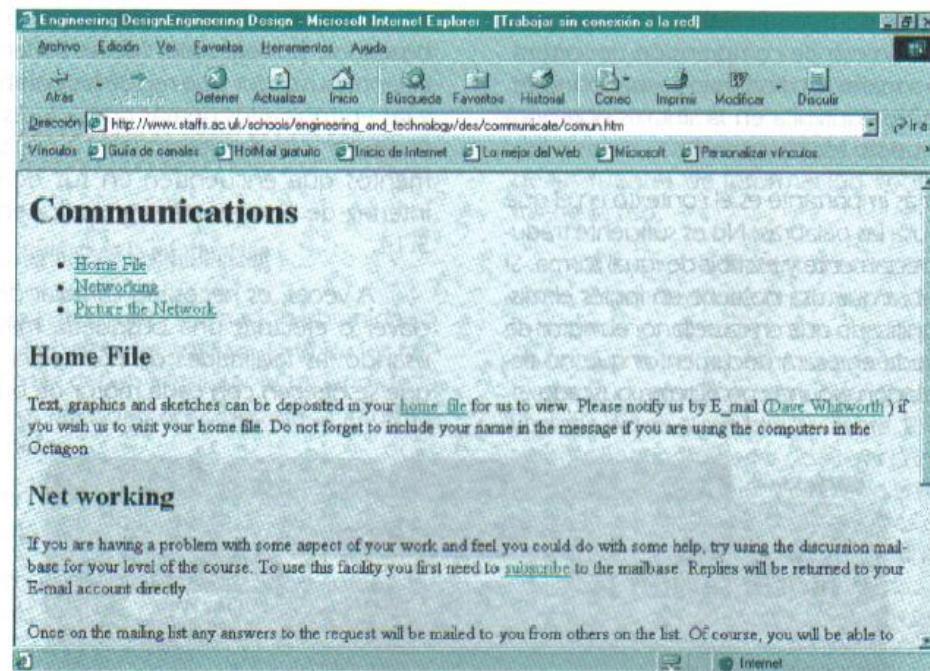


Figura 5.12. Documentos que retorna Excite cuando se busca Design engineering.

Fuente: www.excite.com.

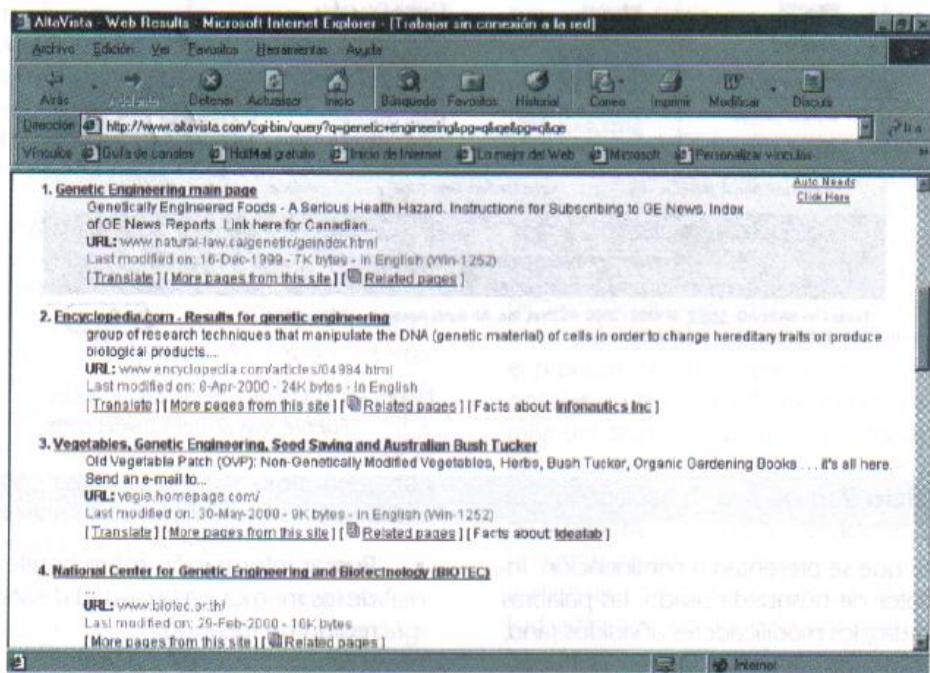


Figura 5.13. Respuesta obtenida usando el motor Altavista.

Fuente: www.altavista.com.

tica no es de buena calidad. Es mejor que tome un curso de comprensión de lectura. Tenga a mano un diccionario español-inglés, pues si se equivoca en la sintaxis obtendrá algo que no está buscando.

- Pero más importante es el contexto en el que usted usa las palabras. No es suficiente traducir correctamente y escribir de igual forma. Si la palabra que usa no tiene en inglés el mismo significado que en castellano, el motor de búsqueda egresará documentos que no tienen relación alguna con el tema buscado.

Comience la búsqueda usando un metabuscador; por ejemplo, Metacrawler es un excelente buscador que recibe las palabras claves y las entrega a los demás buscadores para que busquen y le devuelvan los 10 mejores documentos que encuentren en sus dominios. La interfaz de este motor se muestra en la figura 5.14.

A veces, es necesario cambiar de palabras clave, o efectuar una búsqueda más refinada usando las facilidades de búsqueda avanzada que se ofrecen con cada motor de búsqueda.

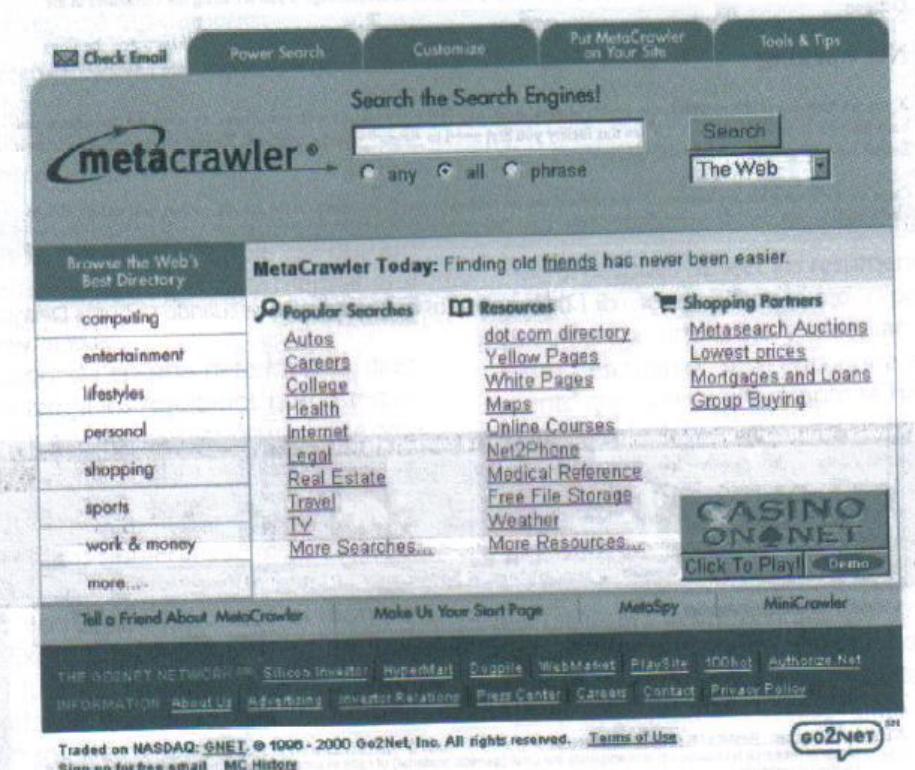


Figura 5.14. Metabuscador Metacrawler.

Fuente: [www.metacrawler.com](http://www.metacrawler.com).

## Ejercicio 7

En los casos que se presentan a continuación, indique el motor de búsqueda usado, las palabras claves utilizadas, los modificadores añadidos (and, or, entre otras) y los documentos seleccionados.

- Buscar información sobre el uso de medios audiovisuales en la educación universitaria.

- Buscar información sobre hoteles y precios de los mismos en la ciudad de Miami y en la región de Orlando.
- Buscar información sobre las características del próximo viaje a Marte.

- Buscar información sobre las características ergonómicas que debe poseer un puesto de computador.
- Buscar información sobre el proceso de archivar información de un libro a un CD ROM.

### Calidad y seguridad de la información

Hay dos aspectos de la información obtenida en la red que es necesario analizar. Uno de los factores que más deben inquietar al usuario de la red es la confiabilidad o calidad de la información obtenida.

- ¿Quién responde por la información suministrada?
- ¿Quién garantiza que lo que se suministra a través de la red es cierto?

Con frecuencia se obtiene información que no corresponde a la realidad. En alguna ocasión se obtuvo información sobre los hoteles de una ciudad; apareció en la pantalla información sobre un determinado hotel. Dio la casualidad que el gerente se encontraba en ese momento en el salón de computación. La mayor parte de la información era incorrecta: localización, precios, número de pisos, etcétera. La persona que no hubiera conocido los verdaderos datos (la mayoría de usuarios) hubiera sido engañada por la información obtenida.

La mayor parte de la información que se consigue en la red es gratuita. Una gran cantidad de la información se ofrece por particulares sin ningún respaldo; de hecho, cualquier persona puede colocar su página en la red e insertar en la misma cualquier clase de información. Caso diferente son las instituciones, como las universidades que, aunque no se responsabilizan por la información colocada por sus profesores, dan una mayor confianza a quien utiliza la información obtenida en sus páginas.

En general, no hay que depositar confianza ciega en la información obtenida de páginas que no correspondan a instituciones serias;

las páginas que se obtengan de individuos deberán ser analizadas y su información contrastada contra referencias oficiales para detectar cualquier síntoma de distorsión. Con el paso del tiempo, cada usuario irá dándose cuenta de las fuentes de información confiables dentro de la red.

Otro aspecto diferente lo constituye la **seguridad**, entendiendo ésta como una cualidad de la información que garantiza que lo que aparece en la página del servidor no es escudriñado por terceros, ni modificado, ni falsificado en su trayectoria desde el servidor al cliente. En la red existen muchas posibilidades de alterar la información, de copiar la información. Teniendo en cuenta que ésta efectúa múltiples saltos a través de diversos equipos hasta que llega a su destino, existe la posibilidad de que personas ajena al proceso capturen la información en alguno de estos puntos y la copien, cambien o falsifiquen.

En muchos casos, especialmente en el mundo académico, esto no ofrece mayor peligro ni la probabilidad de que ocurra es alta. No hay muchas personas interesadas en cambiar el valor al número pi, o alterar el enunciado del teorema de Pitágoras. Pero cuando se trabaja en el ámbito financiero, se manejan números de tarjetas de créditos, o se efectúan transacciones financieras, es necesario trabajar con toda la seguridad del caso. En estas ocasiones, las transacciones deben efectuarse desde servidores seguros; esto se consigue mediante un software especial que utiliza sofisticados esquemas de codificación, así como confirmaciones sucesivas de las operaciones efectuadas para evitar que se consumen falsificaciones o adulteraciones en el proceso. Los servidores seguros se identifican porque en la parte inferior izquierda de la pantalla del browser aparece un candado cerrado (en algunos browser). Con este tipo de servidor la probabilidad de que ocurran falsificaciones es muy remota. Este tipo de servidores, además de un **software especial**, requiere un **hardware que agilice** las operaciones para compensar la lentitud adicional introducida por las diferentes capas de seguridad logradas mediante el software.

## Grupos de noticias

En la comunidad científica internacional se han formado grupos interesados en ciertos temas; por ejemplo, hay grupos interesados en discusiones sobre lenguajes naturales, sobre música por computador, construcción de edificios con materiales reciclables, entre otras. Para mantenerse en contacto permanentemente forman grupos de noticias a los que se inscriben, y reciben continuamente copia de todas las comunicaciones que se intercambian entre los miembros del grupo.

Los artículos que los diferentes miembros del grupo ponen en la red son repartidos de acuerdo con la categoría de noticias de cada miembro, para que los lean, discutan y comenten.

Algunos grupos tienen una lista de correo propia en la cual se incluyen todos los miembros del grupo y se envían las comunicaciones a todos los miembros.

Una gran proporción de estos grupos de noticias forman la red Usenet, usuarios de los computadores que trabajan bajo el sistema operativo UNIX. USENET. Esta es una red que forma parte de internet.

La información está organizada en forma jerárquica, de lo general a lo específico. En la mayoría de los *browsers* se encuentra un botón que permite conectarse a grupos de noticias. No se requiere un entrenamiento especial para conectarse a estos grupos.

## 5.5. Ejercicios y problemas

1. Los estudiantes de primer semestre desean publicar una revista que contenga de todo: notas serias, parte lúdica, artículos técnicos, entre otros. Necesitan patrocinadores para financiar la publicación. Identifique las características de la información necesaria.
2. Se necesita resolver el problema de las abejas que rondan continuamente en la cafetería y ocasionan molestias a los estudiantes que se encuentran en ella tomando un refresco. ¿Qué información necesitaría para resolver el problema?
3. Nos han pedido elaborar un ensayo acerca de los más renombrados matemáticos del siglo XIX en Francia. Indique dónde buscaría la información.
4. Si tuviera que buscar en internet información sobre reglas que deben seguirse para la presentación de una tesis de doctorado, ¿qué palabras claves usaría?
5. Le han pedido que presente 10 frases famosas relacionadas con la ingeniería. ¿Cómo las encontraría?
6. Necesita información rápida sobre operaciones con cifras significativas; indique dónde ubicaría la información y qué procedimientos o palabras claves usaría para obtenerla.
7. ¿Qué diferencia existe entre las palabras inglesas *research* e *investigation*? ¿Cuál de las dos asociaría con Pasteur? Y la otra, ¿con qué otro personaje famoso?
8. Se requiere información detallada sobre la evolución de internet desde sus primeros pasos. ¿Dónde buscaría usted?
9. La universidad necesita evaluar el grado de asimilación de sus estudiantes de los aspectos fundamentales asociados con la misión de la universidad. Indique el camino para seguir.
10. Unos estudiantes forman un grupo de interés en la historia de la ciencia. Quisieran lanzar un folleto promocional que explicara sus objetivos, alcances, etcétera, pero no saben cómo hacerlo. ¿Dónde podrían hallar información?

## Taller corto 7

### Identificación de las características de la información

#### Justificación

Para resolver un problema es necesario contar con la información adecuada; no es sencillo identificar cuál es dicha información. Para facilitar el proceso se propone un método en el que se usan consecutivamente un enfoque divergente (todo lo que se me ocurra) y un posterior enfoque convergente (eliminar lo que no sirva) para dar con la información necesaria.

#### Objetivo

- Identificar las características de la información necesaria para resolver determinado problema

#### Descripción

Se presentarán varios casos en los que el estudiante deberá mencionar las características de la información necesaria

1. ¿Qué información se necesitaría para definir las dimensiones de la placa de un automóvil?
2. El espacio reservado en un parqueadero para estacionar un automóvil no puede ser cual-

quiero; debe tener determinadas dimensiones. Identifique las características de la información necesaria para dimensionar ese espacio.

3. Lo han elegido para diseñar el logo para la Facultad de Ingeniería. Es necesario identificar previamente la información necesaria para acometer con éxito el proyecto.
4. Necesito algunos problemas de magnitudes, dimensiones y medidas. ¿En qué medio cree usted que se encuentra buena información?
5. Para la próxima clase debe presentar el *estado del arte en nanotecnología*; no tiene mucho tiempo para ponerse a buscar. ¿Alguna pista?
6. La tarea de finanzas exige el conocimiento del IPC en los últimos 20 años. ¿Dónde estarán estos índices?
7. Es necesario obtener la opinión de los usuarios de internet sobre la calidad del servicio que viene prestándose por el proveedor de la universidad. ¿Qué haría usted?

## Taller corto 8

### Identificar los medios en que se encuentra la información

#### Justificación

Una vez identificada la información, es preciso localizar dónde hallarla. A veces existe estrecha relación entre la información requerida y el medio en que se encuentra; otras veces no es tan obvia la relación. Para conseguir cierta habilidad en este sentido es preciso ejercitarse continuamente en este proceso.

#### Objetivo

- Identificar las fuentes para encontrar con éxito la información requerida.

#### Descripción

Se presentarán varias situaciones que serán analizadas por el estudiante para que identifique en cada una de ellas la o las fuentes que deben consultarse para hallar la información.

- Se necesitan algunos datos sobre el crecimiento de los computadores conectados a internet en el 2005. ¿Cuál fuente aconsejaría usted? ¿Podría ser concreto?
- Es necesario obtener una fotografía del centro de la ciudad de Nueva York. ¿Dónde la buscaría usted?

- Alguien ha pedido que usted escriba un ensayo sobre los valores tradicionales de la ingeniería y no tiene idea por dónde empezar a buscar. ¿Puede dar alguna pista?

geniería y no tiene idea por dónde empezar a buscar. ¿Puede dar alguna pista?

## Taller largo 5 [En grupo]

### Tabla comparativa de motores de búsqueda

#### Objetivos generales

- Conocer distintos motores de búsqueda.
- Desarrollar habilidades de búsqueda.

#### Objetivos específicos

- Identificar las características generales de los motores de búsqueda.
- Identificar opciones avanzadas de búsqueda.
- Establecer criterios de comparación.

#### Trabajo que se debe desarrollar

Ustedes deben encontrar en la red un cuadro comparativo del desempeño y de las características de los motores de búsqueda más usados. Para realizar esta búsqueda deben identificar las palabras claves que usarán en la misma.

Una vez realizada esta actividad deben buscar información sobre:

*Habilidades personales y técnicas que serán necesarias para trabajar en ingeniería en el próximo siglo.*

Deben identificar las palabras clave y efectuar la búsqueda con varios motores. El objeto de esta segunda parte es que ustedes pongan a trabajar la información que hallaron en el punto anterior; adicionalmente, deben elaborar su propio cuadro comparativo de los cuatro motores de búsqueda que debieron usar en esta parte (uno para cada miembro del grupo), indicando cuál de los cuatro motores les parecieron mejor y los criterios que se utilizaron para llegar a la decisión final.

#### Procedimiento

Para la 1<sup>a</sup> parte deben probar con varias palabras claves hasta que encuentren la combinación adecuada que los lleve al objetivo perseguido. Hay

varios interrogantes que ustedes deberán describir: ¿cuándo se sabe que se obtuvo lo que se buscaba? ¿Cuál de tantas respuestas que se obtendrán es la que deben aceptar?

Una vez resuelta con éxito esta parte, analicen la información obtenida y fijen los criterios que utilizaron para comparar los diferentes motores de búsqueda. Adicionalmente, fíjense en las características más notables analizadas en cada uno de los motores.

Con esta información, entren a trabajar en la 2<sup>a</sup> parte. La primera dificultad estriba en encontrar las palabras claves que los van a conducir a la respuesta correcta. Como toda la búsqueda deben realizarla en inglés tengan cuidado que el significado de las palabras y de los términos usados en castellano se correspondan en inglés.

Cada uno de los miembros del grupo realiza la misma tarea en un motor de búsqueda diferente; luego se reúne el grupo y consolidan la información. La metodología que use cada uno de los miembros debe ser la misma, o de lo contrario cuando traten de ensamblar el informe será muy difícil. Un procedimiento que sugiero es que primero en forma conjunta obtengan las palabras claves. Después, cada uno trabaja por separado. Con las palabras claves halladas se piden páginas que cumplan el requisito impuesto. Se analizan las páginas devueltas y se catalogan de acuerdo con su contenido y correlación con lo solicitado.

También deben apuntar todas las páginas que regresen el error 404, así como las fechas de las páginas. La fecha indica frescura de la información. Otro detalle que deben observar es la repetición de páginas por un motor. Otros detalles que deberían tener en cuenta:

- Facilidad de uso del motor.
- Rapidez en el tiempo de respuesta.
- Traducción al castellano.



## Referencias bibliográficas

1. EISENBERG, Michael B., BERKOWITZ, Robert E., *Information Problem Solving : The Big Six Skills Approach to Library and Information Skills Instruction*, Ablex Pub Corp, November, 1998.
2. ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, <http://www.eb.com>, Jun 2000.
3. ENCARTA ENCYCLOPEDIA, <http://www.encarta.msn.com/>, Jun 2000.
4. ACKERMANN, Ernest, HARTMAN, Karen. *The Information Specialist's Guide to Searching and Researching on the Internet and the World Wide Web*, Abf Content, november, 1998.

## Direcciones de internet recomendadas

1. Rankin, Marea and Whitson, Randy, *How to Find the Information you need*, <http://www.lib.utc.edu/gateway/ustu101.html>, Univ. Tennessee at Chattanooga Jun 2000.  
En esta dirección hallará un completo tutorial de cómo identificar y hallar la información que está buscándose.
2. Henderson, John R., *An On Line Study Guide: Library Resources and Methods of Research*, <http://www.ithaca.edu/library/course/methodstoc.html>, University of Ithaca, Jun 2000.  
En esta dirección hallará elementos de identificación y búsqueda de información que complementarán los de la dirección anterior.
3. Information Skills Classes <http://ghmac.lib.rmit.edu.au/help.html>, Library RMIT University, Jun 2000.  
Esta dirección le ayudará a mejorar sus habilidades de búsqueda de información.
4. Internet Searching Strategies, <http://www.rice.edu/Fondren/Netguides/strategies.html>, Fondren Library, Rice University, Jun 2000  
Además de ayudar a seleccionar una adecuada estrategia de búsqueda, en esta dirección se comparan las características más sobresalientes de algunos de los motores de búsqueda más populares.
5. Barker, Joe, *Important Things to Know Before You Begin Searching the Web*, <http://www.lib.berkeley.edu/TeachingLib/Guides/Internet/ThingsToKnow.html>, Univ. Of California, Berkeley, Jun 2000.  
En esta dirección se explica con gran detalle una estrategia de búsqueda de información en internet. Es seguramente una de las mejores direcciones pensadas para ayudar a mejorar las habilidades de búsqueda de información.

# 6

## Comunicación oral y escrita

*"Puedo escribir mejor que cualquiera que escriba más rápido que yo, y puedo escribir más rápido que cualquiera que pueda escribir mejor que yo".*

A.J. Liebling (1904 - 1963)

### Objetivo general

- Desarrollar habilidades de comunicación tanto escritas como orales.

### Objetivos específicos

- \* Describir los componentes del proceso de la comunicación.
- \* Identificar la información que se requiere en determinada situación.
- \* Identificar las fuentes donde se encuentra la información requerida.
- \* Escribir varios tipos de documentos técnicos según las reglas establecidas.
- \* Efectuar presentaciones orales efectivas.

# L

## 6.1. Introducción

a palabra comunicación proviene del término latino *communis* que puede traducirse como común, en el sentido de igual. La comunicación iguala; actúa como sistema de vasos comunicantes de la información.

En todas las actividades de la ingeniería, especialmente en el proceso de diseño, la comunicación es muy importante pues a través de ella, por ejemplo, pueden mostrarse los avances de un proyecto en determinado momento, sustentar ante un grupo técnico los resultados obtenidos y, finalmente, enviar al Departamento de Producción las especificaciones detalladas de un diseño para su posterior manufactura.

El ingeniero debe comunicarse con sus pares o con otros profesionales de diversas maneras: en forma oral escrita. En ambas modalidades debe utilizar las herramientas que provee la moderna tecnología de la comunicación para lograr que ésta sea efectiva; es decir, que cumpla su cometido (eficaz) y que lo haga usando los recursos económicamente (eficiente). Para poder lograr este objetivo es indispensable saber cómo utilizar las herramientas del caso, desarrollar habilidades comunicativas y saber qué actitudes adoptar cuando se actúa en cada uno de los extremos de una comunicación: como receptor o como emisor.

En este documento, el estudiante encontrará guías para escribir un documento usando un procesador de texto que le permite expresar sus ideas de una manera efectiva; aprenderá a utilizar un programa de computador para hacer presentaciones orales ante un grupo de personas; aprenderá las reglas básicas de una buena comunicación, bien sea oral o escrita. Aprenderá, finalmente, diferentes tipos de comunicación y cuándo emplear cada una de ellas.



Los últimos años del siglo XX estuvieron marcados por un notable desarrollo de la tecnología satelital para las comunicaciones.

## Caso 1. El arte de escribir

Llevo estudiando varios años en la universidad y me encuentro ahora más cerca de la salida que de la entrada. Se puede decir que ya estoy viendo la luz al otro lado del túnel, situación muy diferente a la presentada dos semestres atrás. Aunque no me considero un estudiante brillante, puedo afirmar que me ubico en el 15% de la parte alta de los estudiantes de ingeniería industrial, carrera de la que curso octavo semestre. Si las cosas salen bien, como espero, en año y medio podré cantar victoria y entrare a formar parte de las cifras de la Administración Nacional de Estadística, ojalá que dentro del grupo de los empleados.

El semestre octavo es prácticamente jamón; uso esta metáfora para indicar de una manera gráfica que casi todas las asignaturas son (o me parecen) no solamente interesantes, sino también muy aplicadas a la ingeniería que estoy estudiando. Una de ellas, fundamentos de investigación, es diferente de las demás: no es tan profesional, no prepara para resolver problemas o producir bienes de consumo. Nos prepara para investigar, para innovar, para ser creativos. El profesor de la asignatura también se aparta del perfil al que estábamos acostumbrados: acaba de llegar de Estados Unidos de obtener su doctorado y pidió expresamente que le dejaran dictar este curso. Él se graduó también en nuestra universidad como ingeniero mecánico. Conoce las deficiencias de los estudiantes de su universidad y tiene un enorme interés en ayudarnos a superarlas.

Hasta ahora las clases han marchado bien y me parecen (lo mismo que al resto del grupo) muy interesantes. Pero hay algo que martiriza a la clase entera: su insistencia en ponernos a escribir de todo, especialmente informes. Él está consciente de esto y por eso lo hace: una de nuestras mayores debilidades es escribir. Como él dice: "Para hablar somos buenísimos; no tenemos problemas en la comunicación oral, pero el panorama cambia totalmente cuando nos exigen presentar nuestras ideas por escrito".

— ¿Tienes algún consejo para mejorar tu escritura?

Cuenta que cuando llegó a la Universidad Estatal de Nueva York para iniciar sus estudios de doctorado, se encontró con una situación similar a la que padecemos nosotros actualmente. No sabía escribir, y el sistema de educación americano se basa, en una gran medida, en la redacción continua de ensayos, informes, tesis, entre otros. A pesar de que durante sus estudios de pregrado tomó varios cursos en los que le enseñaron cómo comunicar sus ideas, en forma oral, corporal, escrita, etcétera, nunca le exigieron en los otros cursos de la carrera el uso de las habilidades aprendidas, con el consiguiente olvido de las mismas. Lo que no se utiliza se atrofia, o se olvida, como le sucede a la mayoría de los estudiantes.

Afortunadamente para mí – nos comenta nuestro profesor –, la Universidad de Nueva York dispone de un centro de ayuda para la redacción de informes, compuesto por una serie de módulos de autoaprendizaje almacenados en la intranet de la universidad. Adicionalmente, dice él, un grupo de profesores expertos en el tema están disponibles permanentemente para atender las consultas de los estudiantes. Con mucho esfuerzo de su parte – anota – y ayudado por las facilidades de la universidad, logró superar sus debilidades y al finalizar el primer año de estudios ya podía equiparse, y en algunos casos, superar a sus compañeros de doctorado. También tuvo que luchar con las dificultades del idioma, pues no es lo mismo escribir en castellano que en inglés; los americanos piensan de forma distinta a nosotros, el lenguaje está estructurado para escribir de acuerdo con su forma de pensar y cuando vayamos a escribir en inglés debemos pensar en inglés. De lo contrario, las frases que escribamos no tendrán la contundencia de las que hubiera escrito un inglés nativo. Pero, bueno, – concluyó el profesor – el problema que tenemos que resolver es más sencillo: desarrollar habilidades de comunicación escrita en castellano.

Las reglas que nos dio el profesor fueron las siguientes:

120352

- Informarse del tema sobre el que va a escribir; leer, preguntar, investigar sobre el tema hasta que se considere que se tiene suficiente ilustración.
- Elaborar un diagrama mental en el que aparezca con el mayor detalle la estructura y el contenido de lo que se desea escribir. Algo así como una tabla de contenido. Se puede usar alguna herramienta computacional para desarrollar dicho diagrama, o hacerlo a mano.
- Convencerse de que el escrito no saldrá a la primera, sino que, en promedio, estará listo después de cuatro o cinco borradores. Cada uno de estos borradores desempeña un papel específico en el contenido del documento final.
- Una vez realizada esta planeación inicial, se comienza a escribir. Hay que recordar que escribir es un arte y que cuando se escribe uno se transforma en un artista y los artistas para producir necesitan estar inspirados. Si no está inspirado, no intente. Déjelo para otro momento. Si a pesar de no estar en su mejor momento decide escribir, recuerde que su productividad será ínfima y que, con toda seguridad, lo que escriba en esas circunstancias no servirá.
- Si intenta expresar una idea y lo ha intentado de varias maneras infructuosamente, busque un enfoque radicalmente distinto. Recuerde: si algo no sale a la primera, a la segunda, a la tercera, ..., a la sexta es porque está usando un enfoque equivocado. Busque otra forma de llevar a cabo lo que desea.
- Escribir es una actividad creativa y por tanto puede aplicársele a ella los mismos pasos que a todo proceso creativo: información, incubación, hallazgo, desarrollo y corrección. Si en determinado momento su inspiración se seca, su flujo se detiene, haga un alto en el proceso. Coloque dos o tres ideas en su inconsciente y déjelas ahí que nuestro cerebro, con los poderes mágicos que posee, se encargará de trabajar esas ideas hasta que un evento indeterminado actúe

de catalizador y proporcione la energía necesaria para el trabajo final del parto intelectual. Entonces exclamará: «¡Eureka,...!».

- El primer borrador de su escrito será horrible; aun así, hay que pasar por ahí. Probablemente ni siquiera terminará su escrito. Llegará un momento en que se sentirá avergonzado de haber escrito lo que escribió. Pero, recuerde que eso tan horrible es la base de su segundo borrador.
- Retomar las ideas mal expresadas y volverlas a escribir de una forma más agradable. Tendrá la ventaja del que ya recorrió el camino por primera vez y sabe lo que le espera en la próxima curva. Casi nunca se termina de escribir el segundo borrador, pero lo que se alcanza a escribir ya no es tan desagradable. Ya tiene más forma, ya dan ganas de seguir escribiendo. Hasta descubrirá algunas genialidades de su propia cosecha. Si está trabajando con un procesador de texto, saque una copia impresa que le servirá para corregir y como base de su tercer borrador.

Éste ya deberá tener un gran parecido con su documento final. Si no encuentra una palabra para expresar lo que quiere, no se detenga: escriba la que le parezca más próxima y siga. Si está inspirado, cualquier alto en el camino puede ser fatal; de acuerdo con los sicólogos, una detención a destiempo puede secar su fuente de inspiración. Escriba, escriba, escriba, no se detenga. No separe a corregir errores ortográficos, ni semánticos. Eso lo hará al final.

Su cuarto borrador será igual al tercero perfeccionado; lea detenidamente, en voz alta, su documento. Coloque la puntuación correcta; si una palabra se emplea repetidamente en líneas cercanas, busque sinónimos. Si encuentra que alguna palabra no encaja dentro del contexto, deténgase y busque otra. Es posible que haya párrafos que no le satisfagan; arráncuelos de cuajo y escríbalos de nuevo. No intente mejorarlos. Es mejor empezar de nuevo. Corrija el formato de presentación y deje su documento listo para que sea revisado por otra persona. Usted ya se encuentra tan involucrado

con su escrito que ha perdido la objetividad, padece la miopía del escritor. Escoja a alguien en quien usted confie, preferiblemente más amargo que dulce, mejor seco que adulador; pídale que lea su escrito y haga las correcciones que considere convenientes.

- Una vez con las correcciones y sugerencias, siéntese y analice lo que le han entregado. Si está de acuerdo con lo que le están indicando, obre en consecuencia. Si no está totalmente de acuerdo, pero reconoce que hay algo de cierto en lo que le dicen, introduzca las correcciones del caso. Si no está de acuerdo, mantenga su punto de vista. Recuerde que lo que le ha dicho su amigo es, con toda seguridad, el punto de vista de otras muchas personas. Si decide mantenerse en sus trece prepare una buena defensa.
- Finalmente, después de un proceso de gestación bastante accidentado sale a la luz el documento en su versión final.

El profesor nos indicó que las reglas delineadas se referían a la parte creativa; existe, adicionalmente, una parte técnica, formal, que tiene que estar acorde con los estándares nacionales e internacionales: puntuación, márgenes, tamaño de letra, el espacio entre líneas, formato de los títulos, nomenclatura usada para tablas o cuadro, figuras, imágenes, referencias bibliográficas, notas al pie de página, entre otras. Todo eso se encuentra especificado en los libros especializados o en algunas direcciones de internet. Nos dio unas direcciones en las que se podía hallar información sobre los aspectos técnicos de las normas internacionales.

Con estas indicaciones, unos más escépticos que otros, nos pusimos a escribir un ensayo sobre la contaminación ambiental y las maneras como la ingeniería podría ayudar a disminuir su impacto. Tomando en cuenta sus reglas me puse a escribir mi ensayo.

Leí varios documentos sobre contaminación ambiental, desarrollo sostenible, resolví las dudas que iban apretujándose en mi mente con profesores expertos en el área, descargué varios documentos de las Naciones Unidas sobre los principales agentes contaminantes y la proyec-

ción estimada hasta 2025; también estudié documentos de la EPA (Environmental Protection Agency) sobre los procesos industriales más contaminantes en Estados Unidos, hice un resumen de todo lo que había leído, así como un cuadro sinóptico que reunía toda la información de una manera organizada. Una vez que me sentí bien informado avancé a la siguiente fase: escribir, el primer borrador.

Resulta que el primer párrafo de un ensayo es toda una obra maestra de la literatura, o eso me estaba pareciendo, pues en ese párrafo hay que darle al posible lector una idea general de lo que se va a tratar en el escrito y hacerlo de tal manera que aquél se sienta cautivado y lea el resto. Así, decidí que me concentraría en la escritura del primer párrafo y hasta cuando lo hubiera perfeccionado seguiría con el resto. Me costó un trabajo enorme escribir las dos primeras líneas. La primera frase, luego de leerla varias veces, me pareció pésima; así que volví a empezar. Pero ya esta vez, si bien no sabía qué escribir, sabía, al menos, qué no debía escribir.

En este segundo intento casi termino el párrafo introductorio. Tampoco me satisfizo, así que empecé de nuevo; con las experiencias anteriores la tercera fue más fácil y aunque le faltaba algo al final ya me estaba gustando. No sabía si atraería a los posibles lectores, pero yo estaba satisfecho. Leí el párrafo en voz alta, una y otra vez, colocando las comas y puntos donde creía que debían ir. Un par de palabras se repetían constantemente, así que les busqué sinónimos y la lectura resultó más agradable. Eliminé lo que no era esencial para que el párrafo no saliera demasiado extenso, y acorté las frases para que parecieran escritas por un ingeniero. Imprimí el párrafo y se lo pasé a mi profesora de comunicación para que me diera su opinión. Me hizo correcciones de laíslos, leíslos, etcétera, en que tanto se cae por costumbre. Me cambió algunas comas y varios puntos me los sustituyó por punto y coma. Me felicitó por lo que había escrito y me dijo que le había gustado mucho el estilo terso y fluido que mostraba en el párrafo. Se podía leer fácilmente y las ideas se expresaban de manera precisa y concisa. Le conté lo que el profesor de fundamentos nos había dicho y ella estuvo de acuerdo con que si las enseñanzas no

se practican es imposible que se conviertan habilidades. Ojalá que con la influencia del recién llegado cambiaran las cosas.

Animado por esta primera experiencia me puse, manos a la obra, a redactar el resto del ensayo. En total, la elaboración del párrafo introductorio me había tomado tres horas. ¿Mucho o poco? Si esta productividad se mantenía y suponiendo que los siguientes párrafos fueran de un nivel de dificultad menor (el 50% menor) podría escribir el resto del documento en menos de 24 horas de trabajo continuo; es decir, seis días trabajando cuatro horas diarias. Esperaba que a medida que aumentara mi habilidad de escritor se redujera el tiempo; de lo contrario esa asignatura me iba a copar todo el tiempo de estudio.

Siguiendo las pautas que nos había dado el profesor escribí el resto del documento; no tuve mayores dificultades, aunque modifiqué las reglas de modo que construía el documento por secciones y no todo a la vez. Creo que eso permite concentrar el esfuerzo de una forma más efectiva y acorta los tiempos de producción. Solamente tuve problemas nuevamente cuando empecé a escribir el último párrafo: las conclusiones. En general, para muchos las conclusiones son una especie de resumen del contenido. Aunque en escritos largos es bueno finalizar con un resumen para que el lector retenga las ideas principales, sacar conclusiones es mucho más complejo. Concluir es generar información basada en relaciones lógicas establecidas entre datos o información del documento; establecer relaciones válidas, útiles, no es tarea fácil. De todas maneras, puse todo el empeño del mundo en esta tarea y logré producir tres conclusiones que me parecieron interesantes. Una pregunta que apareció a medida que iba sacando conclusiones: ¿existe alguna forma de saber si se sacaron todas las conclusiones?

Finalicé mi ensayo y lo entregué dentro del plazo estipulado; no todos tuvieron la misma fortuna, pues algunos pidieron plazo adicional para cumplir el compromiso. El profesor no se lo concedió, pues uno de los valores que él deseaba

que agreguemos a nuestra precaria lista es el de la responsabilidad: si nos comprometemos a algo, debemos cumplirlo, sea como sea (medios ilícitos, claro.)

A la semana siguiente nos devolvió el ensayo corregido; saqué E (excelente). Sin embargo fui el único; la mayoría estuvo entre el regular e insuficiente. La verdad es que, por lo que pude apreciar, pocos en el salón tomaron las cosas tan a pecho y solamente en el último momento se pusieron a redactar su ensayo. Demasiado tarde y muy poco.

El resultado de esta experiencia fue tan gratificante que me dediqué a escribir no solamente documentos técnicos, sino ensayos literarios, cuentos, novelas cortas, entre otros. En el concurso anual La Pluma y El Papel presenté un ensayo sobre las relaciones entre el arte y la tecnología y me concedieron una mención honorífica. Aunque no creo que me gane la vida como escritor; creo que es posible combinar la práctica de la ingeniería con un desarrollo personal en direcciones tan opuestas como el arte. Definitivamente, los ingenieros desarrollamos tantas habilidades a lo largo de nuestros estudios que algunas de ellas podrían aprovecharse en actividades distintas.

Al finalizar el curso me sentía con una gran habilidad para escribir. El profesor me felicitó y me dijo que en raras ocasiones se logra tanto en tan poco tiempo. No podía decir lo mismo del resto del grupo; hubo algunos que trabajaron denodadamente y llegaron a niveles aceptables en el desarrollo de su habilidad de comunicación escrita. Pero el 50% del grupo quedó con un nivel inferior al que se debería haber llegado. Lo importante es que las medidas correctivas identificadas se pongan en práctica: desarrollar la habilidad de comunicarse por escrito a lo largo de todos los cursos de la carrera, no esperar a que llegue un profesor para corregir coyunturalmente un problema estructural.

Nos volveríamos a ver, pues yo le había preguntado si estaría dispuesto a ser mi director de tesis, a lo que él respondió con un rotundo sí.

## Ejercicio 1

Le han encargado que escriba un artículo dirigido a los estudiantes de secundaria sobre las ventajas de estudiar el programa de ingeniería en el que usted está matriculado. Aplique las reglas

### 6.2. Comunicación escrita

El objetivo de la comunicación en ingeniería es informar, pero también convencer a la audiencia sobre algunos puntos que se tratan en la comunicación. El autor pretende, por ejemplo, que su audiencia esté de acuerdo con la metodología empleada para alcanzar ciertos desarrollos. Además de presentar sus argumentos de una manera lógica, debe sustentarlo de una forma tal que convenza a su público presencial o virtual. Para ello es conveniente tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El tema de la comunicación debe definirse claramente y estar enfocado a lo largo del documento o de la presentación. Para ello es conveniente definir objetivos precisos y el alcance del tema escogido. Los objetivos deben ser comprobables. Objetivos demasiado generales no permiten precisar si se llegó a lo que se pretendía o solamente hubo una aproximación sin lograr lo propuesto. Por ejemplo, en un proyecto destinado a mejorar el sistema de información de notas de los estudiantes de una universidad debe establecerse en el documento si se continúa con el actual sistema, mejorándolo, o se busca otro diferente al actual. Es necesario indicar si el proyecto incluye la construcción de un prototipo, o si solamente se deja en la etapa de diseño.
  - La comunicación debe hacerse en un lenguaje claro que sea comprensible para la audiencia a la que va dirigida. No es lo mismo elaborar una presentación para un público especializado, que para una amplia audiencia compuesta por personas de todos los niveles. Se evitará usar términos rebuscados, el uso de clichés, de adjetivos
- definidas en el caso 1. Compruebe su utilidad. Si necesita eliminar, añadir, corregir o cambiar, alguna de ellas, hágalo y explique las razones.
- despectivos, que pongan en ridículo o vayan en contra de etnias, religiones o sexos.
- Lo bueno, si breve, dos veces bueno. Así reza un refrán. En otras palabras, sea conciso y preciso. No use más palabras de las necesarias. Las frases excesivamente largas distraen y apartan la atención de la idea principal. Hay que desarrollar la habilidad de síntesis, y concentrar en una frase corta la idea que se desea trasmitir.
  - Sea claro y razonable en sus definiciones. Si no es posible dar una buena definición, ofrezca una descripción y añada un ejemplo. Lo importante es que la audiencia entienda el mensaje que está trasmidiéndose.
  - Presente y defienda sus hipótesis. La hipótesis alrededor de la cual se construye el tejido de su comunicación, debe haber sido formulada con base en información creíble y de fuentes fidedignas. Nunca deben hacerse afirmaciones contundentes sin estar debidamente respaldadas. Las notas al pie de la página o al final del documento sirven para respaldar las afirmaciones del mismo. Por ejemplo, decir que el 70 % de la población de la República de Colombia está concentrada en las ciudades, sin indicar de dónde se obtuvo este dato constituye una información gratuita, algo que no tiene credibilidad. Si se añade una nota al pie de la página indicando que esta información se obtuvo del Boletín del Departamento Administrativo Nacional de Estadística número 112, página 87, de 1996, la información referida adquiere todo su valor.
  - Sea objetivo e imparcial en sus apreciaciones. No se deje influenciar por sus preferen-

- cias. Analice otros enfoques alternos conocidos. No se cierre a una sola idea.
- Las conclusiones deben ser lógicas y referirse al logro de los objetivos planteados. Deben ser conclusiones, no repetición de frases que aparecen en la comunicación. Una de las partes más difíciles en cualquier escrito es la elaboración de las conclusiones. Para ello es preciso establecer relaciones entre los datos recogidos en el documento y presentar hechos no mencionados en el mismo, pero que se derivan lógicamente de esas relaciones. Por ejemplo, si en una encuesta realizada en las medianas empresas se encuentra que en éstas el uso de internet como medio para el mercadeo es poco usado por falta de información sobre la red, puede con-

### 6.3. La comunicación como un proceso

Para controlar los diversos aspectos que intervienen en una comunicación, sea oral o escrita, es importante conocer más a fondo la estructura de la misma. Claude Shannon<sup>1</sup> propuso un modelo de la comunicación en el que la considera un proceso que se inicia en el emisor y finaliza en el receptor, sufriendo diversas trasformaciones durante su recorrido. En las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 se aprecian los componentes principales de este proceso.

Un modelo más complejo incluye la transformación que sufre el mensaje original para que pueda trasmítirse por el canal de comunicación (codificación), así como el proceso inverso que debe llevarse a cabo en el extremo del receptor para que éste lo pueda recibir (descodificación). Por ejemplo, un artículo científico escrito en idio-

ma castellano debe traducirse al inglés (codificación) para que pueda publicarse en una revista científica de prestigio internacional. La revista actúa como el canal de comunicación; en el extremo del receptor se encuentran lectores interesados que solamente pueden leer documentos en castellano; es indispensable traducir del inglés al castellano (descodificación) para que el receptor reciba el mensaje correctamente. En la figura 6.2 se aprecia este nuevo modelo.

En resumen, la comunicación debe ser:

- Clara.
- Lógica.
- Dinámica.
- Llamativa.
- Inspiradora.
- Interesante.
- Atractiva.
- Agradable.

ma castellano debe traducirse al inglés (codificación) para que pueda publicarse en una revista científica de prestigio internacional. La revista actúa como el canal de comunicación; en el extremo del receptor se encuentran lectores interesados que solamente pueden leer documentos en castellano; es indispensable traducir del inglés al castellano (descodificación) para que el receptor reciba el mensaje correctamente. En la figura 6.2 se aprecia este nuevo modelo.

Lamentablemente, en este proceso es posible que se produzcan interferencias que alteren el contenido del mensaje original. En el ejemplo descrito, durante la codificación y descodificación pueden producirse errores que cambian el sentido original del documento. Adicionalmente, durante el proceso de edición

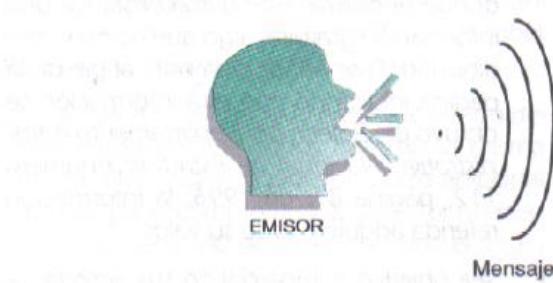


Figura 6.1. Proceso de comunicación.

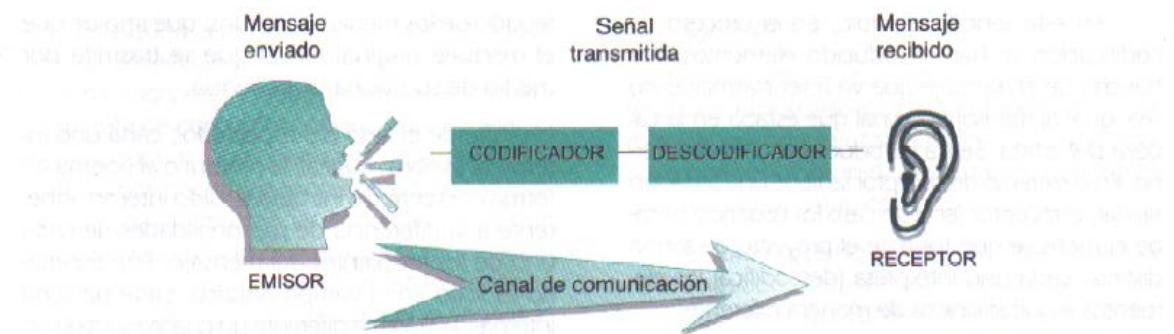


Figura 6.2. Proceso de comunicación en más detalle.

de la revista puede introducirse otro error. En definitiva, el receptor recibe un mensaje que no es igual al original que salió del emisor. A estos errores que se introducen en el proceso de comunicación se les denomina en forma genérica como ruido. El lector debe entender que ruido, en este contexto, es todo aquello que cambia el mensaje original por otro de distinto contenido. Así pues, ruido no debe asimilarse exclusivamente con el ruido sonoro, que también es una causa de distorsión de los mensajes auditivos. Se ha

blado de ruido eléctrico, por ejemplo, cuando se transmite un mensaje por microondas y entre el punto de origen y el de destino está produciéndose una tormenta radioeléctrica; es posible que parte del mensaje se altere debido al efecto que las descargas eléctricas ejercen sobre la transmisión de la señal.

En la figura 6.3 se aprecia un modelo más completo del proceso de comunicación en el que se ha incluido el ruido en el canal de comunicación.



Figura 6.3. Proceso de comunicación con los diferentes tipos de ruido.

En esta figura 6.3 se distingue claramente entre el ruido interno y el externo. El ruido interno se origina durante los procesos de codificación y descodificación. El externo se genera durante el proceso de transmisión de la señal. Ambos actúan sobre el mensaje distorsionándolo de modo que el mensaje recibido es diferente del mensaje enviado. Para entender mejor el significado del ruido interno considérese el siguiente ejemplo:

#### Ejemplo 1

Un arquitecto recibe el encargo de desarrollar un proyecto urbanístico que sea radicalmente

distinto a los que se vienen elaborado hasta el momento. Debe incluir elementos que den la sensación de estar en el futuro, usando los medios tecnológicos más avanzados en comunicaciones, trasportes, vivienda, recreación, entre otros. El arquitecto elabora varios modelos, los retoca, cambia, altera, buscando que recojan la idea que él tiene en su cabeza de cómo debe ser el proyecto. Finalmente, sin estar totalmente de acuerdo con el proyecto final que será construido, lo acepta como la solución más cercana a lo que él hubiera deseado (véase figura 6.4).

En este sencillo ejemplo, en el proceso de codificación se han introducido elementos que hacen que el mensaje que va a ser transmitido no sea igual al mensaje original que estaba en la cabeza del artista. Se ha introducido un ruido interno. En el extremo del receptor se tiene una situación similar; el receptor (en este caso los usuarios) percibe el mensaje que transmite el proyecto de forma distinta: cada uno interpreta (descodifica) los elementos arquitectónicos de manera diferente.

Cada uno recibe un mensaje distinto. Se produce un ruido interno que desfigura el mensaje original que el arquitecto pretendió enviar. El lector apreciará que el ruido interno del lado del receptor es de origen diferente al del lado del emisor, pero que en ambos casos el mensaje se altera en el proceso de codificación o descodificación.

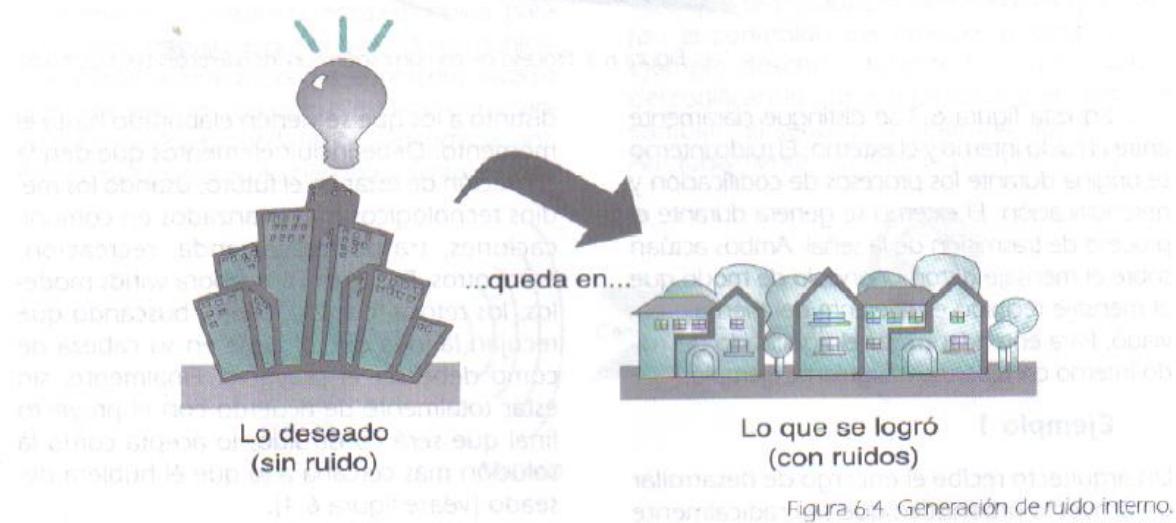
Un compositor utiliza la música para codificar sus mensajes; el pintor usa la magia de los colores y su imaginación para enviar el mensaje que desea que llegue al espectador. De la misma manera, el poeta encierra en la cadencia de su rima un mensaje que plasma todo lo que desea compartir con los demás. Cada uno emplea una forma distinta para codificar sus mensajes: la música, la pintura, la poesía. En todos estos casos, el proceso de codificación es imperfecto; ningún artista está totalmente satisfecho con sus obras. A pesar de todo el tiempo que emplean en producirlas, éstas nunca expresan plenamente todo lo que en su interior sienten. Existe un ruido interno, producto de la imper-

fección de los medios utilizados, que impide que el mensaje original sea el que se transmite por medio de su obra a la audiencia.

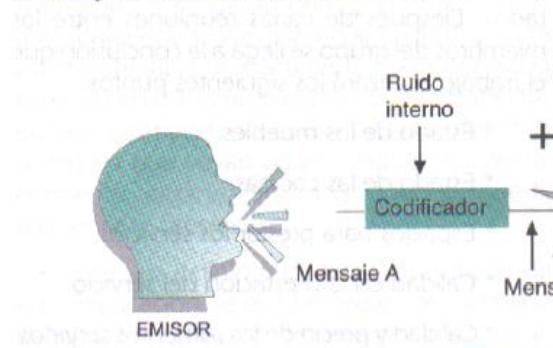
Desde el lado del espectador, cada uno interpreta la obra musical, la pintura o el poema de forma diferente. Se introduce ruido interno, inherente a la diferencia de personalidades de cada uno de los recipientes del mensaje. Este escenario es ilícito en el campo artístico; cada persona interpreta de forma diferente un cuadro surrealista. Pero no es deseable que en un proyecto de ingeniería, las personas que debe construir el prototipo de un diseño industrial interpreten los planos de manera distinta a lo que el diseñador planeó.

Es indispensable que en el proceso de codificación y de descodificación se eliminen todas las situaciones posibles que conduzcan a la generación de ruido interno. En ingeniería los medios más usados para comunicarse son el escrito (informes, tesis, dibujos, planos, entre otros.) y el oral (congresos, encuentros, presentaciones.). Es necesario usar herramientas que permitan codificar la idea original (el mensaje) de una manera fácil y correcta, de modo que se disminuya al mínimo posible la generación de ruido interno, tanto en el lado del emisor como en el del receptor, así como el ruido externo.

Conclusión: hay que eliminar todas las posibles causas de ruido; y, de no ser posible, tenerlas en cuenta en el momento de interpretar el mensaje recibido.



rebas. En algunas situaciones es posible introducir un lazo de retroalimentación en el proceso de la comunicación; esto es especialmente cierto cuando se trata de comunicación oral o presencial. El emisor capta algunos mensajes de la audiencia (ruidos, movimientos o expresiones), que le indican que hay interferencias con el mensaje que está enviando. Dado que es una comunicación presencial, en línea, en vivo, pueden introducirse correctivos para que el mensaje que llega a la audiencia sea el mensaje original. En las comunicaciones escritas, es muy difícil introducir elementos que permitan incluir retroalimentación en el proceso de comunicación. En la figura 6.5 se ofrece un nuevo esquema del proceso en el que se incluye la retroalimentación.



### Ejemplo 2

Existe ruido interno cuando el expositor usa un lenguaje rebuscado que no comprende la audiencia; cuando se usan términos que solamente se usan en comunidades aisladas; cuando se usan metáforas muy complejas.

El ruido externo puede ser: un nivel sonoro demasiado alto, del aire acondicionado en un salón; el ruido sonoro que llega desde los pasillos y que no permite entender lo que dice el profesor; las radiaciones electromagnéticas generadas por la aurora boreal, que interfieren con las ondas electromagnéticas.

### Ejercicio 2

Indique otras causas de ruido interno, así como de ruido externo, distintas a las comentadas en el ejemplo.

## 6.4. Cómo lograr una buena comunicación

Se definirá como buena comunicación aquella que permite que el mensaje original llegue al receptor lo más fielmente posible y que logre en él el efecto esperado. Para alcanzar estos dos objetivos es necesario usar las herramientas adecuadas, así como habilidades específicas para cada modalidad de comunicación. Adicionalmente, una metodología adecuada permitirá que el proceso de elaborar la comunicación

el ejemplo. Analice la posibilidad de reducir estos ruidos mediante retroalimentación.

se mecanice, lo que disminuirá las posibilidades de error y permitirá controlar la calidad del producto final.<sup>2</sup>

Aunque las modalidades de comunicación escrita y oral exigen tratamientos diferentes, ambas comparten unos pasos comunes que es necesario seguir para lograr los mejores efectos; estos pasos son:

1. Definición del tema que se va a tratar y de los alcances de la comunicación.
2. Planeación de la comunicación.
3. Búsqueda de información.
4. Consolidación de la información encontrada.
5. Desarrollo de la comunicación.
6. Prueba de la comunicación.
7. Introducción de mejoras.
8. Mantenimiento.

## Definición del tema y alcance de la comunicación

En este paso debe quedar muy claro el tema que tratará la comunicación. Aunque parece obvio, en muchas ocasiones falta claridad sobre el mismo y se termina tratando algo relacionado pero que no es exactamente lo que se había decidido hacer. Es muy común que a medida que se va desarrollando la comunicación, van agregándose aspectos que inicialmente no se habían considerado y que, en un afán de tratar el tema en forma más completa, se agregan a la comunicación aumentando considerablemente la extensión de la misma.

Por ejemplo, se pide elaborar un documento sobre la automatización de la matrícula en la universidad y el trabajo termina siendo una monografía sobre el código de barras que se usará en la codificación de los datos del estudiantes. Si bien el código de barras es uno de los elementos que intervienen en el trabajo que se va a desarrollar, no es el objetivo principal.

Debe definirse el alcance del trabajo, para no ir más allá, ni quedarse corto. Por ejemplo, si se decidió elaborar un estudio sobre los hábitos de estudio de los estudiantes de ingeniería, no es necesario hacer recomendaciones para cambiarlos si esto no se ha pedido.

## Ejercicio 3

Escriba un ensayo sobre los problemas de tráfico en la ciudad. Inicie su trabajo con la descripción del plan y el alcance del documento.

Para que el tema y los alcances queden bien claros será necesario elaborar una lista de los objetivos específicos que se deben lograr, así como de los resultados que se deben entregar.

Con el fin de aclarar los aspectos analizados en este punto se presenta un caso simulado en el que se les pide a los estudiantes que elaboren un informe sobre el estado de las cafeterías de su universidad, y hagan unas recomendaciones para mejorarlas.

## Ejemplo 3

Lo primero que deben hacer los estudiantes es definir precisamente lo que se entiende por «estado». Después de varias reuniones entre los miembros del grupo se llega a la conclusión que el trabajo analizará los siguientes puntos:

- \* Estado de los muebles.
- \* Estado de las cocinas.
- \* Espacios para prestar los servicios.
- \* Calidad en la prestación del servicio.
- \* Calidad y precio de los alimentos servidos.

El trabajo concluirá con recomendaciones para mejorar el actual servicio de las cafeterías. Se dejará para una fase posterior la puesta en práctica de las recomendaciones.

En este sencillo ejemplo se aclara desde un principio el trabajo que se va a hacer, delimitando precisamente los diferentes aspectos que se van a trabajar. Se deja muy en claro que el trabajo no incluye, en esta fase, la ejecución de las recomendaciones. Es muy normal que el estudiante en esta fase todavía no tenga claro el tema específico que desarrollará; es necesario partir de un tema general y llegar a uno específico que sea el que se trabaje. Para ello es necesario buscar información en los diferentes medios disponibles.

## Planeación de la comunicación

Toda actividad se desarrolla en dos fases: planeación y acción. Nadie puede quedarse en la fase de planeación y pretender lograr un plan perfecto; tampoco se puede lanzar de una vez a la de acción, a ejecutar algo que no se planeó. Es necesario combinar adecuadamente ambas fases: un poco de planeación seguido de acciones concretas; seguir con más planeación, con las siguientes acciones. De esta manera, combinando planeación y acciones se obtienen los mejores resultados.

Definidos los objetivos y alcances del trabajo que se va a realizar, se comienza la fase de planeación elaborando una lista con los temas principales que se van a trabajar. Se trata de una especie de tabla de contenido; no es necesario escribirla en el mismo orden en que se tratan los puntos. Lo importante es escribir los temas en el orden en que vayan apareciendo para, posteriormente, organizarlos en el orden en que finalmente se presentan.

Una vez definidos los temas principales de la comunicación, se escribe debajo de cada uno de ellos un resumen de los aspectos más importantes para trabajar. Se hace referencia a las figuras, ecuaciones, tablas, que se elaborarán en cada punto en particular. De esta manera, se construye la comunicación de lo general a lo particular; o, como se denomina en sistemas, de arriba abajo (*top down*).

### Ejemplo 4

Siguiendo con el ejemplo de las cafeterías iniciado en el punto anterior, se elabora una lista de los puntos principales del informe que se va a presentar. Un escenario posible para este punto sería el siguiente:

1. Introducción.
2. Objetivos del informe.
3. Obtención de información.
4. Análisis de los datos obtenidos.
5. Resultados iniciales.
6. Discusión con los administradores de las cafeterías.

7. Resultados finales.
8. Conclusiones.
9. Recomendaciones.

Antes de empezar a trabajar en el informe, es necesario definir qué pasos deben darse para llegar a los resultados esperados. Se comienza ofreciendo una breve descripción de las causas que motivan el estudio y de los resultados que se esperan, así como de lo que puede seguir más adelante(1). Despues, se establecen claramente los objetivos(2). Dado que en este caso no se puede elaborar un informe sin basarse en datos adecuados, hay que empezar a reunir datos suficientes para, una vez analizados, llegar a las recomendaciones pedidas(3).

De la misma manera, se planea el trabajo hasta llegar a la lista de puntos presentada inicialmente. Como muestra del desarrollo de cada uno de los puntos, tal como se propone en esta metodología, ampliaremos el 3, (Obtención de información).

### Obtención de información

*En este punto se allegará información de otras universidades. Se buscará información sobre número de estudiantes, número de mesas disponibles, metros cuadrados de cafetería, número de cocinas, instalaciones, etcétera. También se efectuará una encuesta entre los estudiantes de la universidad para detectar sus puntos de vista y opiniones sobre los servicios que presta la cafetería. Habrá que pedir ayuda a algún estudiante de sicología para elaborar la encuesta. Se entrevistará a los administradores de la cafetería. Se tomarán fotografías para resaltar algunos aspectos importantes. Para incluir las fotografías en el informe se pueden adosar al mismo las fotografías, o digitalizarlas mediante un escáner.*

De esta manera queda definido el contenido del tercer punto, puntuizando los aspectos más importantes del mismo que se desarrollarán adelante.

Como se hizo con el punto 3 se procede con los restantes puntos.

## Ejercicio 4

Siguiendo con el ejercicio planteado, elabore la tabla de contenido y defina a grandes rasgos el contenido de cada uno de los puntos.

### Obtención de información

Una vez esbozado el trabajo que se va a realizar, se reúne la información necesaria. Aún en el supuesto de que el estudiante tenga un buen conocimiento del tema que se va a trabajar, hay que reunir información sobre hechos, datos u opiniones, que sirven para dar fuerza a los argumentos que se planteen en el trabajo.

Existen muchas fuentes de información y distintos modos de obtenerla. Los libros han sido la fuente tradicional de ésta durante muchos años; esta tendencia está cediendo a favor de fuentes electrónicas, como CD ROM, bases de datos especializadas, internet, entrevistas. Las publicaciones científicas son también una fuente importante de información. Sin embargo, en muchas ocasiones sigue siendo necesario acudir a las fuentes primarias: hay que obtener la información yendo a la fuente misma, personalmente. En principio, el procedimiento que se aconseja seguir para reunir la información que se va a usar en un trabajo es el siguiente:

- Pregúntele a personas entendidas (sus profesores, por ejemplo) dónde buscar información para el trabajo; siga las indicaciones que le den.
- Alternativamente, identifique las palabras clave que enmarcan el área en la que se va a trabajar y busque sistemáticamente en los libros de la biblioteca, en las revistas de la hemeroteca, en la colección de CD ROM y en internet. Dependiendo de la singularidad del tema, el orden de búsqueda será diferente. Por ejemplo, si se trata de temas muy novedosos, no es normal que se hayan publicado libros sobre esos temas. Posiblemente estén en la etapa de edición. Se aconseja buscar en internet. La clave del éxito de una búsqueda es la identificación de las palabras claves que la guíen. Es necesario desarrollar algunas habilidades en

la manera de identificar las palabras clave así como en la interpretación de la información retornada.

- En ocasiones, cuando el tema para tratar es muy particular y no es razonable esperar que las fuentes universales de información ofrecan ayuda, hay que recurrir a buscar la información físicamente; es decir, obtener mediante entrevistas, encuestas, observación directa de los hechos, fotografías, entre otras.
- A la hora de seleccionar la información útil que se puede conseguir hoy, es necesario tener algunos criterios sobre el tema:
  1. Hechos universalmente aceptados.
  2. Datos estadísticos.
  3. Opiniones de personas autorizadas que tienen credibilidad garantizada.
  4. Ejemplos reales con alguna relación con el tema y que permiten reforzar uno o varios de los puntos tratados.

### Ejemplo 5

Siguiendo con las cafeterías, la búsqueda de información relativa a este tema será difícil realizarla en los medios tradicionales, como libros y revistas. En general, es un tema tan específico que la manera más directa y con probabilidad de cierto éxito es la búsqueda de información en instituciones de similares características: otras universidades, instituciones que den servicio de restaurante a sus empleados, entre otras. Si se decide buscar información en libros, revistas, internet, o en otras fuentes, las palabras clave que se aconseja usar son: university, cafeteria management. Son palabras en inglés que pueden combinarse en formas diferentes para ver qué información se consigue.

## Ejercicio 5

Continuando con el ejercicio planteado, elabore una lista de las fuentes de información que necesitará para escribir su documento. De cada una de ellas indique la información que piensa obtener y las herramientas que deberá usar. Identifique las palabras claves que servirán para efectuar las búsquedas, o las preguntas que deberá hacer para obtener lo que necesita.

### Consolidación de la información encontrada

La información recogida en el punto anterior se clasifica y se agrupa de acuerdo con la parte del documento en que se pueda utilizar. Una vez clasificada, se organiza en cada grupo y se realiza el proceso de extraer de cada documento obtenido la parte relevante para la comunicación que se va a elaborar. Para ello es conveniente utilizar lápices resaltadores que destaque la parte interesante de cada documento.

Al finalizar este proceso se examina si ha quedado algún punto sin cubrir adecuadamente y, de ser así, se regresa al punto anterior y se efectúa un nuevo proceso de búsqueda de la información que no se obtuvo inicialmente. Hay que advertir que casi todos los procesos en ingeniería son de carácter iterativo; es muy probable que en un primer intento no se logre lo pretendido, y hay que repetir lo efectuado antes hasta alcanzar los objetivos propuestos.

### Ejemplo 6

En el ejemplo de las cafeterías, el procedimiento sería el siguiente:

- Reunir las fotografías tomadas. Se analizan detenidamente, se eliminan las que no aporten ningún elemento importante al documento que se va a elaborar. A las que resulten seleccionadas se les anota en el reverso el lugar en que deberá ser incorporadas en el trabajo, o qué información se va a extraer de ellas sin necesidad de colocarlas en el documento.

- Si se han grabado entrevistas, en video o en audio, se colocan en un mismo lugar y se etiquetan. Se observan los videos tomados y se anotan las partes de los mismos que son útiles, se indica en qué lugar del documento se deben colocar. Las entrevistas grabadas se escuchan y se procede a efectuar algo similar a lo realizado con los videos.
- La información que se haya obtenido de búsqueda bibliográfica, vía internet, u otro medio, se ordena de acuerdo con su contenido. Por ejemplo, la que se refiera a dietas alimentarias en un lado; la que se refiera a distribución de mesas y sillas, en otra; y así con toda la información recogida.
- Las encuestas realizadas se procesan y se analizan para sacar las conclusiones pertinentes. Los resultados obtenidos se colocan junto con el resto de la información, de acuerdo con su afinidad.
- *Las anotaciones hechas durante las visitas a las diferentes cafeterías, se revisan y se agrupan de acuerdo con su similitud. Se eliminan aquellas partes que no contienen mayor información.*
- Finalmente, se colocan todos los elementos de información obtenidos en los pasos anteriores en el orden adecuado y se anotan en una hoja las observaciones necesarias para su conexión correcta. Desde este momento ya puede empezarse a elaborar la comunicación planeada.

Hay que aclarar que el procedimiento expuesto no es único; solamente es un modelo. Posiblemente es una buena aproximación para quienes no tienen una mejor idea de cómo llevar a cabo este paso. Con la experiencia que proporciona la práctica, podrán desarrollarse procedimientos específicos para cada uno de los casos.

## Ejercicio 6

Organice la información que reúna en desarrollo del ejercicio planteado; sea original y desarrolle su propia metodología para consolidar la información que ha reunido, agrupándola de acuerdo con sus características más notables, desecharlo la que no tiene relevancia. Una manera de detectar la información más destacada es contar el número de veces que se repiten en cada una de ellas las palabras claves. Así hacen los buscadores en internet (Altavista, Yahoo, Lycos, entre otros).

### Elaboración de la comunicación

Al reunir toda la información necesaria para escribir el documento, el siguiente paso es la escritura del mismo. Antes de empezar, hay que definir los elementos básicos que intervienen en esta etapa. Toda comunicación contiene un mensaje (el contenido del documento) y su codificación (la forma de escribir el documento). Dicho de otra manera:

- El fondo.
- La forma.

En esta fase, la preocupación principal está relacionada con la forma, pues el fondo (el contenido) está disponible (de una manera incom-

pleta aún) en toda la información recolectada en las etapas anteriores. La forma como se presenta el mensaje es muy importante; un documento con un formato inadecuado, escrito en un estilo recargado, sin dibujos bien elaborados, sin consistencia en el manejo del vocabulario, sin una lógica que concatene los argumentos, genera en el receptor situaciones diferentes a las pretendidas. Por tanto, es muy importante el manejo adecuado de la forma para asegurar que el mensaje llegue al receptor con el mínimo de distorsión; es decir, sin ruido interno.

Los diferentes ruidos (interno y externo) que pueden distorsionar el documento dependen de dos factores. Fundamentalmente:

*La herramienta usada para elaborarlo.* Si la herramienta no posee lo que usted necesita para expresar lo que quiere escribir, tiene que conformarse con una aproximación a sus deseos; genera ruido interno.

*El estilo empleado en la elaboración del documento.* Si usa un estilo barroco, es posible que las personas no puedan interpretar correctamente sus ideas y el mensaje que finalmente les llega es diferente del que usted pretende hacer llegar.

### 6.5. Tipos de documentos

Varios tipos de documentos<sup>3</sup> se usan en las carreras técnicas. De éstos, los más comunes son los siguientes:

- Memorando.
- Carta.
- Ensayo.
- Informe técnico.
- *Curriculum vitae.*

### El párrafo

Si bien el párrafo no es un documento en sí, representa la parte básica de cualquier documento; todo documento se compone de párrafos, combinados de forma distinta. Las ideas desarrolladas en el documento se articulan mediante párrafos. Cada párrafo debe expresar una idea, y solamente una. Para escribir correctamente un párrafo debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- *Todo párrafo gira alrededor de un tema y una idea principal.* Por ejemplo: «los computadores son indispensables en la oficina moderna». Los computadores constituyen el tema y la idea principal es «son indispensables en la oficina moderna». Lo que hay que desarrollar es la idea principal (se debe demostrar que son indispensables en la vida moderna). Considere el siguiente párrafo:

Es necesario que la industria de la construcción se reactive para que la economía salga de su recesión. La construcción genera muchos empleos, lo cual implica que muchas familias reciben ingresos para comprar bienes, pagar servicios, entre otros. Cada apartamento que se estrena necesita electrodomésticos: nevera, cocina, televisión, equipo de sonido,... que genera ocupación adicional para uno de los sectores industriales más postrados en el momento. Adicionalmente, es necesario equipar el apartamento con muebles, cortinas, alfombras, lo cual reactivan de esta forma otra de las industrias que, en este momento, trabajan a media marcha. Arquitectos, ingenieros civiles tienen trabajo y con los ingresos que reciben pueden seguir asistiendo a los cursos de postgrado que abandonaron por falta de dinero; es decir, la educación también se beneficia con la recuperación de la industria de la construcción. Si el gobierno quiere ver la economía moviéndose hacia arriba, debe reactivar la construcción.

El análisis de este párrafo señala que la primera oración contiene el tema y la idea principal: «la industria de la construcción» y «la necesidad de reactivarla...», respectivamente. A continuación siguen una frases, cada una de las cuales respalda la idea principal de una forma inequívoca. Se podrían haber añadido otras frases con datos de la Cámara de la Construcción en donde se muestre con cifras el número de puestos de empleo que genera, los miles de millones de pesos que mueve, los empleos indirectos que se generan, entre otros. Para concluir el párrafo, se remata con una oración en la que se le recomienda al gobierno hacer algo para reactivar la construcción.

- *No mezcle dos ideas en un párrafo.* Considere el siguiente inicio de párrafo:

Las acciones tecnológicas representan uno de los mejores negocios actualmente, y se mantendrán por delante de las acciones industriales tradicionales por varios años...

Se aprecia un tema (las acciones tecnológicas), pero dos ideas principales (uno de los mejores negocios, y por delante de las acciones...). En el párrafo se debe sustentar solamente una de las dos ideas; la otra se deja para otro párrafo.

- *Mantenga la coherencia:* todas las frases deben tener relación con la idea principal. Considere el siguiente párrafo:

El consumo de energía es uno de los indicadores más seguros para pronosticar la recuperación de la economía. En efecto, a medida que las empresas reciben más pedidos, necesitan poner más máquinas (que consumen energía) a funcionar para atender la demanda. *Durante la época de la sequía, las industrias usaron energía producida in situ mediante plantas de gasolina o diesel para no detener la producción.* El consumo de energía en el último mes fue 12% superior al del mismo mes del año pasado, lo que indica...

En este párrafo inconcluso se ha insertado una frase que no es coherente con la idea principal: «lo que pasó durante la época de la sequía» no tiene que ver con la recuperación de la energía; no se ha conectado coherentemente.

- *Sea consistente:* pase de una oración a la siguiente de una forma natural, que se sienta la fluidez. Utilice conectores apropiados. Considere el siguiente párrafo:

La industria textil muestra tendencias de salir de la recesión de los últimos cinco años. Se han aumentado las ganancias apreciablemente. Se han aumentado en el 38% las ventas, y el número de puestos de trabajo creados es superior a 18% al del mismo mes del año pasado...

En este caso, la frase relativa al aumento de las ganancias debería colocarse en otra parte del párrafo, pues se nota claramente que «no conecta» con la siguiente frase.

- *Las frases u oraciones que siguen a la inicial deben respaldar o sustentar la idea principal.*

pal. Deben ser frases que contengan datos estadísticos, referencias bibliográficas, afirmaciones que pueden verificarse, entre otras. No deben incluir opiniones. Considere el siguiente párrafo:

La ingeniería industrial es una de las ramas de la ingeniería con mayores oportunidades de trabajo. Las estadísticas revelan que casi el 98% de los ingenieros industriales encuentran trabajo en los dos meses que siguen a su graduación. Esta cifra debe aumentar a medida que la reactivación de la economía tome más fuerza...

Esta última frase refleja una opinión, no está respaldada por cifra alguna, lo que no permite incluirla como soporte a la idea principal.

- Finalice el párrafo con una frase en forma de conclusión, o a manera de conexión con el siguiente. Considere el siguiente párrafo.

Una de las habilidades más necesarias para triunfar en la ingeniería es el dominio del idioma inglés. Gran parte de los textos usados en las carreras de ingeniería están escritos en inglés; las revistas más prestigiosas están escritas en inglés, así como el 90% de los documentos que se consiguen en internet. Una enorme proporción (cerca del 45%) de nuestras empresas dependen de suministros que llegan de los Estados Unidos, lo que hace necesario establecer comunicaciones regulares con los proveedores, para lo cual es necesario usar el idioma inglés. Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario recomendar a nuestras universidades que mejoren el sistema de enseñanza del inglés para estar a la altura de las exigencias actuales.

Una vez considerados los aspectos más importantes que deben tenerse en cuenta en la redacción de un párrafo, elemento básico con el que se elaboran todos los documentos, se entra a analizar cada uno de éstos.

### Memorándum, memorando o memo

Una forma de comunicación muy extendida hoy entre los diferentes departamentos de una em-

presa lo constituye el memorando (memorandum) o memo. Memo es una forma coloquial de comunicación. El memo se usa para comunicar una decisión, expresar una opinión, dar instrucciones específicas, entre otros. Normalmente es de corta extensión. Las partes de un memo son las siguientes:

**Fecha:** escribir la fecha en forma completa; ejemplo: Bogotá, 10 de abril de 2000.

**Para:** la identificación de la persona a la que se dirige el memo; por ejemplo: ing. Pedro Az.

**De:** la identificación de la persona que escribe el memo; por ejemplo: doctor Luis Villar.

**Asunto:** una línea que resuma en forma precisa el tema central del memo.

**Contenido:** el contenido debe ser informativo y conciso. No hay saludos, ni despedidas afectuosas. Incluye las características del destinatario y se escoge el grado de detalle que el memo debe incluir. El punto central toma una de las dos formas siguientes:

**Forma deductiva:** las diferentes ideas del memo se exponen en forma de importancia decreciente. Los argumentos que respaldan sus puntos de vista o los datos que dan fuerza a su argumentación deben colocarse al final. El propósito de este tipo de memo es que el destinatario, que conoce del asunto no pierda tiempo leyendo lo que ya sabe. Solamente lee las ideas importantes, la finalidad del memo, las cuales se encuentran al principio del mismo.

**Forma inductiva:** es ideal cuando se prepara al destinatario para una mala noticia, o cuando su grado de conocimiento del tema es deficiente y es necesario empezar con algunos datos y referencias que respaldan el punto central del memo, que aparece al final del mismo. Este tipo de memos toma más tiempo que el anterior, pues debe ser escrito con mucho cuidado para no herir susceptibilidades.

**Ejemplo 7****MEMORANDUM**

Fecha: Bogotá, 12 de junio de 2000  
 Para: Ingeniero Augusto Fuentes  
 De: Ingeniero Raúl Fernández  
 Asunto: Cancelación de permisos para trabajar en la noche

Coinciendo con el aumento de permisos otorgados para trabajar horas nocturnas en los talleres de la empresa, se han presentado una serie de robos en diversas oficinas. Se han perdido algunos equipos de computación, así como teléfonos y fax. Aunque se ha redoblado la vigilancia en las horas de la noche, no ha sido posible parar esta racha de robos. Por todo lo anterior, se ha tomado la decisión en el consejo administrativo del día de ayer de suspender temporalmente los permisos para trabajar por la noche. Solamente se concederán en casos de extrema necesidad. Le solicito informar a sus subordinados de esta medida y tomar las acciones pertinentes.

Atentamente,  
 Ingeniero Raúl Fernández

**Ejercicio 7**

Retome el tema del anterior memo y escríballo en forma opuesta a la utilizada.

**Cartas**

La carta es un tipo de documento más elaborado que el memo. Tiene una finalidad diferente. Es más extenso y se escribe en un lenguaje más pulido y menos tajante que el de un memo. Hay diferentes tipos de cartas, dependiendo del fin que persigan. Entre los tipos de cartas más comunes son los siguientes: carta que acompaña a una hoja de vida (*Curriculum Vitae*), de agra-

decimiento, para rechazar una oferta, para presentar una queja, para hacer una solicitud.

Aunque cada una de ellas posee algunas diferencias de las demás, existe una estructura común a todas ellas. A continuación se exponen las partes principales de la mayoría de las cartas.

Dirección del remitente:

En la parte superior derecha.

Fecha:

Debajo de la dirección. Hay diferentes formatos.

Nombre y apellidos del destinatario: Cinco líneas por debajo del anterior, a la izquierda

Título:

Título del destinatario. Debajo del anterior.

Nombre de la organización: Debajo del anterior. Cuando sea del caso.

Dirección de la organización: Debajo del anterior. Dirección completa.

Estimado, apreciado, respetado, ...: Dependiendo a quien vaya dirigida.

Primer párrafo: en general en este párrafo se saluda al destinatario de una manera rápida y se continua con la presentación personal (si es del caso), seguida de la intención que tiene la carta.

Siguientes párrafos: dependiendo de la longitud de la carta puede haber uno o más párrafos a continuación. En ellos se expone detalladamente el tema que origina la carta; si se trata de una carta que acompaña a una hoja de vida, se hace énfasis en las calidades personales, en las habilidades que se dominan: se detallan aspectos que no es posible incluir en la hoja de vida. Si se trata de una carta para agradecer un empleo se reiteran las capacidades personales que garantizan que la selección fue hecha acertadamente, se recalcan las condiciones básicas que rodean la contratación. Si se trata de una carta solicitando una concesión especial debe justificarse la petición, indicando todas las razones que respaldan la so-

licitud presentada, incluyendo casos similares en los que se hayan concedido permisos especiales. En términos generales, los párrafos que siguen al primero tienen un contenido variado que depende del asunto que trate la carta.

Último párrafo: el último párrafo recalca algunos aspectos puntuales que es necesario que queden bien claros. Por ejemplo, la fecha en la que se comienza a trabajar, las condiciones que se deben cumplir si se acepta la solicitud presentada, las nuevas condiciones de pago a partir de cierta fecha.

Sinceramente, cordialmente, atentamente,...

Término cortés de despedida.

La firma

El nombre completo impreso

Anexos(si los hay)

## Ejemplo 8

### Carta

Calle 123, 45 - 56

Barrio Los Laureles.

Bogotá, 10 de abril de 2000

Ingeniero Leopoldo Cabrales

Decano de Ingeniería Mecánica

Universidad Politécnica

Calle 66, 67 - 89

Estimado decano:

En primer lugar le presento un saludo y mis más fervientes deseos de éxitos continuados para la facultad que usted dirige. Soy estudiante de séptimo semestre que quiere cursar una asignatura(diseño I) sin haber cumplido el requisito de haber aprobado la asignatura materiales II.

Cursé materiales II el semestre anterior pero por enfermedad (cuyo certificado adjunto) no pude presentar la segunda evaluación. Como consecuencia de lo anterior se me calificó con 0,0 esta evaluación, según las normas reglamentarias vigentes. Sin embargo, en el examen final saqué 5,0 lo que demuestra mi dominio del tema. La nota definitiva quedó en 2,8, por lo que debo repetir la asignatura.

Este hecho repercute de una manera grave en mi carrera, pues el atraso implica suspensión del crédito estudiantil que me permite continuar la carrera. No tengo otros medios económicos para seguir estudiando. Mi solicitud es la siguiente: permítame cursar las dos asignaturas al mismo tiempo. De acuerdo con el horario, no tengo problemas de cruce por lo que puedo cursar todas las materias de mi semestre, así como repetir materiales II. Mi promedio es de 4,3 y he sido monitor de diversas asignaturas en diferentes ocasiones. Los profesores de la carrera pueden dar testimonio de mis condiciones académicas.

Agradezco por anticipado la atención que preste a mi solicitud, asegurándole que la confianza que deposité en mí no será defraudada.

Atentamente,

Fernando Ramallets

Anexo: Certificado médico

## Ejercicio 8

Escríbale una carta a su jefe inmediato explicándole las razones por las que no asistió a la reunión

### Ensayo

Dentro de los documentos que un estudiante debe escribir con mayor frecuencia en su vida académica sobresale el ensayo. La palabra tiene su origen en el vocablo francés *essai* que quiere decir tratar, intentar. Un ensayo es una composición escrita en la que se intenta demostrar algo, se describe una situación, se opina acerca de algún asunto. Aunque en la vida profesional no es frecuente que un ingeniero escriba ensayos, las habilidades de pensar, organizar, investigar y escribir que se adquieren a través de la escritura de éstos son de gran ayuda en otras actividades que debe ejecutar el ingeniero. Existen diversas clases de ensayo:

convocada por él según memo que le fue entregado oportunamente a usted.

- Comunicativo.
- Literario.
- Informal.
- Investigativo.
- Otros.

Cada uno se distingue de los otros por algunas características; normalmente, el objetivo final de cada tipo de ensayo marca la diferencia. En el fondo, la estructura de los ensayos es la misma:

Primer párrafo: establece claramente el tema o asunto que se va a tratar. Constituye lo que en otros documentos se denomina la introducción. Se definen los términos para que no se presenten confusiones. La introducción es quizás el más importante de los párrafos de un ensayo. La impresión que deje en su audiencia perdura a lo largo de la lectura del resto del documento. Averigüe la composición de su audiencia y utilice el vocabulario adecuado para la misma. Use ejemplos, deje alguna pregunta en el aire sin responder, presente una propuesta atrevida, aclare conceptos errados sobre el tema que se va a tratar. Todo esto hace que la introducción coloque a sus lectores a la expectativa. De la lectura del primer párrafo el lector decidirá si merece la pena leer el resto. El párrafo finaliza con una frase que enlaza la introducción con el siguiente.

Segundo párrafo: la frase inicial introduce la idea principal que se va a desarrollar en el párrafo. La siguiente frase desarrolla ampliamente la idea presentada. A continuación se da un ejemplo aclaratorio para que se despejen todas las dudas que hayan surgido. Dependiendo del tipo de ensayo, se acostumbra presentar un contraejemplo en la frase siguiente, y la última frase concluye el párrafo y lo conecta al siguiente.

Párrafos siguientes: poseen una estructura similar al del anterior: frase inicial (idea principal del párrafo); siguiente frase (desarrollo de la idea principal); frase siguiente (ejemplo aclaratorio); frase siguiente (contraejemplo); última frase (enlace con el párrafo siguiente). El lector debe en-

tender que lo que se presenta es un modelo que debe adecuarse a cada situación.

Último párrafo: presenta las conclusiones y las recomendaciones para continuar el debate.

Para escribir un ensayo debe seguirse un método que garantice que el resultado final es el esperado. El método descrito a continuación no es nada nuevo; corresponde, en líneas generales, al proceso que debe seguirse para escribir un documento:

- Definición del tema: precisar el tema que se va a desarrollar.
- Planeación del ensayo: bosquejo.
- Recopilación de información.
- Organización del documento.
- Estructurar muy bien el primer párrafo.
- Escribir la idea principal de los párrafos siguientes.
- Buscar un ejemplo para aclarar esa idea.
- Buscar un contraejemplo.
- Escribir las conclusiones.
- Revisar y corregir.

A continuación se da un ejemplo de ensayo para que el estudiante lo analice y lo tome como plantilla cuando escriba sus ensayos. Hay que advertir que un modelo es un modelo y no una camisa de fuerza. Así que la estructura no es obligatoria, aunque el esquema es ampliamente utilizado.

## Ejemplo 9

### El uso de ayudas audiovisuales en la clase

Por ayudas audiovisuales se entiende todo aparato que permite extender de una manera positiva las facilidades de comunicación que la naturaleza le ha dado al ser humano. El término audiovisual señala claramente aparatos que permiten mejorar la comunicación oral y visual. Como ejemplos de los mismos pueden citarse los siguientes: retroproyector, proyector de diapositivas, computadores, entre otros. Hay evidencia científica que muestra que un uso adecuado de tales dispositivos es de gran ayuda en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Por otro lado, investigaciones recientes muestran graves deterioros en las actitudes de los alumnos hacia el estudio cuando el empleo de tales dispositivos se hace de una manera indiscriminada, sin un conocimiento adecuado del proceso de comunicación que se establece entre estudiante y profesor, y sin conocer los efectos nocivos que las ayudas audiovisuales

pueden introducir en ese proceso. Es preferible no usar equipos audiovisuales si su uso no es el correcto. Hay que aprender a usar correctamente los equipos audiovisuales. (Introducción.)

Debido a la masificación de la educación, los equipos de audiovisuales se han vuelto un elemento más en nuestros salones de clase; muchos de ellos ya vienen equipados con retroproyectores, pantallas, computadores, videoproyectores, entre otros. Cada vez es mayor el número de profesores que los usan para dictar su clase. Pero, lamentablemente, muy pocos de ellos han recibido un curso preparatorio de cómo usar eficazmente el equipo. La gran mayoría traslada al acetato lo que antes colocaba en el tablero. Es muy cómodo; la clase viene prefabricada, hay un gran orden en la exposición del tema, incluso rinde más el tiempo. Se puede dar más materia por unidad de tiempo. Se aumenta la productividad. Pero solamente la del profesor. Y de los estudiantes, ¿qué? (Primer párrafo.)

Cuando el centro de la exposición es el equipo y no el profesor, el estudiante tiende a volverse pasivo; las imágenes crean falsas sensaciones de aprendizaje que desaparecen rápidamente sin dejar mayor huella. Es muy cómodo estar sentado escuchando la exposición del profesor sin ser exigido en ningún momento. Si la exposición es muy larga, más de un estudiante será sorprendido cabeceando, rendido ante el sopor de un clima cálido, un salón en penumbra y un tema sin mayor interés. Lentamente, el estudiante puede convertirse en un ente vegetal que deambula de salón en salón, buscando el lugar más propicio para echar un sueñecito mientras dura la presentación. Ante este escenario, un tanto exagerado, pero que refleja una realidad de nuestros sistemas de enseñanza, se debe hacer algo. (Segundo párrafo.)

Todos los profesores deben recibir un curso acerca de cómo lograr clases efectivas usando los medios audiovisuales. El curso debe tratar los aspectos técnicos y los comunicacionales. Debe establecerse un mecanismo en el que el estudiante participe activamente en el desarrollo de la clase, en la que el profesor usa los equipos solamente para facilitar el proceso de aprendizaje de una manera creativa. La preparación de la clase debe hacerse teniendo en cuenta la contribución que cada actor aporta al desarrollo de la misma. El equipo será utilizado solamente cuando no sea posible descargar en los otros dos actores algunas actividades; o cuando el uso del equipo mejore sustancialmente ciertos aspectos del proceso de aprendizaje. (Tercer párrafo.)

En pocas palabras, se puede decir que el uso de los equipos audiovisuales en nuestras clases no es el debido; los profesores deben aprender a utilizar los equipos audiovisuales para dictar clases efectivas y despierten el interés y la motivación de los estudiantes por la respectiva asignatura. (Párrafo final: conclusiones y recomendaciones.)

### Ejercicio 9

Escriba un ensayo de dos páginas tamaño carta sobre la posibilidad de mantener un desarrollo sostenible en los países del Tercer Mundo.

### Informe técnico

Casi todas las disciplinas tienen su formato propio para presentar informes. No existen diferencias fundamentales entre los mismos; generalmente son aspectos de estilo, modo de referencia de las citas bibliográficas, etcétera. El

modelo que se va a presentar en esta sección es ampliamente utilizado en la gran mayoría de facultades de ingeniería. Un informe técnico consta de las siguientes partes:

Página con el título: el título debe estar estrechamente relacionado con el contenido. Aunque debe ser conciso, no debe sacrificarse la claridad por la brevedad. Las palabras del título deben ser escogidas para que puedan ser usadas como palabras claves en la búsqueda de información.

120352

**Tabla de contenido:** debe relacionar todas las secciones mayores y menores con el número de la página en que se encuentran. Además, se deben incluir las listas de figuras, de cuadros, de fotografías, etcétera, que aparecen en el informe con el número de la página respectiva. Casi todos los procesadores de texto modernos disponen de una herramienta para confeccionar automáticamente la tabla de contenido.

**Abstract:** es un resumen de unas 200 palabras que da una idea precisa acerca del informe. Leyendo el *abstract* un investigador sabe si merece la pena leer el documento completo, o si el mismo no está relacionado con el tema que a él le interesa. Muchas publicaciones científicas solamente publican los *abstracts* de los artículos que reciben, por lo que es muy importante que el mismo sea elaborado con sumo cuidado. Un *abstract* bien escrito no debe incluir detalles innecesarios; pero sí debe hacer una descripción

del problema planteado, el alcance, el método empleado, los resultados obtenidos, junto con las conclusiones más importantes.

Para escribir el *abstract* de un informe es necesario haber escrito el informe previamente; se lee detenidamente el documento y se hace un resumen de una frase por cada tema importante que se trate en el informe. No hay que olvidar, dejar bien en claro, cuál es el problema principal que está tratándose. El *abstract* debe reflejar cuál de las secciones del informe es la más importante. Por ejemplo, si el informe está relacionado con una nueva metodología de análisis, el *abstract* alude a la metodología con más amplitud que los otros asuntos. Una vez que se han escrito las frases resumen, se compilán las mismas para que el conjunto no rebese la extensión (200 palabras).

Veamos unos ejemplos que sirven de inspiración.

## Ejemplo 10

### Abstract

Estudiantes con variadas edades, intereses y habilidades llegan a un curso que exige trabajo duro, frustraciones inevitables, y en cierto modo logros inciertos. Cambiando la estructura del curso de modo que incluya colaboración, disponibilidad de tiempo, material significativo, así como experiencias interesantes del profesor, se ha logrado aumentar la motivación y el desempeño de los estudiantes.

### Abstract

El proyecto OLIMPO se inició en agosto de 1998, teniendo el español como idioma oficial para sus proyectos. El primer contingente estuvo formado por escuelas de Argentina y Estados Unidos y el tema escogido fue la biología. Las escuelas participantes identifican un problema genético que afecta a su comunidad; los alumnos, a través del intercambio de ideas, plantean una solución para luego hacer algo al respecto. Los resultados de los proyectos se encuentran publicados en la web.

## Ejercicio 10

Escriba el *abstract* correspondiente al ensayo sobre el uso de los medios audiovisuales.

**Introducción:** después del *abstract* sigue el cuerpo del documento, cuya primera parte es la introducción. Ésta tiene como objetivo explicar las razones del trabajo, así como suministrarle al

lector toda la información relevante que necesita. Debe quedar muy en claro lo siguiente:

- Cuál es el propósito del proyecto.
- La justificación del mismo. Repasar rápidamente la literatura disponible y destacar al-

- gunos casos que apoyen el método que se va a usar para enfocar el problema.
- Exponer los objetivos del proyecto.
- Finalmente, se deben definir claramente los criterios que deben usarse para juzgar el trabajo.

Si bien la introducción es importante y coloca al lector ubicado en el problema, no debe exagerarse su extensión de modo que parezca que contiene todo el informe.

**Recursos usados:** si se usaron equipos y materiales para desarrollar el proyecto es indispensable hacer una lista de los mismos, con toda la información que permita reconstruir el trabajo en otro laboratorio o centro de investigación independiente. Anote todos los detalles precisos para que esto pueda llevarse a cabo. Tenga en mente al hacerlo que otra persona intentará repetir su experiencia de manera idéntica como usted lo hizo para comprobar la veracidad de sus hallazgos. Si no puede repetir lo que usted hizo, exactamente igual, es muy probable que los resultados que se obtengan sean diferentes y usted quede ante la comunidad científica como un mentiroso.

**Metodología empleada:** un aspecto crucial en el desarrollo de cualquier trabajo en el área de la ingeniería es la metodología utilizada. Hay que indicar claramente los pasos que se dan, cómo se dan y las razones que justifican el uso de una determinada metodología sobre otras alternativas posibles. La metodología, junto con los equipos y materiales empleados, permite la reconstrucción exacta de un determinado trabajo para verificar la exactitud de los resultados obtenidos. Si los procedimientos usados son rutinarios en el área en la que se está trabajando, no se detenga en detalles innecesarios; registre solamente aquello que es particular a su trabajo y que sin la explicación detallada de como se hace, no lo pueda repetir otra persona.

**Resultados:** en esta sección se deben trascibir los resultados que se obtuvieron. Use tablas, cuadros, figuras, diagramas,... Asigneles un número y nombre (por ejemplo: Figura 12. Variación de la carga en función del tiempo), y colóquelos cerca del párrafo en que se mencionan por primera vez.

Añada a estos datos información adicional de modo que el mensaje que transmiten sea claro. Si la cantidad de datos, tablas, cuadros, figuras, ..., es excesiva, colóquelos como Apéndices.

**Discusión de los resultados:** la parte inteligente del informe está en esta sección. Compare los resultados obtenidos con los que la teoría predice y explique las discrepancias. Si no obtuvo los resultados esperados indique las razones que justifican las desviaciones. Señale las restricciones que rodearon el trabajo, así como resultados de investigaciones o desarrollos similares al suyo que puedan respaldar su trabajo.

Analice en profundidad; llegue hasta el hueso, no se quede en la piel. El análisis debe llegar hasta las últimas causas. Use herramientas de análisis apropiadas para alcanzar los resultados deseados. Una de las partes más débiles de muchos informes es la superficialidad de la parte de la discusión de los resultados. Algunos autores se conforman con la primera explicación plausible que encuentran sin entrar a investigar si hay causas más profundas que puedan dar una explicación más satisfactoria.

Si para la fase del análisis necesita introducir información adicional pero que no debe estar mezclada con los argumentos principales, coloque ésta en la sección de apéndices al final del documento.

**Conclusiones:** junto con la sección de discusión, la de conclusiones constituye la médula de todo informe. Elaborar una conclusión es una tarea muy difícil; una conclusión no es un resumen del informe. Una conclusión no debe repetir afirmaciones que ya están en el informe. Una conclusión es una frase, más o menos compleja, que se deriva de la información consignada en otras partes del informe, generalmente en la sección de resultados, discusión y metodología.

La conclusión se deriva de los hechos presentados, de los resultados obtenidos, de las discrepancias halladas; pero no es una repetición de los mismos. Al elaborar una conclusión el autor está poniendo en juego toda su capacidad de síntesis para expresar en unas pocas frases los resultados obtenidos; está poniendo a trabajar su pensamiento crítico y descubriendo



relaciones entre situaciones que aparentemente no tienen una conexión explícita. Al mismo tiempo, su creatividad se pone a prueba para encontrar explicaciones novedosas a resultados que no son explicables de manera convencional. Esto exige al máximo su capacidad comunicativa para que las frases que resumen sus conclusiones no reflejen ambigüedad, ni conduzcan a interpretaciones diferentes de las deseadas. Por todas estas razones, la elaboración de las conclusiones no es una tarea fácil.

Según el tipo de informe que se haya elaborado, las conclusiones pueden presentarse de forma diferente. En algunos casos las conclusiones se desarrollan en un párrafo y en otras, se presentan separadamente, como una lista. En este caso las conclusiones más importantes deben ir primero. En todo caso, las conclusiones responden a la pregunta general: todo este informe ¿a qué conduce?

Para elaborar las conclusiones deben tenerse en cuenta las siguientes pautas generales:

- Si su trabajo estaba relacionado con el diseño de un nuevo producto, o una nueva metodología para atacar un problema, compare los resultados obtenidos contra los que se obtienen por métodos anteriores, o con los productos anteriores.
- Revise tiempos, economías, facilidad de uso, mantenimiento, entre otros. Es posible que en cada uno de estos aspectos haya una comparación que dé como resultado una conclusión.
- Si su trabajo estaba relacionado con la comprobación de una hipótesis, compare los resultados obtenidos con los que había predicho y ofrezca su punto de vista sobre las diferencias. Critique la metodología usada, las limitaciones impuestas por la falta de recursos, etcétera.
- Relacione la introducción con las conclusiones. Que el lector se dé cuenta de que existe una conexión con todo el documento.

**Recomendaciones:** recomendar es establecer un curso de acción que se debe seguir para

obtener unos resultados buscados. Las recomendaciones se expresan generalmente con un verbo en infinitivo:

- \* Se debe hacer...
- \* Se debe continuar...
- \* No se debe volver a...

Elaborar recomendaciones es más sencillo que elaborar conclusiones. En realidad, las recomendaciones se derivan, la mayoría de las veces, de los resultados incompletos que se obtienen en un proyecto. En algunas ocasiones la metodología empleada no conduce a los resultados esperados y se recomienda modificar la metodología para subsanar este problema. En otras ocasiones, los equipos utilizados en un desarrollo no permiten alcanzar los resultados con la exactitud deseada, por lo que se recomienda buscar aparatos de mejor clase. Hay situaciones en las que las condiciones del experimento impiden llegar hasta donde se esperaba; se recomienda algún método para poder controlar mejor las condiciones en que se desarrolla el proyecto.

**Anexos:** finalmente, no es recomendable incluir en el cuerpo del documento algunas partes que no son componente fundamental del mismo, sino que simplemente sirven para ampliar algún concepto, para respaldar alguna afirmación de una manera detallada, para presentar datos que ayuden a entender algún punto difícil, entre otros. No deben incluirse dentro del documento principal para que no distraigan la atención del lector. Un ejemplo de esto lo constituyen los programas fuente de las aplicaciones informáticas: nadie necesita dentro del documento 50 páginas de código fuente escrito en lenguaje C++. Si se desea presentar el código de un programa se utilizará un anexo en el que incluirá copia del mismo. Un disquete con el código puede constituir un anexo.

**Referencias bibliográficas:** enumere las fuentes de información que haya usado en su informe: libros, revistas, entrevistas, referencias a páginas en internet, entre otras. Use el sistema normalizado para referir estos materiales.

A continuación se ofrecen algunas referencias bibliográficas que pueden servir de modelo.

### Ejemplo 11

#### Referencias bibliográficas

- «Activating the Internet with ActiveX Technologies»(1996), Available URL: <http://www.microsoft.com/activex/actx-gen/vision.htm>.
- BARRON, A. E.(1996). *Training on the Internet: The Future is Now*, Corporate University Press, 4(2), 28-29.
- BARRON, A. E., & TOMPKINS, B.(1996), «On-Demand Instruction with the World Wide Web», *Interactive'96, Atlanta, GA*.
- BARRON, A. E., & Tai, D.(1995), «The World Wide Web as an instructional delivery tool», *Florida Technology in Education Quarterly*. 7(3), 111-118.
- CAVALIER, R.(1995), «Making Mosaic webs work at the course level», *Syllabus*, 8(6), 32-34.
- GRAY, M., & RICHARD, E.(1995), «Make multimedia friendly», *Internet World*, 6(3), 26-28.
- Misanchuk, E. R., & Schwier, R. A.(1996), *Benefits and Pitfalls of Using HTML as a CD-ROM Development Tool*, <http://www.extension.usask.ca/Papers/Misanchuk/AECT96/Benefits&Pitfalls.html>
- LELAND, J.(1996), The Web in motion: Online multimedia is limited, but not for long. 2(7), 23-24.
- MOSKOWITZ, R.(1995), «Wired U», *Internet World*, 6(10), 60-61.
- RICHARDSON, E. C.(1995), «Internet Cum Laude», *Internet World*, 6(10), 38-41.
- SASHA, A.(1996), «New tools for multimedia authoring on the Web», *InfoWorld*, 18(4), 80.
- WELZ, G.(1995), «New dimensions: A multimedia revolution is unfolding on the net», *Internet World*, 6(3), 31- 36.

### Ejercicio 11

Basándose en los casos mostrados en el ejemplo 11, describa la estructura de una referencia

bibliográfica de un libro, de un artículo de revista y de una dirección electrónica.

## 6.6. Presentaciones orales

Además de elaborar documentos escritos, los ingenieros necesitan efectuar presentaciones orales ante grupos de personas, lo que plantea problemas de comunicación diferentes de los encontrados en la elaboración de documentos escritos. Una diferencia fundamental entre las dos situaciones es la presencia del público al que va dirigida la misma. Esta presencia introduce elementos positivos y negativos. Entre los positivos está la posibilidad de usar el comportamiento de la audiencia como retroalimentación para corregir los posibles problemas que se originen

en la presentación: gestos de inconformidad, de incredulidad, de admiración. Estos le permiten al orador introducir correctivos en su discurso para retomar de nuevo su audiencia. Entre los negativos está la misma situación pero en sentido contrario: una audiencia inquieta, puede generar nerviosismo en el orador, lo que podría arruinar la presentación. Por ello, las presentaciones orales, o como se diría usando terminología técnica, "en tiempo real", exigen del orador algunas cualidades que es necesario examinar. Adicionalmente, para disminuir en lo posible las

posibilidades de fracaso de la presentación, será útil preparar con suficiente anticipación todos los elementos que se usen durante la presentación.

## Elementos de una presentación

Hay cuatro elementos que hoy desempeñan un papel fundamental en una presentación oral:

- \* El presentador.
- \* La audiencia a la que va dirigida.
- \* El local en el que se efectúa la presentación.
- \* Los medios audiovisuales que se usan.

Cada uno puede generar ruido interno o externo que interfiere con el mensaje que se envía a la audiencia.

### El presentador

Es el elemento activo del proceso. De su comportamiento dependerá en un alto porcentaje el mayor o menor éxito de la presentación. Para aumentar las posibilidades de éxito, el presentador debe tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

- Si bien el tono y timbre de la voz desempeñan un papel muy importante en la comunicación oral (no todos pueden ser locutores de radio), no es posible que todos los presentadores pasen satisfactoriamente una audición. Pero sí, se les puede exigir que hablen claro, vocalizando y con un volumen adecuado para las necesidades del salón.
- Durante la presentación se debe mirar a la audiencia; a un punto en el infinito localizado dentro de la audiencia. Nunca debe dar la espalda. Si al escribir en el tablero, en el papelógrafo necesita dar la espalda, debe escribir en silencio y, cuando haya terminado, puede seguir hablando al público. Debe reducir la escritura al mínimo indispensable, pues estos silencios distraen al público y cuesta trabajo retomar su atención.
- Evite usar clichés o frases estereotipadas; no se desplace continuamente a lo largo del salón, o de la zona en la que se sitúe para

dictar la conferencia. Preferiblemente debe ubicarse en uno de los lados para no impedir la visión de parte de la audiencia a las ayudas visuales que esté presentando.

- Su vestimenta debe ser la adecuada; estar acorde con la audiencia y con la ocasión. Use ropa informal en una presentación ante estudiantes o colegas. Pero cuando la misma presentación se hace a un público externo, ante ejecutivos de empresas, o en la defensa de una tesis de grado, la vestimenta debe ser formal.
- Desde un principio, el presentador debe establecer las reglas de juego para la presentación. Si admite interrupciones durante la misma, para aclarar preguntas; si las preguntas se hacen al final mediante intervenciones personales o escribiéndolas en una hoja de papel.
- Si nota que la audiencia se distrae y generan ruido externo que interfiere con la presentación, haga un silencio lleno de significado, para recuperar el ambiente adecuado y seguir con la exposición. Si nota que la audiencia ya no presta la atención que debe, busque la manera elegante de finalizar la presentación sin causar mala impresión ante el público asistente. Es mejor finalizar antes bien, que forzar la presentación y concluirla en malas condiciones.

### La audiencia a la que va dirigida

Una misma exposición dirigida a dos audiencias diferentes debe elaborarse de modo distinto. No es lo mismo un grupo de académicos que un público compuesto por estudiantes de bachillerato. No es lo mismo una exposición en la que se va a defender una tesis doctoral que una charla divulgativa sobre el mismo tema.

Es de gran importancia que el presentador averigüe previamente las características de la audiencia a la que va dirigir la exposición. Las características más importantes que debe investigar son:

**Nivel cultural:** no se debe emplear, por ejemplo, un lenguaje demasiado elevado ante un público que no completó la secundaria. Adicionalmente, no emplear términos que no se usan

en el lugar en el que se va dictar la conferencia o que pueden tener un significado diferente o vulgar. En los países de habla castellano, determinadas palabras tienen un significado distinto en cada país. No solamente distinto, sino que en muchos casos esos vocablos adquieren connotaciones de carácter sexual o vulgar que pueden indisponer la audiencia contra el expositor.

*Preparación académica sobre el tema que se va a tratar:* para una audiencia no académica, debe elaborarse una exposición basada más en resultados que en detalles metodológicos. Hay que incluir anécdotas que llamen la atención al público. Dibujos llamativos, datos históricos impresionantes logran que la audiencia quede satisfecha. Evite ser excesivamente minucioso o dar detalles técnicos que distraen y aburren a su audiencia. Por el contrario, cuando se trate de una audiencia eminentemente académica, debe centrar la atención en lo importante para ellos: la metodología y los resultados. No los insulte dándoles un tutorial sobre el marco teórico; se supone que las personas que asisten a su presentación saben tanto como usted del tema. Lo que desean saber es qué nuevos resultados está aportando en su presentación. Posiblemente su actitud sea formular preguntas insidiosas, buscando puntos débiles en su argumentación. Esté preparado para esta eventualidad. No sobran, de ninguna manera, las anécdotas agradables relacionadas con el tema, para bajar la tensión en caso de que el ambiente se llegue a caldear demasiado. Recuerde que el nivel de preparación de la audiencia es alto o muy alto y usted debe ir al grano. Entre este nivel y el anterior hay una gama de posibles audiencias, con una composición intermedia entre el curioso y el científico. Debe tener la suficiente habilidad para confeccionar una presentación para cada caso.

*Composición étnica:* hoy día se presta gran atención a las etnias. Las poblaciones indígenas, tradicionalmente invitados de piedra en la mayoría de eventos internacionales, están recuperando un papel protagónico. Muchos países europeos, embebidos hasta hace poco, en grandes multinacionales políticas, han recuperado su identidad nacional y reclaman con vehemencia

sus derechos. Este preámbulo pretende resaltar la importancia que tiene el hecho de conocer la composición étnica de su audiencia, aunque sea sólo para saber que no puede echar un chiste que ofenda a la mayorla, o que hable mal o coloquie en ridículo a algún sector de su audiencia; o, peor aún, que genere enfrentamientos entre distintos grupos de su audiencia. Por ejemplo, hablar sobre derechos territoriales de los palestinos en una audiencia conformada por judíos y árabes, será una de las tareas más difíciles encomendadas a un orador. O plantear ante una audiencia constituida por diversas razas que una específica de ellas es superior a las otras, puede originar un problema policial. Cuando use términos para referirse a algunas razas, tenga cuidado en las palabras que emplea; asegúrese de que el término que va a usar en su exposición sea incoloro, insabro e inodoro. Pregunte antes, si visita el lugar por primera vez.

*Composición religiosa:* mucho de lo expuesto en el aspecto étnico vale para la composición religiosa de su audiencia. Recuerde que los temas religiosos encienden pasiones y colocan la parte emocional del cerebro sobre la racional. En una época de tolerancia religiosa no tiene sentido que un expositor se refiera despectivamente a las creencias de algunos grupos. Trate con racionalidad los temas religiosos y evite las referencias históricas tendenciosas.

### El salón

Un local inadecuado puede convertir una buena presentación en una pobre. No todos los locales son adecuados para el efecto y es importante tener en cuenta las características siguientes:

*Tamaño del salón:* el tamaño debe ser el adecuado para la presentación. Un local demasiado grande para una audiencia pequeña genera una sensación de vacío. Le resta importancia a la presentación. Por el contrario, un local excesivamente pequeño para una audiencia numerosa, si bien genera empatía entre los asistentes, puede suscitar en éstos una sensación de que la presentación o ellos son de tan poca importancia que se asignó cualquier local para la misma. Adicionalmente, un local demasiado pequeño

puede ocasionar molestias para el flujo de las personas, o exceso de calor si no existe aire acondicionado.

*Geometría del salón:* un espacio excesivamente profundo o demasiado ancho no es aconsejable para presentaciones normales. En ambos casos es difícil que las personas situadas en el fondo o en los extremos puedan apreciar los textos o figuras que se presentan. Además, las personas situadas en estos puntos no se sienten parte de la presentación, pues es difícil que el expositor abarque equitativamente todos los ángulos del salón. Por lo regular, las dimensiones del salón deben ser aproximadamente cuadradas o rectangulares en una proporción de cuatro de largo por tres de ancho. Con esta geometría se disminuyen los puntos muertos y se mejoran las condiciones visuales y acústicas del salón.

*Condiciones acústicas del salón:* un aspecto importante que debe tenerse en cuenta es la acústica del salón. Hay salones duros, en los que la energía acústica rebota en todas las paredes del salón y crea diferentes caminos a través de los cuales llega el mismo mensaje pero con diferentes retardos a los oídos del asistente. En otros casos, ocurre lo contrario: la energía es absorbida por las paredes y el expositor debe gritar para que se escuche en todo el salón. Los salones deben tratarse con materiales acústicos a fin de lograr el grado de reverberación adecuado y una buena audición. El expositor puede ayudarse mediante un sistema de amplificación inalámbrico o de otro tipo que no exija de él tanto esfuerzo al hablar. El sistema de parlantes debe colocarse de modo tal que la audición sea clara y placentera. Un ensayo antes de dar la conferencia detectará los posibles problemas y corregirlos a tiempo.

Adicionalmente, debe asegurarse que el salón esté aislado del ruido exterior. Ventanas y puertas herméticas ayudarán a conseguir esto. Es muy molesto que una vez comenzada la exposición sigan entrando asistentes al acto; para minimizar el efecto distractor de esta situación, la puerta de entrada debe colocarse al fondo del salón y mantenerse convenientemente acertada para evitar el ruido al abrirse y cerrarse.

*Iluminación del salón:* hay normas que indican precisamente el grado de iluminación de un salón. Pero cuando se diseña un salón para presentaciones, en las que se van a usar audiovisuales, hay que tomar en cuenta que la dinámica de la presentación exige que el conferencista pueda controlar cómodamente la iluminación del salón y adecuarla a las distintas fases de su exposición. Por ejemplo, cuando esté presentando un video, o esté proyectando las imágenes del computador mediante un proyector necesita disminuir la intensidad de la luz en la parte delantera del salón, sin dejar el mismo a oscuras. Son pocos los salones que ofrecen este tipo de facilidad. Por lo menos deben separarse las distintas luces del salón para que puedan apagarse y encenderse independientemente. Poder apagar las delanteras y dejar encendidas las del fondo puede ser una táctica adecuada para lograr el grado de contraste que se exige en la mayor parte de los proyectores. Hay algunos de mayor costo que permiten proyectar imágenes aun en condiciones de total luminosidad. Si el salón tiene ventanas deben colocarse persianas o cortinas para obtener cierto nivel de oscuridad. Una iluminación lateral ayuda para que las personas puedan circular por el salón sin inconvenientes. También es muy importante que el expositor tenga a su alcance una luz individual, que le permita leer algún documento o manejar el teclado de su computador en condiciones de oscuridad.

*Otros aspectos:* los asientos deben ser los adecuados tanto para la audiencia como para la duración y metodología de la reunión. Si el expositor necesita organizar los asientos en forma de herradura para interactuar más dinámicamente con su audiencia, es necesario disponer de silletería que no esté fija al piso. El aire acondicionado es indispensable en lugares cálidos; hay que lograr que sea silencioso y que pueda ser controlado desde el interior del salón, pues ocurre con mucha frecuencia que el nivel al que se coloca el termostato del aire, hace que el salón alcance temperaturas tan bajas, que ocasionan molestias a la audiencia y llega a ser un elemento de distracción importante. Por otro lado, si el aire acondicionado no es suficiente

debe ponerse a funcionar un par de horas antes de arrancar la presentación, para que al inicio la temperatura sea la adecuada.

En el salón debe haber provisión suficiente de: marcadores de todo tipo y ensayarlos para comprobar que están en buen estado; papel para el papelógrafo; acetatos para el retro-proyector con una bombilla de repuesto para este último; una mesa para organizar los elementos de la conferencia, vaso y jarra para el agua; si hay teléfono, desconectarlo para que no suena durante la reunión; avisarle con anticipación a la administración del edificio para que suspenda todo tipo de trabajos en las cercanías del salón a fin de eliminar cualquier molestia durante la presentación.

### Medios audiovisuales

Hoy existen muchas formas de ayudar una exposición. La unión de la palabra, el sonido, las imágenes, las gráficas, entre otras, constituye una excelente combinación para lograr la efectividad deseada en una presentación. Los medios audiovisuales, correctamente utilizados,

producen resultados realmente espectaculares. Sin embargo, el presentador debe escoger el medio más adecuado para su exposición teniendo en cuenta ciertos criterios que guían su elección. No siempre es necesario usar la última tecnología de la multimedia para llevar a cabo una presentación. En muchas ocasiones, el uso de un papelógrafo y marcadores de colores es suficiente para lograr los objetivos. En el cuadro 6.1 se consignan varios de los medios más usados, indicando para cada uno de ellos sus pros y contras, con algunos criterios prácticos de selección.

No hay que olvidar que está hablando de medios audiovisuales; la palabra lo indica muy claramente. Se trata de medios, no de fines. El presentador no puede olvidar que por muy buenos medios que emplee en su presentación, ésta no logra su objetivo, a menos que el mensaje no esté claramente definido. En muchas ocasiones se abusa de la tecnología, y se crea presentaciones que asombran por lo elaborado de la tecnología, pero no dejan en la audiencia el mensaje deseado. No hay que dejar que la forma opague el fondo.

**Cuadro 6.1. Características de diversos medios audiovisuales**

Aspectos Medios	Uso indicado	Ventajas	Desventajas	Observaciones
Computador	En situaciones en las que se requiere datos en tiempo real. Cuando es necesario combinar texto, imagen y sonido: multimedia.	Presentaciones vistosas. Costo bajo de producción. Puede trasmitirse. Cambios de última hora. Tiempo real.	Costoso. Habilidades de computación. Salón especial. Dependiente del equipo.	El presentador debe conocer bastante de comunicación si desea lograr un balance entre la forma y el fondo.
Video	Cuando se necesita presentar escenas en movimiento de la vida real.	Escenas en movimiento. Efectos especiales. Se puede duplicar. No necesita presentador. Equipo estándar.	Costoso de producir. No hay participación de la audiencia. Es impersonal. No es fácil hacer cambios.	Para que dé buenos resultados deben producirlo personas profesionales.
Diapositivas 35 mm	Es la ideal cuando se requiere una altísima resolución en las imágenes.	No es costoso. Fácil de trasportar. No requiere equipo especial. Fácil de duplicar.	Imágenes fijas. No se pueden hacer cambios de última hora. Induce a la pasividad.	Con la aparición del computador este tipo de medio ha venido declinando.

## Comunicación oral y escrita

Aspectos Medios	Uso indicado	Ventajas	Desventajas	Observaciones
Retroproyector	Es el medio más utilizado en la actualidad.	Fácil de usar. Puede usarse en ambientes luminosos. A colores o en blanco y negro. Cambios de última hora. Interactividad. Control sobre la presentación. No es costoso.	Los equipos viejos son poco luminosos y ruidosos. Hay que estar cerca del equipo. Puede generar la sensación de que es una presentación fuera de moda.	Hay que tener una bombilla de repuesto. Usar marcos en cada transparencia, para evitar que se doblen y poder manejarlas adecuadamente. Numerar las transparencias.
Papelógrafo	Sirve cuando las demás tecnologías fallan.	Es muy barato. Pueden usarse colores. Permite interactividad. Puede usarse en salas iluminadas. Puede usarse en cualquier sitio.	Mucho trabajo manual. Letra difícil de entender. Da la sensación de anticuado. Engorroso para trasportar. No es fácil presentar imágenes.	Ideal cuando la presentación es para grupos pequeños y los datos no incluyen demasiadas cifras o texto en grandes cantidades. Es el más indicado cuando no se dispone de facilidades modernas.
Tablero	Es el medio más antiguo, económico y extendido como ayuda para presentaciones orales.	Muy económico. Se pueden usar marcadores de colores. Altamente interactivo. Es posible usarlo en cualquier parte. Ideal para grupos muy pequeños.	No se pueden presentar imágenes. Pobre presentación. La audiencia pierde la atención cada vez que se escribe.	El tablero de cerámica es ideal cuando la presentación debe construirse en tiempo real. Se requiere cuando se desea demostrar algo con todos los pasos y la lógica que hay en ellos.

## 6.7. Uso del computador

Existen varios programas que convierten al computador en una potente herramienta para las presentaciones. Desde hace varios años diversos programas compiten en el mercado de las presentaciones y ofrecen condiciones similares, aunque cada uno de ellos con su toque característico. Todos permiten construir historias dinámicas que pueden incluir texto, imágenes, video, audio, entre otros, así como la proyección de las imágenes de la pantalla del computador en tamaño gigante para que pueda ser

vista por público numeroso. Últimamente ha aparecido una nueva forma de presentación oral basada en la tecnología que se usa para crear páginas en el mundo de internet. Esta reciente modalidad puede utilizarse tanto para efectuar presentaciones orales como escritas. Es más, muchas revistas empiezan ya a publicarse de esta manera. Estamos refiriéndonos a la multimedia, creada con programación HTML (Hyper Text Mark up Language).

## Pautas para una buena presentación

Es muy importante tener en cuenta en cualquier presentación oral, no importa la herramienta que esté utilizándose, hay que distinguir muy bien entre el dominio de la herramienta y el dominio del proceso de la comunicación. Se puede elaborar una excelente presentación desde el punto de vista técnico que no logra crear en el público el efecto deseado. Por otra parte, presentaciones sencillas han demostrado ser más efectivas que las presentaciones excesivamente recargadas. Por ello es importante tomar en cuenta estas pautas generales:

- No abuse de los colores; más de cuatro colores diferentes distraen en lugar de llamar la atención.
- Tenga cuidado en las combinaciones de colores que use. Confíe en las combinaciones automáticas que PowerPoint le ofrece; han sido escogidas por profesionales.
- Use tamaños de letra que estén de acuerdo con la jerarquía del texto; cerciórese de que el tamaño de letra más pequeño usado sea visible. Haga ensayos antes de la presentación definitiva.
- Sea consistente en la distribución de los objetos en su presentación. Recuerde que el ser humano percibe más rápidamente lo que se encuentra en la parte superior izquierda; coloque sus mensajes importantes en esa zona.
- Si coloca imágenes procure que llamen la atención pero que no distraigan.
- Una idea a la vez; no trate de introducir dos o más ideas principales en una misma pantalla.
- Cada pantalla no debería contener más de seis o siete líneas. Regla del 7 x 7.
- Cuando efectúe la presentación no lea lo que escribió; se supone que su audiencia sabe leer. Amplíe la idea que ha expresado. Cuando todos la hayan comprendido pue de pasar a la siguiente.

- Ensaye una y otra vez; pídale concepto a otra persona con mayor experiencia acerca de su presentación.
- Revise cada uno de los detalles que puedan afectar su presentación; recuerde las leyes de Murphy.
- Diseñe un plan de contingencia si la tecnología falla. Tenga trasparencias a la mano.
- Recuerde que las pautas anteriores son eso, no son camisas de fuerza. Maneje con criterio cada una de las situaciones que deba afrontar.

## Pasos que se deben seguir para elaborar la presentación

La siguiente metodología se sugiere para la elaboración de una presentación oral, apoyada en el uso del computador, pero que puede adaptarse a otros medios:

- Con papel y lápiz en mano haga un bosquejo con las ideas principales que desea proyectar. (*El plan.*)
- Defina los elementos comunes que deben aparecer en todos los cuadros. (*El patrón.*)
- Defina el mensaje que debe llevar cada uno de los cuadros. (*El contenido.*)
- Escoja el formato que va a usar para cada uno de ellos. (*El formato.*)
- Escoja algún gráfico o imagen para acompañar los mensajes. (*La motivación.*)
- Añada los efectos especiales que considere más apropiados para cada uno de los cuadros. (*La animación.*)
- Efectúe una presentación de ensayo para ver cómo queda el conjunto. (*La prueba.*)
- Haga las correcciones del caso. (*Las correcciones.*)

## 6.8. Ejercicios y problemas

1. Identifique cinco causas de ruidos externos que pueden interferir en la presentación de un proyecto ante la junta directiva de una empresa.
2. Mencione tres causas de ruidos internos que hacen que una determinada audiencia no comprenda adecuadamente lo que está diciendo el conferencista.
3. Indique cinco aspectos importantes que se deben tener en cuenta al elaborar un manual para el manejo de un dispositivo mecánico de mediana complejidad.
4. Elabore una lista con los cinco aspectos más importantes que usted debe tener en cuenta para escribir sobre los temas siguientes:
  - La robótica en el mundo del futuro.
  - La educación virtual mediante internet.
  - La manufactura flexible.
  - La construcción de edificios en zonas de alto riesgo sísmico.
5. Identifique la(s) fuente(s) de información más relevantes para redactar un ensayo divulgativo acerca de la importancia de internet en el futuro.
6. Haga una lista de 10 temas y 10 ideas principales asociadas, que sirvan de punto de partida para la escritura de 10 párrafos.
7. Escriba 10 términos que se pueden usar como conectores entre las oraciones de un párrafo, para darles coherencia.
8. Escriba un párrafo compuesto por diez oraciones sobre la importancia de saber escribir bien. Destaque el tema, la idea principal, las oraciones de respaldo y la conclusión.
9. Escriba una carta dirigida a su jefe en la que le comunica su decisión de renunciar a su cargo en la empresa, debido a que tiene una mejor oferta de trabajo.
10. Escriba un ensayo de cinco párrafos acerca del futuro de la educación virtual usando internet como medio.
11. Escriba un informe sobre la ocupación de las salas de cómputo y con base en el mismo recomiende o no la adquisición de más equipos.
12. Elabore la presentación de 20 diapositivas sobre la historia de la ingeniería.
13. Elabore la presentación de 15 diapositivas sobre las cifras significativas.
14. Elabore la presentación de 15 diapositivas acerca de la telefonía celular.
15. Elabore un ensayo sobre la importancia de la manufactura flexible.

## Taller corto 9

### Elaboración de un abstract

#### Justificación

Uno de los tipos de documentos más importantes en ingeniería es el *abstract*. Un artículo publicado en una revista científica o técnica va precedido del correspondiente *abstract*. La elaboración del mismo requiere un gran poder de síntesis para lograr condensar en 200 ó 300 palabras un artículo de varias páginas. Es importante desarrollar la habilidad de escribir este tipo de documentos.

#### Objetivo

- Usar las reglas aprendidas en este capítulo.

#### Descripción

Lea detenidamente el documento que sigue y elabore el *abstract* correspondiente que no supere las 200 palabras.

### Tecnología e ingeniería<sup>7</sup>

Humanistas no han faltado, y existen hoy aún entre los que trasiegan en el campo de las ciencias naturales y exactas, que se duelen de tan duro rompimiento, más sensible a causa del acelerado avance tecnológico.

Pues ocurre que desde los últimos decenios del siglo XVIII, empezaron a disminuirse las distancias entre el multiselcular concepto meramente operativo y práctico de la técnica – la *techné* de los griegos– y la ciencia como saber puro y no aplicado.

Nació la palabra *tecnología*, expresiva del acercamiento mutuo, de la convergencia o de la infecundación de la ciencia en cruce con la técnica.

Es la *tecnociencia*, para decirlo con palabra acuñada por contemporáneos pensadores. La cual, en su primer momento, supuso la comprensión profunda de los seres *inanimados*, de los hechos y fenómenos de la naturaleza material y de las leyes físicas que los rigen, para todo someterlo al dominio trasformador y a la inventiva y a la creatividad del talento humano. Es la *tecnología* de lo *físico*, de lo *mecánico* o *tecnologías duras*. Aparece así la *ingeniería*, llamada civil por oposición a la ingeniería militar, desde tiempos inmemoriales constructora de puentes y caminos. Es muy sugestiva la palabra *ingeniería* que deriva de *in-genium*, vale decir, del *ingenio* recursivo del ser humano, capaz de *inducirle* a las cosas nuevas formas, otros modos de ser y actuar, para desconocidos usos y servicios *industriales*.

Va corrido desde entonces – *primera revolución industrial* – bastante más de un siglo, y el dominio de la *tecnología* o *tecnociencia* sobre el ser y el actuar de los seres vivos ha dado origen a la *tecnología* o *ingeniería biológica*, también denominable *ingeniería genética* o *bioingeniería* porque la mente humana se las ha ingeniado para llegar al principio orgánico de la vida.

Pero hay algo más. Filósofos de nuestra época, al percatarse de la audaz penetración de la *tecnología* en el hondón misterioso de los comportamientos y conductas de la persona humana y de los grupos y masas sociales, nos advierten el advenimiento de algo así que quizás llegue a llamarse *tecnología* o *ingeniería social* o *política*. La publicidad subliminal y el manejo de las masivas campañas electorales algo de esto nos revelan.

Ante estas realidades, pienso que nos quedamos cortos al hablar de una *segunda revolución industrial*. La primera circunscribió lo puramente mecánico y algo, sin mucha ciencia biológica aún, lo agrícola y pecuario. Hoy la *tecnología* actúa sobre la vida misma, y lo pretende sobre las manifestaciones y reacciones de la *sicología individual* y la *sicología de las masas humanas*.

# Taller corto 10

2 otoño 1988

## Elaboración de conclusiones

### Justificación

Los informes que escriben los ingenieros, generalmente, contienen una serie de datos obtenidos mediante pruebas, observaciones, cálculos, entre otros. Si bien estos datos son importantes para tomar decisiones, es más importante aún la elaboración de conclusiones basadas en los datos presentados en el informe y en la experiencia del ingeniero. Las conclusiones no son un resumen del informe, no es la repetición de los datos más importantes presentados en el mismo; las conclusiones son aportes nuevos que no figuran entre los datos del informe pero se derivan de ellos. Sacar conclusiones es una tarea extremadamente difícil que hay que abordar desde los primeros años de estudio para ir perfeccionando esta habilidad.

### Objetivos

- Analizar un informe escrito.
- Sacar conclusiones del contenido de un informe escrito.

### Descripción

En este taller se presenta al estudiante un informe del cual debe extractar algunas conclusiones. No se insiste tanto en la cantidad como en la calidad. Bastaría una buena conclusión para considerar que el taller tuvo éxito. Lógicamente, cuantas más sólidas las conclusiones, mejor.

Lea detenidamente el informe siguiente y escriba las conclusiones que considere pertinentes.

## Descubrimiento, casualidad y el método científico<sup>a</sup>

En el mundo científico de experimentos controlados, la causalidad rara vez es reconocida como un factor que contribuye en los descubrimientos importantes. Existen, sin embargo, notables excepciones. En 1943, tres hombres compartieron el premio Nobel en sicología o medicina por el descubrimiento y aislamiento de la penicilina, un medicamento antibiótico con un enorme potencial terapéutico. Estos tres hombres eran Alexander Fleming, Ernst Chain y Howard Florey. Aún así, a pesar del trabajo de estos tres hombres, y otros trabajos relacionados efectuados por otros científicos, la mayor parte de los textos dan crédito a la casual observación, hecha solamente por Fleming en 1928, como la causa del descubrimiento de la penicilina. ¿Qué tan raro fue este afortunado acontecimiento y fue verdaderamente el descubrimiento de la penicilina el resultado de una inesperada observación casual realizada por un investigador aislado?

El método científico resalta por su ordenamiento y control; de hecho, se nos ha enseñado siempre que sin estas características, la investigación experimental puede conducir a resultados inválidos. Por tanto, la causalidad debería desempeñar un papel pequeño o nulo en el proceso del método científico. Pero, ¿qué es la causalidad? ¿Cuándo se puede afirmar que la causalidad es verdaderamente el resultado de un accidente y cuando se puede considerar que era previsible? Históricamente, algunos descubrimientos casuales han conducido a chispeantes nuevas ideas que de alguna manera condujeron a la investigación científica posterior de fenómenos naturales.

El estudio moderno de la neurofisiología puede haber tenido sus orígenes en una observación casual del anatomista italiano Luigi Galvani. Galvani observó en 1791 que las patas de una rana colgadas en un alambre cerca de una balaustrada de metal se encogían violentamente cuando el viento ponía los dos metales en contacto el uno con el otro. Galvani había observado, por pura casualidad, el resultado fisiológico de una corriente eléctrica. Es interesante que aunque Galvani postuló correctamente la relación entre el movimiento del tejido muscular y los impulsos eléctricos, incorrectamente desecharon el papel de los dos metales en el escenario que había observado. A pesar de esto, la observación casual de Galvani ayudó a establecer el estudio médico de la neurofisiología y de la neurología clínica.

¿Puede considerarse el descubrimiento de Galvani de la relación entre la actividad muscular y el impulso eléctrico como casualidad o era algo predecible? La observación fue el resultado de la casualidad o fue un evento inesperado que ocurrió dentro de un proceso de investigación científica deliberado y controlado? Si el papel de la ciencia es examinar el mundo que nos rodea de una manera que descubre cosas nuevas y a veces inesperadas, entonces la ciencia es intrínsecamente sorprendente. Aun una deliberada búsqueda de información puede conducir a una observación o descubrimiento casual o inesperado. Pero para tener sentido, cualquier observación o descubrimiento debe encajar en un patrón o modelo de ideas preexistente en la mente del observador. Así como una palabra significa poco o nada fuera de contexto, una observación o descubrimiento necesita el contexto apropiado en qué encajar, de modo que sea realmente significativa. En otras palabras, la mente debe estar preparada para recibir el germen de una nueva idea. Lo que la suerte o casualidad es para la mente no preparada puede ser el fascinante resorte de nuevas ideas para la mente dispuesta.

Louis Pasteur escribió: «En el campo de la observación, la suerte solamente ayuda a la mente preparada». El descubrimiento, como el aprendizaje, es un fenómeno que tiene lugar en el cerebro humano. El cerebro configura un evento como un nuevo patrón basado en conocimientos previos y presentes en el momento de la ocurrencia de aquél Lewis Thomas, reconocido autor científico y presidente del Centro memorial para el cáncer Sloan-Kettering decla: «No soy tan adepto a la noción de serendipia como solla serlo. Me parece a mí ahora que en la medida que una investigación está en marcha... las cosas están listas a suceder si uno tiene puestos los cinco sentidos. Uno crea los accidentes de la buena suerte». Muchos científicos están de acuerdo con esta afirmación.

## Taller Largo 6 [En grupo]

### Valores para el ejercicio profesional de la ingeniería

#### Objetivos

Escribir un ensayo sobre un tema de Ética Profesional (Ingeniería) y efectúe un análisis en que se resalten aquellos aspectos que se desea poner de relieve.

#### Introducción

Puede utilizar sus ideas personales, así como información de libros, revistas, periódicos, entre otros. Recuerde informar sobre el origen de la información que está usando, so pena de caer en piratería intelectual, o plagio.

#### Procedimiento

Siga los pasos definidos en la guía de comunicación oral y escrita.

El trabajo es individual. No solamente se corregirá el contenido sino que la calificación se verá afectada por la ortografía, presentación, etcétera.

El tamaño del ensayo deberá oscilar entre 3 y 4 páginas tamaño carta.

En la lista adjunta encontrará algunos temas que le pueden servir para desarrollar su ensayo. Puede escoger otros de su propia cosecha.

#### Temas interesantes

##### Sobre valores:

- La verdad.
- La justicia.
- El poder.
- La responsabilidad social.
- La honestidad.
- El respeto.
- La vocación de servicio.

##### Sobre ética y actividad profesional en ingeniería:

- Veracidad en la información.
- Igualdad de oportunidades.
- Despido por reingeniería.
- Calidad de vida en el trabajo.
- Riesgos en los proyectos y diseños.
- Uso de información privilegiada.
- Firma de documentos técnicos.
- Responsabilidad ética del gerente.
- Confrontación de ética y ley.
- Respeto a la dignidad humana.
- Cumplimiento de promesas.
- Retribuciones justas.
- Secreto profesional.
- Riesgos del trabajo.
- Contaminantes y contaminación.
- Conflicto de intereses.
- Dirección en un proyecto.
- Ética y propiedad industrial o intelectual.
- Espionaje industrial.
- Competencia desleal.

## Referencias bibliográficas

1. SHANNON, Claude E., et al., *Collected Papers*, IEEE Press, New York, 1993.
2. VERDERBER, Rudolf F., *Comunicatel*, Nove- na edición, International Thomson Editores, México, 1999.
3. PÉREZ GRAJALES, Héctor, *Comunicación es- crita*, Cooperativa Editorial Magisterio, Bo- gotá, 1995.
4. Reference Tutorial on Paragraph Structure, <http://www.colorado.edu/kines/cuwright/tour/para.html>, The Univ. Of Colorado, Jun 2000.
5. Williams, Sharon, Baker, Bethany, *Writing a Conclusion*, 1996, <http://www.hamilton.edu/html/academic/resource/wc/SampleConclusions.html>, documento no dis-ponible en la red
6. Presentation Techniques, 1996, <http://minwest.com/tutorial0.html#theneed>, Minnesota Western Meeting & Presentation Systems, documento no disponible en la red.
7. BORRERO, Alfonso, S.J. *Humanismo y éti- ca*, XV Reunión de ACOFI, Santa Fé de Bo- gotá, 1995.
8. Slowiczeck, Fran, Peters, Pamela M., «Discovery, Chance and the Scientific Method», 1998, <http://outcast.gene.com/ae/AE/CC/chance.html>, Jun 2000.

## Direcciones de internet recomendadas

1. Strunk, William, Jr., *The Elements of Style*, <http://www.bartleby.com/141/index.html>, Jun 2000.

Obra clásica del idioma inglés en la que se enseñan los elementos básicos para alcanzar un buen estilo de escritura. Reglas muy claras sobre como puntuar, uso de la voz activa y pasiva, entre otras. Sirve tanto para el inglés como para el castellano.
2. Writing Center, <http://www.rpi.edu/web/writingcenter/>, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y., Jun 2000.

Uno de las mejores direcciones donde en-contrará información clara y con ejemplos de cómo escribir todo tipo de documentos: *memos, cartas, resúmenes*.

3. Murray, David A., *Introduction to Technical Communication*, <http://www.io.com/~hcexres/tcm1603/acchtml/conclus.html>, Jun 2000. Esta dirección enseña a escribir conclusiones correctamente, además de otras técnicas de escritura que la hacen par-ticularmente interesante.

# 7

## Criterios y restricciones

"I sell here, Sir, what all the world desires to have - POWER".  
Matthew Boulton, 1776

(mostrándoles a unos invitados una fábrica movida por la fuerza del vapor).

### Objetivos generales

- Comprender la importancia que tienen los recursos en la ejecución de un proyecto de ingeniería.
- Comprender el significado de las restricciones en un proyecto.
- Comprender lo que significan los criterios de selección en un proyecto.

### Objetivos específicos

- \* Identificar los recursos más importantes en el desarrollo de proyectos en ingeniería.
- \* Usar algunas herramientas para planificar la ejecución de un proyecto en el tiempo.
- \* Presupuestar los costos de un proyecto.
- \* Identificar las causas de impacto ambiental de un proyecto.
- \* Identificar algunos factores que pueden aumentar el riesgo de un proyecto de ingeniería.



# L

## 7.1. Introducción

a solución a la mayoría de los problemas con que se enfrenta un ingeniero se encuentra restringida en dos frentes: el tiempo y el dinero. Ambos son recursos que deben manejarse cuidadosamente en todo proyecto de ingeniería: hay un límite de tiempo para entregar la solución y el costo de la misma no puede superar determinados topes.

A diferencia del científico que no siente estas limitaciones, el ingeniero sabe que si su solución llega después de los términos establecidos, es muy posible que no sea aceptada. Si el costo de su solución es excesivamente alto y el producto es dos veces más costoso, por ejemplo, que otro disponible en el mercado, la probabilidad de éxito comercial del mismo será muy pequeña.

Como ya se indicó, los ingenieros trabajan en un mundo real en el que se deben tomar en cuenta ciertos factores que limitan la gama de soluciones a los problemas para resolver. Si no existieran estas limitaciones, las soluciones de los ingenieros serían menos costosas, más eficientes, más duraderas, etcétera. Pero el lado negativo sería: más contaminación, más consumo de recursos no renovables, mayores costos a largo plazo, etcétera.

Algunos factores son restrictivos e imponen topes a los valores de variables que afectan la solución del problema: son valores que no deben sobrepasarse.

- Se solicita que la solución a un problema determinado se entregue a más tardar en 180 días; si el contratista la entrega después de este plazo, no es aceptable.
- El peso de un camión no debe sobrepasar la capacidad máxima de carga de los puentes que debe cruzar.
- El contenido de CO en la prueba de emisión de gases a un vehículo con motor de combustión interna no debe sobrepasar las 3 partes por millón (3 ppm.) Si supera este límite, el motor debe mandarse a sincronizar.
- El costo para producir un nuevo detergente no debe superar el precio de la competencia (si quiere tener éxito).



Otros factores, denominados *criterios de selección*, sirven para identificar cuál de las soluciones planteadas en un problema es la mejor. Estos criterios corresponden a parámetros de la solución cuyos valores pueden oscilar en un rango. En ocasiones, hay que buscar que su valor sea máximo, pero en otras se desea reducirlos al mínimo.

- Entre dos herramientas de computación gráfica que se comportan de manera similar en cuanto a sus especificaciones técnicas, se prefiere la que ejecuta en menor tiempo un determinado problema.
- El consumo de energía de un proceso industrial debe reducirse al mínimo, para que los costos del producto puedan rebajarse.
- La relación *energía/peso* de una batería debe tender al mayor valor posible para que el costo de trasportarla no sea excesivo.
- Entre dos procesos industriales para producir papel de alta blancura se prefiere al que menos contamine el ambiente.
- Entre dos proyectos de construcción de viviendas de tipo social se prefiere el que en igualdad de condiciones ofrece un costo menor por m<sup>2</sup> construido.

Es función del equipo diseñador identificar las restricciones y los criterios de selección que se usarán para escoger la mejor solución a un determinado problema. En la mayoría de ocasiones será necesario llegar a un compromiso, pues mientras una determinada variable tiende a optimizar una especificación de la solución, otra puede empeorarla.

- La adición de plomo a la gasolina aumenta la eficiencia del motor de combustión; sin embargo, los gases de la combustión contienen componentes dañinos para el cerebro humano.
- La confiabilidad de un equipo puede aumentarse seleccionando únicamente los que pasan las más estrictas pruebas de calidad; pero este proceso encarece el producto.
- La fisión atómica produce energía abundante y barata; pero su aspecto negativo es la contaminación y el riesgo de una catástrofe nuclear.
- La adición de bolsas de aire en los automóviles disminuye el riesgo de lesiones a los pasajeros, pero aumenta el costo del vehículo.
- Colocar un paracaídas para cada pasajero en los vuelos comerciales permitiría salvar vidas en algunos casos (es muy dudoso), pero a costa de un mayor valor del tiquete, pues con tanto peso no sería posible embarcar tantos pasajeros.

Deben planearse las actividades del proyecto para que la solución llegue a tiempo; es importante que nuestro estudiante se dé cuenta desde el principio que los elementos con los que se realiza un proyecto tienen unos costos, monetario, social, ambiental, y que la minimización de éstos es uno de los objetivos permanentes de la buena ingeniería. En este capítulo abordaremos estos dos puntos tan importantes en la ingeniería y que son, con mucha frecuencia, subestimados por nuestros futuros ingenieros.

## Caso 1. Un trabajo sucio

La ciudad de Portoalegre se encuentra localizada sobre el océano Atlántico; es una ciudad relativamente nueva, diseñada a base de amplias y rectas avenidas que se entrecruzan ortogonalmente, profusamente arborizada y con un clima tropical con temperatura promedio de 18° C, que puede llegar a los 28° C al mediodía y a los 16° C por la noche. Por su situación geográfica cercana al trópico posee dos estaciones climáticas que se alternan a lo largo del año: la época de lluvias y el verano. Un puerto moderno y con excelentes instalaciones lo convierte en la puerta de entrada y salida para el comercio internacional del país. El río Ancho desemboca en las cercanías y ofrece facilidades para el transporte fluvial de pasajeros y mercancías con el interior de la república. Asimismo, provee de agua barata y estable al acueducto principal de la ciudad. Un dinámico aeropuerto recibe diariamente a miles de pasajeros, dedicados a sus negocios unos y al turismo, otros.

El aeropuerto es centro de un activo tráfico de mercancías nacional e internacional. Una enorme cantidad de empresas extranjeras se han instalado en la ciudad debido a las ventajas que ofrece.

El progreso de la ciudad se aceleró cuando se decidió descentralizar la industria nacional que históricamente había venido concentrándose en la capital de la República. Con el objeto de dinamizar el resto del país se decidió dar incentivos tributarios a las empresas que se trasladaran a otras regiones del país; esto originó la aparición de muchas industrias de tamaño mediano, mediano-grande, dedicadas a la manufactura de productos alimenticios, farmacéuticos, para el hogar, etcétera. De igual forma, se construyeron grandes fábricas con inversión extranjera para la manufactura de toda clase de papeles, neumáticos para automóviles, motores eléctricos, carrocerías, entre otros. Al lado de este florecimiento industrial surgió un activo flujo comercial y variadas empresas de servicios que junto con una enorme cantidad de bancos de todo

tipo completan el perfil de una ciudad de más de cuatro millones de habitantes.

En la década del 50 se había creado en la ciudad su primera universidad que con el tiempo y las fundaciones extranjeras se había convertido en un centro educativo y de investigación de primer orden; al lado de esta primera universidad aparecieron otras para atender la creciente demanda de educación superior desatendida que existía en la región. Múltiples colegios, tanto privados como públicos, completaban el espectro educativo de la ciudad. También es necesario mencionar que varios institutos de investigación nacionales y extranjeros funcionaban activamente en la metrópolis, siendo normal la celebración de congresos nacionales e internacionales de carácter investigativo, comercial, industrial y artístico a lo largo de todo el año, especialmente en la época de verano.

Lamentablemente, la politiquería se había apoderado desde hacía varios años de la administración municipal y las finanzas públicas estaban al borde de la quiebra. Una creciente e ineficiente burocracia oficial devoraba los ingresos provenientes de los impuestos municipales, así como del pago de los servicios públicos. La Empresa Municipal de Teléfonos que durante toda la vida había arrojado ganancias enormes, se encontraba ya en déficit debido a manejos inescrupulosos, inversiones excesivamente arriesgadas y la competencia privada que cada día le estaba quitando clientes insatisfechos por un servicio que continuamente disminuía en calidad.

Del mismo modo, la Empresa Municipal de Basuras se había convertido en un bastión político que hacía de todo, menos lo que debería hacer: recoger la basura de la ciudad y deshacerse de ella de una forma eficiente. La ciudad se encuentra llena de basura en sus calles y el servicio residencial de recogida se lleva a cabo en camiones destortalados no aptos para la función que cumplen. Los talleres de la empresa se hallan repletos de camiones que no pueden salir a cumplir sus recorridos por falta de algún re-

puesto o por la inoperancia de la Oficina de Compras. En pocas palabras, la ciudad se halla al borde de un problema sanitario de proporciones mayúsculas, si no se pone remedio inmediatamente.

La administración municipal actual ganó las elecciones municipales con el eslogan de ¡Fuera la corrupción! El alcalde le planteó al Concejo Municipal la privatización urgente de la Empresa Municipal de Basuras como el mecanismo ideal para proveer a la ciudad de Portoalegre de un sistema integrado de recolección de basuras, aseo de la ciudad y disposición de los deshechos de una forma técnica e higiénica. Se contrataron los servicios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Portoalegre para que a la mayor brevedad le prepare los términos de una licitación internacional que serviría para escoger la empresa que ofrezca la mejor opción.

Después de una ardua labor que copió en forma exclusiva el tiempo de un selecto grupo de profesores de la Facultad de Ingeniería durante dos meses, se entregaron las condiciones básicas para la elaboración del pliego de la licitación. Los criterios para la selección de la mejor oferta son los siguientes:

*Ganancia:* la cantidad que el municipio recibe por la concesión de la recolección de basuras durante los próximos 15 años. Cuanto más alto sea mejor, pero no debía ser inferior a US\$50 millones al año, durante los 15 años del contrato, ajustando la cantidad de acuerdo con la inflación internacional. A este criterio se le daría un peso del 15% del puntaje definitivo.

*Tiempo:* el tiempo que la empresa oferente tardará en poner a funcionar el servicio. Cuanto menor, mejor. Sin embargo, no debería pasar de los 180 días calendario. El peso de este criterio sería del 10%.

*Tarifas:* no deben superar los niveles actuales, en promedio. Al estrato más bajo no se le cobrará más de US\$4 mensualmente. Al estrato más alto se le podrá cobrar hasta US\$25 mensuales. Estas cifras se reajustarán según el IPC. A este criterio se le asignó el 5% del puntaje final.

*Impacto ambiental:* se preferirán las ofertas que demuestren menor impacto negativo am-

biental. Se tendrán en cuenta, sobre todo, malos olores, contaminación de corrientes de agua, contaminación visual, gases tóxicos, entre otros. El peso de este criterio se definió en 20%.

*Aspectos técnicos:* se preferirán las ofertas que manejen tecnologías de punta para el tratamiento integral de los desperdicios. Este criterio tienen un valor del 25%.

*Experiencia de la empresa:* se preferirán empresas que hayan realizado exitosamente trabajos similares. A este criterio se le asignó el 10%.

*Solidez financiera de la empresa:* Se prefieren las empresas que demuestren estar en excelentes condiciones financieramente hablando. El valor de este criterio fue del 5%.

*Generación de empleo:* se dará preferencia a las propuestas que generen más puestos de trabajo. También este criterio obtuvo el 10%.

Mediante estos criterios podrá evaluarse objetivamente cada una de las empresas que soliciten el contrato del manejo integral de los desechos de la ciudad de Portoalegre. El Comité Técnico Municipal analizó cuidadosamente el documento elaborado por la universidad y después de efectuar algunos ajustes de forma, lo tomó como base para elaborar los pliegos de la licitación. Avisos de la licitación pública internacional se colocaron en varias publicaciones periódicas nacionales e internacionales para atraer a las mejores compañías del ramo del mundo. Muchas empresas compraron los pliegos de la licitación con el objeto de analizar las posibilidades que tendrían de obtener el contrato. Finalmente, entregaron ofertas diez empresas: dos japonesas, tres norteamericanas, una canadiense, una española, una argentina, una brasileña y otra colombiana.

Uno de los consorcios norteamericanos, la firma The Four R's (Refuse, Recycle, Reuse and Reduce), estaba particularmente interesada en ganar la licitación, pues deseaba iniciar sus negocios en América Latina y esta licitación le brindaba la oportunidad de hacerlo. Así, se escogieron sus hombres más brillantes para que organizaran una propuesta tan buena que no pudiera ser rechazada y obtuviera el mejor puntaje. Se organizó un grupo interdisciplinario

## Criterios y restricciones

de trabajo al que se le denominó Fuerza de Tarea Portoalegre (FTP) el que inmediatamente empezó a trabajar. Una ventaja estratégica que tenía sobre el resto era su amplia experiencia en estos trabajos, pues en diversas partes del mundo había realizado trabajos similares con notable éxito. Adicionalmente, su enorme capacidad financiera y su *know how* le permitían emplear las tecnologías más novedosas.

La primera tarea fue organizar el cronograma de actividades para cumplir los tiempos establecidos en la licitación. Un análisis preliminar reveló las siguientes actividades principales que era necesario cumplir para entregar a tiempo la propuesta de la compañía:

- Analizar detenidamente el contenido de los pliegos de la licitación.
- Realizar una encuesta entre la ciudadanía para conocer su opinión sobre la recolección de basuras, así como la determinación del contenido promedio de la basura producida, basura orgánica, papel, vidrio, metal, etcétera.)
- Estimación preliminar de la cantidad de basura generada, por sector de la ciudad y por tipo.
- Creación de un sistema de información geográfico con el plano de la ciudad para la ubicación de los recorridos óptimos de los camiones recolectores, así como de los puntos de recepción de basura reciclabl
- Diseño de bolsas de basura específicas para cada uno de los sectores de la ciudad, de acuerdo con los datos que arrojara la encuesta. Diseño de contenedores metálicos con el mismo destino específico.
- Elaboración de la lista de vehículos necesarios y solicitud de cotizaciones a las respectivas firmas productoras.

- Selección de un socio local para el diseño y construcción del relleno sanitario.
- Selección del lugar para el relleno sanitario.
- Diseño preliminar del relleno sanitario.
- Cálculo aproximado de la cantidad de material recicitable que se obtendría de la basura, así como de la energía de la misma al incinerar el componente no recicitable. Cálculo preliminar de la cantidad de basura que debería ir al relleno sanitario.
- Diseño de la planta de separación de productos de reciclaje.
- Construcción de la planta de separación de productos de reciclaje.
- Diseño de la planta incineradora de productos no reciclables.
- Construcción de la planta incineradora.
- Elaboración del presupuesto de ingresos y egresos.
- Contactos con los bancos locales para conseguir un préstamo por la cantidad necesaria a la más baja tasa de interés del mercado y con un plazo de 15 años.
- Elaboración de la propuesta.
- Entrega de la propuesta.

Para la realización de las anteriores actividades disponen en total de 30 días calendario, pues si no entregan su propuesta a tiempo no podrán entrar en la licitación.

La elaboración del presupuesto de ingresos y egresos requiere el conocimiento de determinados datos. Una lista tentativa de los mismos se ofrece a continuación:

## Análisis de la situación económica

<b>Ingresos</b>	
<b>Por cobro de servicio de recolección de la basura</b>	<b>Por venta de productos reciclables</b>
<b>Estrato alto</b>	<b>Por venta de papel y derivados</b>
Número de viviendas 200 000	Número de toneladas 3 000
Tarifa estrato alto US\$25,00	Precio por tonelada US\$100,00
<b>Estrato bajo</b>	<b>Por venta de vidrio</b>
Número de viviendas 400 000	Número de toneladas 10 000
Tarifa estrato bajo US\$4,00	Precio por tonelada US\$150,00
<b>Comercial</b>	<b>Por venta de latas de aluminio</b>
Número de matriculados 100 000	Número de toneladas 2 000
Tarifa comercial US\$35,00	Precio por tonelada US\$100,00
<b>Industrial</b>	<b>Por venta de abono orgánico</b>
Número de industrias 30 000	Número de toneladas 6 000
Tarifa industrial US\$50,00	Precio por tonelada US\$150,00
<b>Egresos</b>	<b>Por venta de energía</b>
<b>Pago al municipio por la concesión</b>	Número de kwh 1 000 000
US\$75 000 000	Precio del kwh US\$0,50
<b>Pago a los bancos por los préstamos obtenidos</b>	
Cantidad recibida en préstamo US\$500 000 000	
Tasa de interés anual 5,75%	
Cuota anual que se debe pagar US\$29 000 000	
<b>Gastos de personal</b>	
<b>Personal directivo</b>	
Número de personas 5	Número de personas 100
Ingreso promedio anual US\$100 000	Ingreso promedio anual US\$20 000
	Gastos de operación
	Número de toneladas 100
	Precio por tonelada US\$1 100
	<b>Mantenimiento y reparaciones</b>
	Número de eventos 30
	Precio promedio US\$2 000

### Ejercicio 1

En relación con el caso anterior:

1. Elabore un cronograma de las actividades preliminares que deben desarrollarse para presentar la propuesta. Use su juicio en la determinación de los tiempos asignados.

2. Estime la ganancia o (pérdida) que se produce al final del primer año.
3. Trabaje en grupo.
4. Se requiere que usen Excel para el punto 2 y se recomienda usar MS Project(r) para el punto 1.

## 7.2. El tiempo

El tiempo es uno de los factores fundamentales que debe tenerse en cuenta a la hora de planificar un proyecto; en todas las actividades humanas, especialmente en ingeniería, las soluciones hay que entregarlas a tiempo. Si se entregan antes, mejor; pero nunca después.

Entregar tarde una propuesta, un trabajo, una obra puede implicar pérdidas económicas, pérdida de un contrato, sobrecostos, etcétera.

Para evitar que ocurra esto es necesario analizar el proyecto, dividirlo en actividades y estimar la duración de las mismas. Quizás la parte más difícil de un proyecto sea ésta: estimar la duración de cada una de sus actividades. A menos que se tenga experiencia en el tema, es difícil a la primera oportunidad acercarse suficientemente al tiempo real de duración de una actividad. Con la experiencia que se gane en sucesivos proyectos, se llegará a estimaciones con una aproximación suficiente.

### 7.2.1. Actividades de un proyecto

En términos generales, cualquier proyecto puede dividirse en actividades, que pueden definirse como el conjunto de procesos que conducen a la obtención de un resultado específico dentro del proyecto. Por ejemplo, la compra de un sistema de información puede dividirse en las siguientes actividades:

1. Definición del software que se requiere en la empresa.
2. Selección del mejor software ofrecido en el mercado que satisfaga los requisitos.

3. Definición del hardware que soporte el software escogido.
4. Selección del mejor hardware que cumpla con los requisitos definidos.
5. Orden de compra a la empresa seleccionada.
6. Puesta a punto del cableado y de las instalaciones eléctricas.
7. Cursos de capacitación para el personal de la empresa.
8. Otras.

Cada una de estas actividades toma un tiempo. La mayor parte de las actividades se realizan secuencialmente. Para comenzar la actividad 2 es necesario haber finalizado la actividad 1. Por ejemplo, para colocar la orden de compra de un equipo de computación debe terminarse la actividad de seleccionar qué equipo se va a comprar. Por otra parte, hay actividades que puedan realizarse paralelamente; es decir, mientras se desarrolla una, sin esperar a que termine, puede darse comienzo a otra u otras. Por ejemplo, mientras llega el equipo de computación solicitado puede hacerse el cableado estructurado y poner a punto las instalaciones eléctricas y la tierra eléctrica para los equipos: una actividad no depende de la otra. La ejecución de actividades en forma paralela permite acortar el tiempo total de ejecución de un proyecto. Si se dispone de un equipo de personas para llevarlo a cabo, es aconsejable usar este paralelismo al máximo para sacar el mayor rendimiento a los recursos disponibles.

En general, pueden encontrarse las siguientes relaciones entre las actividades de un proyecto:

Dadas dos actividades, A y B,

- \* La actividad B comienza cuando finaliza la A.
- \* Las actividades A y B comienzan al mismo tiempo.
- \* Las actividades A y B finalizan al mismo tiempo.

\* La actividad B comienza varias unidades de tiempo después que ha finalizado la A.

\* La actividad B comienza varias unidades de tiempo antes que haya finalizado la actividad A.

### Ejemplo 1

En la figura 7.1 se representan gráficamente los distintos casos enumerados en el punto anterior.

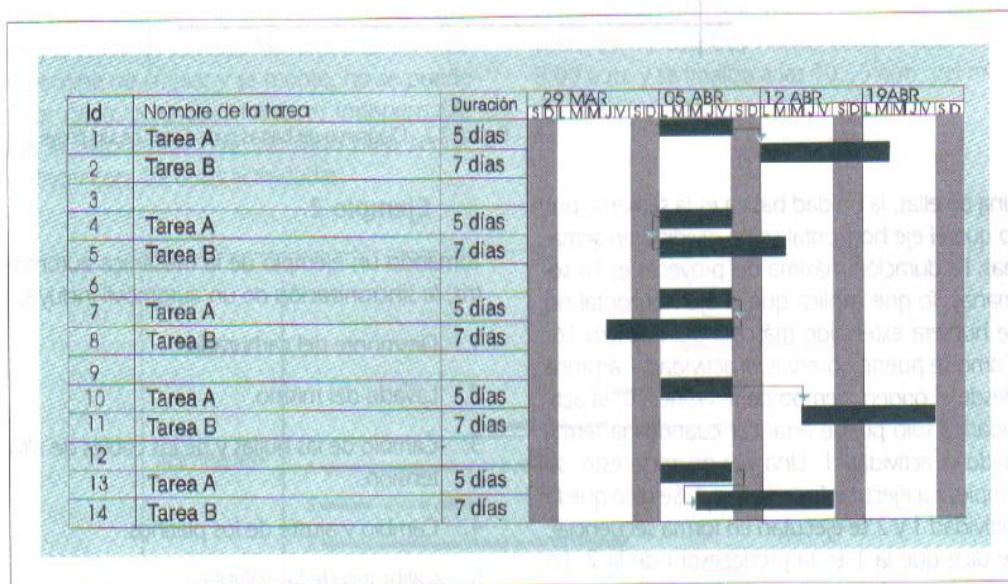


Figura 7.1. Distintas conexiones que pueden presentarse entre las actividades de un proyecto.

### Ejercicio 2

Dé un ejemplo de ingeniería para cada uno de los casos mostrados en el ejemplo 1.

#### 7.2.2 Diagramas de barras o de Gantt

Una forma común de representar gráficamente las actividades de un proyecto es mediante un diagrama de dos dimensiones: el eje horizontal representa el tiempo, mientras que en el vertical se registran las diferentes actividades del proyecto, cada una identificada con una barra horizontal de un tamaño proporcional al

tiempo que dura la actividad. En la figura 7.2 se presenta un ejemplo.

Se trata de un proyecto en el que se han identificado nueve actividades, numeradas de 1 a 9. Del análisis de las actividades se deducen los tiempos aproximados de duración de cada

## Criterios y restricciones

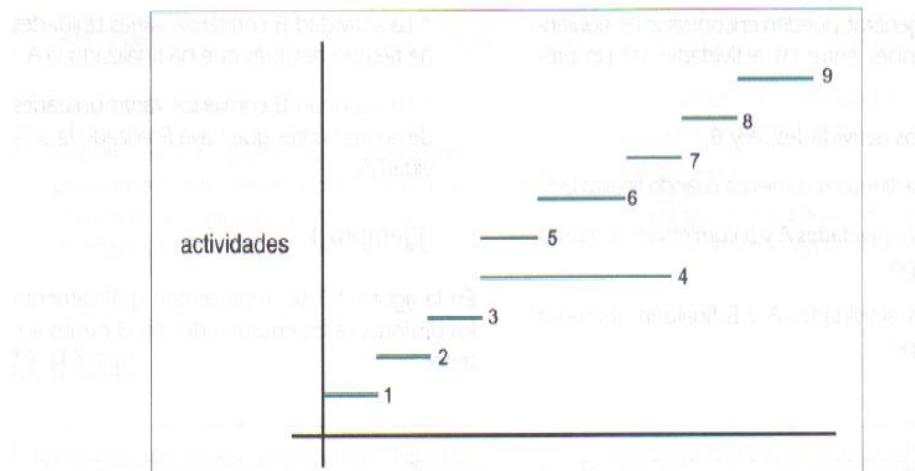


Figura 7.2. Diagrama de barras o de Gantt de un proyecto.

una de ellas; la unidad básica es la semana, por lo que el eje horizontal se ha dividido en semanas. La duración máxima del proyecto es 16 semanas, lo que explica que el eje horizontal no se hubiera extendido más allá del número 16. Como se puede observar, la actividad 1 arranca desde el origen, tiempo de referencia 0; la actividad 2 sólo puede arrancar cuando ha terminado la actividad 1. Una vez ocurrido esto, se empieza a ejecutar la actividad 2. Se dice que la actividad 1 y 2 se ejecutan en forma secuencial; se dice que la 1 es la predecesora de la 2. Lo mismo sucede con la actividad 3: no puede arrancar antes que finalice la 2. A su vez, la actividad 4 arrancará cuando la 3 haya finalizado. Todos estos son ejemplos de actividades secuenciales: unas ocurren sólo cuando han finalizado las predecesoras.

Sin embargo, la actividad 5 arranca en el mismo instante que arranca la 4; no espera ningún resultado de la 4 para comenzar a ejecutarse. Las actividades 6, 7, 8 y 9 son actividades secuenciales. Pero la actividad 4 sigue ejecutándose en paralelo con las demás actividades; termina después que la actividad 8 ya ha comenzado.

Este tipo de proyectos en los que se pueden realizar varias actividades simultáneamente, sin que una de ellas dependa de la finalización de las otras, es frecuente.

### Ejemplo 2

Tomando un ejemplo de la mecánica automotriz, la sincronización de un automóvil incluye:

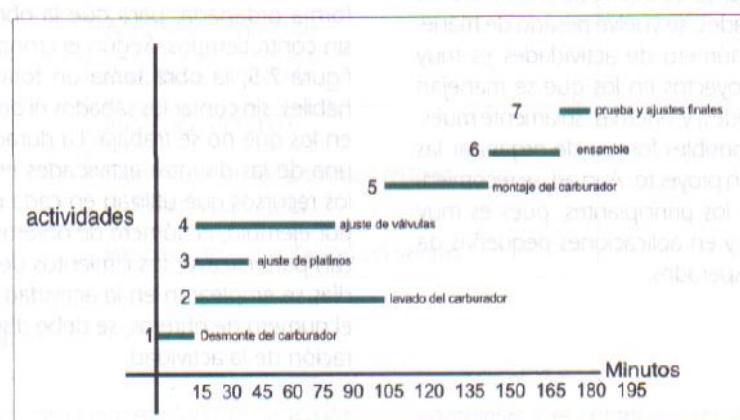
1. Desmonte del carburador.
2. Lavado del mismo.
3. Cambio de las bujías y de los cables de alta tensión.
4. Cambio y ajuste de los platinos.
5. Calibrado de las válvulas.
6. Montaje del carburador.
7. Ensamble del conjunto.
8. Pruebas y ajustes finales.

Es evidente que la actividad número 1 es desmontar el carburador<sup>1</sup>; como lavar el carburador puede tomar varias horas, se procede a colocarlo en el dispositivo que lava carburadores y mientras se lava (actividad 2) se sigue con las otras actividades. Calibrar las válvulas exige tener todo el sistema funcionando, pero los ajustes iniciales se pueden realizar en frío, sin el motor funcionando. Los retoques finales se harán con el motor ya listo. Por tanto, puede seguirse con esta actividad<sup>4</sup>. Lo mismo puede decirse del cambio y ajuste de los platinos: se puede hacer en frío y al final se realiza un ajuste fino. Se puede

denominar a esta actividad la 3. Remplazar los cables y las bujías puede efectuarse en cualquier momento, antes de realizar los ajustes finales. La actividad 5 será el montaje del carburador una vez que se ha terminado de limpiar. La actividad 6 será armar todo el conjunto y la 7 será la última, efectuar los ajustes finales. El diagrama de Gantt de este ejemplo lo muestra la figura 7.3.

En este diagrama se observan tres actividades que comienzan en paralelo: la 2, la 3 y la 4. Mientras se deja lavando el carburador en el disolvente, pueden cambiarse y ajustarse los platinos y también las válvulas. Mientras el carburador se termine de limpiar y se monte, no se puede hacer nada, pues físicamente es indispensable que el carburador esté instalado para seguir adelante con las otras actividades.

En el diagrama se observa que las actividades 1 y 2 se realizan en paralelo. La actividad 1 es la desmontada del carburador, que dura 15 minutos. La actividad 2 es el lavado del carburador en el disolvente, que dura 90 minutos. La actividad 3 es el ajuste de los platinos, que dura 15 minutos. La actividad 4 es el ajuste de las válvulas, que dura 45 minutos. La actividad 5 es el montaje del carburador, que dura 20 minutos. La actividad 6 es el ensamblaje del carburador, que dura 25 minutos. La actividad 7 es la prueba y ajuste final, que dura 25 minutos. La actividad 1 se completa a las 15 minutos, la actividad 2 a las 105 minutos, la actividad 3 a las 120 minutos, la actividad 4 a las 165 minutos, la actividad 5 a las 185 minutos, la actividad 6 a las 210 minutos y la actividad 7 a las 235 minutos.



El diagrama de Gantt se puede elaborar usando programas de computación expresamente diseñados para ese fin; uno de esos programas es el conocido como MS Project® de la empresa Microsoft®. El diagrama anterior quedaría como muestra la figura 7.4, usando este programa de computación.

Para realizar esta operación se han utilizado los servicios de dos mecánicos que trabajan en paralelo en algunas oportunidades: mientras uno realiza una actividad, el otro lleva a cabo otra. En el diagrama puede apreciarse que el tiempo aproximado para concretar este proyecto es de casi tres horas: se da inicio a las 8:00 a.m. y se finaliza a las 10:55 a.m. del mismo día.

En el diagrama se observa que las actividades 1 y 2 se realizan en paralelo. La actividad 1 es la desmontada del carburador, que dura 15 minutos. La actividad 2 es el lavado del carburador en el disolvente, que dura 90 minutos. La actividad 3 es el ajuste de los platinos, que dura 15 minutos. La actividad 4 es el ajuste de las válvulas, que dura 45 minutos. La actividad 5 es el montaje del carburador, que dura 20 minutos. La actividad 6 es el ensamblaje del carburador, que dura 25 minutos. La actividad 7 es la prueba y ajuste final, que dura 25 minutos. La actividad 1 se completa a las 15 minutos, la actividad 2 a las 105 minutos, la actividad 3 a las 120 minutos, la actividad 4 a las 165 minutos, la actividad 5 a las 185 minutos, la actividad 6 a las 210 minutos y la actividad 7 a las 235 minutos.

Figura 7.3. Diagrama de Gantt del ajuste de un carburador.

ID	Nombre de la tarea	Duración	M	mar 21sep 8am					
1	Desmonte del carburador	15 min.							
2	Lavado del carburador	90min.							
3	Ajuste de los platinos	15 min.							
4	Ajuste de las válvulas	45 min.							
5	Montaje del carburador	20 min.							
6	Ensamble del carburador	25 min.							
7	Prueba y ajuste del mismo	25 min.							

Figura 7.4. Diagrama de Gantt del montaje del carburador usando MS Project®.

### Ejercicio 3

Repita el caso planteado en el ejemplo 2 pero disponiendo solamente de un mecánico (mecánico 1) que sabe hacer de todo. Usando el programa MS Project, obtenga la gráfica del proyecto e indique el tiempo que se necesitará en estas condiciones.

Los diagramas de Gantt son útiles para la organización de determinados proyectos: cuando se maneja producción industrial, en la que ya se conocen anticipadamente los tiempos estándares de muchas operaciones, el uso del diagrama de barras es una buena alternativa. Sin embargo, en situaciones donde no se conoce exactamente la distribución de tiempos de las actividades, es preferible utilizar otra herramienta, como las **redes**. El diagrama de Gantt no muestra claramente las interrelaciones entre las distintas actividades; se vuelve pesado de manejar cuando el número de actividades es muy grande (hay proyectos en los que se manejan miles de actividades) y, además, solamente muestra una de las posibles formas de organizar las actividades de un proyecto. Aun así, se recomienda su uso para los principiantes, pues es muy fácil de utilizar y en aplicaciones pequeñas da los resultados esperados.

### Ejemplo 3

La empresa Casas Sociales ha diseñado una solución de vivienda que se puede ejecutar usando componentes prefabricados, lo cual contribuye a bajar sus costos. Ha identificado las actividades principales que se deben realizar, así como su duración y orden de ejecución. En la figura 7.5 se aprecia el cronograma de Gantt de la construcción de la casa de interés social.

En la gráfica se aprecia cómo las diversas actividades van encadenándose en forma ordenada; no se pueden colocar los techos, sin antes haber colocado la estructura que los soporta. No se pueden colocar las ventanas y puertas sin haber asegurado la estructura. En fin, cada una de las actividades se desarrolla en forma ordenada, para que la obra se ejecute sin contratiempos. Según el cronograma de la figura 7.5, la obra toma un total de 31 días hábiles, sin contar los sábados ni domingos, días en los que no se trabaja. La duración de cada una de las distintas actividades está dada por los recursos que utilizan en cada una de ellas; por ejemplo, el número de obreros que se utilizan para excavar los cimientos define cuántos días se emplearán en la actividad. Si aumentó el número de obreros, se debe disminuir la duración de la actividad.

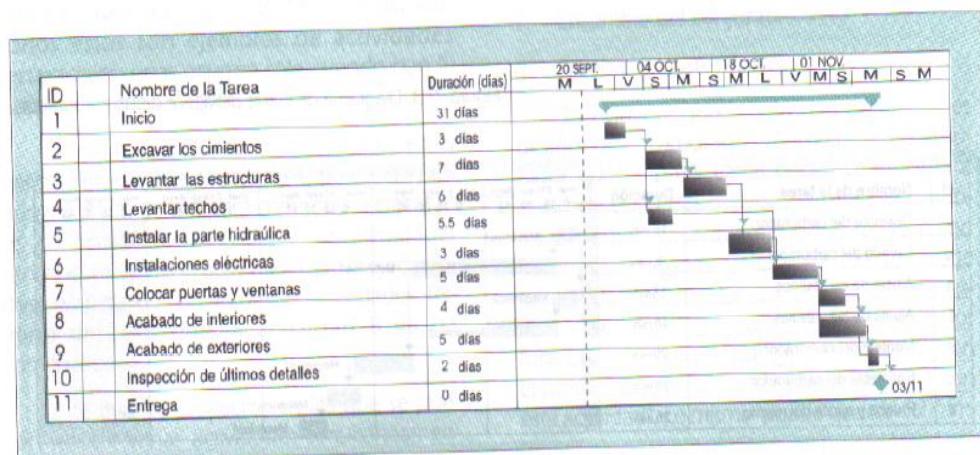


Figura 7.5. Diagrama de Gantt con las actividades generales para construir una casa.

#### Ejercicio 4

Considere el siguiente caso. La Editorial P&G desea editar el libro *La ingeniería del próximo siglo: mitos y realidades*. Para ello ha permanecido en contacto con el autor y han llegado a un acuerdo acerca del cronograma de actividades que deben desarrollarse para editar el libro y cumplir las fechas de edición pactadas anteriormente. Las actividades y sus

duraciones en semanas se encuentran en el cuadro 7.1.

Usando su conocimiento y sentido común, elabore un cronograma de Gantt disponiendo las actividades en el orden correcto, teniendo en cuenta las predecesoras. También debe aprovechar que algunas actividades pueden empezar antes de que finalice su predecesora.

Cuadro 7.1. Actividades necesarias para elaborar un texto

Actividad	Descripción	Duración [semanas]
1	Preparación del manuscrito	30
2	Diseño de la propaganda	6
3	Elaboración de la propaganda	4
4	Ajustes al manuscrito	5
5	Revisión y corrección	10
6	Impresión del libro	8
7	Obtención de los permisos legales y derechos de autor	14
8	Reunión de capacitación en ventas	2

### 7.3. El dinero

El dinero sirve como intermediario en la realización de los negocios de las empresas; es uno de los indicadores del grado de desarrollo alcanzado por una civilización. En épocas pasadas todo se realizaba mediante el trueque: productos por productos, productos por servicios, servicios por servicios, etcétera<sup>2</sup>. Posteriormente se utilizaron mecanismos más ágiles: monedas acuñadas por personas o gobiernos (véase figura 7.6) a las cuales se les asignaba un valor que de alguna manera representaba su valor real. Por ejemplo, una moneda de oro cuyo peso era de 1 onza permitía conseguir un determinado número de kilogramos de carne; una moneda de oro de 2 onzas permitía obtener el doble de esa cantidad de carne.

A medida que las estructuras organizativas de las sociedades fueron volviéndose más

complejas y el comercio creció, fue necesario idear un mecanismo más ágil, que no estuviera ligado tan directamente con el valor real del instrumento utilizado en la negociación. Apareció el *pagaré*, documento que le garantizaba al vendedor una cantidad de monedas de oro, por ejemplo, contra la presentación de ese documento a determinada persona en algún lugar. Este mecanismo fue desarrollándose paralelamente al uso de las monedas de oro y plata, cuyo valor representaba el de la transacción. Como se habrá podido dar cuenta, el *pagaré* es un pedazo de papel cuyo valor real no tiene ninguna relación con el valor de la negociación: un pedazo de papel vale, normalmente, muy poco (¿a cómo pagan el kg de papel usado?).

12.0352



Figura 7.6. Monedas de diversos países.

Hace algunos años, los bancos nacionales de algunos países se esforzaban por atesorar la mayor cantidad posible de lingotes de oro, pues esa cantidad respaldaba el valor de su moneda nacional ante la de otros países. Era una reminiscencia. Todavía en muchos billetes de banco se observa una leyenda que dice, más o menos, que «... el Banco de la República pagará al portador la cantidad de tantos pesos oro...», lo cual ya no es cierto. (Si no lo cree, intente obtener su valor en el equivalente en oro).

En la actualidad, el valor de una moneda se basa en la capacidad del respectivo país de respaldarla con productos, servicios y otros. Pero debe existir una relación entre la cantidad de moneda emitida y el valor del país. Si un país emite dinero por el doble de todo lo que vale el país es seguro que la capacidad adquisitiva de esa moneda ante la comunidad internacional va a disminuir; si una persona llegara a reunir todo el dinero emitido por ese país, podría comprar el país y aun le sobraría dinero sin respaldo. La emisión de dinero no resuelve los problemas económicos de un país; las emisiones deben ir respaldadas con un aumento en la productividad, descubrimiento de nuevas fuentes de recursos, etcétera.

Dadas las proporciones de los negocios mundiales y la rapidez con que se llevan a cabo, nadie utiliza dinero en billetes para realizar grandes transacciones; utiliza instrumentos más sofisticados para adelantar estas actividades: cheques, cartas de crédito, entre otros. Cada día

se vuelve más común recurrir a las transferencias electrónicas de fondos: el dinero ya no se mueve, circula electrónicamente de país a país por las redes de computadores que entrelazan los sistemas financieros. De todos modos, en algún momento pueden convertirse en dinero físico esos impulsos electrónicos que impregnán el aire. Pero cada vez es más común el dinero plástico: las tarjetas de crédito, de débito, los cajeros electrónicos, los puntos de venta conectados a redes de computadores están convirtiendo en obsoleto el mecanismo de usar billetes para nuestras transacciones. Sólo los pueblos más atrasados siguen usando el billete como intermediario en los negocios; incluso, en muchos países, las personas más tradicionalistas desconfían de las tarjetas y todo lo quieren pagar en efectivo. En Estados Unidos, por ejemplo, es raro que la gente pague en efectivo; todo el mundo paga con tarjeta de crédito, como ocurre en la mayoría de los países desarrollados.

De todas maneras, detrás de todos esos mecanismos permanece inalterable el concepto original: el dinero representa capacidad adquisitiva, qué se puede hacer, qué servicios pagar, qué productos comprar, etcétera. Debe pensarse en el dinero como un nivel de abstracción que se ha creado para facilitar, para agilizar las relaciones comerciales entre los seres humanos. Imagínense que estuviéramos en la edad del trueque: ¿cuántos sacos de café, por ejemplo, se deberían dar para comprar un BMW 525 i?

### Ejemplo 4

En algún momento de su historia cada país definió el nombre que le iba a dar a su moneda nacional; era necesario crear un nivel de abstracción que facilitara formalizar las relaciones comerciales con los demás países. Los nombres fueron escogidos, algunos recordando el pasado (la libra, *pound*, recuerda que se usaba el peso de ciertos recursos para efectuar transacciones comerciales, así como el peso, nombre muy popular entre las monedas de los países latinoamericanos), pero otros tienen orígenes más curiosos. Invitamos al lector a investigar la procedencia del nombre que tiene la moneda americana, *dollar*, en inglés.

Por razones relacionadas íntimamente con la economía de cada país, estas monedas comenzaron a adquirir valores relativos entre sí, imponiéndose las de los países más poderosos sobre las de los más débiles.

Hoy día, cada país tiene su moneda nacional, con un nombre propio y con una traducción a los demás idiomas, especialmente al inglés. Adicionalmente, para facilitar las transacciones internacionales se ha establecido, mediante las Normas ISO 4217, un código para la moneda nacional de todos los países. Por ejemplo, para el dólar de EE.UU. el código es USD (*United States Dollar*), para el dólar canadiense es el CAD, para la libra esterlina (*moneda del Reino Unido*) es el GBP (*Great Britain Pound*), etcétera.

Los valores relativos de estas monedas se establecen en el mercado internacional según ley de la oferta y la demanda, con ayuda de vez en cuando de factores especulativos. Las monedas más usadas como referencias son: el dólar americano, el yen japonés y el euro de la Unión Europea. Cada uno refleja la marcha de los negocios de una de las partes del mundo sobre la que tiene control. En el cuadro 7.2 se muestran

los valores relativos de algunas de las monedas en función de dos de ellas: en una columna se indica cuántos CAD se pagan por una unidad de la moneda del respectivo país; por ejemplo: se deben pagar 1,5517 CAD por un USD 0,8426 florines holandeses por un CAD. ¿Qué vale más 1 CAD o 1 USD?

En otra columna se expresa el valor de las monedas respecto al USD. Por ejemplo, en la última columna se indica el número de unidades de la moneda nacional que deben pagarse por 1 dólar de EE.UU. Ejemplo: deben pagarse 1,69602 AUD por 1 USD.

El cuadro 7.2 se utiliza cuando se efectúan negocios entre países de diferentes monedas. También cuando se va de viaje y se necesita calcular cuánto dinero de la moneda del país al que voy a viajar me darán por una determinada cantidad de dinero del país en el que vivo. Normalmente, la moneda que se usa en todas las transacciones es el USD. Si no existe cambio entre dos monedas (por ejemplo, si viaja a Inglaterra, no es conveniente comprar libras esterlinas directamente. Es mejor comprar dólares de EE.UU. y cambiarlos por libras una vez en Inglaterra.)

**Cuadro 7.2. Factores de conversión entre varias monedas<sup>3</sup>**

ISO 4217	Moneda nacional	CAD/Unidad	Unidades/CAD	USD/Unidad	Unidades/USD
USD	Dólares de EE.UU.	1,5517	0,64445	1	1
ARP	Pesos argentinos	1,55201	0,644326	1,0002	0,999808
AUD	Dólares australianos	0,9147	1,093	0,589483	1,69602
BEF	Francos belgas	0,04606	21,71	0,0296836	33,6876
BRR	Real de Brasil	1,3127	0,76179	0,845975	1,18208
GBP	Libras británicas	2,6115	0,38292	1,68299	0,594181
CAD	Dólares de Canadá	1	1	0,644454	1,55171
CLP	Pesos Chilenos	0,003338	299,6	0,00215119	464,893
DKK	Corona de Dinamarca	0,2499	4,002	0,161049	6,20995
NLG	Florín de Holanda	0,8426	1,187	0,543017	1,84188

## Ejercicio 5

Con base en el cuadro 7.2, efectúe las siguientes conversiones de moneda: dispone de USD 4 millones y los quiere convertir a ARP, CAD, CLP, NLG y GBP. (Pregunta adicional: ¿qué significa esto ISO 4217?)

### 7.3.1. El dinero en función del tiempo

Con frecuencia se escucha que hoy el dinero no vale nada; antes, con 1 centavo se compraba un huevo. En 1960, el tanque de la gasolina se llenaba con dos dólares. La entrada al cine costaba US\$1,50. Un buen sueldo para un profesional podía ser US\$700. Hoy día, ir al cine puede costar hasta US\$15 en algunos teatros; los huevos se consiguen a US\$0.25 o más la unidad y US\$2.000 es un sueldo apenas adecuado para un profesional recién graduado.

El poder adquisitivo del dinero es cada vez menor, por múltiples circunstancias: los salarios suben sin que aumente la productividad, los bancos estatales emiten más papel moneda sin un respaldo efectivo, la gente gana más pero hace lo mismo. Hay más gente con más dinero, pero la cantidad de bienes que se ofrecen sigue igual o su incremento es mínimo; como la gente tiene más dinero no le importa pagar más. A medida que algunos bienes estratégicos son más difíciles de conseguir, su precio aumenta. A veces el aumento es provocado artificialmente: en 1973, los países miembros de la OPEP decidieron aumentar el precio del barril de petróleo unilateralmente; el mundo se enfrentó con una crisis que obligó a los países industrializados a ser más eficientes en el uso de los recursos naturales. En la figura 7.7 se aprecia como varía el valor del dinero respecto al tiempo.

Mil dólares de hoy no tienen el mismo valor que dentro de un año; no se puede comprar lo mismo en los supermercados. Esta pérdida de poder adquisitivo interno se debe a la *inflación*. Cada mes sube el costo de vida, y el poder del salario que se recibe se disminuye en la misma proporción.

La inflación se expresa en términos porcentuales: por ejemplo, la inflación de 1993 en Colombia fue 22,6 %; es decir, el costo de la vida subió durante los doce meses de 1993 el 22,6 % a 1992.

En otras palabras, si un empleado en Colombia hacía un mercado con \$100 000, al comienzo de 1993, el mismo mercado en enero de 1994 costó \$122 600 pesos. Si su sueldo no ha sido incrementado le tocará reducir el tamaño del mercado para seguir gastando los mismos \$100 000 pesos. En algunos países, los salarios se reajustan al principio de cada año en una proporción similar al índice de inflación, con el objeto de que el poder adquisitivo de los salarios permanezca constante. El gobierno, a través de su oficina de estadística, mantiene una lista de productos que conforman la denominada canasta básica y que contiene el conjunto de productos considerados básicos para una familia típica. Con base en esta canasta básica se calcula el índice de la inflación.

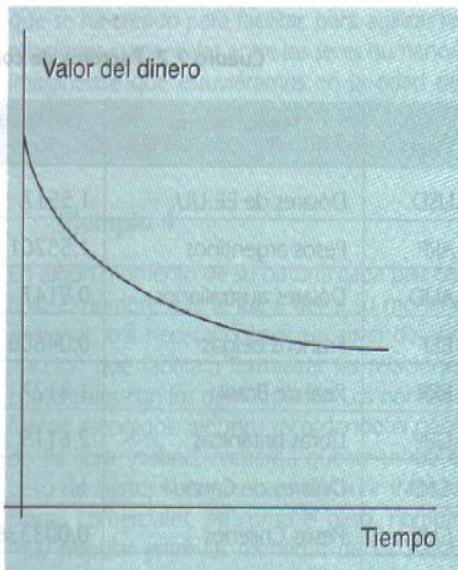


Figura 7.7. El dinero pierde valor con el tiempo.

A medida que los gustos de la población cambian, se altera la combinación de la canasta básica para que la misma refleje lo más exactamente posible el índice efectivo de la inflación. No es descabellado pensar en diferentes *canastas* para reflejar los cambios en los costos de los insumos y servicios de diferentes actividades. Por ejemplo, para los ingenieros civiles constructores, se podría crear una canasta que incluyera los elementos básicos que definen el precio de sus productos: el cemento, el acero, los salarios, las máquinas herramientas, entre otros. Lo mismo se podría hacerse para las diferentes disciplinas de la ingeniería.

¿Por qué es importante que un ingeniero conozca acerca del poder adquisitivo del dinero y su variación respecto al tiempo? Cuando un ingeniero se compromete a realizar una determinada obra por una determinada cantidad de dinero en un lapso que incluye varios años, o se compromete a realizar un mantenimiento de unos equipos a un determinado precio, debe ser consciente de que el precio actual no será el mismo en el año entrante, o de lo contrario puede perder dinero. Por ejemplo, un ingeniero calcula que el costo de mantener un equipo de computación es de \$100 000 al año; el precio del mismo contrato para el siguiente año debe incrementarse en un porcentaje igual o superior, al de la infla-

ción para el año trascurrido. La inflación en los países más desarrollados como el Japón es de 1 % ó 2 % al año; Estados Unidos puede tener una inflación del 5 % ó 6 %. Colombia ha mantenido inflaciones entre 10 % y 25 % durante los últimos años. Sin embargo, hay países que tienen inflaciones de más de 1 000 % al año, lo que origina la subida de los precios de los artículos de una manera desorbitada.

### Ejemplo 5

En la figura 7.8 se aprecia la variación de la inflación en un país imaginario. Si un empleado hubiera ganado \$20 000 mensuales en 2000 y el gobierno le hubiera reajustado su sueldo al comienzo de cada año en un porcentaje igual a la inflación del año anterior, el sueldo en 2000 hubiera sido:

$$\text{Sueldo } 2001 = \text{sueldo } 2000 * 1,075 = \$21\,500$$

El sueldo del año siguiente, 2001, será igual al del año 2000 multiplicado por 1,088, es decir:

$$\text{Sueldo } 2001 = \text{sueldo } 2002 * 1,088 = \$23\,392$$

Estos sueldos no deben considerarse aumentos, sino simplemente permiten mantener el poder adquisitivo del dinero. En otras palabras, los \$23 392 de 2001 compran aproximadamente lo mismo que los \$20 000 de 2000.

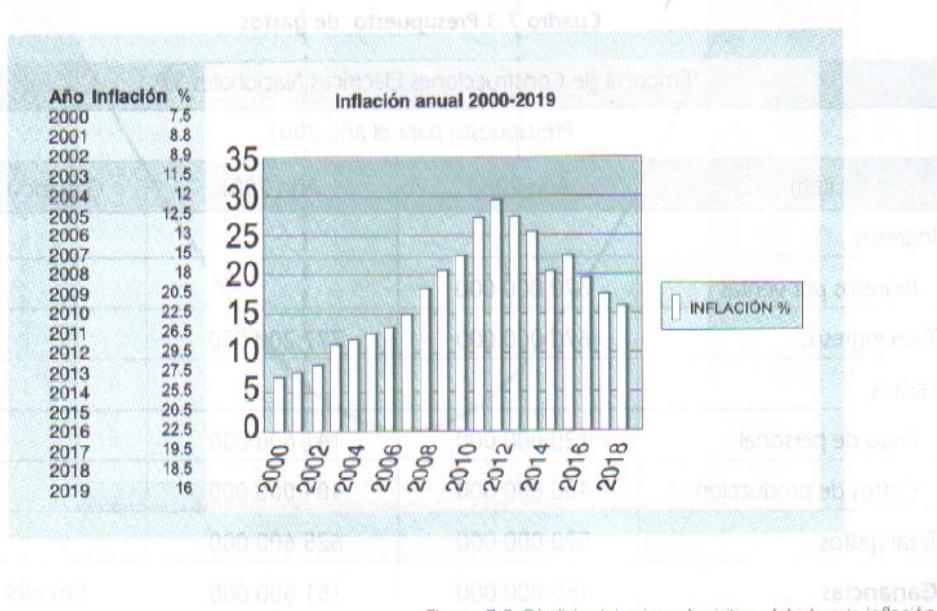


Figura 7.8. Pérdida del valor adquisitivo debido a la inflación.

### Ejercicio 6

Calcule el sueldo mensual que debería recibir el empleado en 2019, si se le hubiera reajustado su sueldo todos los años del período en una cuantía equivalente a la inflación anual, como ya se explicó.

Repita los cálculos si la empresa en la que trabaja le aumenta el sueldo usando la siguiente regla: cada año le aumenta el sueldo en una proporción igual a la inflación del año anterior más dos puntos porcentuales. Compare los sueldos que recibirla según este esquema contra los que recibirla con el esquema inicial.

### Ejemplo 6

La Empresa Construcciones Eléctricas Nacionales S.A. se encuentra elaborando su proyecto de presupuesto para el 2001. En su elaboración toma como base el presupuesto del 2000 y proyecta los valores al año 2001 tomando como referencia las proyecciones que los organismos especializados han identificado para el siguiente año. La Oficina de Estadísticas del Banco Nacional calcula que la inflación en 2001 será del 16%, aproximadamente. Por su lado, la Cámara de Comercio ha identificado una disminución en las ventas del sector eléctrico debido al aumento

en los precios de sus productos. Esta disminución se calcula en 3,5% sobre las ventas del año 2000.

La política de la empresa en esta época de recesión económica ha sido aumentar los precios de sus productos en el mismo valor de la inflación proyectada; es decir que en 2001 los precios de sus productos serán los mismos que en 2000 más el 16%, valor de la inflación. En otras palabras, su precio real no cambia. Para sus empleados se prevé un aumento general de la inflación más dos puntos porcentuales; es decir en este caso será del 18%. Por otra parte se ha llegado a la conclusión de que los costos de producción se incrementarán, adicionalmente a aumento producto de la inflación, en el 5% respecto a los del 2000 debido a un aumento internacional en las materias primas. Total, la empresa sospecha que sus ganancias en el 2001 serán inferiores a las del 2000. De todas maneras, es necesario elaborar el presupuesto para presentarlo a la junta directiva de la empresa que tiene que estudiarlo antes de dar su aprobación.

El cuadro 7.3 muestra el presupuesto de 2000 y el del 2001. Para los cálculos se utilizó una hoja electrónica de cálculo.

Cuadro 7.3 Presupuesto de gastos

Empresa de Construcciones Eléctricas Nacionales S.A.			
Presupuesto para el año 2001			
Item	Año 2000	Año 2001	Ganancia real
Ingresos			
Ingresos por ventas	670 000 000		
Total ingresos	670 000 000	777 200 000	
Gastos			
Pago de personal	120 000 000	141 600 000	
Costos de producción	400 000 000	484 000 000	
Total gastos	520 000 000	625 600 000	
Ganancias	150 000 000	151 600 000	130 689 655



Como se puede apreciar, la ganancia en el 2001 será de 151 600 000 pesos, algo más que en 2000. Pero hay que recalcar que con esos pesos no se compra lo mismo que con los 150 000 000 del año 2000, pues han sufrido una inflación.

### Ejercicio 7

Los cálculos del ejemplo 6 no han tenido en cuenta la disminución de las ventas pronosticada por la Cámara de Comercio. Descubra las fórmulas que hay en cada una de las celdas de la hoja de cálculo, y vuelva a calcular la ganancia real pero teniendo en cuenta en este segundo intento la disminución de las ventas prevista.

En pocas palabras, la inflación disminuye el poder adquisitivo de los usuarios cuando se realizan negocios internamente en el país, con productos y servicios en los que todo o gran parte son nacionales. Pero cuando estos servicios o productos son importados, o contienen una gran proporción importada, su precio se fija con base en el comportamiento de la moneda nacional respecto a algunas monedas internacionales que se toman como referencia. Normalmente se

pérdida de valor debido a la inflación. En realidad, su verdadero valor con respecto al año 2000 es de 130 689 655, que muestra la pérdida real de la empresa.

toma el dólar estadounidense como moneda de referencia y el valor de la moneda nacional, para transacciones en el extranjero se define así: ¿cuántos pesos colombianos, por ejemplo, tienen el mismo poder adquisitivo internacional que 1 dólar estadounidense? A este número se le denomina *tasa de cambio*.

En la figura 7.9 se aprecia una curva típica de la tasa de cambio; la tasa varía con el tiempo. Pero a diferencia de la inflación, la tasa de cambio tiene altibajos significativos: en la zona A de la figura 7.9 la tasa disminuye, se requieren menos pesos para comprar un dólar. Sigue una zona en la que se aprecia que el cambio permanece constante durante un cierto tiempo. Existe estabilidad cambiaria.

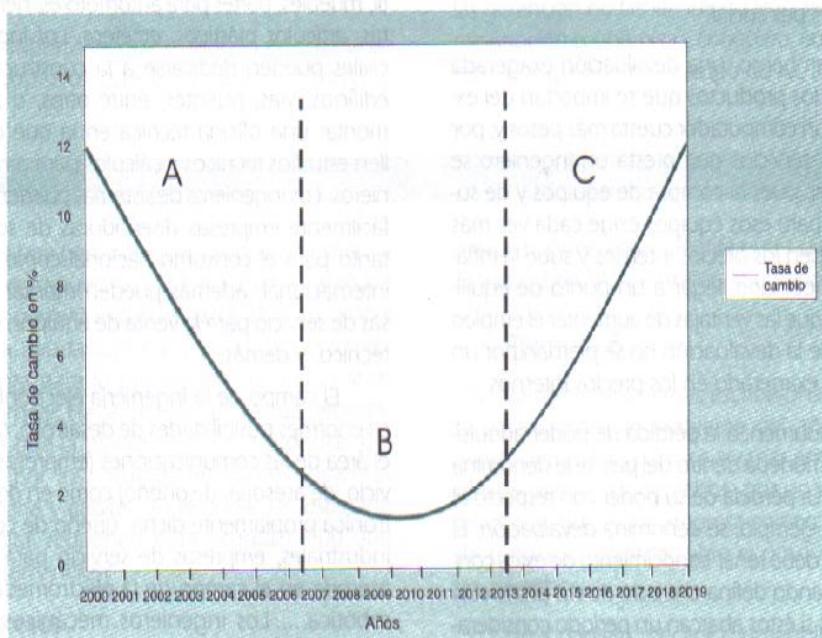


Figura 7.9. Variación de la tasa de cambio a lo largo del tiempo.

Finalmente, en la zona C la tasa de cambio sube: se requieren más pesos para adquirir un dólar.

La zona A representa una etapa en la que el peso se *revalúa*, incrementa su valor respecto al dólar. La revaluación es buena para los que van a hacer turismo: tienen más poder adquisitivo, pueden comprar más cosas con el dinero que ganan, porque por ese dinero les dan más dólares. Es bueno, en general, para los consumidores en el país, pues los productos importados cuestan menos y por tanto la gente puede darse gustos que de otra forma no disfrutaría.

Por el contrario, a medida que la moneda nacional se fortalece, el precio en dólares de los productos y servicios originados en el país es más alto: los extranjeros ya no pueden comprar los mismos artículos que compraban con sus dólares y el país deja de ser atractivo para los turistas. La zona C indica que la moneda nacional está *devaluándose*, es decir, que cada vez pierde terreno respecto al dólar; es la zona que adoran los exportadores. En la medida que sus productos valgan menos dólares, los países extranjeros podrán comprar más productos nacionales y aumentará el empleo en el país. Mayor empleo es paz social.

Sin embargo, una devaluación exagerada encarece los productos que se importan del extranjero: un computador cuesta más pesos y, por tanto, los servicios que presta un ingeniero se encarecen, pues la compra de equipos y de suministros para esos equipos exige cada vez más pesos: suben los precios internos y sube la inflación. Es necesario llegar a un punto de equilibrio en el que las ventajas de aumentar el empleo a través de la devaluación no se pierdan por un aumento exagerado en los precios internos.

En resumen: a la pérdida de poder adquisitivo de la moneda dentro del país se le denomina *inflación*. La pérdida de su poder con respecto al dólar, por ejemplo, se denomina *devaluación*. El ingeniero debe tener conocimiento de estos conceptos cuando defina el precio de sus productos o servicios si éstos abarcan un período considerable (por ejemplo, varios años). *El poder adquisitivo del dinero es una función del tiempo*.

### 7.3.2. Invertir el dinero en una empresa productiva

Por poner a *producir el dinero* se entiende montar un negocio, ser socio capitalista de una empresa (el socio capitalista pone el dinero y el socio industrial pone la idea, el trabajo, etcétera), ser empresario. Es lo opuesto al caso anterior en el que el dueño del dinero juega con su capital buscando qué entidad financiera o qué persona le ofrece mayores intereses.

Montar un negocio exitoso no es fácil; si no se procede prudentemente la aventura de ser empresario puede terminar en un fracaso, del que rara vez se levantan las personas afectadas con nuevas ganas de volver a intentarlo nuevamente. Hay un consejo importante que se debe seguir: *Haga lo que sabe hacer*. No se meta en negocios que traten asuntos en los que no es experto. Aunque por formación usted será capaz de abordar muchos campos del quehacer humano, solamente va a sobresalir en aquellos para los que usted se prepara durante muchos años de estudio.

Un ingeniero industrial tiene un enorme campo de acción en todo lo relacionado con la producción industrial de bienes: confección textil, muebles, partes para automotores, herramientas, artículos plásticos, etcétera. Los ingenieros civiles pueden dedicarse a la construcción de edificios, vías, puentes, entre otros, o pueden montar una oficina técnica en la que desarrollen estudios técnicos y cálculos para otros ingenieros. Los ingenieros de sistemas pueden formar fácilmente empresas diseñadoras de software, tanto para el consumo nacional como para el internacional; además pueden montar empresas de servicio para la venta de equipos, soporte técnico, y demás.

El campo de la ingeniería electrónica ofrece enormes posibilidades de desarrollo, tanto en el área de las comunicaciones (empresas de servicio, de asesoría, de diseño) como en la electrónica propiamente dicha: diseño de controles industriales, empresas de servicio para prestar asesoría en el campo de la electromedicina, la robótica,... Los ingenieros mecánicos tienen amplias oportunidades de crear sus propias empresas, sobre todo en el campo del diseño de

máquinas como carrocerías, molinos para la industria del papel, troqueles. En fin, no hay rama de la ingeniería que no ofrezca oportunidades, para que sus profesionales emprendan la maravillosa aventura de crear sus propias empresas.

Si se cree que desde el primer día va a obtener ganancias, está equivocado. En primer lugar necesita dinero prestado para iniciar su negocio; raro es el profesional que dispone de dinero suficiente para montar su oficina o su empresa sin tener que pedir dinero prestado a un banco (el dinero que otro dejó en el banco). En segundo lugar, los primeros años (esperemos que sean pocos) son difíciles; mientras el producto es conocido por el público sus ventas no dan lo suficiente para pagar todos los costos de mantenimiento de un negocio. Pero después que el producto se fortalece y se reconoce por su calidad (oigan bien! por su calidad sobre todo), su precio y su tecnología, el dinero empieza a fluir y los ingresos comienzan a superar los gastos y vuelven al negocio rentable. Ahí es cuando nuestro ingeniero puede empezar a mirar por encima del hombro a aquellos que prefirieron la tranquilidad de colocar su dinero en un banco, esperando cómodamente los pequeños intereses.

Es importante que se tengan en cuenta algunos aspectos que es necesario conocer y

manejar adecuadamente para que el negocio funcione: los ingresos, los costos y la ganancia.

### Ejemplo 7

Muchos ingenieros electrónicos empiezan su vida de empresarios diseñando y construyendo fuentes de poder reguladas. En efecto, tomando como modelo algún diseño extranjero o algún diseño propio resultado de su tesis de grado, construyen pequeños lotes de fuentes que colocan fácilmente en el mercado, en una época en la que no existe demasiada competencia. Para su diseño y construcción solo necesitan una casa pequeña en la que diseñan, arman, prueban y venden. A medida que el negocio prospera, se amplía la línea con más modelos, se introducen mejoras en los circuitos y se amplía el rango de potencia cubierto. Posteriormente, y ante la creciente competencia de otros recién graduados, se pasa a la línea de UPS, fuentes de poder ininterrumpibles, compitiendo con modelos extranjeros de un costo mucho mayor.

Lamentablemente, muchos de estas empresas no resisten la competencia ni la libertad de mercados, porque muchos de los ingenieros que las gerencian no tienen ideas claras sobre la administración económica y financiera, aunque fueran unos genios en el campo de los circuitos.

### Ejercicio 8

Usted es una persona recursiva que no espera a que le entreguen su diploma que lo acredita como ingeniero industrial para abrir su propia empresa. Ayudado por un tío rico, monta su propia planta para la producción de arepas listas para hornear. Haga una lista de lo que necesita para que la planta empiece a producir. Comience por los insumos necesarios, proceso, maquinaria y capital. ¿Puede dar un estimado del capital requerido para producir 100 000 arepas semanales?

### Los ingresos

Toda empresa genera ingresos económicos, de otra forma no tiene sentido la empresa. Los in-

gresos pueden llegar de diferentes direcciones. Algunos ejemplos aclararán lo anterior:

### Ejemplo 8

Un ingeniero de sistemas escribe una propuesta para resolver el problema del año 2000 y vende una licencia de uso a varias empresas. O decide vender los derechos, por una cantidad mucho mayor, a una empresa comercializadora de software, y pierde sobre el producto todos los derechos.

Un ingeniero mecánico desarrolla un molde para una fábrica de plásticos; por su trabajo recibe una cantidad de dinero. O diseña una

cerradura de alta seguridad y la produce él mismo en grandes cantidades, y obtiene una determinada cantidad de dinero por cada unidad vendida.

Un ingeniero químico desarrolla un proceso novedoso para reciclar la basura orgánica y vende la patente a una empresa multinacional, la que le paga una jugosa cantidad de dinero por la misma. O monta su propia empresa para explotar su idea generando una determinada cantidad de dinero por los productos que obtiene como resultado del reciclaje de la basura orgánica.

### Ejercicio 9

En general, los ingresos son el resultado de multiplicar el número de unidades vendidas de un determinado producto por su precio.

### Ejemplo 9

Si una alarma electrónica se vende a razón de US\$12,50 y se han vendido 2 500 en un mes, los ingresos por este concepto serán

### Ejercicio 10

Hay que resaltar desde el principio que ingresos no es lo mismo que ganancias, como se mostrará más adelante.

Una empresa puede tener ingresos por más de un concepto. Por ejemplo, una empresa de informática que pertenece a un grupo de ingenieros de sistemas, desarrolla aplicaciones a la medida, aplicaciones genéricas, presta servicio de venta de equipos de computación, así como repuestos, suministros, servicio de mantenimiento, asesoría y consultoría. Por cada uno de estos conceptos se obtienen ingresos. El ingreso total es la suma de los ingresos parciales.

### Los costos

Para producir es necesario incurrir en gastos. Por ejemplo, si un ingeniero electrónico construye una alarma contra robos debe adquirir los componentes: chips, circuitos impresos, soldadura,

Un ingeniero electrónico desarrolla un sistema de alarma temprana para detectar explosiones de gas en las minas de carbón y monta una compañía para comercializar su propia invención. O diseña una alarma para automóviles y se dedica a producirla y venderla, y obtiene una ganancia por cada unidad vendida.

Un ingeniero industrial puede montar una empresa para la confección de ropa, de repuestos para automotores, de empaques, etcétera. Puede montar su empresa de asesoría y consultoría para el montaje de fábricas o para diseño de nuevos procesos productivos.

$$12,50 * 2\,500 = \text{US\$}31\,250$$

Si un ingeniero de sistemas vende 15 licencias en un mes de una aplicación contable que se vende a razón de \$3 000 dólares cada una, los ingresos de ese mes habrán sido de  $\text{US\$}3\,000 * 15 = \text{US\$}45\,000$ .

entre otros. Asimismo, debe pagarles a las personas que efectúan las conexiones de los componentes de la alarma, a quienes prueban los circuitos,... Todos estos gastos en que se debe incurrir son los costos.

La siguiente es una lista de algunos costos comunes en la producción de la mayoría de los productos y servicios:

- Costo de la materia prima empleada en la elaboración del producto.
- Costo del transporte de la materia prima.
- Costo de la mano de obra (sueldos, horas extras, viáticos, etcétera).
- Costo de producción
- Costo de la publicidad
- Costo de los servicios: agua, luz, comunicaciones, y demás.

- Costos financieros: pago del préstamo, tanto del capital como de los intereses.
- Pago impuestos de todo tipo.

Los costos deben minimizarse para aumentar la ganancia. Hay costos que no pueden evitarse, pero otros pueden reducirse aumentando la productividad, la eficiencia, disminuyendo el desperdicio, usando tecnologías más eficientes, reduciendo gastos innecesarios a través de una buena administración, etcétera.

#### Ejemplo 10

Una fábrica de pasta de tomate situada en la ciudad A compra el tomate en la ciudad B que es el centro de una región que produce mucho tomate. El precio del tomate es de US\$50 por tonelada. La ciudad A se encuentra situada a 120 km de B, y conectada por una carretera asfaltada (80 km) y una carretera vecinal sin asfaltar (40 km). El costo del transporte por carretera asfaltada es de US\$0,02 por km por tonelada; cuando se trata de camino vecinal el costo es de \$0,03 por km y por tonelada. El tomate sufre una pérdida durante el transporte: se pierde el 0,1% por cada km recorrido por carretera asfaltada y del 0,5% por km de carretera vecinal. Se desea conocer el precio de 1t de tomate de B puesta en la ciudad A.

$$\text{Costo total} = \text{Costo de la materia prima} + \text{costo del transporte} + \text{costo de las pérdidas}$$

#### Ejercicio 11

Por trasportar 30 t de leche entre dos puntos separados 140 km un camionero recibe \$500 000 pesos. Halle el costo del transporte de 1 t de leche por km.

Los costos de la mano de obra son decisivos en el éxito o fracaso de una empresa. Hay que racionalizarlos, de manera que exista equilibrio entre el gasto y la productividad de las personas empleadas.

**Cuadro 7.4. Datos del personal de la empresa**

Cargo	Sueldo mensual (\$)	Prestaciones sociales (54%)	Total anual (\$)
Mensajero	300 000	\$162 000	5 544 000
Secretaria	500 000	\$270 000	9 240 000
Dibujantes (2)	1 300 000	\$702 000	24 024 000

El precio es igual a:

Costo de la materia prima + costo del transporte + costo de las pérdidas

Costo de 1 t de tomate = US\$50

Costo del transporte = costo del transporte por carretera asfaltada + costo del transporte por camino vecinal

Costo del transporte de 1 t por la carretera asfaltada = US\$0,02 \* 80 = US\$1,60

Costo del transporte de 1 t por el camino vecinal = US\$0,03 \* 40 = US\$1,20

Costo de las pérdidas de 1 t por la carretera asfaltada = US\$50 \* 0,1% \* 80 = US\$4

Costo de las pérdidas de 1 t por el camino vecinal = US\$50 \* 0,5% \* 40 = US\$10

Costo total de 1t de tomate puesta en A = US\$50 + US\$1,60 + US\$1,20 + US\$4 + US\$10 = US\$66,80

El transporte y las pérdidas ocasionadas por el mismo originaron un incremento de \$16,80 dólares por tonelada de materia prima transportada entre B y A.

En la industria se aplica la teoría de los costos para establecer precios que superen el costo de fabricación y el gasto de explotación.

#### Ejemplo 11

La oficina de diseño de un ingeniero mecánico emplea el personal que se relaciona en el cuadro 7.4.

## Criterios y restricciones

Cargo	Sueldo mensual (\$)	Prestaciones sociales (54%)	Total anual (\$)
Ingenieros (2)	4 000 000	\$ 2 160 000	73 920 000
Total	6 100 000	\$ 3 294 000	112 728 000

Los costos totales al final del año ascienden a \$220 800 000, por lo que los costos de perso-

nal representaron para la empresa el 51%, aproximadamente.

### Ejercicio 12

Se supone que la inflación para el año próximo será del 12,5% respecto al actual. Si los sueldos del cuadro 7.4 se toman como base, calcule los sueldos de los empleados de la oficina de diseño mecánico. Use la hoja de cálculo electrónico.

Otro ingrediente importante en los gastos de una empresa lo constituye el valor de los servicios públicos: agua, energía, comunicaciones.

### Ejemplo 12

Para producir 1 kg de pasta de tomate se necesitan 2 kg de tomate, determinada cantidad de agua y energía eléctrica para impulsar las máquinas procesadoras. De acuerdo con los registros que se llevan en la fábrica, para producir 1 t de pasta de tomate se necesitan 2 m<sup>3</sup> de agua y 5 kwh de energía eléctrica. El costo del agua es de \$0,50 por m<sup>3</sup> y el costo de la energía es de \$0,60 el kwh. Suponiendo que el precio del tomate puesto en la planta procesadora

fuese de \$66,80 por t, calcular el costo adicional en 1 t de pasta de tomate debido al procesamiento.

Conociendo el precio de la energía y del agua, así como las cantidades de ambos necesarias para producir 1 t de pasta de tomate, el incremento en el precio se calcula así:

Incremento por agua y energía = incremento por consumo de agua + incremento por uso de energía

Incremento del costo por el uso de agua = \$0,50 \* 2 = \$1,00

Incremento del costo por el uso de la energía = \$0,60 \* 5 = \$3,00

El precio de 1 t de pasta de tomate sería 2 \* \$66,80 + \$1,00 + \$3,00 = \$137,60

El incremento atribuible al procesamiento sería de \$4,00 y en términos porcentuales del 2,91%.

### Ejercicio 13

Una fábrica de chips produce 100 000 componentes al mes. Según las estadísticas, de cada 1 000 chips producidos 150 salen defectuosos. Todos los chips son probados antes de sacarlos al mercado; el costo de la prueba es \$2 y cuan-

do se detecta un chip defectuoso se regresa a la línea de producción en donde se repara el daño. El costo de esta reparación es de \$4. Calcule el incremento en el costo de producción debido a la etapa de prueba y a la fase de reparación.

## 7.4. Recursos

Para identificar los criterios y restricciones de determinado proyecto es necesario tener en

cuenta que los recursos disponibles para llevarlo a cabo no son infinitos. Las soluciones a un



determinado problema son más numerosas y más fáciles de alcanzar en la medida que se disponga de mayores recursos, tanto en variedad como en cantidad. Por ejemplo, el desarrollo de un vehículo para desplazarse en Marte podrá acelerarse a medida que existan suficientes fondos para contratar simultáneamente varios grupos de investigadores, cada uno de ellos buscando soluciones por caminos diferentes. Pero si no se dispone de suficientes recursos, es preciso contratar solamente uno o dos equipos de investigación con restricciones presupuestarias y sin posibilidad de explorar todas las ideas que se les ocurra. En este último caso, el número y calidad de las soluciones que se obtienen finalmente es muy inferior a las del primer caso considerado.

Los recursos que típicamente se manejan en la solución de un problema son (véase figura 7.10):

- El tiempo.
- El dinero.
- La energía.
- Aspectos físicos como el peso, volumen, dimensiones, etcétera.
- Otros.

También habrá que tomar en consideración aspectos como:

- Facilidad en la manufactura.
- Facilidad en el mantenimiento.
- Servicio posventa.
- Garantías.
- Facilidad de manejo.
- Duración del producto.
- Otros .

El proceso de búsqueda de la solución no podrá olvidar los aspectos éticos, sociales, ambientales, o técnicos. No hay que olvidar que las soluciones alteran el entorno en que vivimos; para algunos este cambio puede resultar benéfico, pero en otros genera situaciones más difíciles que las que se presentaban antes de la solución.

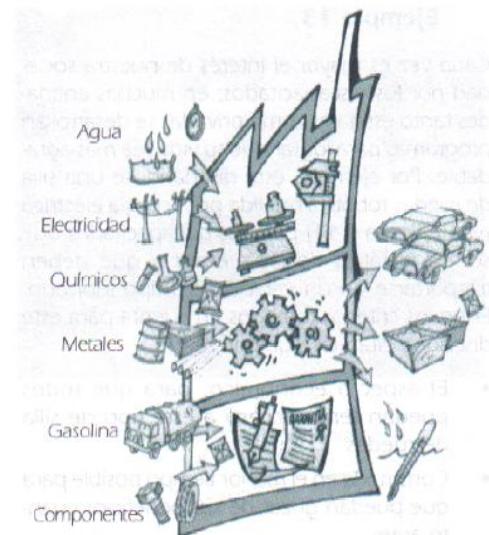


Figura 7.10. Recursos usados en un proyecto.

- La implantación del correo electrónico como medio de comunicación en una empresa puede acelerar sus comunicaciones internas, pero puede aumentar en forma desproporcionada el nivel de ansiedad en muchos de sus empleados.
- El uso de medios mecánicos para el corte de la caña de azúcar puede rebajar los costos de producción, pero dejará sin empleo a miles de campesinos.
- La intensificación de la producción de petróleo para un país endeudado puede resultar una forma sencilla de disminuir su deuda, a corto plazo; pero deja a las generaciones futuras sin posibilidad de fuentes de energía.
- El uso de tecnologías obsoletas en la solución de problemas técnicos puede rebajar los costos, pero plantea problemas de carácter ético, pues el mantenimiento, los repuestos, el soporte técnico, entre otros, para este tipo de soluciones se vuelven cada vez más difícil de obtener, y a precios más altos que soluciones que usen tecnologías vigentes.

## Criterios y restricciones

### Ejemplo 13

Cada vez es mayor el interés de nuestra sociedad por los discapacitados; en muchas entidades tanto estatales como privadas se desarrollan programas para lograr que su vida sea más agradable. Por ejemplo, está diseñándose una silla de ruedas robótica movida por energía eléctrica (véase figura 7.11) para los discapacitados que sufren parálisis de las piernas y que deben trasportarse en un vehículo del tipo indicado. Entre los criterios tomados en cuenta para este diseño se citan los siguientes:

- El aspecto económico, para que todos puedan tener acceso a este tipo de silla de ruedas.
- Construirla en el menor tiempo posible para que puedan gozar de sus beneficios cuanto antes.
- Que sea fácil de manejar y de mantener.
- Que consuma poca energía para que la batería dure mucho.

### Ejercicio 14

Si usted tiene que establecer los criterios para seleccionar la mejor propuesta de transporte masivo para nuestra ciudad, ¿qué criterios señala como principales? Mencione cinco al menos y

## 7.5. Energía

La *energía* es uno de los factores básicos que hay que tener en cuenta en casi todos los diseños en ingeniería:

- Un computador de escritorio consume más energía que un computador portátil (laptop).
- La transformación de materia prima en productos de consumo necesita sustancialmente más energía si se utiliza maquinaria antigua que maquinaria moderna.
- Los nuevos equipos de comunicaciones funcionan con un consumo de energía menor que los equipos de hace 20 años.

v. Recuerde que una silla de ruedas eléctrica es un diseño que cumple con los criterios mencionados.

- Que el servicio de posventa sea excelente para que los discapacitados no tengan que esperar demasiado en caso de una reparación.

Al diseñar un artefacto deben tenerse en cuenta los criterios más importantes en su ejecución, para que cumpla eficazmente sus objetivos.

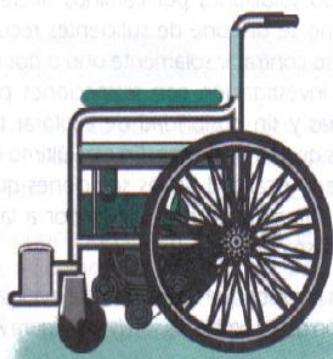


Figura 7.11. Prototipo de silla.

explique sus razones. Indique algunas restricciones de carácter ambiental obligatorias para que la solución sea satisfactoria.

- Para proporcionar sistemas de comunicación a lo largo del desierto del Sahara fue necesario establecer una extensa cadena de repetidores telefónicos alimentados por energía solar. Por la noche, las baterías que se cargan durante el día proporcionan la energía requerida para que el servicio no se interrumpa.
- La contaminación causada por los automóviles cesará cuando se descubra una fuente de energía de poco peso y alto rendimiento que permita utilizar otro tipo de motores en los autos. Actualmente, el único inconveniente que existe para la implantación de

un nuevo modelo basado en la acumulación de energía se encuentra en el intolerable peso de las baterías.

Todos estos ejemplos señalan la importancia que el aspecto energético debe tener en los proyectos de ingeniería. Hoy el mundo se encuentra asediado por la escasez cada vez más creciente de fuentes de energía económicamente explotables. Existen enormes yacimientos de petróleo pesado, pero su explotación resulta tan costosa que los precios de la gasolina producida son tan altos que nadie puede adquirirla. Mientras no se desarrollen nuevas tecnologías que permitan la explotación económica de esos yacimientos, ese petróleo sigue como reserva para las futuras generaciones.

### 7.5.1. Historia de las fuentes de energía

La historia del ser humano está ligada a la de la energía<sup>4</sup>; en la medida que descubrió fuentes de energía y pudo aprovecharlas eficientemente, la humanidad avanzó.

El fuego debió ser el primer aliado del primitivo; su energía calorífica le sirvió para calentar sus alimentos, defenderse de los animales, fundir metales, etcétera. Hay indicios que muestran que aprendió a usar el vapor de agua para mover objetos. Otra fuente de energía que seguramente usó (quizás antes que la del fuego) fue la humana: arrastrando, empujando, levantando, ... No tardó mucho tiempo en darse cuenta de que los animales tenían mayor capacidad para realizar todas esas actividades; el caballo y el buey sirvieron durante muchos siglos como fuentes de energía para satisfacer las necesidades del ser humano. Todavía hoy puede apreciarse el valor de esta fuente de energía en los países menos desarrollados: caballos arrastrando carretas, asnos dando vueltas a una noria y subiendo agua de un pozo; bueyes arrastrando el arado, entre otros.

En forma paralela se descubrieron otras fuentes naturales de energía: el agua de un río podía mover una noria que permitía almacenar el agua del mismo río en tanques para su posterior uso; la fuerza del viento movía las aspas de los molinos que se usaban para moler el trigo. Este esquema no varió durante muchos siglos.



Figura 7.12. Planta industrial del siglo XIX usando la energía del vapor.

En el siglo XVIII apareció la primera máquina de vapor, mejorada posteriormente por James Watt, que convirtió la fuerza del vapor en la impulsora de la primera revolución industrial (véase figura 7.12). La fuerza de las máquinas de vapor movía, mediante enormes poleas y ejes, las máquinas de los telares que le dieron a Inglaterra la primacía industrial durante el siglo XIX y parte del XX. A mediados del siglo XIX se descubrió la electricidad y sus aplicaciones prácticas: motores, luz, calor, etcétera. Se sigue usando el vapor como fuerza primaria para mover los alternadores eléctricos cuya energía movía, iluminaba, o calentaba. Se transformaba una forma de energía en otra, pues era más cómodo trabajar con pequeños motores eléctricos que con complicados mecanismos movidos por el vapor. Sin embargo, durante muchos años siguió utilizándose la fuerza del vapor para impulsar los trenes que expandieron el desarrollo a lo largo y ancho del mundo.

En la era moderna se aprovechan otras fuentes de energía como la producida por los saltos de agua: la energía potencial de un embalse se dirige a través de un canal hacia los álabes o paletas de una turbina que, al girar, mueve un alternador eléctrico que termina convirtiendo la energía potencial del agua en energía eléctrica. Lo mismo puede decirse de la

energía de los combustibles fósiles: gasolina, diesel, gas natural, carbón,... Su energía liberada por el proceso de la combustión mueve, de una forma directa o indirecta, alternadores eléctricos que son los que finalmente producen la energía que necesitamos. Pero con la producción de la energía aparece un efecto indeseable: la contaminación atmosférica que no es tenida en cuenta sino hasta bien avanzado el siglo XX, cuando el peligro de un desastre ecológico obliga a las sociedades desarrolladas a ponerle freno al uso indiscriminado de las fuentes primarias de energía. Se buscan fuentes limpias, las que no contaminen. Tanto el carbón, como la gasolina y el diesel producen componentes como el CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> que contaminan el ambiente y producen efectos adversos en la vida de los seres humanos.

El descubrimiento de la energía atómica a mediados del siglo XX abre la esperanza de la producción de energía ilimitada y barata. Sin embargo, la tecnología del momento no permite concretar las promesas que la teoría descubre; el peligro de una explosión nuclear con su peligrosa radiación hace que los ciudadanos de los países más desarrollados pongan límite a la construcción de centrales de energía nuclear.

El siglo XX finaliza sin una fuente alterna de energía que le permita encarar los problemas planteados por el agotamiento de las reservas de recursos fósiles no renovables; la velocidad actual a la que se consumen los recursos energéticos no renovables, el mundo, y algunos países en particular, habrán agotado esas reservas en muy pocos años, sin que se haya encontrado una fuente de energía confiable que las reemplace.

La aventura espacial necesita una fuente de energía diferente de la suministrada por la combustión de impulsores sólidos. El viaje a Marte, la siguiente escala de la humanidad en su aventura espacial, exige fuentes de energía no descubiertas aún. Por otro lado, la excesiva contaminación, la disminución de la capa de ozono y la alteración del clima mundial están obligando al remplazo de las fuentes de energía por combustión por otras menos contaminantes.

La energía eléctrica basada en fuentes químicas (baterías) o solares está aún lejos de producirse en las cantidades necesarias para sustituir los combustibles fósiles. Otras formas de energía como la eólica, o la marina, son soluciones puntuales para ciertas comunidades pero su nivel de producción no parece que alcance a pasar de un reducido porcentaje del consumo mundial.

### 7.5.2. Fuentes de energía

Entre las diversas fuentes de energía cabe mencionar:

*La hidráulica*, generada por caídas de agua.

*La térmica*, generada por la combustión de diferentes elementos: carbón, gasolina, fuel oil, gas natural, etcétera.

*La eólica*, generada por la fuerza del viento.

*La solar*, derivada de la energía irradiada por el sol.

*La geotérmica*, producida por los géyseres.

*La marítima*, producida por la diferencia de altura del mar debida a las mareas.

*La química*, que aprovecha las propiedades electrovalentes de diversos metales.

*La nuclear*, por fisión o por fusión del plutonio.

La figura 7.13 se muestra la producción de energía mundial desde 1971 hasta 1995<sup>5</sup>. La tendencia señala que no hay que esperar cambios notables y que la proporción se mantendrá estable durante las dos próximas décadas. El mayor porcentaje se encuentra concentrado en el uso de combustibles no renovables como el carbón, el gas natural y el petróleo. También se aprecia cómo la energía nuclear ha ido aumentando su participación a lo largo del tiempo. La contribución de la energía hidráulica es mínima y crece la importancia del uso de energías alternativas, como la solar, eólica y demás. También se aprecia cómo el consumo crece de una forma aproximadamente lineal con el tiempo.

Cada una de estas fuentes de energía tiene sus ventajas y desventajas. (véase el cuadro 7.5).

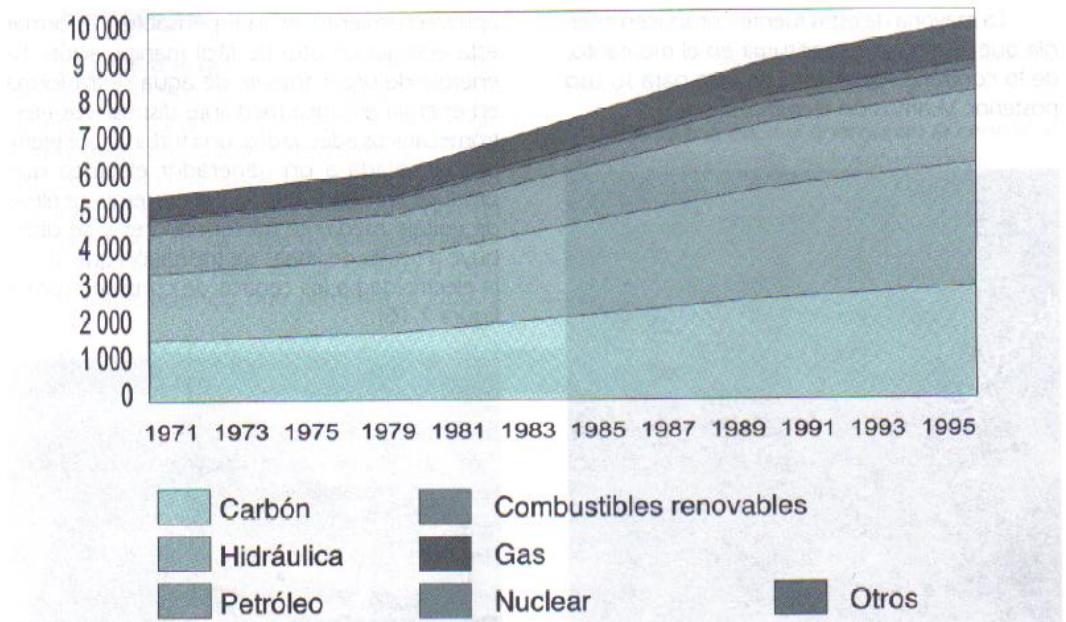


Figura 7.13. Producción de energía de acuerdo al combustible usado.

Cuadro 7.5. Características de las fuentes de energía

Características Tipo de energía	Recurso usado	Contaminación	Renovable	Costo	Producción (kWh)	Futuro
Hidráulica	Agua	Ninguna	Sí	Bajo	Megas	Sí
Térmica	Carbón	Alta	No	Alto	Megas	Sí
Térmica	Gasolina	Alta	No	Alto	Megas	Sí
Térmica	Diesel	Alta	No	Alto	Megas	Sí
Térmica	Gas natural	Ninguna	No	Bajo	Megas	Sí
Eólica	Viento	Ninguna	Sí	Alto	Miles	Poco
Solar	Calor	Ninguna	Sí	Alto	Centenares	Sí
Geotérmica	Vapor de agua	Ninguna	Sí	Bajo	Centenares	Poco
Marítima	Mareas	Ninguna	Sí	Alto	Centenares	Poco
Nuclear	Fusión y fisión	Altísima	No	Alto	Megas	Sí
Biológica	Gases de descomposición	Ninguna	Sí	Bajo	Decenas	Poco
Química	Distintos metales	Alta	No	Alto	Decenas	Sí

La mayoría de estas fuentes producen energía que es necesario consumir en el momento; de lo contrario, debe almacenarse para su uso posterior. Veamos un ejemplo:

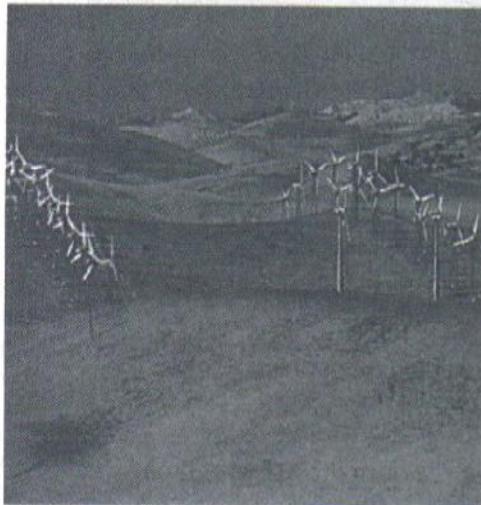


Figura 7.14. Energía eólica.

La fuerza del viento mueve las aspas de un molino, a cuyo eje se acopla un generador de energía eléctrica (véase figura 7.14). Mientras haya viento, los electrodomésticos conectados al generador funcionarán; cuando cese el viento, sin movimiento de las aspas, no habrá energía en el generador y, por tanto, los electrodomésticos dejarán de funcionar. La solución consiste en utilizar una batería que se cargue mientras haya viento y que ceda energía cuando deje de funcionar el generador. Por supuesto, que este modelo de operación es muy simple, pero explica los fundamentos de cómo funciona esta forma de generación de energía.

También es cierto que casi ninguna forma de energía es utilizable directamente. Por ejemplo, la energía cinética de una corriente de agua sólo podría utilizarse directamente para mover algún dispositivo mecánico en el sitio en que se produce la corriente de agua. Normalmente la energía de ese caudal se requiere a muchos kilómetros de distancia. Los centros de producción de energía y de consumo de la misma se encuentran separados, generalmente, por centenares de kilómetros de distancia. Para lograr su

aprovechamiento es indispensable trasformar esta energía en otra de fácil manipulación. La energía de una corriente de agua se transforma en energía eléctrica mediante dispositivos electromecánicos adecuados: una turbina, por ejemplo, acoplada a un generador eléctrico que produce corriente alterna. Esta energía se eleva de voltaje mediante transformadores y se distribuye a través de líneas de transmisión que llevan la electricidad a los centros de consumo (véase figura 7.15).

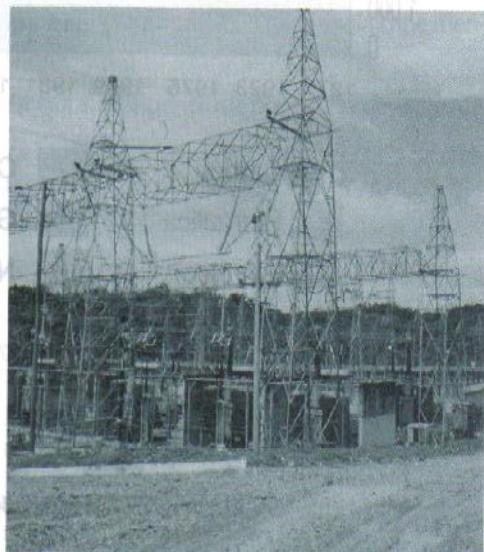


Figura 7.15. Trasmisión de la energía eléctrica.

Casi todas las formas de energía se transforman en energía eléctrica, con algunas excepciones. Por ejemplo, la energía solar puede utilizarse directamente para calentar hornos de fundición de metales; la energía geotérmica de los géyseres se utiliza para calefacción de edificios. Pero fuera de estos raros ejemplos es necesario efectuar una transformación que, infortunadamente, no es 100% eficiente; es decir, se pierde parte de la energía inicialmente generada. Por ejemplo, la energía potencial de un salto de agua (una represa) no es igual a la cantidad de energía que sale de la central eléctrica. Parte de esa energía se pierde en el calentamiento de las bobinas de los generadores, el rozamiento de las partes mecánicas de los mismos, etcétera. La ingeniería trabaja incesantemente en reducir las pérdidas al mínimo.

### Ejemplo 14

La energía que se genera en una central hidroeléctrica es de 500 Mwh, pero cuando llega a la subestación (durante la trasmisión de la energía ésta se transporta a voltajes muy altos: por ejemplo, 230 kv). Sin embargo, para distribuirse en las ciudades se debe reducir a un voltaje que no ponga en peligro las vidas de los ciudadanos. La transformación a bajo voltaje se lleva a cabo en las subestaciones) que alimenta la ciudad

soloamente se reciben 480 Mwh. La eficiencia o rendimiento se calcula así:

$$\text{Eficiencia en \%} = \frac{\text{energía en la central hidroeléctrica}}{\text{energía en la subestación}} \times 100$$

En este ejemplo, la eficiencia sería del 96%. Quiere decir que en el transporte se pierden 20 Mwh debido al calentamiento de los conductores, a la ionización, etcétera.

### Ejercicio 15

Si la energía producida en una central hidroeléctrica es de 1200 Mwh y la eficiencia es del 86,5 %, ¿cuántos Mwh llegan a su destino? Exprese su respuesta con el número correcto de cifras significativas.

Para poder determinar qué fuente de energía es más aconsejable en una determinada situación, deben establecerse algunos parámetros que puedan servir de comparación. Algunos de estos parámetros son los siguientes:

- Costo, por unidad de energía producida (por ejemplo, \$340 por kwh).
- Efecto contaminante (produce humos tóxicos).
- Rango de generación (produce 25 000 kwh; produce 600 Mwh).
- Vida útil de las instalaciones (durará 25 años).
- Reservas comprobadas (hay reserva para 100 años).
- Restricciones a su uso (sólo se puede usar cuando hay sol).

Por ejemplo, la alimentación de un marcapasos debe hacerse necesariamente mediante pilas atómicas de alta duración que son la forma de generar energía más costosa que existe. Sin embargo, esta aplicación no admite ninguna otra forma de generar la energía necesaria para el aparato. La energía producida por la fisión del átomo era la esperanza de la humanidad; sin embargo, los grupos ecológicos han logrado parar la mayoría de los desarrollos en

esta área, debido a los efectos contaminantes que un accidente de estas plantas podría producir.

#### 7.5.3. Unidades de medida de la energía

Cuando el ingeniero maneja aspectos relacionados con la energía debe tener algunos conceptos básicos muy claros. Trabajo, energía y potencia son términos relacionados entre sí, mas no iguales. La unidad de trabajo es el joule (J) que se define como el trabajo realizado al aplicar una fuerza de un newton a lo largo de un metro; la unidad de energía es también el joule<sup>4</sup>.

Cuando se habla de potencia se refiere a la capacidad de un cuerpo de realizar una cantidad de trabajo en un determinado tiempo. No es lo mismo levantar un kg a cinco metros de altura en un segundo que en un minuto. Se necesita más potencia para realizar el mismo trabajo en menos tiempo. La unidad de potencia es el joule/segundo, denominada, vatío, w. Se define como la capacidad de realizar un trabajo de un joule en un segundo. Sin embargo, la unidad de potencia práctica es el kilovatio. Como unidad de energía práctica se usa el kilovatio hora, kwh, que se define como la cantidad de trabajo realizada por 1 000 w durante una hora. No hay que olvidarse de la caloría, cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado centígrado, en condiciones normales. La caloría interviene en este pequeño rompecabezas dado que existe una relación entre la energía calorífica y la energía mecánica. En el cuadro 7.6 se muestran las unidades y las relaciones entre éstas.

## Criterios y restricciones

porarse parámetros que reflejen la importancia que se da al *impacto social*, en relación con los demás parámetros<sup>6</sup>.

- Un proyecto de generación de energía eléctrica requiere un embalse que anega los terrenos de muchas familias de escasos recursos, quienes ven afectada su forma tradicional de vida, sintiéndose obligados a trasladarse a otros lugares de distintas cultura, raza y costumbres.
- En localidades tradicionalmente dedicadas a las faenas pesqueras, donde los rasgos de la civilización occidental han sido escasos, se decide construir un gigantesco puerto, lo que atrae una gran cantidad de personas de otras partes con costumbres totalmente diferentes que alteran sustancialmente las tradiciones y las formas de vida de los habitantes de esas localidades.
- La explotación petrolera trae riqueza a las poblaciones cercanas a los pozos; pero, como costo social aparecen migraciones con costumbres que afectan fundamentalmente el modo de vida de los aborigenes.
- Muchos proyectos de desarrollo en localidades atrasadas traen consigo la desaparición de las culturas existentes. Esto se ve diariamente cuando la civilización se introduce en nuestras selvas, en la costa del Pacífico, etcétera.

Desgraciadamente, este aspecto no se ha tomado en cuenta en las decisiones técnicas:

### Ejercicio 20

En muchos de los países en vías de desarrollo existe un alto porcentaje de analfabetismo entre la población más desfavorecida. En las votaciones es necesario recurrir a procedimientos que permitan que estas personas puedan votar libremente, y que sean conscientes de por quién dan su voto. Indique en qué factores se fija si usted tiene que comparar varias propuestas de sistemas de votación en los que la consideración fundamental es la ecuanimidad con todos los sectores de la población, especialmente con los menos favorecidos.

unilateralmente se decide que es necesario que la civilización avance, aun a costa de la cultura y de los valores tradicionales. Pocas veces tienen los aborígenes la oportunidad de expresar su opinión.

Un ingeniero no puede por sí solo decidir qué es lo mejor para la sociedad; tiene que preguntarle a la sociedad qué espera de la solución que el ingeniero va a dar.

### Ejemplo 18

El diseño de un sistema para la cuenta de votos en unas elecciones presidenciales debe tener en cuenta que la sociedad espera resultados inmediatos, claros, expedidos a ciertos intervalos de tiempo, según determinados formatos, etcétera. El ingeniero de sistemas no puede decidir sin consultar cómo y cuándo entregará su sistema los resultados esperados.

El diseño de un sistema de transporte masivo debe tener en cuenta a los usuarios; su estrato económico. No puede realizarse una maravilla de la ingeniería que no pueda utilizarse después y que el costo del pasaje sea tan alto que ningún usuario lo puede disfrutarlo por no disponer del dinero suficiente.

Por ello es indispensable que en la definición de los parámetros que caracterizan cualquier diseño en ingeniería estén presentes individuos de otras disciplinas que opinen acerca de aspectos importantes que normalmente se le escapan a los ingenieros.

Por esto es importante que el ingeniero adquiera una formación humanista. Que se dé cuenta del impacto que las decisiones que toma algún día afectan a sus semejantes. El ingeniero debe trabajar para que la humanidad mejore su calidad de vida. No se trata de que cada desarrollo tecnológico sea un monumento a la capacidad del ser humano para vencer los obstáculos de la naturaleza; debe entenderse de forma más global, más integral, como un paso que se da para mejorar la calidad de vida de un conglomerado humano.



Analice cuidadosamente lo siguiente:

- ¿Se han detenido a pensar los ingenieros de sistemas en el uso indebido que pueden dárseles a las bases de datos como medio para reunir información confidencial y de esa manera violar el derecho a la privacidad de las personas?
- ¿Qué ingeniero electrónico detuvo su investigación sobre la miniaturización de los circuitos de computadoras?

## 7.7. Impacto ambiental

Desde su aparición sobre la faz de la Tierra, el ser humano utiliza los recursos de la naturaleza para su provecho: taló árboles para construir sus viviendas y para obtener energía para calentarse y preparar sus alimentos; ara la tierra para sembrar; mata animales para comer, etcétera. De alguna manera altera un equilibrio establecido y mantenido naturalmente, pero en una magnitud tan pequeña que la misma naturaleza se encarga de restablecerlo sin generar problema mayor.

Sin embargo, a medida que el ser humano domina la tecnología y la aplica en gran escala, el desequilibrio aumenta a una velocidad tal que la propia naturaleza no puede corregir automáticamente. Se ha contaminado el aire a niveles preocupantes; innumerables especies animales y vegetales han desaparecido y están desapareciendo causando desequilibrios entre las demás especies. La erosión consume al año millones de hectáreas laborables convirtiéndolas en desierto y produciendo hambruna a escala gigante; las fuentes de agua están secándose y muchas de ellas se encuentran contaminadas<sup>2</sup>.

Los países más avanzados son responsables de la contaminación de todo tipo, producto de los desechos industriales que arrojan al aire, al agua y a la tierra; son responsables de la contaminación del aire por los millones de toneladas de CO y CO<sub>2</sub> que arrojan diariamente los millones de automóviles que transitan por las carreteras. Los pobladores de los países menos desarrollados arrasan con los bosques buscando energía, techo y comida, crean de

transmisores de FM, pensando que alguien los podría usar para espiar a otras personas?

- ¿Algún ingeniero civil detuvo un proyecto de construcción cuando apareció la posibilidad de que el peso del edificio pudiera producir daños graves en las viviendas vecinas?

pasó deforestación que a la postre genera desertización. De una manera u otra todos estamos contribuyendo a que nuestro planeta azul se vaya pareciendo al planeta rojo, en el que la ausencia de vida como la nuestra es una de sus características.

Afortunadamente ha habido una reacción positiva y muchas asociaciones ecologistas (Greenpeace, por ejemplo) están luchando en todas las formas posibles para detener este suicidio colectivo: han empezado a hacer su aparición los partidos verdes que en muchos países ya forman parte de los gobiernos y aboga por leyes que promuevan un desarrollo sostenible: el uso del entorno y sus recursos naturales indefinidamente sin afectar la capacidad del entorno y utilizarse de la misma manera en el futuro. Satisfacer nuestras necesidades sin poner en peligro esa satisfacción para las generaciones futuras.

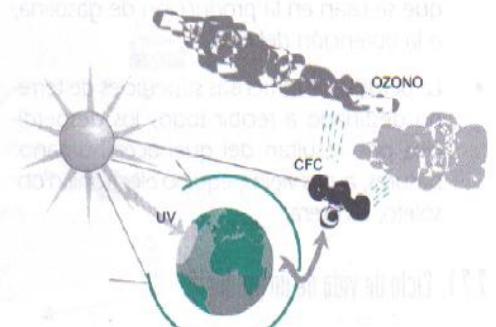


Figura 7.16. Formación del agujero de la capa de ozono.

Aunque no es demasiado tarde para tomar las medidas correctivas del caso, cónozcamos las amenazas que nuestro planeta enfrenta actualmente:

- Calentamiento global o efecto invernadero como consecuencia de la acumulación de CO<sub>2</sub> en la parte alta de la atmósfera, que no deja que el calor generado en la superficie de la Tierra se desvanezca por radiación. El efecto de este calentamiento es un desordenamiento climático de impredecibles consecuencias: lo estamos comenzando a padecer en forma de inundaciones inusuales, el fenómeno de El Niño y de La Niña, huracanes, entre otros.
- Aparición de un hueco de la capa de ozono que protege la superficie terrestre de la radiación ultravioleta que proviene del Sol, cuyos efectos producen un aumento de los casos de cáncer de la piel, principalmente [véase figura 7.16].
- Lluvia ácida producida por los gases sulfurosos que arrojan a la atmósfera los automóviles y las industrias.
- Derrames de petróleo que dañan el ecosistema marino.
- Ruido generado por las innumerables fuentes de ruido sonoro que nos rodean. Crean aumento de la ansiedad con efectos perturbadores notables.
- Degeneración de la especie humana ocasionada por los efectos genéticos adversos de metales, tales como el mercurio y plomo, que se usan en la producción de gasolina, o la obtención del oro.
- La pérdida de inmensas superficies de terreno destinado a recibir todos los desperdicios que resultan del quehacer humano: basuras, autos viejos, equipo electrónico obsoleto, etcétera.

### 7.7.1. Ciclo de vida de un producto

Para manufacturar un producto es necesario, primero, obtener los recursos naturales que se requerirán más adelante. Por ejemplo, para la

construcción de un avión se necesita aluminio, acero, caucho, plástico, vidrio, entre otros.

La fase de diseño y producción requiere adicionalmente energía, así como otros productos: químicos, aceites, agua, etcétera.<sup>5</sup> El resultado de este proceso de producción lo utilizan los seres humanos; pero también genera desechos que no se pueden reciclar y que van a un relleno sanitario o industrial; gases que son expulsados a la atmósfera y compuestos químicos que son arrojados a los ríos, lagos, o arroyos y finalmente al mar.

Este producto se utiliza varios años y durante este tiempo necesita recursos para su operación: por ejemplo, gasolina para el motor, aceite para la transmisión, ácido para la batería, etcétera. Estas actividades producen también contaminación.

Es normal que durante su vida útil necesite reparación, pues alguna de sus partes, por muchas razones, deja de funcionar correctamente y es necesario cambiarla o arreglarla. Por ejemplo, el disco duro de un computador falla y debe cambiarse por otro nuevo; el motor de la lavadora se quema y es necesario rebobinarlo. La operación diaria de estos productos exige recursos adicionales, energía, etcétera.

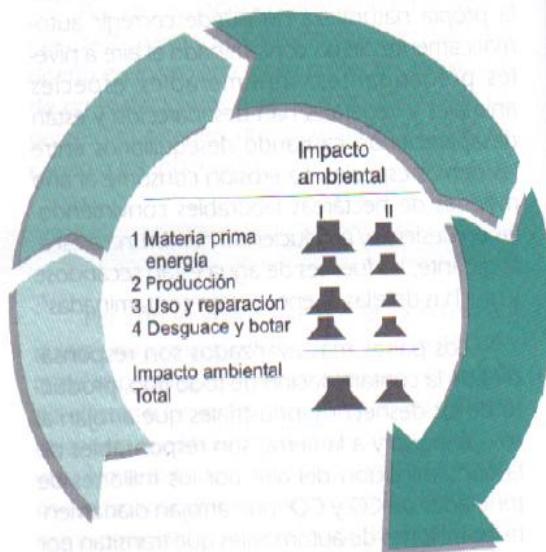


Figura 7.17. Ciclo de vida de un producto.

Finalmente, cuando el producto ha cumplido su vida útil es necesario **desecharlo**, no sin antes desguazarlo para recuperar algunas partes que puedan ser útiles para la manufactura de otros productos.

En resumen: el ciclo de vida de un producto (véase figura 7.17) se compone de las siguientes fases:

- Extracción de los recursos naturales.
- Diseño y producción.
- Operación.
- Mantenimiento.
- Desecho.

Cada una de éstas afecta el medio ambiente de alguna manera. El impacto ambiental de un producto debe medirse en forma integral, a lo largo de su ciclo de vida; actualmente se desarrollan modelos que permiten medir cuantitativamente ese impacto a través de *índices de carga ambiental*.

### 7.7.2. Índices de carga ambiental

Son cinco los aspectos más importantes del medio ambiente que se deben proteger<sup>5</sup>:

- **Biodiversidad**, para que no extingan más especies de la fauna y de la flora.
- **Sanidad humana**, tanto fisiológica como mental.
- **Producción para la vida** que permita seguir generando comida, recursos, etcétera.
- **Recursos naturales**, como el agua, la energía, etcétera.
- **Valores estéticos**, para conservar la belleza de nuestro medio ambiente.

El valor de cada uno de estos aspectos se encuentra al responder la siguiente pregunta: ¿qué tanto estaríamos dispuestos a pagar para conservar los cinco aspectos anteriores? El valor que se le asigne a cada uno de ellos incide en el valor del índice de carga ambiental, ICA.

Se han realizado estudios muy profundos sobre este tema y se ha establecido una serie de ICA para cada uno de los recursos y procesos más frecuentes en nuestras industrias. Por ejemplo, el ICA del polipropileno es de 0,97 por kg. El de la gasolina es de 0,64 por kg. El ICA del proceso de pintar con pistola una superficie es de 0,08 por kg.

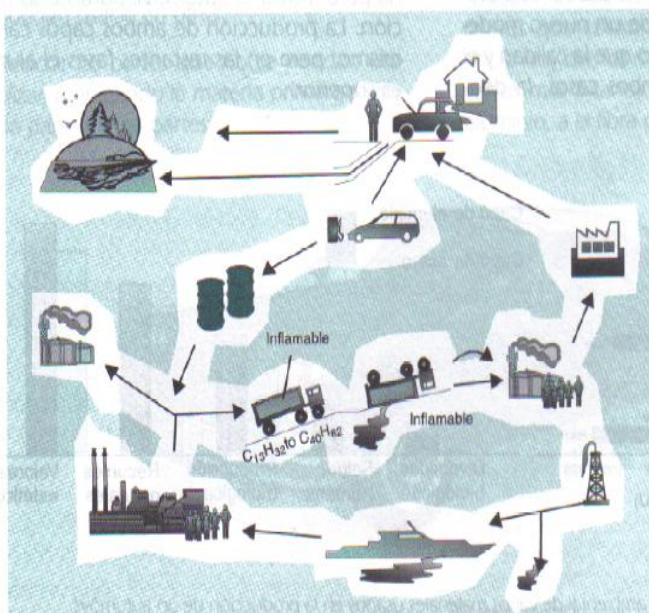


Figura 7.18. Impacto ambiental del derrame de crudo desde su extracción hasta su desecho.

Para calcular el impacto ambiental se multiplica el ICA por la cantidad del recurso expresada en kg y el resultado es un número que refleja el impacto ambiental de ese ítem durante una de las fases de la vida del producto.

### Ejemplo 19

El comprador de un automóvil selecciona una opción para su vehículo que añade 4 kg al automotor; se ha determinado que por cada kg

adicional se necesitarán 8 kg de gasolina a lo largo de la vida útil del vehículo. En este caso son 32 kg más de consumo de gasolina; sabiendo que el ICA de la gasolina es de 0,64 por kg, la opción ocasiona una carga ambiental adicional de 20. Este cálculo se efectúa para cada una de las fases del ciclo de vida del producto y se suman los resultados; al final, la suma que resulta representa la carga ambiental del producto en forma integral. El impacto ambiental es directamente proporcional al número que resulta.

### Ejercicio 21

Analice detenidamente la figura 7.18 que representa el ciclo de vida del aceite usado en la transmisión de un automóvil. La fase inicial es la extracción y el transporte; sigue la producción. Se deposita en las cajas de transmisión durante la vida del vehículo; periódicamente hay que cambiarlo. Finalmente, el aceite que ya no sirve hay que eliminarlo. En cada una de las fases mencionadas se presentan problemas que impactan el medio ambiente. Coloque al lado de cada flecha la leyenda correspondiente.

### Ejemplo 20

Un diseñador de autos no sabe si usar aluminio o acero para el capó de un nuevo modelo de automóvil. Suponiendo que la calidad y el precio sean similares en ambos casos, la deci-

sión se toma con base en el impacto ambiental que producirá cada una de las alternativas. En las figuras adjuntas se muestra el resultado del análisis del impacto ambiental para cada una de las dos decisiones, a lo largo del ciclo de vida.

En la parte derecha de la figura 7.19 se aprecia el impacto ambiental de ambos materiales sobre los aspectos del medio ambiente que deben tener en cuenta para calcular el ICA. El aluminio impacta en menor grado. En la parte de la izquierda de la misma figura se aprecia cuantitativamente que el acero carga más el ambiente que el aluminio: pesa más, por lo que necesita mayor cantidad de kg de gasolina para mover el automóvil durante su operación. La producción de ambos capós carga lo mismo; pero en las restantes fases el aluminio es superior.

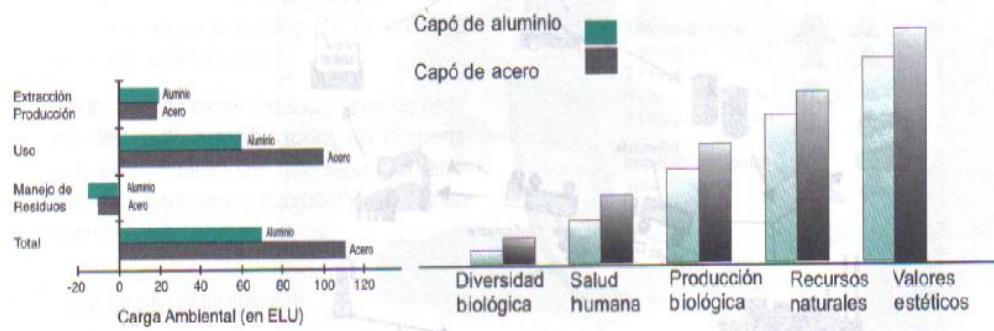


Figura 7.19. Impacto ambiental de varios materiales usados en la producción de un automóvil.

## Ejercicio 22

Utilizando la misma metodología del ejemplo 20, indique cuál de las dos soluciones siguientes crea menor impacto ambiental: usar envases plásticos retornables o envases de vidrio retornables.

### 7.7.3. Las cuatro eres [R]

De lo anterior queda claro que los procesos productivos junto con las emisiones de los motores de combustión son los principales agentes degradantes del medio ambiente. Lamentablemente, nuestra sociedad de consumo no detiene esa carrera cada vez más vertiginosa por mejorar su nivel de vida, a expensas de su calidad.

Sin embargo, las mismas empresas y los gobiernos de muchos países ya trabajan seriamente en el problema de reducir el impacto ambiental; anualmente se llevan a cabo congresos, conferencias, eventos de carácter internacional en los que se proponen metas reales para reducir la contaminación ambiental.

Una de estas propuestas consiste en:

- Reducir el consumo de recursos eliminando lo que no sea esencial.
- Reutilizar las partes de los productos que puedan usarse en otros.
- Reciclar las partes que no se puedan reutilizar, empleando la materia prima generada para nuevas partes.

- Rellenar adecuadamente los rellenos sanitarios con los sobrantes.

La primera R busca que se hagan diseños óptimos, eliminando el consumo innecesario de recursos, con el fin de disminuir la carga ambiental del proceso de producción.

### Ejemplo 21

Antiguamente, los automóviles se construían utilizando una lámina de acero de 0,3 cm de espesor, lo que originaba que el peso de los carros fuera exagerado, casi tres toneladas. Para poder mover esta cantidad de kg era necesario un motor de ocho cilindros que consumía una enorme cantidad de gasolina, lo que obligaba extraer enormes cantidades de petróleo. Como los recursos eran baratos, ningún diseñador se ponía en la tarea de reducir el consumo de recursos, pues los usuarios pedían autos grandes, confortables y veloces (véase figura 7.20).

La crisis petrolera del 1973 elevó los precios del petróleo a valores tan altos que fue indispensable rediseñar los carros disminuyendo su peso, eliminando lo que no era necesario, usando materiales más livianos, motores de seis y cuatro cilindros que consumían menos gasolina, entre otros. Hoy día, los motores son más eficientes, los carros más livianos y el acero ha dado paso al aluminio, a la fibra de vidrio, al plástico, y otros.



Figura 7.20. Abuso en el consumo de los recursos.



## Ejercicio 23

Analice el funcionamiento de su computador personal; cuáles son sus costumbres de uso; cuándo lo enciende, cuándo lo apaga; qué porcentaje del tiempo lo usa; qué porcentaje del tiempo se encuentra encendido sin usarlo; ... ¿Cómo podría reducir el consumo de energía al usar su computador?

La segunda R busca extraer las partes buenas de los equipos viejos u obsoletos para usarlas en los nuevos diseños. De esta manera, se dejan de producir muchas partes con lo que se carga menos el ambiente.

## Ejemplo 22

Una conocida firma de computadores ofreció en una licitación años atrás equipos de pro-

cesamiento electrónico de datos con una característica poco usual: advertía que en algunos de sus equipos se habían usado partes (como motores eléctricos) que se habían recuperado de equipos fuera de uso. Esos motores habían sido revisados, acondicionados, de tal manera que la firma los garantizaba como si fueran nuevos. Lamentablemente, por disposición expresa del organismo internacional encargado de la supervisión de la licitación, la oferta de esa compañía no se tuvo en cuenta dado que solamente podían ofrecerse equipos en los que se usaran partes totalmente nuevas sin uso anterior.

Hoy día se obliga a remanufacturar algunas partes para ser incorporadas en los nuevos productos.

## Ejercicio 24

Analice un equipo de computación e identifique las partes del mismo que pueden reutilizarse.

La tercera R es más familiar. Todas las partes, materiales que no se puedan reutilizar deben convertirse nuevamente en materia prima para elaborar de nuevos productos. De esta manera se carga menos el ambiente, al no tener que extraer tanta materia prima.

## Ejemplo 23

Un vehículo familiar promedio se compone de lo siguiente:

- 72% de hierro y acero.
- 10% de plástico.
- 5% de aluminio.
- 5% de caucho.
- 2% de vidrio.
- 6% otros materiales.

El 75% de las partes del vehículo se pueden reciclar.

## Ejercicio 25

Los computadores personales se producen por millones todos los años; la idea es que en pocos años exista uno ó dos computadores en cada hogar. También se conoce que cada dos ó tres años se cambia de modelo y que muchas personas adquieren el nuevo modelo sin tener una salida definida para el equipo obsoleto. ¿Qué sugerencias da usted para disminuir la producción de toda esta basura electrónica?

La última R nos indica que debemos disponer adecuadamente las basuras para que no carguen el medio ambiente y dañen la estética, así como gastos adicionales para reparación de rellenos sanitarios mal diseñados. Hoy día, todas las comunidades tienen rellenos sanitarios (véase figura 7.21) en los que botan sus basuras, incineradores en los que queman aquellas partes que no sea seguro enterrar (por ejemplo,

todo lo que sale de los hospitales), pero aún se encuentran problemas sin solucionar. ¿Qué hacer con las basuras radioactivas, por ejemplo?

#### Ejemplo 24

Un relleno sanitario no tiene que ser un lugar desagradable; de hecho los rellenos bien planeados pueden convertirse con el tiempo en parques públicos. Para construir un relleno sanitario es necesario hacerlo de acuerdo con modelos ya establecidos, que garanticen estabilidad del mismo y su posterior uso para fines recreativos.

Algunas consideraciones al diseñar un relleno sanitario incluyen:

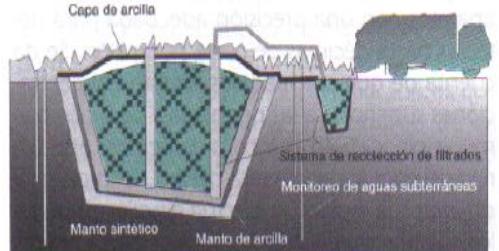


Figura 7.21. Diagrama de un relleno sanitario.

#### Ejercicio 26

Diseñe un plan para su universidad con el fin de recoger la basura generada por los estudiantes

### 7.8. Consideraciones éticas

Cada vez se más importante que el ingeniero se dé cuenta de las implicaciones éticas que tienen sus decisiones. La frase que "...la ciencia no tiene color" es una excusa para quienes ven en abstracto los desarrollos científicos y tecnológicos, sin importar las consecuencias que ellos tengan para la humanidad.

- El desarrollo de una droga que al tomarse disuelta en el agua vuelva estériles a las mujeres que la ingieren puede utilizarse por grupos extremistas para reducir a cero los nacimientos de un país y, así, eliminar a sus habitantes al cabo de unas decenas de años.
- El desarrollo de un virus informático que borre los archivos de una empresa es un acto criminal.
- Trabajar sobre los prisioneros de guerra para desarrollar nuevas técnicas quirúrgicas.
- Generar pánico en la bolsa de valores para tomar el control de las acciones de una empresa, son actos que atentan abiertamente contra las normas éticas de nuestra civilización.

de modo que pueda separarse en: elementos reciclables y no reciclables.

Si el ingeniero no cumple con las normas establecidas, se considera que ha incurrido en una conducta ética incorrecta.

Sin embargo, hay situaciones en que esta trasgresión no es tan clara. El ingeniero debe ser consciente de que hay normas legales de obligatorio cumplimiento; de los contrario, hay sanciones dispuestas en la ley. Pero sobre estas normas existen unas superiores que son las que define la moral. Hay casos en que aún cumpliendo las normas legales están infringiéndose aspectos de orden superior.

#### Ejemplo 25

Las normas de contaminación ambiental de un municipio establecen que las empresas no podrán arrojar más de 1 parte por millón de mercurio en el sistema del alcantarillado de la ciudad. Para forzar esta disposición legal el municipio cuenta con un laboratorio que periódicamente mide la concentración del metal arrojado por la fábrica.

Debido a problemas de instrumentación, el aparato no puede detectar correctamente concentraciones de esa magnitud, por lo que periódicamente y sin problema alguno se renueva el permiso de funcionamiento de la empresa.

Sin embargo, el ingeniero de producción de la planta efectúa sus propias medidas empleando aparatos con una precisión adecuada para detectar hasta décimas de parte por millón. Se da cuenta de que sus medidas arrojan concentraciones superiores a las permitidas, pero como el municipio, debido a las consideraciones anteriores, siempre los encuentra dentro de lo permitido, no pasa aviso y no efectúa ningún ajuste en los parámetros de producción, pues ello impli-

caría mayores costos de producción y pérdida de competitividad.

En este caso se cumplen las normas legales, aunque en el fondo se sabe que no es así. Desde el punto de vista legal, no hay nada que reprochar, pero sabiendo que en realidad está excediéndose el límite permitido, el ingeniero debería modificar el funcionamiento de los sistemas de producción para rebajar la concentración de mercurio arrojada al sistema de alcantarillado.

### Ejercicio 27

Los países desarrollados, consumidores por naturaleza de los productos del denominado Tercer Mundo, se han vuelto muy exigentes en relación con el respeto de los derechos humanos; incluso ha llegado a boicotear algunos productos naturales (por ejemplo, flores) cuando se sospecha que en su procesamiento existen violaciones a los derechos. Establezca una lista (cuanto más larga, mejor) de las restricciones que se podrían establecer en este sentido, para quienes ofrezcan bienes o servicios.

Intimamente ligado con el aspecto ético está el de la *propiedad intelectual*.

- Usar información obtenida por medios ilegales para el desarrollo de un producto no solamente va contra la ética sino que es una ofensa criminal.
- Utilizar información confidencial de una empresa para beneficio personal va contra las normas éticas: un ingeniero trabaja en una empresa en el desarrollo de un producto novedoso. En cierta parte del proceso de desarrollo decide abandonar la empresa para montar la suya con el objeto de producir

un dispositivo aprovechándose de lo que pudo conocer en la empresa.

- Utilizar software sin licencia para el desarrollo de software de aplicación es un acto que va en contra de las normas sobre propiedad intelectual.
- Usar una licencia en varios equipos va también en contra de las normas que sobre explotación del software existen.
- Usar desarrollos protegidos por patentes, sin pagar los derechos correspondientes, es no solamente un acto inapropiado sino que éste se encuentra penalizado por la ley.

Los beneficios generados por los derechos sobre patentes son hoy día uno de los mayores ingresos de los países desarrollados. La violación a estos derechos es tan grande, que casi todos los gobiernos de estos países presionan de todos los modos imaginables, el cumplimiento de los acuerdos pactados a nivel internacional. Aún así, hay países que muestran un total desprecio por estos acuerdos y fomentan la copia de desarrollos sin pagar nada a cambio.

### Ejercicio 28

Las empresas que ensamblan autos de marca extranjera usan ciertas partes producidas en el país. Indique los controles que usted impondría para evitar que se ofrezcan productos que no cumplan las normas internacionales en cuanto a propiedad intelectual.

Es imposible construir un artefacto que sea 100% seguro. A pesar de todos los cuidados que se tienen tanto en la fase de diseño como en la de producción y de las incontables pruebas a que son sometidos los prototipos, siempre existe el peligro de una falla, de un uso inadecuado,

entre otros, que conduce, muchas veces, a accidentes fatales.

- Un martillo es un dispositivo que correctamente utilizado no debe causar ningún tipo de accidente. Sin embargo, existen muchas formas no seguras de usar un martillo que conducen a los innumerables accidentes .
- Un destornillador es otro ejemplo de instrumento que no conduce a pensar que puede ser un arma mortal, al usarla para lo que fue diseñado. Sin embargo, los Seguros Sociales pueden relatar una historia muy diferente; cada año se generan múltiples accidentes debido a que muchos trabajadores usan el destornillador para destapar una lata de pintura o para hacer palanca.

Por tanto, el ingeniero debe contemplar en el diseño algún riesgo que está dispuesto a correr; esto se conoce como la *seguridad del diseño*<sup>8</sup>. Algunos prefieren llamarlo el factor de inseguridad. Por ejemplo, los ingenieros civiles calculan sus estructuras con un factor de seguridad para tener en cuenta aspectos que los modelos que usan para el cálculo de obras civiles no toman en cuenta. Determinados resultados son aumentados en un porcentaje para tener un colchón de seguridad, si los materiales empleados rebajan notablemente de sus características habituales.

Subir a una avión tiene ciertos riesgos; una turbina no está garantizada 100 por 100.

- La rotura de un conducto del combustible puede hacer que el motor deje de funcionar o se incendie por el calor. Para evitar esto, el diseño debe considerar circuitos redundantes de alimentación, para que en caso de falla de uno de ellos queden activos los demás.
- La aviación militar prefiere aviones interceptores de dos turbinas, sobre los de una; se considera que los esfuerzos y riesgos occasionados por el combate aéreo pueden poner fuera de combate una turbina muy fácilmente. La otra es la encargada de llevar al aviador sano a su base.

Muchos accidentes aéreos se originan por la ausencia de mínimas precauciones en cuanto a seguridad en el diseño de los aviones o sus partes; por ejemplo: en un determinado modelo de avión todos los conductos hidráulicos que alimentaban el sistema de movimiento de los ailerones pasaban por un mismo sitio del aeronave. En una ocasión, una explosión que ocurrió precisamente en ese sitio cortó el suministro de presión hidráulica al sistema de control de los ailerones; los pasajeros se salvaron gracias a la existencia de controles manuales que permitieron maniobrar la aeronave.

No hay duda de que aumentar la seguridad de un dispositivo cuesta dinero y disminuye la rentabilidad. Debido a esto, muchas empresas elaboran productos que no cumplen las normas de seguridad. Los ingenieros tienen como responsabilidad diseñar los productos de modo que su uso sea lo más seguro posible. Deben prevenir en forma clara todas las posibles situaciones en que se pueda incurrir en alto riesgo al usar el producto; por ejemplo: una escalera de tijera (véase figura 7.22) vendida en EE.UU. lleva tantos mensajes en fondo amarillo con letras en negro que de leerlos uno no se montaría en ella. Sin embargo, es una forma de protegerse de los efectos legales que un accidente atribuible al uso de esta escalera pudiera ocasionar.



Figura 7.22. Subirse a una escalera puede ser peligroso para su salud.

### Ejercicio 29

Respecto a esta escalera, indique los letreros que usted obligaría a colocar y en qué lugares.

### Ejercicio 30

Siendo como es la pistola algo peligroso, ¿por qué no se colocan avisos en diversos sitios de la misma para prevenir sobre los peligros que su uso conlleva?

### Ejercicio 31

¿Es lo mismo peligroso que inseguro? En el caso de la pistola, indique cómo hace usted para reducir su inseguridad a niveles aceptables.

## 7.9. Otras consideraciones

Hoy día es muy importante tener en cuenta la *facilidad de manejo* o *amigabilidad* de un determinado producto. La facilidad de uso es un factor importante; por ello que en el diseño hay que tener en cuenta este aspecto; por ejemplo:

- El diseño de un mueble debe tener en cuenta las recomendaciones que da la ergonomía.
- Un asiento para un profesional de la computación (véase figura 7.23) que pasa muchas horas sentado frente a un computador debe tener en cuenta la fatiga generada en la parte lumbar del organismo.
- La altura y la inclinación de una pantalla de computador son aspectos muy importantes para que el programador no se fatigue tempranamente.
- Un programa de computador debe ofrecer facilidades de manejo, para que los usuarios finales no tengan que volverse expertos programadores para manejar el programa.

Muchos productos pueden trabajar de forma similar, aun cuando su costo y calidad sean dispares. La diferencia puede verse en el momen-

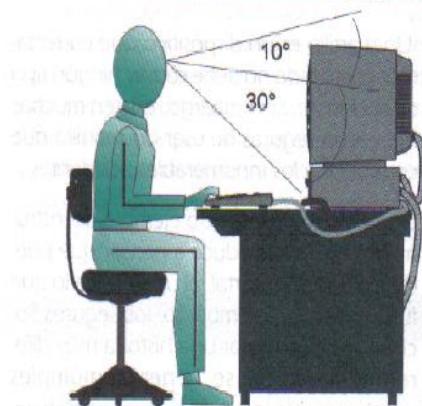


Figura 7.23. La ergonomía, factor importante en el diseño de nuevos productos.

to de repararlos. Para cambiar una escobilla del motor de arranque, en algunos carros hay que bajar el motor, mientras que otros tienen todos los componentes al alcance de la mano. La *facilidad de mantenimiento* es otro de los aspectos que debe tener en cuenta el diseñador. Muchas veces el diseño inicial, una obra de arte científica, debe rehacerse completamente porque en la etapa de producción no se pudo llegar a una disposición adecuada de los componentes para su fácil mantenimiento. Se han dado casos en que por no tener fácil acceso a determinadas partes, que deben mantenerse periódicamente en razón de su desgaste, se han producido accidentes:

- Tal es el caso de un helicóptero del ejército de los Estados Unidos que se vino a tierra. El examen posterior de sus piezas mostró que el accidente se debió a la voladura de unos contrapesos colocados en un compartimento hermético en la punta de las aspas: por la dificultad de su acceso no se habían examinado en el momento de hacer el overhau al aparato y se ocasionó el accidente.
- Para un ingeniero de sistemas no es lo mismo diseñar una aplicación usando herramientas de 4 GL que un lenguaje y técnicas

de tercera generación. En este último caso, aunque los costos de producción son menores, el mantenimiento es mucho más complejo y costoso. Existe una proporción que indica que por cada dólar gastado en el desarrollo de una aplicación se gastan cuatro en su mantenimiento; esa es la razón por la cual casi todos los desarrollos actuales en software se hacen con costosas herramientas de 4 GL que logran ahorros mucho mayores en el mantenimiento.

Por ello, el ejercicio de diseño debe hacerse hasta el paso de producción para que el estudiante de ingeniería se dé cuenta del impacto que la construcción puede tener en el diseño mismo.

Para finalizar esta parte, hay que mencionar otra serie de consideraciones del proceso de diseño. La tecnología actual está en capacidad de producir un vehículo que dure 50 ó más años. Sin embargo, por diversas razones no es conveniente producirlo. El costo sería una de las razones para no llevar a cabo esa producción. También hay que pensar que al cabo de unos cuantos años el carro está obsoleto en comparación con las nuevas tecnologías de ese momento.

## 7.10. Ponderación de los diversos criterios

La lista dada no es exhaustiva ni mucho menos; se consideraron los aspectos más relevantes que aparecen en la mayoría de los diseños, pero para cada área de la ingeniería habrá que hacer la lista específica. Estos factores pueden tener un efecto limitante en las consideraciones de diseño; por ejemplo :

- El peso de un carro no puede exceder los 1 500 kg.
- El costo de una nevera no puede rebasar los 500 000 pesos.
- La carga de una batería debe durar por lo menos 10 horas.

Toda solución que no cumpla una de las condiciones impuestas como restricciones debe ser desecharla. Pero, adicionalmente, el ingeniero tiene que optimizar la solución de acuerdo

Adicionalmente, las nuevas regulaciones de seguridad, control de contaminación, y demás hacen que todos los vehículos fabricados con ese criterio sean un problema para el tránsito. Sin embargo, en el momento del diseño hay que especificar la vida útil del carro o, por lo menos, de algunas de sus partes. Hoy es costumbre hablar de garantía total, lo cual implica que durante un cierto número de años el fabricante asume todos los costos de reparación que sean necesarios para mantener el carro en perfecto funcionamiento. Esta *garantía* puede expresarse en términos de años o de kilómetros recorridos. Pero para llegar a estas cifras garantizadas el fabricante debe haber realizado serios estudios, pruebas en el laboratorio, análisis de partes después de cierto recorrido, etcétera, con el fin de estar seguro de que en una alta proporción los vehículos garantizados no requerirán mayores arreglos durante el período de la garantía.

Aspectos físicos como: tamaño, peso, resistencia a la corrosión, etcétera, deben considerarse en el diseño, pues algunos de estos factores afectarán la escogencia de la solución.

con los parámetros estudiados. Optimizar quiere decir encontrar la solución que vuelve máxima o mínima una función que relaciona los criterios establecidos; por ejemplo:

$$\text{Solución}^i = \sum \text{factor}_i * \text{criterio}_i$$

En donde:

$i$  : es una de las soluciones.

factor  $i$  : es el peso que se ha dado a un criterio.

criterio  $i$  : es uno de los criterios.

La solución de mayor valor será la óptima y la seleccionada como el mejor diseño. La forma de llegar a este valor no es trivial y la estudia toda un área de la matemática denominada teoría de la optimización. Sin embargo, existen maneras de llegar a resultados casi equivalentes usando técnicas menos complejas.

**Ejemplo 26**

Se debe diseñar un mueble de características novedosas para colocar el computador, teniendo en cuenta los criterios y el peso relativo de cada uno de ellos que se relacionan en él (véase cuadro 7.7).

En este ejemplo se da prioridad al costo del mueble, mientras que la comodidad y la apariencia ocupan un segundo y tercer lugar, respectivamente.

**Ejercicio 32**

Tomando el ejemplo 26, calcule cuál es la solución óptima suponiendo que la apreciación de un grupo de personas que han analizado cuat-

**Cuadro 7.7. Ponderación de los criterios para****seleccionar la mejor solución**

Suponiendo que el costo es el factor más importante

Criterio	Valor relativo (%)
Costo	50%
Comodidad	30%
Acabados	20%

**Cuadro 7.8. Asignación de notas a cada uno de los diseños para cada uno de los criterios de selección**

Mueble	Costo	Comodidad	Acabados
1	8/10	7/10	5/10
2	9/10	8/10	4/10
3	8/10	9/10	4/10
4	7/10	9/10	8/10

El término *mejor*, que tanto se emplea en ingeniería para referirse a la mejor solución es, entonces, de carácter subjetivo. Depende de los criterios que se hayan definido para la solución. Si solamente se considera el costo como criterio de diseño, la mejor solución es la más barata. Si se considera la duración de la vida de una pila de Ni Cd como el único factor para su diseño, la que dure más es la escogida sin importar otros factores como el precio o el tamaño. Pero si se considera que la mejor pila es la que logre el mejor compromiso entre peso, duración y costo debe establecerse la importancia relativa de cada uno de esos factores en el diseño. Es indispensable que el diseñador determine a priori, mediante un factor de ponderación, cuál de los factores, según él, importa más y expresarlo de una forma cuantitativa. Estos factores se acostumbra expresarlos en términos porcentuales,

cuya suma completa el 100%. Por ejemplo, en el caso anterior una selección de factores de ponderación o pesos puede ser:

- Peso de la pila = 35%.
- Duración de la carga = 25%.
- Costo de la pila = 40%.

La pregunta clave es: ¿cómo se escogen estos valores? Evidentemente, no es capricho del diseñador, aunque si está influenciado por la experiencia que sobre diseño posea el equipo de diseño. De todas maneras reflejan la importancia relativa que sobre la solución tiene cada uno de los factores considerados. En el caso presentado, el costo es casi dos veces más importante que la duración de la carga de la pila; y casi tan importante como el peso de la misma. En ocasiones, algunos de estos factores representan una ventaja competitiva; por ejemplo, en

en el mercado existe una pila que tiene una carga útil de dos horas. Un estudio de mercadeo señala que el público está deseoso que la duración sea, al menos dos veces más, aunque tengan que pagar más por la pila. Es apenas obvio que en el diseño de una nueva pila se tendrá como factor principal del diseño la duración, el menor costo es de importancia relativa.

### 7.11. Comparación de cada criterio

La escogencia de los criterios de selección, así como su importancia relativa, es una de las etapas cruciales en el proceso de diseño en ingeniería. Para hallar de una manera científica la ponderación (el peso, la importancia) de cada uno de los criterios de selección se sugiere el método de la comparación por pares. En este método, todos los criterios identificados se evalúan entre sí : todos contra todos, uno a la vez. Al finalizar la comparación los criterios quedarán en el orden de mayor a menor importancia.

Por ejemplo, considérese la compra de un sistema de computación para una empresa. Se han identificado los siguientes criterios de selección relacionados con el factor de costos:

1. Costo inicial.
2. Costos de operación.
3. Durabilidad.
4. Seguridad.
5. Valor comercial.

Con base en el método de comparación por pares, se obtiene el cuadro 7.9.

Cuadro 7.9. Comparación por pares entre criterios

Criterios	¿Cuál es el más importante?	Decisión
Costo inicial	1. Costo inicial versus 2. Costos de operación 3. Durabilidad 4. Seguridad 5. Valor comercial	Costos de operación (2) Durabilidad (3) Seguridad (4) Costo inicial (1)
Costos de operación	2. Costos de operación versus 3. Durabilidad 4. Seguridad 5. Valor comercial	Costos de operación (2) Seguridad (4) Costos de operación (2)
Durabilidad	3. Durabilidad versus 4. Seguridad 5. Valor comercial	Seguridad (4) Durabilidad (3)
Seguridad	4. Seguridad versus 5. Valor comercial	Seguridad (4)

Fácilmente se reconoce que en este método se compara cada criterio con los demás; de la comparación surge un ganador, cuyo nombre se coloca en la última columna. Al final se cuenta el número de veces que cada criterio ganó. Se suman las victorias de todos y se establece una proporción entre las veces que cada criterio ganó y el número total de comparaciones. De ahí se calcula el peso en términos de porcentaje de cada criterio. En la Tabla IX se observan estos pesos.

**Cuadro 7.10. Frecuencia de cada criterio de selección**

Costo inicial	1 vez
Costos de operación	3 veces
Durabilidad	2 veces
Seguridad	4 veces
Valor comercial	0 veces
Total de comparaciones	10 veces

De donde se desprende que la importancia relativa de los criterios de selección, para el factor costo, sería la que se relacionan en el cuadro 7.11.

**Cuadro 7.11. Importancia relativa de cada criterio de selección**

Seguridad (4)	4/10	40%	0,40
Costos de operación (3)	3/10	30%	0,30
Durabilidad (2)	2/10	20%	0,20
Costo inicial (1)	1/10	10%	0,10
Valor comercial (0)	0/10	0%	0,00

Sin embargo, uno de los criterios salió calificado con 0,00 pesos. A pesar de que se consideró importante, el resultado de las comparaciones arroja un valor nulo a este criterio. Para corregir este defecto del método, se sugiere que en las comparaciones no se asigne simplemente un vencedor y un perdedor, sino que se le asignen puntos a cada uno. Es decir, que haya un resultado como si fuera un partido de fútbol.

Teniendo en cuenta lo anterior, el cuadro de comparaciones queda como sigue (véase cuadro 7.12):

**Cuadro 7.12. Método de comparación entre pares modificados**

Criterios	¿Cuál es el más importante?	Decisión
Costo inicial	1. Costo inicial 3 versus 2. Costos de operación 7	Costos de operación (2)
	1. Costo inicial versus 2. Durabilidad 8	Durabilidad (3)
	1. Costo inicial 4 versus 2. Seguridad 6	Seguridad (4)
	1. Costo inicial 7 versus 5. Valor comercial 3	Costo inicial (1)
Costos de operación	1. Costos de operación 6 versus 2. Durabilidad 4	Costos de operación (2)
	1. Costos de operación 4 versus 2. Seguridad 6	Seguridad (4)
	1. Costos de operación versus 2. Valor comercial 3	Costos de operación (2)

Criterios	¿Cuál es el más importante?	Decisión
Durabilidad	1. Durabilidad 4 versus 2. Seguridad 6	Seguridad (4)
	1. Durabilidad 7 versus 2. Valor comercial 3	Durabilidad (3)
Seguridad	1. Seguridad 7 versus 2. Valor comercial 3	Seguridad (4)

Al sumar los puntos obtenidos por cada criterio se obtienen los totales que aparecen en el cuadro 7.13.

**Cuadro 7.13. Ponderación de los diferentes criterios de selección**

Costos de operación	24	25,8%
Seguridad	25	26,9%
Durabilidad	16	17,2%
Costo inicial	16	17,2%
Costo comercial	12	12,9%
Total	93	100,0%

De estos resultados se desprende que la modificación introducida al método arroja una reorganización de los pesos de los criterios. Más aún: el valor comercial sí tiene peso, como era de esperar.

Esta manera de asignarles los pesos a los criterios depende de la subjetividad de los evaluadores; pero si se escogen varias personas que emitan su opinión de una forma independiente, es posible llegar a pesos que realmente reflejen la importancia de los mismos en el diseño.

### Ejercicio 33

La ciudad necesita con urgencia un nuevo sistema de semaforización; el actual está en un estado deplorable. Especifique los criterios requeridos

para seleccionar la mejor propuesta que se haga. Mediante el método de la comparación por pares, asigne a cada criterio el peso respectivo.

### 7.12. Ejercicios y problemas

1. ¿Cuáles pueden ser algunos criterios importantes en la optimización de un sistema subterráneo de distribución de gas doméstico?
2. Se va a diseñar un vehículo para el transporte masivo de pasajeros. Se piden cuatro criterios para seleccionar la mejor propuesta; hay que indicar su peso relativo. Indique
3. Usted es el jefe de la Oficina de Licitaciones del Ministerio de Desarrollo Urbano. Se ha obtenido un préstamo del BID para la construcción de 100 000 viviendas de carácter social. Aparte de las especificaciones técni-

## Criterios y restricciones

cas de las viviendas. ¿Qué restricciones importantes deben incluirse en el pliego de condiciones que será entregado a los proponentes que deseen participar en la licitación?

4. Como vicepresidente técnico de una gran empresa multinacional ha sido encargado para definir las especificaciones técnicas que deberá cumplir una fábrica de detergentes que sirve a la región Andina. Indique una restricción que debe imponérsele a la planta.
5. La industria de la construcción de juguetes para niños menores de cinco años es una de las de mayor desarrollo en muchos países. Pero hay que tener mucho cuidado con esos juguetes. Enumere al menos tres restricciones que usted impone como de obligatorio cumplimiento en el diseño de cualquiera de estos juguetes.
6. El Instituto de los Seguros Sociales debe gastar enormes cantidades de dinero anualmente en el tratamiento de accidentes ocasionados en los sitios de trabajo; así mismo, las empresas pierden miles de horas de trabajo por estos accidentes. En la industria de las artes gráficas es muy frecuente observar cercenamiento de miembros superiores total o parcialmente, debido a descuidos en la operación de algunas máquinas, especialmente las guillotinas. ¿Qué especificación incluye usted en el diseño de una de estas máquinas para evitar que un operario descuidadamente se corte una mano o parte de ella?
7. Últimamente está generándose un rechazo hacia la producción y venta de armas de fuego a los particulares. Hay personas que justifican la posesión de tales armas, indicando que es un legítimo derecho de defensa. Sin embargo, los opositores señalan los múltiples accidentes mortales, especialmente en niños, ocasionados por la pose-
8. Los semáforos siguen siendo los dispositivos usados universalmente para controlar el flujo vehicular en las intersecciones de las ciudades. Si su ciudad decide cambiar los actuales semáforos por otros más modernos, ¿cuáles cree usted que son las especificaciones que deberían exigirse a los proponentes de los nuevos semáforos?
9. Si usted tiene que comparar los diferentes motores de búsqueda que se ofrecen en internet, ¿qué parámetros usa para escoger el mejor?
10. Imagine que le han encargado el diseño de un empaque para leche de larga vida. ¿Qué criterios usa en el diseño del mismo?
11. ¿Qué criterios usaría para diseñar un sistema de identificación para los automóviles que reemplace las actuales placas y que pueda ser usado a nivel mundial?
12. Una importante empresa del sector industrial decide reducir algunos de sus departamentos a su mínima expresión y contratar por medio del *outsourcing* los trabajos que en ellos se desarrollan. Existen muchas compañías externas que pueden llevar a cabo los trabajos que la empresa requiere. ¿En qué aspectos se fija la empresa contratante para seleccionar la compañía con la que va a contratar el *outsourcing*?

Todo ingeniero recién graduado tiene sus expectativas y deseos a la hora de seleccionar la empresa de ingeniería con la que desearía trabajar. Haga una lista de las características que usted buscaría en la empresa para trabajar e indique la importancia relativa que le da a cada una de ellas.

## Taller corto 11

### Identificación de las restricciones en un proyecto

#### Justificación

Los recursos que maneja un proyecto no son infinitos; tienen limitaciones, restricciones. Estas son de diverso tipo: *tiempo* (hay que entregar antes de ...), *dinero* (se dispone solamente de \$...), *peso* (no puede pesar más de ...), *contaminación* (no puede emitir más de ... ppm de CO<sub>2</sub>), etcétera. Estos límites deben cumplirse necesariamente; el incumplimiento de uno solo de ellos invalida el proyecto.

#### Objetivo

- Identificar restricciones típicas encontradas en los Proyectos de Ingeniería.

#### Descripción

Se dan algunos ejemplos de proyectos de ingeniería y deben identificarse las restricciones normalmente asociadas con los mismos.

1. Ha sido encargado de diseñar una batería para el automóvil eléctrico de una importante empresa automotriz. ¿Qué restricciones considera usted que deben ser impuestas en el diseño de la batería?
2. La firma Computadores 2000 está diseñando un computador portátil que incorpora las últimas tecnologías. Piensa introducirlo como el Executive LapTop. ¿Cuáles cree usted que deben ser las características lí-

míticas que no deben sobrepasarse en su diseño?

3. La empresa líder en maletas Saxomite está diseñando una maleta para las futuras naves que efectuarán viajes comerciales entre la Tierra y Marte. Indique dos restricciones que deben imponerse en su diseño.
4. La firma YVEME, una de las más reconocidas firmas de auditoría internacionales, está preocupada por los posibles efectos que pueda tener el problema del virus Año 2000 en sus bases de datos y programas. Ha encargado a una de las más prestigiosas firmas de desarrollo de software una aplicación que le garantice que cuando los relojes de los computadores pasen a la hora 00:00:00 del 1 de enero de 2000 no se presenten efectos derivados del virus mencionado. Indique una restricción que debe cumplirse necesariamente.
5. Un grupo de recién egresados de la Facultad de Ingeniería Electrónica desea meterse en el competitísimo mercado de los reguladores de voltaje. De acuerdo con su experiencia, creen que pueden tener éxito introduciendo un modelo que compita ventajosamente con los ya existentes. ¿Cuál cree usted que es la especificación o restricción más importante que deben tener en cuenta en el diseño del aparato?

## Taller corto 12

### Criterios de selección de un proyecto de ingeniería

#### Justificación

Planteado un problema en ingeniería, el ingeniero debe buscar la mejor solución del aban-

nico de posibles soluciones. Esto solamente es posible si se han definido criterios de compara-

ción para efectuar la selección de la mejor solución. Por lo general estos criterios de selección vienen asociados con expresiones como las que siguen: a menor consumo de energía, mayor será la puntuación; la velocidad de la CPU será tomada en cuenta al seleccionar el equipo que se comprará; se preferirán las soluciones que contaminen en menor grado el ambiente; etcétera. Algunas veces las restricciones son tomadas también como criterios de selección: el tiempo de entrega no podrá pasar de 18 meses; las propuestas que entreguen antes la obra, obtendrán mejor valoración.

### Objetivos

- Identificar los criterios más comunes usados en los proyectos de ingeniería.
- Asociar a los criterios rangos de valores normalmente usados.

### Descripción

Se presentan una serie de ejemplos de proyectos y es necesario identificar en los mismos los criterios y valores que permitirán comparar distintas soluciones para escoger la mejor.

1. El Ministerio de Industria ha abierto una licitación para el suministro de 1 millón de cocinillas de dos bocas para uso en las casas de los campesinos; se busca eliminar la leña como combustible doméstico y así de tener la deforestación causada por la tala sistemática de árboles para producir leña y carbón vegetal. Indique qué criterios de selección deben establecerse con el objeto de

poder comparar las diferentes propuestas que se presenten.

2. La universidad ha decidido otorgar la explotación de su centro de copiado a la empresa que mejores condiciones ofrezca. ¿Cuáles cree usted que deben ser los parámetros utilizados para medir y comparar las diferentes propuestas que seguramente se presentarán?
3. El precio de los equipos de computación ha descendido tanto que hoy día el precio ya no es el parámetro único que se usa para escoger el computador a comprar. Si una empresa decide adquirir 1 000 equipos de computación para sus oficinas, ¿qué criterios debe usar para seleccionar la mejor oferta entre las que va a recibir?
4. La telefonía celular está imponiéndose; cada día se observa cómo las diferentes empresas lanzan tentadoras ofertas procurando captar a los incautos, que deslumbrados con los ambiguos ofrecimientos, se meten en planes que posteriormente no resultan ser lo que ellos hablan esperado. Usted como buen conocedor del tema debe tener ya seleccionados algunos parámetros que permiten seleccionar la mejor oferta y no la equivocada. Por favor, haga una lista con esos parámetros.
5. Los derechos humanos han llegado incluso al salón de clase y los alumnos reclaman asientos ergonómicos. Si usted tiene que diseñar una silla universitaria como equipo estándar en todos los salones de clase, ¿qué criterios usaría en su diseño?

## Taller corto 13

### Ponderación de los criterios de selección

#### Justificación

La identificación de los criterios de selección permite la comparación de las diferentes soluciones que puede tener un problema de ingeniería; para escoger la mejor entre todas es necesario

dar un paso más: asignar la importancia relativa que cada uno de ellos tiene en la decisión final. Por ejemplo, en la selección del combustible que deberá impulsar los miles de automóviles de una

gran empresa de transporte urbano, en una metrópolis se tienen en cuenta criterios tales como el precio, poder calorífico, manejo seguro, efecto contaminante. Posiblemente, la importancia que se le asigne al efecto contaminante sea del mismo orden que se le dé al precio: sin salud el dinero no tiene sentido.

### Objetivos

- Apreciar la importancia relativa que diferentes criterios tienen en la selección de la mejor solución a un problema dado.
- Usar la técnica de comparación por pares para asignar los pesos a los criterios de selección.

### Descripción

Dada la descripción de un problema en ingeniería, se pide identificar los criterios de selección y que se asigne a cada uno el peso correspondiente usando la técnica de comparación por pares.

1. Antiguamente, existía sólo una empresa que suministraba servicios de telefonía en el país. La globalización de la economía ha hecho que este lucrativo segmento de la actividad comercial se invada por diversos oferentes que compiten por un pedazo de la jugosa torta. Un estudio de preferencias de los usuarios ha detectado las siguientes características (en desorden) que hacen más atractiva una empresa que otra:

- Tarifas.
- Cobertura.
- Rapidez de acceso.
- Calidad de la comunicación.
- Amabilidad en la atención.
- Confiabilidad en el servicio.
- Servicios adicionales.
- Acceso a internet.

Usando su sentido común y sus conocimientos, asigne la ponderación respectiva a cada una de estas características.

2. Todo ingeniero recién graduado tiene sus expectativas y sus deseos a la hora de seleccionar la empresa de ingeniería con la que desea trabajar. Haga una lista de las características que usted busca en la empresa que supuestamente le ofrece trabajo e indique la importancia relativa que le da a cada una de ellas.
3. Cuatro empresas internacionales se han ofrecido para realizar el corte de la caña de azúcar. Cada una espera llevarse el jugoso contrato (cientos de millones) y por ello se han efectuado atractivas ofertas a los distintos ingenieros azucareros. Haga una lista ponderada de los criterios de selección que usted utilizará para escoger la mejor oferta. Por favor, no olvide considerar el aspecto de impacto ambiental y social de cada una de las ofertas.

## Taller largo 7 [En grupo]

### Consumo y costo de la energía eléctrica

#### Objetivos generales

- Lograr un conocimiento adecuado de aspectos cuantitativos relacionados con el consumo de energía.
- Conceptualizar de una manera práctica aspectos básicos.

#### Objetivos específicos

- \* Efectuar conversiones entre unidades de energía y potencia.
- \* Crear un modelo de consumo de energía mediante la hoja de cálculo electrónico.
- \* Valorar el consumo de energía en una casa.

### Trabajo que debe desarrollar

Con los datos que se dan a continuación, calculen los consumos individuales por artefacto y acumulen los valores hallados. Utilicen la escala diferencial de costos y calculen el valor del recibo mensual.

Identifiquen cuál artefacto es el que incide con mayor valor en la factura. Den algunas sugerencias de cómo bajar ese valor.

En un hogar se dispone de lo siguiente:

- Un calentador de 70 L que se enciende desde las 5 a.m. hasta las 9 a.m. El termostato se ha colocado a 65°C y la temperatura promedio del agua que entra desde la calle es de 16°C. Se duchan siete personas cada una de las cuales consume cinco galones de agua.
- Una nevera de 18 pies cúbicos, que tiene un motor de 1/2 hp, funciona continuamente. Mediciones efectuadas revelan que el motor se activa cada 15 minutos, permanece en este estado 5 minutos y luego se apaga. Todo esto en promedio.
- Una lavadora que funciona dos veces al día, cinco días a la semana, tiene un motor de 1/2 hp que opera, en promedio, 1 hora por cada lavada. La lavadora usa agua fría.
- La plancha se usa dos veces a la semana y la planchadora tarda tres horas en planchar la ropa, cada vez. La plancha en promedio consume 1000 w.

- El horno eléctrico se usa rara vez; una vez a la semana. Es de los antiguos y consume 3 000 w. Permanece prendido 2 horas mientras sale el roast beef.
- La bombilla de la calle es de 60 w y permanece encendida desde las 6 p.m. hasta las 6 a.m.
- Las bombillas de las habitaciones se encienden desde las 6 p.m. hasta las 10 p.m.; en promedio hay 5 bombillas encendidas y cada una de ellas es de 100 w.
- El Tv de la habitación de los muchachos permanece prendido desde las 6 p.m. hasta las 11 p.m. Consume 140 w.

Las tarifas de la energía eléctrica son las siguientes:

- Los primeros 100 kwh se pagan a 400 pesos por kwh.
  - Los 200 siguientes se pagan a 500 pesos por kwh.
  - De ahí en adelante se pagan a 600 pesos kwh.
1. Calculen el monto del recibo mensual de esta familia.
  2. ¿Cuál de todos los elementos mencionados arriba es el villano de la casa?
  3. ¿Qué recomiendan para rebajar los costos del recibo?

## Referencias bibliográficas

1. MICROSOFT PROJECT, *Manual del usuario*, Microsoft Press, 1998.
2. LIENHARD, John H., *The Engines of Our Ingenuity: An Engineer Looks at Technology and Culture*, Oxford Press, Jun 2000.
3. Antweiler, Werner, *Tasas de cambio entre monedas*, <http://pacific.commerce.ubc.ca/xr/>, Univ. Of British Columbia, Canada, Jun 2000.
4. GIANCOLI, Douglas C., *Física*, Tercera edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
5. VOLVO, *Cars and Their Environmental Impact*, <http://www.environment.volvo-cars.com/index.html>, 1999.
6. XV Encuentro Nacional de ACOFI, *La proyección social del ingeniero*, Documento de ACOFI, Bogotá, 1996.
7. MASTERS, G.M, *Introduction To Environmental Engineering and Science*: Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1991.
8. LOVAS, Charles M., *Integrating Design into de Engineering Curriculum, Workshop*, Southern Methodist University, Dallas, Tx, 1994.

## Direcciones de internet recomendadas

1. Lienhard, John H., *The Engines of Our Ingenuity*, <http://www.uh.edu/engines/engines.htm>, 1999.

Esta dirección incluye más de mil episodios que tratan de una forma muy agradable todos los aspectos de la ingeniería. El autor ha publicado un libro<sup>2</sup> con todos estos episodios. Éstos todavía permanecen publicados en la red y con un excelente buscador local se puede acceder a los episodios relacionados con el dinero (money) y con la energía (power, energy).

2. Volvo, *Cars and Their Environmental Impact*, <http://www.environment.volvo-cars.com/index.html>, 1999.

En esta dirección la empresa Volvo publica un texto educativo sobre el impacto que ejer-

cen los automóviles en el ambiente. A lo largo de varios capítulos se tratan temas relacionados con la energía, contaminación por gases, contaminación por desechos, reciclamiento, etcétera. Es una excelente referencia para quienes quieren ir más allá en es te tema.

3. Davies, Glyn, *History of Money from Ancient Times to the Present Day*, <http://www.ex.ac.uk/~RDavies/arian/llyfr.html>, Jun 2000.

En esta dirección encontrará una excelente introducción a la historia del dinero, acompañada de numerosas referencias en la red para ampliar la información sobre temas más específicos.

# 8

## Definición del problema

*"La mera formulación de un problema es mucho más esencial que su solución, que puede ser un asunto de simple habilidad matemática o experimental. Poner sobre el tapete nuevas preguntas, nuevas posibilidades, cuestiones de principio, es lo que hoy día se considera la verdadera actividad científica".*

En el mundo actual, cada vez más complejo y cambiante, la capacidad de innovar y de pensar de forma creativa es fundamental para enfrentarse a los desafíos que nos rodean. La ingeniería es una disciplina que demanda precisamente este tipo de habilidades, ya que consiste en la aplicación de principios y teorías para resolver problemas prácticos y realistas.

El desarrollo de la ingeniería creativa es un tema que ha sido ampliamente estudiado en la literatura. Un libro clásico en este campo es *"El arte del pensamiento creativo"*, escrito por Robert Olson (1986).

### Objetivo general

- Definir correctamente un problema de ingeniería.

### Objetivos específicos

- \* Identificar los síntomas de un problema.
- \* Identificar las causas más importantes de un problema.
- \* Usar el método científico en situaciones relacionadas con la ingeniería.

# U

### 8.1. Introducción

n problema es todo aquello cuya solución se desconoce; ese desconocimiento puede ser para un grupo de personas o para la humanidad. Por ejemplo, el procedimiento para colocar un hombre en la Luna ya no es problema para los Estados Unidos, pero sí para el resto del mundo. La curación del sida o del cáncer son problemas de la humanidad; nadie ha resuelto esos problemas aún. La contaminación del medio ambiente sigue siendo un problema para la humanidad, aunque se hayan planteado soluciones parciales al mismo.

Hay problemas de diversa índole: matemáticos, físicos, sociales, abiertos, cerrados, imposibles de resolver, con soluciones variadas, entre otros. Se podría establecer una clasificación de los distintos tipos de problemas, lo cual no es el objeto de este capítulo. En realidad, los problemas que interesan son, en primer lugar, problemas que de alguna manera tienen que ver con la ingeniería; en segundo lugar, que sirvan para los objetivos que impulsan este libro: desarrollar las habilidades esenciales de los futuros ingenieros.

Para encontrar la solución a un problema es necesario emplear los niveles más altos de la taxonomía del conocimiento, desde el nivel de análisis hasta el de evaluación. No se consideran problemas aquellos casos en los que solamente es necesario aplicar una fórmula y se conocen todos los datos.

Por ejemplo, no es un problema hallar el espacio recorrido por un móvil que se desplaza a una velocidad promedio de 100 km/h durante 3 horas. Pero si puede considerarse problema salir de un laberinto, lograr reducir en 30% el nivel de accidentalidad en una ciudad, construir una casa por la mitad del costo actual y en la cuarta parte del tiempo que se emplea en la mayor parte de los casos, lograr bajar el tiempo de respuesta de un computador en 50%, reducir los desperdicios de material en una empresa industrial en un 60%, etcétera.

En todos esos casos existe una situación actual que se desea mejorar, pero se desconoce la manera de lograrlo; ésta podría ser una definición práctica de lo que es un problema.

También se habla de situaciones problemáticas: aquellas que encierran un problema. Que se quemen continuamente los fusibles de un equipo de computación, o que dos veces al día, por lo menos, se caiga su sistema operativo, o que nunca contesten en el teléfono de información, etcétera. refleja situaciones problemáticas. La diferencia con el problema es que en ésta todavía no se conoce cuál es el problema que la origina; solamente se perciben indicios o síntomas de que existe un problema. Hay que encontrarlo, pues si no se puede identificar no se podrá resolver.

Adicionalmente, en ingeniería (y en otras áreas del quehacer humano) se presentan situaciones u oportunidades que guardan alguna relación con los problemas: la globalización de la economía ha cambiado muchas reglas de juego en el comercio mundial, en la ingeniería de proyectos, etcétera, y hay situaciones nuevas que pueden conducir a resultados inesperados. Es necesario plantear los posibles escenarios, analizarlos y desarrollar soluciones a los problemas que puedan detectarse. Con base en lo anterior, podrían establecerse las clasificaciones que muestra el cuadro 8.1.

Cuadro 8.1. Diferentes tipos de problemas.

Situación problemática	⇒ Hay que definir el problema subyacente.
Oportunidad o nueva situación	⇒ Hay que definir los problemas que se plantean.
Problema	⇒ Hay que hallar la solución.

Según se ve en el cuadro 8.1, todas las situaciones planteadas conducen a la solución de un problema. En las dos primeras entradas del cuadro es necesario, inicialmente, reducir cada caso al nivel de problema, para después resolverlo. En la última entrada ya está planteado el problema cuya solución hay que encontrar.

Para resolver un problema es primordial definirlo previamente, con el objeto de que la solución corresponda exactamente al que se planteó y no a uno diferente. Aunque esto puede sonar algo peregrino, no hay que perder de vista que a veces las circunstancias que rodean una situación problemática pueden conducir al planteamiento de un problema que no corresponde al verdadero. Tomemos el caso de un automóvil que pierde potencia; el problema puede radicar en múltiples partes del mismo: carburador obstruido, bujías en mal estado, chispa adelantada, correa de distribución gastada, entre otras. Se pueden cambiar las bujías y lograr una mejora instantánea, pero al cabo de unos días la situación empeora. En muchas situaciones, hay notables diferencias entre el problema percibido y el real.

De lo anterior se deduce la importancia que tiene la definición correcta del problema que debe resolverse. Definir implica determinar claramente los límites de la solución; indicar precisamente lo que se espera de la solución, las limitaciones que se impondrán y los indicadores visibles que darán fe que ésta se ha logrado. Por ejemplo, si los usuarios de un edificio de oficinas se quejan continuamente de la lentitud de los ascensores la solución al problema no es, obligatoriamente, colocar más ascensores (quizás sí), sino reducir el nivel de quejas. ¿Quién garantiza que colocando más ascensores las quejas disminuirán?

La solución que se escogió al problema planteado en el ejemplo anterior, consistió en aumentar el número de ascensores; cuando el administrador del edificio llamó a los arquitectos e ingenieros pidiéndoles una solución, todos al unísono contestaron: aumente el número de ascensores. Hay que recordar que *cuando todos piensan igual, nadie piensa*. Las quejas siguieron. Afortunadamente, alguien muy creativo, quien no pensaba igual a los demás, se dio cuenta de que el problema era otro. Sugirió colocar espejos en todos los pisos del edificio y así se redujo sustancialmente el nivel de quejas de los usuarios de las oficinas. ¿Sospecha usted en qué gastaban el tiempo mientras llegaba el ascensor? El problema que se percibía inicialmente era aumentar la velocidad de los ascensores; el problema real que

## Definición del problema

se descubrió más tarde era cómo emplear el tiempo libre de los usuarios mientras llegaba el ascensor. Los costos de las soluciones son astronómicamente diferentes: 10 espejos contra un nuevo sistema de ascensores.

En otro caso una empresa de productos químicos necesitaba medir el flujo de un fluido que pasaba por una tubería, para lo cual instaló un medidor similar al usado en las estaciones de gasolina. Al cabo de unos meses el medidor comenzó a gotear y el problema fue agrandándose de modo incontrolable. Como el líquido era corrosivo, se hacía indispensable encontrar una solución al problema. La situación problemática percibida era: el fluido estaba comiéndose el material con el que se había construido el medidor; la solución aparente a todos les pareció obvia: ¿se acuerda de “cuando todos piensan igual...”?). Se gastaron enormes sumas de dinero y muchas semanas de investigación para llegar a... Nada. No se encontró el material que se necesitaba. Uno de los operarios de la empresa (uno que no pensaba igual a los demás) sugirió que para resolver el verdadero problema –el líquido goteaba por el medidor sólo había que cambiar el medidor antes de que empezara a gotear. Dicho y hecho: se cambiaba el medidor cada tres meses y con eso resolvió el problema.

Si los estudiantes se quejan de que deben esperar mucho tiempo para sacar una fotocopia, ¿qué haría usted? ¿Aumentar el número de fotocopiadoras? ¿Ampliar los horarios de atención? ¿Poner una línea rápida? ¿Poner música de la buena para que se entretengan mientras esperan?

Si no se resuelve el problema real, la situación problemática volverá a surgir o surgiendo de nuevo. La solución implementada resolvió de alguna manera el problema pero a unos costos exagerados. Es probable que al instalar más ascensores hubiera solucionado el problema de la espera y el de las quejas; pero el costo hubiera sido enorme.

Por tanto, es de gran importancia que se analice la situación con lupa, y se evalúen objetivamente las causas del problema para poder de esta manera llegar al verdadero problema, al problema real.

Las situaciones problemáticas se identifican porque empiezan a notarse comportamientos diferentes de los normales; hay señales visibles de que algo no está funcionando correctamente. Las quejas de los usuarios del edificio, el goteo del medidor, las colas de la fotocopiadora, entre otros, son síntomas de que hay un problema. Alguien declara que cuando un conferencista se da cuenta de que su audiencia empieza a moverse inquieta en sus asientos es un síntoma inequívoco de que ya está cansada. Acción: finalizar rápido, pues si se pierde la atención no merece la pena seguir con la exposición.

Es necesario conocer la o las causas de estos síntomas. El esclarecimiento de la causalidad permite definir claramente el problema que es necesario resolver; permite conocer el problema real. Un profesor se quejaba ante sus estudiantes del ruido que hacían los alumnos cuando entraban en el salón de clases; todos movían sus asientos y al hacerlo arrastraban el asiento o lo dejaban caer, produciendo mucho ruido. El profesor les pidió que plantearan soluciones al problema, pero primero sugirió que definieran cuál era el problema en realidad. Hubo múltiples respuestas. Finalmente, el profesor sugirió que si el problema era el ruido investigaran el origen físico del ruido, la forma como se produce, el fenómeno físico que hay alrededor de esta situación. Al explorar en esta dirección se dieron cuenta de que el ruido se produce cuando se genera una

vibración (arrastrar los asientos, soltarlos sin cuidado). En el caso del asiento que se arrastra, para disminuir la vibración es necesario disminuir el rozamiento. Sin entrar en más detalles, se pudo constatar que el problema se podía definir de la siguiente manera: hallar el modo de disminuir el rozamiento entre las patas de las sillas y el suelo. Claro, quedan otras causas del ruido que no se incluyen en esta definición. Esto es otro problema.

Lo importante del ejemplo anterior es que se necesita estudiar la situación problemática para encontrar las causas que la originan. Una vez en posesión de las causas puede definirse el problema.

Para encontrar las causas puede procederse de dos maneras diferentes, dependiendo del tipo de problema: la búsqueda de la relación causa efecto y el método científico. El primer enfoque se usa preferiblemente en aquellos casos en que se conocen posibles causas y es preciso determinar las más importantes. El método científico se implementa cuando existe un desconocimiento inicial sobre las causas del problema y se necesita un enfoque igual al empleado por los científicos en sus investigaciones.

Como todo problema abierto tiene múltiples soluciones hay que establecer qué condiciones deberán cumplir las soluciones que se propongan para el problema. Algunas de estas condiciones son de obligatorio cumplimiento; son limitaciones o restricciones; por ejemplo: la solución no debe costar más de 5 millones de pesos o debe entregarse antes de seis meses. Si la solución a un problema cuesta más de lo estipulado como máximo o su implantación supera los seis meses previstos, aquella no sirve.

Otras condiciones de las soluciones se refieren a los indicadores visibles que permiten medir la calidad de éstas son los denominados criterios de selección. En la medida en que las soluciones propuestas cumplan en mayor grado estos criterios, serán consideradas mejores que las otras que no los cumplen tan bien. Por ejemplo, si se especifica que es preferible una solución que consume poca energía (se trata de algún aparato portátil), las que consuman menos serán preferidas a las que consuman más (analizándolas solamente con este criterio).



Es un hecho que la unión de múltiples inteligencias pueden encontrar solución más rápida a diversos problemas.

## Caso 1. Aplicación del método científico en ingeniería

No es fácil acceder a información sobre casos de ingeniería en que se aplica el método científico para resolver un problema. Es abundante la literatura sobre accidentes aéreos, marítimos, etcétera, en los que se llega a la solución de los mismos mediante la aplicación del método científico. Sin embargo, información sobre los casos en que se encuentran involucradas empresas industriales son casi inexistentes, pues, por razones obvias, a las empresas no les interesa divulgarlos.

Por ello, cuando aparece información sobre uno de estos casos, es casi imperativo presentarlo, y mantener la debida discreción para no revelar la identidad de quienes intervienen en el mismo.

En una oportunidad vino a visitarme a mi oficina uno de mis antiguos discípulos que habían tomado conmigo el curso de introducción a la ingeniería. Le pregunté en qué estaba trabajando y me contestó que realizando su práctica industrial en una empresa dedicada a la producción de llantas. Me contó que la había iniciado en la sección de Bodegas, donde le tocaba llevar el control sobre la existencia de todo tipo de llantas que se producían en la empresa, así como preparar los embarques de éstas que solicitaban los clientes. Estuvo dos meses en ese cargo y después lo pasaron a la sección de Control de Calidad, en la que debía controlar que todas las llantas que pasaban a Bodegas cumplieran los requisitos de calidad exigidos por las normas internacionales.

Me comentó que en ese cargo se encontraba más a gusto, pues en éste podía aplicar todo lo que había aprendido en la universidad sobre control total de calidad. Incluso, me confesó, a modo de primicia, que esperaba un cambio a un cargo mejor debido al buen desempeño que demostraba en el actual. Esa promoción se debía en parte a algo que había aprendido hacía muchos años en el curso de introducción a la ingeniería, específicamente al método científico. Me sorprendió con su confesión y le pregunté qué había pasado y cómo había usado el método. El caso que me contó es el siguiente:

En la fábrica venía observándose con preocupación que un gran número de llantas se

rechazaban en el proceso de inspección final, debido a que el alambre que rodea la pestaña estaba deformado, lo que hacía la llanta completamente inservible. Las pérdidas por este concepto habían llegado a ser tan altas que fue necesario crear un equipo de ingenieros que analizaran el caso y encontraran una solución.

Se recogieron datos y se designó un grupo de operarios para que elaborara estadísticas sobre cantidad de llantas estropeadas, tipo de llantas, defectos observados,... De todos los datos recogidos se llegó a establecer que el problema se presentaba, efectivamente, en las llantas más pequeñas y casi nunca en las grandes. Y cuando en los lotes de producción se mezclaban llantas de camión y llantas pequeñas.

Con estos hechos, el ingeniero encargado del grupo me pidió que examinara personalmente el proceso de elaboración de las llantas; él creía que el problema podría estar en que no se procesaba adecuadamente el alambre que rodea la pestaña y que con cualquier golpe, se deformaría. Durante varios días presencie el proceso de producción e inserción de los alambres, y no observé nada especial. Se hicieron pruebas de laboratorio de algunas muestras de los alambres y todas arrojaron resultados consistentes con las especificaciones del diseño. Además, pensé, si la culpa fuera de los alambres, ¿por qué el problema sale solamente cuando se mezclan llantas pequeñas y grandes? Si el problema radica en el alambre, el problema debería presentarse más continuamente. Pero no era así, y concluí que debería buscarse en otra dirección.

Describió a su superior lo que había hallado y le pidió permiso para iniciar averiguaciones por otro lado. Una vez obtenido el permiso, diseñó un plan de trabajo cuya primera fase era inspeccionar personalmente todo el proceso de producción y almacenaje de las llantas.

Madrugó varios días y estuvo presente en varias tandas de producción: en unas solamente se producían llantas pequeñas; en otras, mezcla de llantas pequeñas y grandes. Observó que en las tandas de solamente pequeñas no había pro-

blema; tampoco observó ninguna anomalía en las tandas de llantas grandes. Hay que aclarar que una vez producida la llanta, ésta era trasportada por una banda hasta un área en la que se clasificaba y se inspeccionaba; las que pasaban el control eran almacenadas en las bodegas.

Observó que en algunas secciones de la banda trasportadora se mezclaban desordenadamente las llantas pequeñas con las grandes y éstas al colisionar producían la deformación.

Le comentó estas nuevas observaciones a su jefe, quien estuvo de acuerdo con que esa podría ser la causa del problema entre manos. No había duda alguna de que la explicación al problema radicaba en la falta de un ajuste de velocidades adecuado en la banda trasportadora, lo cual generaba una acumulación de llantas en determinadas partes del camino, lo que conducía a su vez a que las grandes aplastaran a las pequeñas y generaba las deformaciones observadas. Este es el modelo que mi alumno le propuso al ingeniero para explicar el problema.

El paso que se debía seguir era suponer que al ajustarse las velocidades de la banda trasportadora adecuadamente, la acumulación de llantas no se produciría y, por tanto, las llantas grandes no dañarán las pequeñas. Se le pidió al Departamento de Mantenimiento que revisaran el sistema de control de las bandas trasportadoras

y ajustara su velocidad de modo que las llantas pequeñas y las grandes no colisionaran. Se efectuaron varias pruebas hasta que se llegó a una velocidad en la que, efectivamente, las llantas grandes no alcanzaban a las pequeñas y el número de defectos se redujo sustancialmente. Si a pesar del ajuste de velocidades hubiera seguido presentándose el problema, habría que pensar en otro modelo para explicar el problema.

Al variar la velocidad relativa entre las dos bandas trasportadoras de llantas grandes y pequeñas, se logró sincronizar ambos flujos y evitar que las grandes chocaran con excesiva fuerza con las pequeñas, y produjeron los defectos registrados inicialmente. Datos posteriores indicaron que el número de defectos, después del ajuste de velocidades, disminuyó drásticamente. También aquí la hipótesis funcionó de acuerdo con lo previsto. No hubo necesidad de reformar el modelo inicial.

Una investigación posterior reveló que el problema se inició cuando se cambiaron las tarjetas en el control electrónico de velocidad de las cintas trasportadoras; se cambiaron los microprocesadores, pero se siguió usando el mismo software de las tarjetas anteriores, lo que originó una falla en los controles electrónicos. Como consecuencia de este caso se revisaron todos los manuales de procedimiento y se cambiaron algunos que habían quedado obsoletos por sucesivos cambios de tecnología.

## 8.2. Relación causa efecto

Con frecuencia se afrontan numerosos problemas de diferentes orígenes: familiar, social, técnico, coyuntural, estructural, laboral, sentimental, entre otros. La lista de las diferentes categorías en las que se podrían agrupar los problemas es interminable. En todos los problemas hay efectos visibles (*síntomas*) que indican que hay una situación que necesita corregirse. El proceso de corrección o solución arranca con la identificación de las causas que originan el problema. A este proceso se le conoce como la etapa de *diagnóstico*. Una vez que se conocen las causas (o la causa) es posible desarrollar una estrategia que garantice el éxito de la solución.

Lamentablemente, en muchas ocasiones, el diagnóstico se efectúa de una manera superficial y las causas que salen a flote no son las que originan el problema, sino causas intermedias cuyo conocimiento sólo permitirá resolver temporal y parcialmente el problema planteado. (véase figura 8.1).

La situación problemática se detecta porque hay síntomas que indican que algo no está trabajando normalmente. El síntoma visible es B, y la causa que lo origina es A. Sin embargo, un análisis superficial podría indicar que la causa es C y que, corrigiendo C se corrige el problema. Esto puede suceder y todo retorna a la normalidad durante un período, vuelve a pre-

## Definición del problema

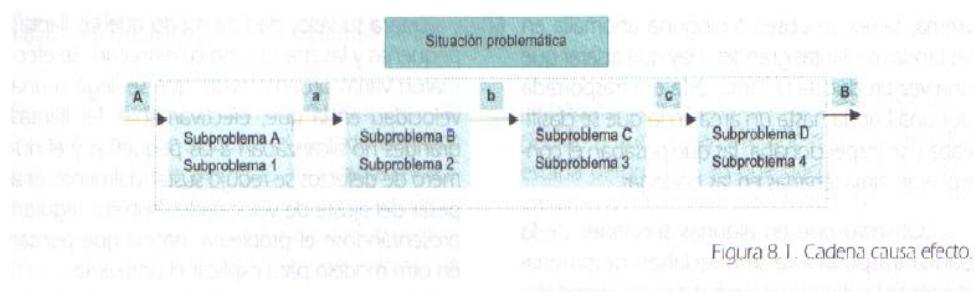


Figura 8.1. Cadena causa efecto.

### Ejemplo 2

El automóvil de la familia continuamente falla; todo parece indicar que el carburador es el responsable. Al desmontarlo, se observa que los *chicleurs* están tapados. “La gasolina que se compra está muy sucia”, dice algún miembro de la familia; después de soplarlos adecuadamente, el coche funciona normalmente. Unos días después vuelve a fallar. El diagnóstico inicial ya no parece tan acertado. Hay algo más que es necesario analizar para llegar hasta la verdadera causa del problema.

Todo problema se identifica por unos efectos visibles; un automóvil echa humo azul por el tubo de escape; los interruptores de la energía eléctrica de la casa se saltan con mucha facilidad; está consumiéndose demasiada agua desde hace unos meses; el computador está muy lento desde que se cambió el sistema operativo; etcétera. En forma gráfica, estos ejemplos podrían representarse como se muestra en la figura 8.2.

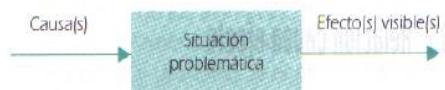


Figura 8.2. Relación causa efecto.

### Ejercicio 1

Haga una lista de 10 situaciones problemáticas y señale los efectos visibles que indican que hay un problema.

No existe una metodología que infaliblemente indique la o las causas de un problema; salvo en casos formales o situaciones triviales, no es posible asegurar que las causas que se identifican como responsables de las anomalías sean las verdaderas causas o todas las causas. Para tener una elevada tasa de éxito en la identificación de las causas de los problemas que se detecten es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- Tener amplios conocimientos en el área del problema, más si se trata de problemas técnicos. Hay situaciones de la vida en las que

con la cultura promedio de una persona educada es posible elaborar razonablemente una lista de las causas de un determinado problema. Por ejemplo, en el caso del tráfico de una ciudad, la gran mayoría de las personas con coche pueden identificar varias causas que están estrechamente relacionadas con los problemas de tráfico que se presentan. Sin embargo, estas mismas personas no serán capaces de identificar la razón por la que su vehículo pierde fuerza, especialmente en las pendientes, a menos que sea un individuo con amplios conocimientos de mecánica automotriz; no podrá relacionar los síntomas visibles (por ejemplo, un espeso humo azulado que sale por el tubo de escape) con las probables causas (desgaste interno de los cilindros que produce una pérdida en la compresión).

- Poseer un acentuado espíritu de observación. Se debe establecer claramente cuáles son las variables o indicadores que señalan una situación anómala. En el caso del tráfico, un incremento desmesurado en el número de accidentes para la época, un elevado número de multas, etcétera. En el caso de fallas en un automóvil, el color del humo que sale por el tubo de escape, algunos ruidos en los ejes de las ruedas, ruidos en las válvulas del motor, entre otras, indican que alguna parte del motor no funciona adecuadamente. Quedarse con los síntomas relevantes y descartar los que no tienen una relación directa con el problema, debe ser otra de las características de la persona experta en detectar las causas de los problemas que se estudien. Establecer relaciones de causa efecto entre las situaciones en que se presenta el problema y el entorno relevante constituyen otra de las cualidades importantes que deben desarrollarse para aumentar la capacidad de identificar causas en los problemas presentados.

### Ejemplo 3

La red de internet de una universidad ha venido funcionando con unos tiempos de respuesta demasiado largos; los usuarios comentan que a determinadas horas del día la red funciona ade-

cuadamente, pero el tiempo de respuesta aumenta de una manera intolerable por la noche, desde las 6:30 p.m. Se hizo una recolección interna de datos en la universidad para determinar el número de usuarios en cada hora del día y pudo determinarse que éste era relativamente estable. Aparentemente, el número de usuarios internos no era lo que afectaba la velocidad de la red. Algunos opinan que el cambio de una versión antigua por una moderna (más pesada) del browser usado para navegar por la red es la causa de los atrasos. Sin embargo, una rápida reflexión indica que el cambio de browser hubiera afectado la velocidad a cualquier hora del día. Por tanto, es necesario llevar la investigación hasta las instalaciones del proveedor del servicio de internet. Éste ha ampliado sus servicios a otras universidades, en particular a una que comienza labores a las 6:30 p.m., momento en el que sus salas de cómputo se llenan de estudiantes que entran en la red y producen una congestión en el canal de salida, lo cual reduce los tiempos de respuesta de los otros usuarios conectados a este proveedor.

Como puede observarse, este ejemplo muestra una situación en la que se descarta una posible causa, por ser técnicamente injustificable; se analiza la situación interna y no se encuentra una respuesta convincente. El análisis se prolonga hasta encontrar una respuesta satisfactoria.

- Ser consecuente, ser lógico, no estar sesgado. Si se establecen unas suposiciones en un punto del análisis éstas deben mantenerse en el resto del estudio. Hay que establecer claramente la relación causa efecto entre la posible causa y el efecto observado. En el caso anterior, se demuestra que si la causa de la lentitud era el cambio de una versión del browser usado, el efecto debería observarse a toda hora y no desde determinada hora. En segundo lugar, que el fenómeno se presentase a una hora determinada que la causa podría radicar en un aumento del flujo de la información en la red. Solamente era necesario constatar esta sospecha. Insistir en una causa, a pesar de que las evidencias señalan hacia otras direcciones, es una de las razones por las cuales no se llega oportunamente a las causas del problema.

### Ejemplo 4

En relación con el accidente del vuelo TWA 800, ocurrido en 1996, en el que un Boeing 747 con más de 200 personas se precipitó al mar cerca de la costa este de Estados Unidos, las autoridades que investigaban las causas del accidente buscaron afanosamente establecer una relación del accidente con el terrorismo internacional, y dejaron a un lado causas técnicas muy probables que, incluso, ya habían sido reportadas en situaciones con aviones similares. Después de mucho tiempo y dinero gastado en comprobar la presencia de una bomba en el compartimiento de carga del avión, las investigaciones se enfilaron a una explosión de los gases residuales en los depósitos vacíos centrales del Boeing 747.

De todo lo anterior se desprende que para tener éxito en la tarea de descubrir las causas de un problema hay que:

- Conocer bastante del tema en cuestión.
- Ser un buen observador.
- Usar la lógica.

El procedimiento para llegar hasta las causas de un problema podría ser el siguiente:

- Hacer una lista de todos los síntomas extraños observados.
- Hacer una lista de las causas probables.
- Relacionar las anomalías observadas con las causas probables. Descartar aquellas con las que no es posible establecer una relación de causa efecto entre las anomalías y las causas.
- Colectar datos para comprobar las posibilidades de las causas restantes.
- Examinar las posibilidades de cada causa restante a la luz de los datos recogidos.
- Eliminar las que no presenten relación causa efecto. Quedarse con las restantes como posibles causas del problema.

El proceso anterior puede facilitarse si se utilizan herramientas que permiten formalizar, en cierto sentido, lo señalado hasta el momento. Una de

las herramientas más usadas es la conocida con el nombre de *diagrama de espina de pescado*.

### 8.2.1. Diagrama de espina de pescado

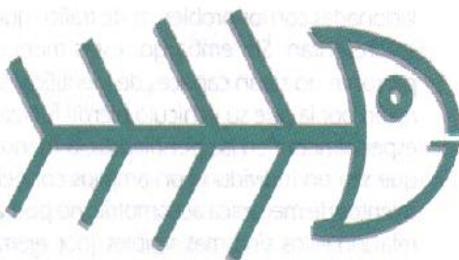


Figura 8.3. Pescado con cola, espinas y cabeza.

El diagrama de espina de pescado se desarrolló a lo largo de un proceso de investigación que se llevó a cabo en la industria manufacturera japonesa<sup>1</sup>, en busca de una herramienta que permitiera identificar de una manera rápida y confiable las causas del excesivo número de piezas con defectos que salían de las líneas de producción. Aunque su origen se encuentra en un sector especializado de la industria, la aplicación del diagrama de espina de pescado puede extenderse fácilmente a todo tipo de situaciones. El nombre se deriva de la similitud que existe entre el diagrama y el esqueleto de un pez en el que solamente se representan la cola y las espinas, junto con su espina dorsal y la cabeza.

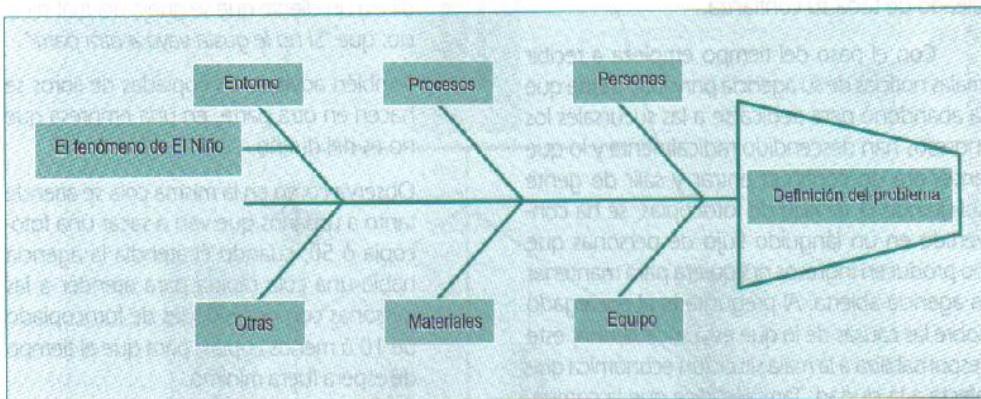
Aunque las causas a los problemas que se presentan son muchas, la mayoría de las mismas pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Se originan en las personas: pueden ser los que desarrollan una labor o los que reciben un servicio.
- Tienen su origen en los materiales, los recursos usados: aquello que se usa para fabricar el producto o realizar el servicio.
- Los procedimientos, los procesos seguidos en la elaboración del producto o en la prestación del servicio. También pueden incluirse las reglas seguidas, las prácticas utilizadas, las metodologías, y demás.

## Definición del problema

- El equipo usado, o la tecnología empleada para fabricar el bien o prestar el servicio.
- Finalmente, el entorno entendido como las condiciones físicas o afectivas que pueden influir en el proceso de desarrollo del producto o servicio.
- Otras posibles causas no incluidas en las anteriores categorías.

La construcción del diagrama de espina de pescado arranca colocando en la cabeza una brevíssima descripción del problema; sólo lo fundamental. Sobre la espina dorsal se coloca seis espinas principales cada una de ellas rotulada con uno de los nombres de las categorías mencionadas. (véase figura 8.4).



El procedimiento para llenar el diagrama de espina de pescado es el siguiente:

- Se analiza el problema detenidamente; se hace una lista de las posibles causas para cada una de las categorías establecidas.
- Para cada posible causa se agrega una espina que sale de la espina mayor de la categoría. En el recuadro correspondiente se coloca el texto de la causa. (véase figura 8.4).

Figura 8.4. Diagrama de espina de pescado.

- Para cada una de las posibles causas se lleva a cabo el procedimiento de eliminación descrito anteriormente para quedarse con las causas posibles.

Un diagrama de espina de pescado con unas cuantas causas-espinas quedaría como la figura 8.5.

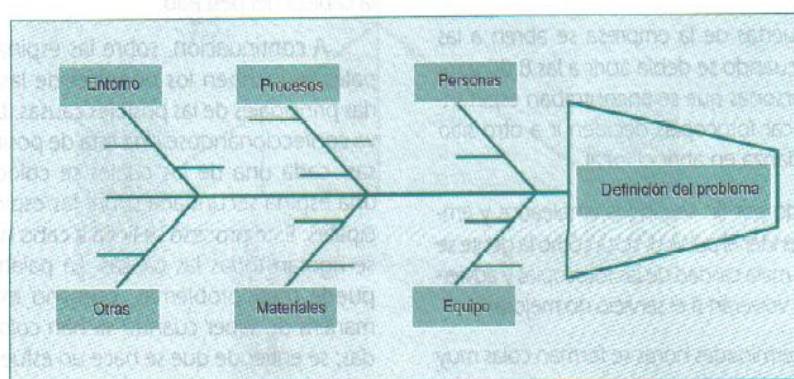


Figura 8.5. Diagrama de espina de pescado con algunas causas.

### Ejemplo 5

Una empresa dedicada al negocio de las fotocopias ha venido creciendo de una manera tan impresionante que el dueño decide ampliar la cobertura y abrir sucursales en otras partes de la ciudad. Para que las sucursales arranquen adecuadamente decide dedicarse personalmente a administrarlas mientras dura el proceso de arranque; para la agencia principal encarga a un empleado de toda su confianza.

Con el paso del tiempo empieza a recibir malas noticias de su agencia principal; desde que la abandonó para dedicarse a las sucursales los ingresos han descendido radicalmente y lo que antes era un continuo entrar y salir de gente solicitando el servicio de fotocopias, se ha convertido en un lágido flujo de personas que no producen ingresos ni siquiera para mantener la agencia abierta. Al preguntarle al encargado sobre las causas de lo que está sucediendo, éste responsabiliza a la mala situación económica que afecta a la ciudad. También dice que la competencia desleal de otras empresas de fotocopia han hecho que los usuarios las prefieran.

Las explicaciones que da el empleado no convencen al dueño que decide investigar por su propia cuenta lo que está sucediendo. Para ello monta un sistema de Tv cerrado, disimulado entre el cielo raso del establecimiento, que permite grabar todas las actividades que se desarrollan en la empresa. Durante una semana mantiene una grabación permanente; el fin de semana examina la evidencia recogida durante la semana y observa escenas como éstas:

Las puertas de la empresa se abren a las 8:30 a.m. cuando se debía abrir a las 8:00 a.m. Muchas personas que se encontraban esperando para sacar fotocopias deciden ir a otro sitio ante la tardanza en abrir el local.

Cuando por fin llegan los empleados y empiezan a atender el público, nota cómo la gente se queja de la mala calidad de las fotocopias y advierten que no volverán si el servicio no mejora.

A determinadas horas se forman colas muy largas que con el calor que hace provoca quejas a los usuarios por la falta de ventiladores. Al

dueño le extraña esto, pues el negocio siempre había contado con un excelente sistema de ventilación que mantenía el local a una temperatura adecuada; no se explica las colas tan largas y solamente por el número elevado de fotocopiadoras fuera de servicio entiende que sólo unas cuantas funcionan, lo cual provoca esperas innecesarias y molestias a los usuarios.

- Observa horrorizado cómo un empleado le dice a un cliente que se queja del mal servicio: que *"Si no le gusta vaya a otra parte"*.
- También advierte las copiadas de libros se hacen en otra parte, en una empresa que no es del dueño.
- Observa cómo en la misma cola se atiende tanto a usuarios que van a sacar una fotocopia ó 50; cuando él atiende la agencia habla una cola rápida para atender a las personas con necesidades de fotocopiado de 10 ó menos copias, para que el tiempo de espera fuera mínimo.

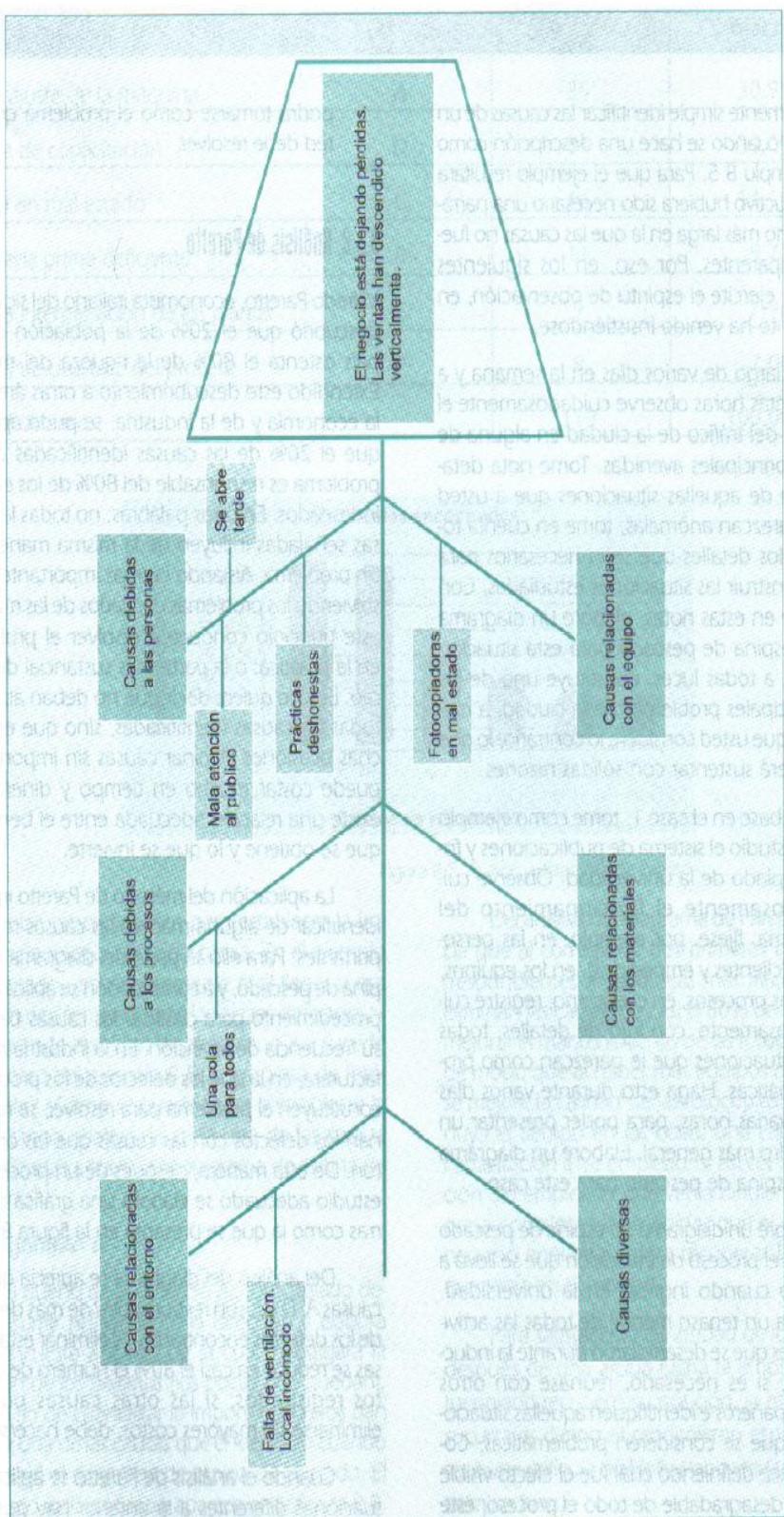
Después de ver toda la grabación y una vez analizada cuidadosamente, elabora un diagrama de espina de pescado que le muestra claramente las causas del problema que vive la agencia principal.

Para construir el diagrama de espina de pescado (véase figura 8.6) se dibuja el esqueleto con la espina dorsal, las espinas principales y la cabeza. La cabeza se rotula con una definición precisa del problema: *¿cuál es el efecto más visible?* *Se está perdiendo dinero, las ventas han descendido radicalmente.* Este texto se escriba en la cabeza del pescado.

A continuación, sobre las espinas principales se escriben los nombres de las categorías principales de las posibles causas. Después, va confeccionándose una lista de posibles causas, cada una de las cuales se coloca como una espina secundaria sobre las espinas principales. Este proceso se lleva a cabo hasta que se agotan todas las causas. La palabra *todas* puede traer problemas, pues no existe una manera de saber cuándo se han colocado todas; se entiende que se hace un esfuerzo razonable por determinar las causas más aparentes que se desprenden de la narración.

## Definición del problema

Figura 8.6. Diagrama de espina de pescado del ejemplo 5.



## Ejercicio 2

Es relativamente simple identificar las causas de un problema cuando se hace una descripción como la del ejemplo 8.5. Para que el ejemplo resultara más productivo hubiera sido necesario una narración mucho más larga en la que las causas no fueran tan aparentes. Por eso, en los siguientes ejercicios, ejercite el espíritu de observación, en el que tanto ha venido insistiéndose.

- a. A lo largo de varios días en la semana y a distintas horas observe cuidadosamente el flujo del tráfico de la ciudad en alguna de sus principales avenidas. Tome nota detallada de aquellas situaciones que a usted le parezcan anómalas; tome en cuenta todos los detalles que sean necesarios para reconstruir las situaciones estudiadas. Con base en estas notas, elabore un diagrama de espina de pescado para esta situación que, a todas luces, constituye uno de los principales problemas de la ciudad, a menos que usted considere lo contrario, lo que deberá sustentar con sólidas razones.
- b. Con base en el caso 1, tome como ejemplo de estudio el sistema de publicaciones y fotocopiado de la universidad. Observe cuidadosamente el funcionamiento del sistema; fíjese, por ejemplo, en las personas (clientes y empleados), en los equipos, en los procesos, en el entorno; registre cuidadosamente, con lujo de detalles, todas las situaciones que le parezcan como problemáticas. Haga esto durante varios días y a varias horas, para poder presentar un cuadro más general. Elabore un diagrama de espina de pescado para este caso.
- c. Elabore un diagrama de espina de pescado para el proceso de inducción que se llevó a cabo cuando ingresó en la universidad. Haga un repaso mental de todas las actividades que se desarrollaron durante la inducción; si es necesario, reúnase con otros compañeros e identifiquen aquellas situaciones que se consideren problemáticas. Comience definiendo cuál fue el efecto visible más desagradable de todo el proceso; éste

podrá tomarse como el problema que usted debe resolver.

### 8.2.2. Análisis de Pareto

Vilfredo Pareto, economista italiano del siglo XIX, descubrió que el 20% de la población en un país ostenta el 80% de la riqueza del mismo. Extendido este descubrimiento a otras áreas de la economía y de la industria, se pudo apreciar que el 20% de las causas identificadas de un problema es responsable del 80% de los efectos indeseados. En otras palabras: no todas las causas señaladas influyen de la misma manera en un problema. Aislando las más importantes y resolviendo los problemas derivados de las mismas, este principio conduce a resolver el problema en la práctica; o la parte más sustancial del mismo. Eso no quiere decir que no deban atacarse todas las causas identificadas, sino que en muchas ocasiones eliminar causas sin importancia puede costar mucho en tiempo y dinero. No existe una relación adecuada entre el beneficio que se obtiene y lo que se invierte.

La aplicación del método de Pareto implica identificar de alguna manera las causas más importantes. Para ello se parte del diagrama de espina de pescado, y a continuación se aplica algún procedimiento para clasificar las causas base en su frecuencia de aparición. En la industria manufacturera, en la que los defectos de los productos constituyen el problema para resolver, se relacionan los defectos con las causas que los originaron. De esta manera, después de un proceso de estudio adecuado se elabora una gráfica de barras como la que se presenta en la figura 8.7.

Del análisis del diagrama se aprecia que las causas A, D y C son responsables de más del 75% de los defectos encontrados. Al eliminar estas causas se reduce en casi el 80% el número de defectos registrados; si las otras causas pueden eliminarse sin mayores costos, debe hacerse.

Cuando el análisis de Pareto se aplica a situaciones diferentes a la anterior hay que em-

## Definición del problema

Causa de los defectos	Código	Frecuencia	Porcentaje
Mal ajuste de la máquina	A	35	30,97%
Falta de capacitación	D	34	30,09%
Buril en mal estado	C	16	14,16%
Materia prima deficiente	B	11	9,73%
Mala interpretación de los planos	E	9	7,96%
Falta de una fase del proceso	F	8	7,08%
Total de casos		113	100,00%

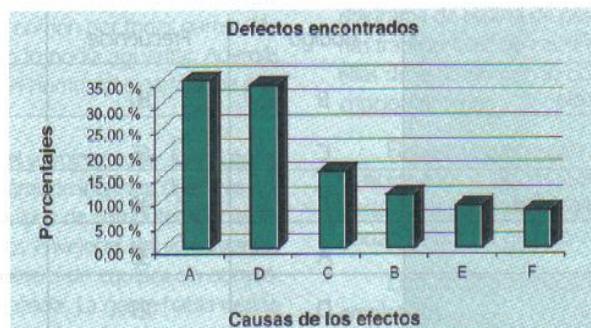


Figura 8.7. Análisis y diagrama de Pareto.

plear otro procedimiento para establecer la importancia relativa de cada causa. En el ejemplo comentado, era relativamente fácil llegar a esa determinación: contando las piezas defectuosas y rastreando el origen del defecto. ¿Qué sucede en el caso del ejemplo 8.5, la empresa de fotocopiado? ¿Cómo se puede llegar a establecer la importancia relativa de cada una de las causas identificadas a través del diagrama de espina de pescado?

### Ejemplo 6

El dueño de la empresa de fotocopiado decide asumir nuevamente la dirección y elabora una encuesta a través de la cual investigará la opinión de los usuarios (los pocos que quedan), con el fin de cuantificar la importancia éstos dan a cada una de las causas que él identificó cuando construyó el diagrama de espina de pescado. El resultado de la encuesta aparece en la figura 8.8.

Del análisis del diagrama de Pareto se aprecia que al corregir las tres primeras causas, correspondientes a las quejas más frecuentes, se eliminan las causas de casi el 80% de las quejas: mejorar el mantenimiento de las fotocopiadoras de modo que al haber más equipos disponibles se mejore la calidad de las fotocopias y se disminuya el tiempo en las colas; una campaña de capacitación a los empleados, así como la remoción del empleado que venía dirigiendo la empresa completan las medidas que el dueño del negocio implantará para recuperar la posición que tenía en el mercado.

Para satisfacer la curiosidad de los lectores, después de una ardua lucha la empresa de fotocopiado recuperó su posición, la mejoró y las sucursales dieron el rendimiento esperado (parece una película de Hollywood, en las que todo termina bien).

## Definición del problema

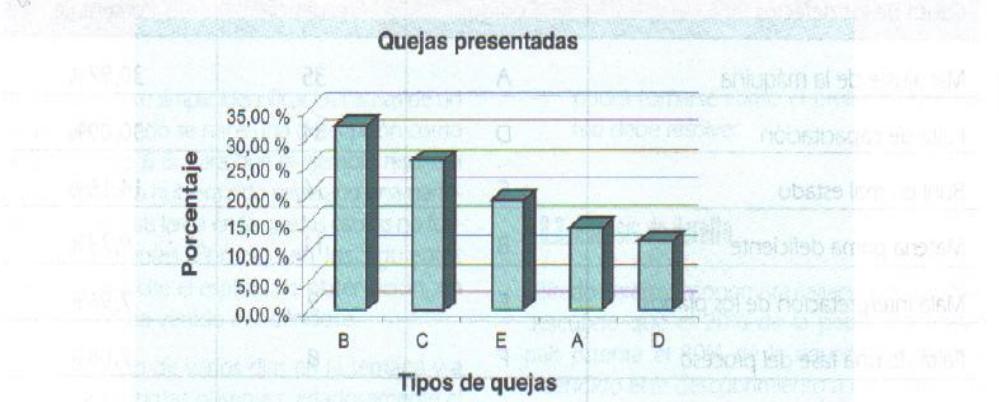


Figura 8.8. Análisis y diagrama de Pareto para la empresa de fotocopiado.

### Ejercicio 3

Para los tres casos presentados en el 8.2 elabore el análisis y diagrama de Pareto.

### Ejercicio 4

Lea cuidadosamente lo siguiente:

El CyberCafé Espacial fue un lugar de reunión muy popular. Todas las familias de la ciudad estuvieron alguna vez allí. Era una novedad poder tomar y comer algo mientras se navegaba por internet o se enviaba correo electrónico. Además, los precios eran muy accesibles, y el servicio, bueno. Es más, muchos habían trabajado en el CyberCafé.

Pero hoy el CyberCafé Espacial tiene un problema. El éxito pasado está muy lejos en el recuerdo. Muy pocas personas van al CyberCafé Espacial hoy día.

Luisa, la nueva dueña, intentará revisar el negocio. Ha comenzado a entrevistar a los empleados del CyberCafé Espacial y a los antiguos clientes para conocer cuál es el problema.

"Te voy a decir cuál es el problema", dijo Pepe Pérez. "El servicio era terrible. Yo siempre iba a la carrera y no tenía tiempo para esperar que llegara la página que había pedido. Estaba muy lento".

"Si, el tiempo era un problema", dijo Ruby Carrión, una de las empleadas de Luisa, "nos demorábamos mucho en servir los pedidos. Nuestro equipo era un desastre y nunca disponíamos de empleados suficientes. Y te diré algo más. Cuando te pagan solamente el salario mínimo, y además no te dan muchas propinas, no te sientes muy motivado".

"Dejé de ir allá por el ruido", contestó Juan Moro. "El establecimiento se llenaba de chiquillos que gritaban y corrían por todas partes. Me ponía nervioso. No lo podía aguantar. Además se dejaba fumar, y el humo del cigarrillo me produce alergia".

El asistente del administrador, Juan López, encargado de la parte de internet, dijo: "No administramos los equipos de cómputo adecuadamente. Los dejamos envejecer sin actualizarlos, aumentamos el número de equipos sin aumentar la velocidad de salida. La gente había descubierto que algunos equipos funcionaban mejor

### 8.3. El método científico

Cada disciplina emplea métodos diferentes para alcanzar los resultados que persigue. Los métodos usados dependen del tipo de situación que se vaya a resolver. En ingeniería, la solución de los problemas abiertos que se plantean exige un método similar al que se ha explicado en unidades anteriores. Sin embargo, en muchas situaciones los problemas que debe afrontar el ingeniero se escapan de la esfera a la que está acostumbrado; el comportamiento anormal de un computador en algunas situaciones no puede resolverse aplicando el método de diseño en ingeniería. Aquí no hay nada que optimizar; se debe encontrar la causa que origina el problema. El ingeniero debe abandonar su casco de seguridad y ponerse la bata blanca del científico para abordar este tipo de problemas y encontrar la solución.

que otros, y siempre querían el mismo. Si no estaba libre, se iban. Nos salió competencia en la otra manzana, y el negocio comenzó a naufragar".

Grégorio Asado, el cocinero de toda la vida del restaurante, estaba muy enfadado. "Por años me dejaron comprar la comida. Pero cuando el dueño se enfermó el administrador que se contrató empezó a comprar basura. No me dejaba comprar nada, y no me escuchaba. La comida sabía horrible".

Luisa había recogido una gran cantidad de información pero no sabía por dónde comenzar.

Con base en sus conocimientos, dibuje un diagrama de espina de pescado con las categorías tradicionales de causas y llene cada una de ellas de acuerdo con lo que ha leído en la descripción anterior.

Elabore una encuesta de ocho preguntas y realcela a los antiguos clientes del CybrCafé Espacial para saber cuáles son las causas más importantes por las que no volvieron.

Elabore otra encuesta para hacérsela a los empleados.



Figura 8.9. El ingeniero científico.

## Definición del problema

El hecho de que el ingeniero deba comportarse a veces como un científico, introduce obligatoriamente al ingeniero en los métodos que usan otras disciplinas para conseguir sus resultados. En este caso se van a dar algunos pasos del método científico, empleado en las ciencias naturales para encontrar las causas de los fenómenos naturales, o de situaciones asimilables<sup>2</sup>.

El objetivo de la ciencia es distinto del que persigue la ingeniería: la ciencia busca la verdad, aumentar el conocimiento. En esta búsqueda no hay mejor, ni peor; la ciencia es binaria: cada descubrimiento, cada correr la frontera del conocimiento un milímetro más, implica haber encontrado la explicación de algo sobre lo que anteriormente solamente se tenían explicaciones fraccionarias, o visiones mitológicas; es un sí o un no. De todo esto se desprende claramente que en la ciencia se utiliza un método fundamentalmente diferente al empleado en la ingeniería

Lo importante es conocer el procedimiento que utiliza el científico para generar el conocimiento. En la antigüedad se recurrió a los mitos para explicar los fenómenos naturales. Los griegos tenían una explicación mitológica para todo. Como anécdota es simpático recordar cómo explicaban los griegos las diferentes fases de la embriaguez. Inicialmente, el borracho atraviesa una etapa eufórica, todos son amigos, a todos los quiere, les presta su dinero, su casa; todos son invitados a compartir con él. Después

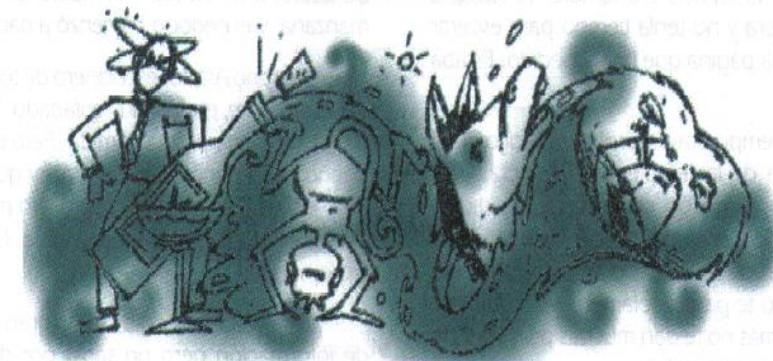


Figura 8.10. Explicación mitológica de los efectos del alcohol.

de unos tragos de más, cuando los amigos le insinúan que no siga bebiendo, que se acueste, que ya es tarde y mañana hay que trabajar, a todo responde con negativas, no quiere oír ningún consejo; es la etapa de la terquedad. Finalmente, aparece la fase de la violencia; a medida que los efectos del alcohol van refrescando las neuronas más escondidas, empiezan a aparecer las deudas olvidadas, las afrontas sin cobrar. Los griegos explicaban estas fases de la siguiente manera: los dioses habían sembrado la vid en huesos de animales para que su sustancia las hiciera más gustosas. Inicialmente las habían cultivado con huesos de mono, cuyo carácter festivo explica la etapa eufórica; a continuación las habían trasplantado a una era con huesos de burro. Todos conocen la terquedad de este animal que explica la fase número dos. Finalmente, habían ido a parar a una era con huesos de león que le habían trasmítido a la vid la violencia que identifica a este animal, y a la tercera fase de la borrachera.

Evidentemente, esta forma de adquirir conocimiento no la acepta la comunidad científica mundial actual. Pero durante muchos años, el mundo científico careció de un método para definir lo que era avalado como verdadero. Hoy día se acepta el método científico (inductivo-deductivo) como una única vía para obtener el conocimiento. La comunidad científica solamente avala como conocimiento nuevo, verdadero, todo aquello que puede ser reproducible y verificable. Si el doctor Patarroyo (eminente científico

co colombiano) dice que ha descubierto la vacuna contra la malaria y describe la forma como lo hizo, otros científicos en distintas partes del mundo deben ser capaces de replicar sus experiencias y llegar a los mismos resultados.

Hoy día es muy frecuente encontrar en revistas científicas informes de descubrimientos; sin embargo, después de un primer informe no se vuelve a escribir acerca de los mismos. La explicación es sencilla: se trata, en muchas ocasiones, de desarrollos inmaduros que al tratar de ser replicados por otras personas no dan el resultado esperado. En el actual mundo de las patentes y

regalías, es muy tentador ser el primero en salir con una idea. Esto explica que en muchas ocasiones estos primeros pasos demuestren ser falsos y sea necesario callar y esperar hasta que el desarrollo esté verdaderamente maduro.

La ciencia es ese mundo artificial que ha construido el ser humano y mediante el cual se explican los fenómenos naturales y se entiende el mundo. La ciencia es ese conjunto de conocimientos racionales, sistemáticos, exactos y verificables obtenidos a través del método científico.

## 8.4. Pasos del método científico

El método científico incluye en los siguientes pasos:

1. Identificación de una anomalía.
2. Recolección de datos significativos.
3. Análisis de los mismos.
4. Elaboración de una explicación o la hipótesis.
5. Predicción de eventos futuros con base en la hipótesis.
6. Elaboración de experimentos para comprobar las predicciones.
7. Modificación de la hipótesis y repetición de los pasos anteriores.
8. Conversión de la hipótesis en teoría.

### 8.4.1. Identificar una anomalía

Tiene una clara relación con un paso similar del método de diseño en ingeniería: la percepción de que existe un problema. El científico se da cuenta de que unos hechos contradicen las leyes del paradigma vigente de la ciencia:

- Unos cuerpos en lugar de hundirse como lo hacen los demás, flotan en el agua.

En los siglos XII y XIII se observó que los objetos pesados caían con velocidad constante, lo que llevó a la creencia de que el peso era la causa de la caída.

- Dos piedras de distinto tamaño caen con la misma velocidad al ser soltadas desde determinada altura.

- El agua hierve a distinta temperatura en la cima de una montaña que al nivel del mar.

En algún momento de la historia el científico esperaba que objetos de distinto tamaño llegaran al suelo con distintos tiempos al ser soltados desde determinada altura; que todos los objetos pesados se hundieran en el agua; que el agua hirviera a la misma temperatura en cualquier parte. El paradigma científico del momento no tenía explicación para estas anomalías.

Por lo general, el científico se enfrenta con multitud de hechos, datos, informaciones que pueden oscurecer las partes verdaderamente importantes. Una de sus habilidades es aprender a distinguir lo esencial de lo accidental. Cómo lograr desarrollar esa habilidad forma parte de las características de los investigadores. Alguna vez a un gran escritor le preguntaron cómo había hecho para escribir tan bien; su respuesta fue muy simple: escribiendo. Hay habilidades, destrezas que sólo se desarrollan practicándolas. Es importante que durante este proceso de desarrollo se disponga de personas expertas que guíen, de modo que no se generen malos hábitos desde el principio.

Como puede apreciarse, la fase inicial de la aplicación del método científico o del método de

## Definición del problema

diseño es muy parecida; *el ingeniero se da cuenta de que ciertos hechos son anormales*. En el caso del científico, las situaciones que el conocimiento actual no puede explicar. Tanto el ingeniero como el científico van en busca de las causas.

Para la explicación de cada uno de los pasos del método científico se darán ejemplos tomados de varias de las disciplinas de la ingeniería. El mismo ejemplo se utilizará en cada uno de los pasos del método pero trabajando la característica específica del paso.

### Ejemplo 7 (identificar una anomalía)

Cuando un programa de computador es mercadeado por una empresa pasa por varias pruebas que buscan posibles errores en el mismo. Es muy probable que durante un tiempo el programa funcione bien; pero después de unos meses o años empiezan a fallar. Para hallar la o las causas de estos errores es necesario reportarlos indicando los efectos indeseables observados, en qué circunstancias aparecieron, configuración del equipo utilizado, etcétera. Paredidos informes pasarán otros usuarios con similares o distintas observaciones. Una vez recibidos suficientes datos se procede a la etapa del análisis para encontrar consistencias entre los diferentes hechos anotados que apunten a las causas de los errores.

### Ejemplo 8 (identificar una anomalía)

En las primeras épocas de la aviación con equipos jet ocurrieron múltiples accidentes; los aviones se desintegraban en el aire y era difícil conocer las causas de los accidentes porque los restos de los aviones no permitían reunir suficiente evidencia para llegar a conclusiones sólidas. Los ingenieros de la empresa inglesa constructora de los aviones Comet<sup>3</sup> se preguntaban cuál era la causa de los accidentes.

### Ejemplo 9 (identificar una anomalía)

Un ingeniero de sistemas se encontraba trabajando en la interfaz de un computador MOON, cuando detectó el siguiente incidente<sup>4</sup>:

Mientras se desplazaba a lo largo de la ventana de la memoria el programa se estropeó y varias ventanas se abrían mientras otras se ce-

rraban, lo cual era un hecho inusual. ¡Incluso, en algunas ocasiones, el programa desaparecía! El usuario perdía totalmente el control y tomaba varios minutos en pararlo. Era necesario restaurar todas las ventanas y en este proceso se podían perder muchos minutos y datos valiosos.

Lo normal en este caso es que el usuario pudiera desplazarse por la ventana sin que el programa se volviera loco o empezaran a abrirse y cerrarse ventanas al azar. El ingeniero debe buscar por qué la ventana se comporta de manera tan irregular.

### Ejemplo 10 (identificar una anomalía)

El vuelo 800 de la TWA que en una mañana de junio de 1996 se precipitó al océano Atlántico minutos después de su partida a causa de una explosión cuya causa no ha sido encontrada. Los científicos y los ingenieros juntos buscan el porqué de la explosión<sup>5</sup>.

### 8.4.2. Recolección de datos significativos

Significa todo aquello que, a juicio científico, pueda tener relación con las anomalías que están investigándose. Debe realizarse un plan de trabajo con el objeto de efectuar una búsqueda sistemática de la información requerida. Comparar con otros entornos, buscar casos similares en épocas diferentes son algunas de las técnicas utilizadas regularmente en esta fase de la aplicación. Deben anotarse todas las situaciones estudiadas con todos los detalles del caso; en este momento no se sabe todavía con exactitud lo que está buscándose, por lo que nada puede descartar se *a priori*. Se podría afirmar que en este momento se prefiere pecar por exceso que por defecto.

El científico busca razones, por qué las cosas no ocurren como debieran; en este sentido actúa de modo parecido al ingeniero, sólo que éste fija su atención en otro tipo de situaciones: cómo solucionar aquellas que afectan nuestra vida diaria, las que tienen que ver con nuestro bienestar. Por qué las comunicaciones se afectan tanto cuando ocurren explosiones solares, la razón por la que los discos duros de los computadores presentaban tantas fallas (inicialmen-

te); el motivo por el cual el automóvil Corvette se partía por la mitad cuando sufría un accidente. El ingeniero busca cómo solucionar esos problemas; el científico busca la explicación de esos fenómenos. El objetivo final y el método empleado para alcanzarlo son distintos.

#### Ejemplo 7 (recolección de datos significativos)

Cuando se presentan problemas en un programa deben anotarse todas las condiciones en las cuales ocurre la falla: configuración del equipo, qué otros programas se estaban usando simultáneamente, qué operación se ejecutaba en el instante de la falla, contenido de los registros de la CPU, efectos visibles del problema, datos de entrada, entre otros. Con toda esta información los ingenieros de sistemas de la empresa que diseñó el programa podrán reconstruir la situación que originó el problema y detectar las posibles causas.

#### Ejemplo 8 (recolección de datos significativos)

Todos los restos del avión Comet de la BOAC se recogían en los lugares de los accidentes, se volvían a armar en grandes hangares para reconstruir lo más fielmente posible la estructura del avión. Se analizaban los mensajes de las cajas negras para recoger información que diera una pista sobre las posibles causas; se analizaba minuciosamente cada una de las partes del avión en busca de algo que permitiera acercarse a la causa que originó el accidente; se analizaba la información recogida de los testigos de los accidentes; etcétera.

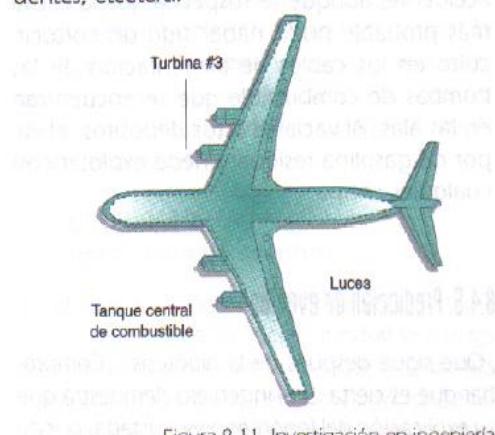


Figura 8.11. Investigación en ingeniería.

#### Ejemplo 9 (recolección de datos significativos)

Inicialmente no se habían anotado algunos parpadeos en la barra de menú de la ventana del equipo MOON.

#### Ejemplo 10 (recolección de datos significativos)

Han estado recogiéndose todos los escombros del avión de la TWA, a pesar de que ésta ha sido una tarea muy difícil por el sitio en que cayeron. Las cajas negras del avión, las turbinas, el equipaje, todo puede servir para hallar la causa del accidente.

#### 8.4.3. Análisis de los datos

Una vez se recogen los datos (nunca se sabe, inicialmente, si son suficientes), empieza a analizarse lo obtenido y se relaciona con los efectos visibles para encontrar relaciones causa efecto entre los mismos. De esta manera se descartan muchos datos que no tienen ninguna relación y se concentra la atención en los que, a primera vista, pueden conducir al descubrimiento de las causas del problema.

#### Ejemplo 7 (análisis de los datos)

Si el problema en un programa de cómputo tiene que ver con la impresión de un documento, se analizarán todos los programas y *drivers* que están relacionados con esta parte; se descartarán, inicialmente, los restantes programas que manejan otros recursos del computador. Hay que recordar que la programación modular moderna permite delimitar fácilmente la parte del programa responsable de algunos errores.

Si el problema se presenta cada vez que se ejecuta una rutina de comunicación de datos, se empezará por examinar todo lo relacionado con la parte de comunicaciones: *drivers* de los puertos seriales, configuración de los puertos RS 232, entre otros.

#### Ejemplo 8 (análisis de los datos)

En el caso de los primeros jets comerciales, la atención se centró en el fuselaje y en las alas,

## Definición del problema

pues allí se encontraron finas fisuras en partes del fuselaje del avión y en las alas. Una investigación de las turbinas reveló que éstas funcionaban perfectamente cuando el avión se estrelló, lo cual indicaba que no eran, en primera instancia, las causantes de los accidentes.

### Ejemplo 9 (análisis de los datos)

Inicialmente se sospechó que el buffer del teclado era el responsable de los extraños comportamientos de la pantalla; pero al realizar determinadas pruebas con el teclado se observó que el equipo aceptaba datos del teclado sin ningún problema. Por tanto, se concluyó que el problema radicaba en alguna rutina que tenía que ver con la presentación de la barra de menú de la ventana activa.

### Ejemplo 10 (análisis de los datos)

La atención se centró en la parte del fuselaje en la que el avión se había partido; se analizaron las turbinas y se comprobó que éstas habían estado funcionando bien, lo cual se corroboró por los testimonios de las personas que observaron el accidente. La atención final se centró en el análisis de los restos del avión cercanos a la parte que sufrió la fractura.

#### 8.4.4. Elaboración de la hipótesis

Una vez analizados los datos y establecidas algunas relaciones entre posibles causas y los efectos visibles, debe plantearse la explicación del problema o, en términos más científicos, hay que elaborar la hipótesis. La hipótesis es la formulación precisa de la causa del problema.

Se hace una lista de posibles causas de la anomalía apoyándose en los factores estudiados más sobresalientes y se formula el enunciado que explica esa anomalía. Esta es la parte más sublime del acto del científico. En ese enunciado se recoge todo el conocimiento y el trabajo realizado por el científico durante muchos años. Posiblemente, el mundo conocerá de su existencia en los siglos venideros por esa hipótesis que, de ser cierta, se convertirá en ley que llevará su nombre. En el mismo sentido, pero sin tantas pretensiones, el

ingeniero una vez identificadas las posibles causas que generan el problema, crea un modelo que explica los efectos observados. Es lo mismo que formular una hipótesis.

### Ejemplo 7 (elaboración de la hipótesis)

En el caso de los problemas relacionados con el mal funcionamiento de la impresora que se encuentra conectada a un computador, la hipótesis de trabajo, una vez analizados los datos disponibles, es la siguiente: *el cable que une la impresora con el puerto paralelo no es el adecuado, o está estropeado.*

### Ejemplo 8 (elaboración de la hipótesis)

Una vez observadas las fisuras en el fuselaje de uno de los jets accidentados se llegó a esta conclusión: *la causa de los accidentes se debió a la fatiga en los materiales que se usaron para la construcción de los aviones.*

### Ejemplo 9 (elaboración de la hipótesis)

*El buffer del teclado del equipo MOON se llenaba rápidamente, perdiendo un carácter o dos, lo que originaba una pérdida de sincronismo, con el consiguiente caos en el despliegue de las ventanas.*

### Ejemplo 10 (elaboración de la hipótesis)

Todavía no se han hallado evidencias contundentes que indiquen la causa o causas del accidente, aunque se sospecha que la causa más probable pudo haber sido un cortocircuito en los cables de alimentación de las bombas de combustible que se encuentran en las alas. Al vaciarse estos depósitos, el vapor de gasolina residual puede explotar con cualquier chispa.

#### 8.4.5. Predicción de eventos

¿Qué sigue después de la hipótesis? Comprobar que es cierta. Si el ingeniero demuestra que su explicación del fenómeno es ajustada, puede

seguir adelante con el diseño. Para comprobar que es cierto debe hacer dos cosas:

Generar una serie de hechos que pueden derivarse del modelo

Comprobar experimentalmente que esos hechos se cumplieron, lo que demuestra que su modelo funciona.

#### Ejemplo 7 (predicción de eventos)

En el caso del computador conectado con un cable defectuoso a su impresora, deberá predecirse que al cambiar éste, la impresión de los documentos se efectuará normalmente.

#### Ejemplo 8 (predicción de eventos)

El examen de las causas de la fatiga anticipada de los materiales empleados en el avión condujo a la fabricación de materiales más resistentes. El uso de estos materiales debería corregir los defectos hallados en los aviones accidentados. Pero antes de usarlos en equipo real, era necesario predecir los efectos que el uso de los nuevos materiales tendría en los modelos a escala que se deberían construir previamente; el modelo teórico predaría el comportamiento del fuselaje ante combinaciones adecuadas de velocidades y vientos en el túnel de prueba.

#### Ejemplo 9 (predicción de eventos)

Si el problema del equipo MOON era que el buffer se llenaba rápidamente, el efecto sobre otras ventanas abiertas debería ser similar. Es decir, abriendo las otras ventanas y tecleando tan rápido como pudiera debería rebosar el buffer y producir comportamiento errático en las ventanas abiertas.

#### Ejemplo 10 (predicción de eventos)

En el caso del avión de la TWA no se ha formulado ninguna hipótesis oficial, aunque se maneja extraoficialmente la posibilidad de una bomba interna o un misil. De ser esto cierto, deberían encontrarse restos de sustancias explosivas en

las partes críticas del avión; es decir, en la sección donde se fracturó.

#### 8.4.6. Elaboración de experimentos

Estos ejemplo le muestran al estudiante de ingeniería que en muchas ocasiones va a enfrentarse con situaciones en las cuales va a tener que actuar como científico; no se trata de averiguar el cómo. La pregunta es por qué ocurren determinadas cosas. Evidentemente el método empleado para llegar a la respuesta es distinto.

La comprobación de la hipótesis debe efectuarse obligatoriamente si se quiere tener argumentos sólidos para defender el punto de vista presentado en la misma; las predicciones que se efectúan con base en la hipótesis deben comprobarse mediante experimentos, simulaciones con maquetas, modelos en el computador, ensayos en modelos reales en situaciones controladas, etcétera. Los datos obtenidos deben ser comparados con los datos proyectados en el paso anterior; es decir, las predicciones deben concordar razonablemente con los resultados de los experimentos. Si esto ocurre puede aceptarse la hipótesis como verdadera y, en base en la misma, será posible generar las explicaciones que haya que darles a las anomalías observadas.

El análisis de los datos obtenidos experimentalmente se hace con herramientas de tipo matemático; lo que hay que hacer, en la mayoría de los casos, es comparar dos series de datos: unos obtenidos mediante proyecciones y los otros mediante experimentación. Si las dos series de datos guardan relación entre sí, podrá afirmarse que las dos series se correlacionan y que la hipótesis es aceptable.

En otros casos, la comparación no se hace con series de datos sino que los resultados arrojados son del tipo verdadero o falso, existe o no existe, funciona o no funciona, entre otros.

#### Ejemplo 7 (elaboración de experimentos)

Al cambiarse el cable de la impresora por uno nuevo pudo observarse que la impresora empezó a trabajar normalmente. La predicción había funcionado correctamente. En este caso la com-

## Definición del problema

probación no se llevó a cabo entre series de datos: funciona o no funciona.

### Ejemplo 8 (elaboración de experimentos)

Las pruebas efectuadas sobre maquetas en los laboratorios de ensayo demostraron que los nuevos materiales ofrecían mayor resistencia a la fatiga. Pruebas llevadas a cabo en prototipos, en situaciones controladas, confirmaron los datos hallados en los laboratorios: se había encontrado un material que era tan ligero como los originales pero mucho más resistentes a los esfuerzos. Aquí sí hubo necesidad de comparar largas series de datos estadísticos que se debieron analizar minuciosamente para llegar a las conclusiones anteriores. La experimentación dio el visto bueno final a los hallazgos analíticos.

### Ejemplo 9 (elaboración de experimentos)

Cuando se probó con otras ventanas de la interfaz gráfica del equipo MOON, se pudo observar que al escribir a toda velocidad con el teclado no ocurría nada anormal en las ventanas: funcionaban correctamente. Por tanto la hipótesis de que el buffer al llenarse perdía caracteres y originaba la pérdida de sincronismo, era falsa. Se precisaba buscar otra hipótesis. En este caso, los datos para comparar eran de verdadero o falso, funcionaba o no funcionaba.

### Ejemplo 10 (elaboración de experimentos)

Mientras no haya evidencia de manos criminales no es posible ni elaborar una hipótesis ni hacer predicciones, ni comprobarlos. Sin embargo, como ilustración se incluye el texto original obtenido a través de internet sobre la información que dio la agencia de noticias CNN sobre el accidente del vuelo TWA 800, el día 3 de septiembre de 1996.

*Indicio más fuerte de un acto criminal en el accidente del TWA. Los navíos de rescate regresan a la búsqueda.*

Septiembre 3, 1996

Página publicada a las 4:15 pm EDT

SMITHTOWN, New York (CNN) —

Hay evidencia más fuerte de una bomba un misil puede haber derribado el Vuelo 800 de la TWA, según lo que dijo un investigador a la prensa asociada.

Pero los investigadores declaran que no conocen lo suficiente para declarar la explosión como un acto criminal.

Pruebas preliminares llevadas a cabo por Boeing 747, indican que la explosión del tanque central de gasolina no habría sido suficiente poderosa para causar el accidente del avión, de acuerdo al investigador, quien prefiere mantenerse anónimo.

Utilizando computadores para simular la presión dentro del tanque central de gasolina de 747, los ingenieros de Boeing calcularon que se necesitarían entre 30 a 40 libras de por pulgada de presión dentro del tanque para lograr el grado de daño al fuselaje observado en los restos del jet.

### 8.4.7. Modificación de la hipótesis

Cuando los resultados experimentales no concuerdan con las predicciones es necesario evaluar todo el proceso. Si las diferencias son mínimas es posible que mediante ligeras modificaciones de la hipótesis se alcancen los resultados esperados. Pero si las diferencias son notables es preciso trabajar nuevamente todo el proceso, comenzando con la recopilación de datos. Algo falló: no se tuvieron en cuenta algunos aspectos que, con seguridad, aparecerán en una segunda revisión más cuidadosa.

### Ejemplo 7 (modificación de la hipótesis)

Si al conectar el cable entre la impresora y la CPU no se hubiera obtenido la impresión esperada, se habría utilizado otro cable, sospechando que el anterior tenía algún desperfecto. Si tampoco hubiera funcionado habría sido necesario revisar todo el proceso desde el principio buscando

síntomas a los que no se hubiera prestado atención al principio.

### Ejemplo 8 (modificación de la hipótesis)

Si en el caso de los primeros aviones jet, los Comet, se hubieran cambiado los materiales del fuselaje y de las alas y se hubieran seguido presentando los accidentes, habría sido necesario encontrar nuevas pistas que condujeran a la causa original del problema.

### Ejemplo 9 (modificación de la hipótesis)

El caso del computador MOON es el único que presenta una hipótesis inicial que no funcionó. El ingeniero debió regresar a su equipo y provocar la falla; notó un parpadeo en la barra de menú, que anteriormente no se había tenido en cuenta. De acuerdo con los expertos, el parpadeo se origina por el refresco de la ventana que se lleva a cabo cinco veces por cada movimiento del cursor. La segunda hipótesis apunta en la dirección de que el programa que interpreta las entradas de las teclas y del cursor está tan ocupado que pierde alguna de las entradas. Si se elimina todo el código redundante que rodea a este interpretador, no se perderán entradas del teclado y el problema no se presentaría.

Se eliminó todo el código redundante, el que no era indispensable y el problema no se volvió a presentar. La segunda hipótesis había funcionado.

### Ejemplo 10 (modificación de la hipótesis)

En el caso del vuelo TWA 800, la evidencia encontrada no permitió elaborar una sólida hipótesis. Es más, el FBI y la NBTS decidieron cerrar la investigación con la conclusión de que no hubo

ningún acto criminal que hubiera sido probado.

Este ejemplo muestra la necesidad de reunir suficiente evidencia, tanto en cantidad como pertinente para poder moldear una explicación plausible.

Una vez comprobada la validez de la hipótesis, y hechos los ajustes del caso, se convierte en teoría: entra a formar parte de las explicaciones científicamente aceptadas que adoran ciertos fenómenos y que permiten efectuar predicciones. La teoría será válida hasta cuando otra la convierta en falsa u obsoleta; Isaac Newton explicó el funcionamiento del universo, las relaciones entre los astros a través de su teoría de la mecánica celestial. Pero en ella se encontraban vacíos que se explicaron en su tiempo de una manera muy forzada. Más adelante, la teoría ondulatoria explicaría adecuadamente los vacíos dejados por la teoría de Newton. Un nuevo paradigma, basado en la teoría de la relatividad de Einstein explicaría siglos más tarde los fenómenos naturales que la teoría ondulatoria tampoco pudo explicar. ¿Cuánto tiempo pasará hasta que aparezca otra teoría que explique lo que la relatividad no llegó a explicar?

Desde el punto de vista del ingeniero, la conversión de la hipótesis en teoría no tiene mayor importancia. Cuando su modelo funciona, continua con el siguiente con el siguiente paso: cómo encontrar solución al problema presentado. Si los empaques fueron los causantes del accidente del Challenger, ¿qué clase de empaques deben colocarse para que nunca más se vuelva a repetir este desastre? Para que el problema presentado en el equipo MOON no se vuelva a presentar es necesario rediseñar el software que controla el refresco de la pantalla, de modo que no consuma tanto tiempo y no bloquee el buffer del teclado.

## Ejercicio 5

Escriba un ensayo comparativo entre la teoría de la evolución de las especies y la teoría de la creación.

Escriba un ensayo comparativo entre la teoría del invernadero y la teoría del asteroide, recor-

dando que ambas explican, a su modo, la desaparición de los dinosaurios de la faz de la Tierra. En ambos ensayos use el método científico.

## 8.5. Algunos ejemplos de aplicación del método científico en ingeniería

Algunos ejemplos de aplicación del método científico en ingeniería

### Ingeniería de sistemas<sup>1</sup>

Un ingeniero de sistemas nota que cuando entran más de diez usuarios al sistema de cómputo de la universidad, éste empieza a trabajar de una forma muy lenta. Al retirarse algunos de estos usuarios, el sistema vuelve a recobrar su velocidad deseada. Para descubrir la causa de esta anomalía el ingeniero comienza a tomar datos durante una semana a distintas horas del día: número de usuarios, tipo de tareas que desarrollan, tiempo de respuesta del sistema, memoria libre, etcétera. Hasta ahora está identificando la anomalía (pobre tiempo de respuesta), recolectando hechos (los datos que recoge el ingeniero).

El análisis de los mismos, usando las herramientas apropiadas, apunta en la dirección de que hace falta más memoria RAM y que el disco posiblemente está quedándose pequeño. Con esta información el ingeniero describe el modelo que explica el mal funcionamiento del equipo: el sistema operativo, más el programa de base de datos dejan tan poca memoria a los usuarios que cuando el número de éstos crece excesivamente, la memoria disponible no alcanza para mantener a los usuarios permanentemente en memoria. Debe mandarlos a la zona de *swapping* del disco a esperar a que se libere memoria; este trasporte entre disco y memoria hace que el tiempo de respuesta se vuelva demasiado largo. Adicionalmente, el disco parece haber alcanzado su límite de eficiencia, lo cual agrava el problema.

Hay que tener en cuenta que hasta ahora no hay nada comprobado; simplemente se lanza una suposición en forma de modelo explicativo de la situación. Si el modelo es correcto, el ingeniero se encuentra a un paso de la solución.

Parece que la solución es agregar más memoria al sistema; debe definirse una cantidad de memoria que cuantificará sobre la base de estudios de tipo analítico; lo mismo respecto al disco. Acto seguido, se monta la memoria y

el disco y se realizan pruebas con diferentes usuarios, variando el número, usando distintos paquetes; se miden los tiempos de respuesta y se comparan con los que el modelo analítico había pronosticado. Si los números concuerdan razonablemente puede afirmarse que el modelo es correcto. En caso de que discrepen un poco más de lo normal, pero dentro de límites aceptables, será necesario retocar el modelo y repetir las pruebas. Pero cuando los resultados sean tan lejanos a los predichos, que no sea posible conciliación alguna, no queda más remedio que regresar al punto de partida y buscar un modelo diferente hasta que se encuentre uno que explique la anomalía presentada.

Experimentalmente pudo apreciarse que al agregar la memoria RAM adicional y aumentarse el tamaño del disco duro, los tiempos de respuesta bajaron sensiblemente a valores cercanos a los proyectados mediante las herramientas teóricas. La hipótesis funcionó.

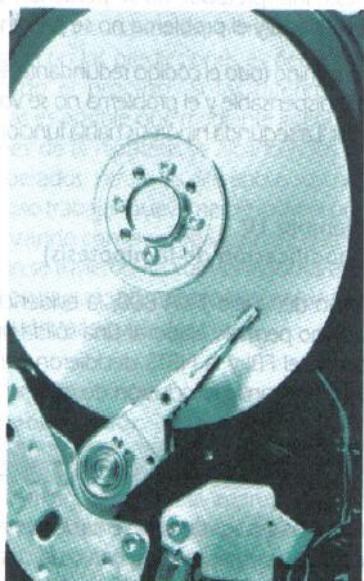


Figura 8.12. Interior de un Disco Duro.

## Ingeniería electrónica

En la fabricación de discos duros para computadores se observaba que una gran cantidad presentaba un número de sectores dañados que superaba lo normal y aceptable, lo cual hacía que el porcentaje de rechazados fuera excesivo, con las consiguientes pérdidas económicas. Se creó un grupo de trabajo conformado por ingenieros electrónicos, ingenieros mecánicos y por físicos. Se recogieron datos a lo largo de un período muy largo registrando tipos de disco, lugar de fabricación, lugar de uso, materiales empleados, y demás. Se hicieron pruebas en el laboratorio sobre cumplimiento de especificaciones eléctricas, mecánicas, etcétera. Se analizaron con el microscopio superficies dañadas para detectar algún patrón común; en fin, se hicieron toda clase de pruebas para poder llegar a elaborar una hipótesis que explicara la anomalía observada. Se pudo constatar que el número de unidades dañadas aumentaba en ciertas épocas del año, cuando las radiaciones solares eran más intensas. Analizando más en detalle esta posibilidad, se llegó a la conclusión de que efectivamente ésta podría ser la causa del problema presentado. Un exceso de radiación solar perforaba, literalmente hablando, la protección del disco y generaba campos magnéticos en la superficie del mismo que inutilizaban más sectores de los que, en promedio, se consideran aceptables, e inutilizan el disco.

Esta explicación permite predecir que en ciertas circunstancias de exposición de los discos a las radiaciones solares, el número de defectuosos aumentará sustancialmente. Se realizan pruebas de laboratorio donde se generan radiaciones solares artificialmente y se comprueba si los datos arrojados de las pruebas coinciden con los derivados del modelo teórico planteado. Si dentro de las aproximaciones de la ingeniería estos datos concuerdan estamos delante de la hipótesis correcta.

Al someter los discos duros a radiaciones controladas de rayos solares pudo observarse que el número de desperfectos se mantenía proporcional a la intensidad de la radiación. De esta manera se pudo comprobar la validez de la hipótesis. El problema planteado para resolver a continuación era el diseño de una armadura que

protegiera los discos duros de las partículas solares responsables de los daños reportados.

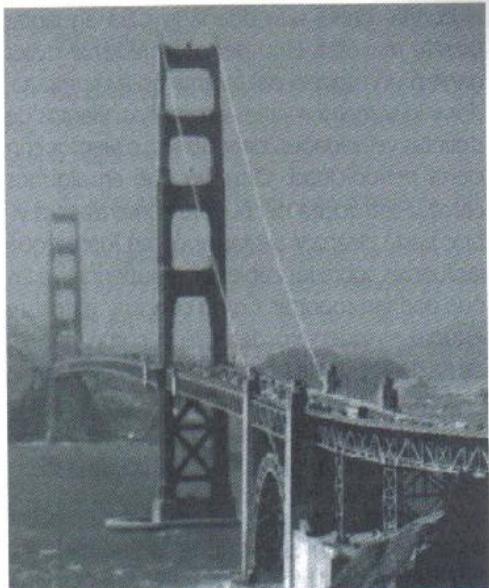


Figura 8.13. Puente de Tacoma oscilando.

## Ingeniería civil

De todos es conocido el desplome de un puente sobre el río Tacoma en Estados Unidos<sup>6</sup>. Este puente, localizado en un angosto cañón, había sido calculado para que aguantara una carga muy superior a la que normalmente era sometido. Sin embargo, un día, en medio de un gran estrépito, el puente colgante se vino abajo.

Inicialmente, se pensó en fallas en los soportes del puente; un análisis minucioso demostró que no fue ésta la causa. Los restos demostraron que los cables no presentaban desgaste por el tiempo, no había oxidación; las roturas de los cables mostraban superficies brillantes, como si se hubieran roto de repente.

Se realizó una investigación entre los habitantes de la zona, tratando de allegar elementos de juicio que aclararan el problema presentado. De toda la información que se obtuvo sobresalió el hecho de que el cañón permanentemente era recorrido por fuertes vientos (esto ya lo habían notado los investigadores) y que el día del accidente la fuerza de los vientos había superado la normal.

## Definición del problema

En una primera aproximación se pensó que ésta pudo haber sido la causa del desplome. Sin embargo, cálculos estructurales demostraron que el puente había sido diseñado para aguantar fuerzas mayores. Uno de los ingenieros civiles generó un modelo del puente en su computador y lo sometió a varios escenarios: vientos de distintas velocidades, direcciones, o vientos con cierta periodicidad. Observó que en algunos casos la estructura del puente comenzaba a vibrar hasta alcanzar oscilaciones tan fuertes que las fuerzas sobre los cables eran superiores a las que podrían soportar. Como conclusión de este estudio el ingeniero determinó como posible causa del accidente una combinación poco usual de formas y velocidades de vientos que hicieron entrar en resonancia a la estructura del puente y ocasionaron su rotura. Esta fue su hipótesis.

El modelo del puente es difícil de replicar en la realidad. Ahí es donde se demuestra la utilidad de generar modelos por computador que nos permiten estudiar objetos reales, en condiciones similares a las reales pero con la seguridad del laboratorio. Si el modelo de puente

almacenado en el computador se comporta como lo pronosticado con distintas cargas y esfuerzos, puede afirmarse que el modelo del accidente lo explica, lo que permite que el proceso de diseño de la solución al problema presentado siga su curso. ¿Cómo haremos para que el puente que se construya no se caiga cuando una combinación de vientos similar ocurra? Ese es el problema que el diseño debe resolver.

Las simulaciones efectuadas en el computador arrojaron resultados contundentes: la estructura del puente cedía cuando los vientos simulados adquirían velocidades y direcciones determinadas; la estructura se derrumbaba. No ocurría lo mismo cuando las direcciones y velocidades eran diferentes; la estructura soportaba casi todas las combinaciones de velocidades y direcciones, pero fallaba en casos especiales.

Este caso sirvió para reformar las normas que regían hasta ese momento la construcción de puentes, obligando al diseño de estructuras aptas para aguantar sin desplomarse esfuerzos causados por vientos de alta velocidad.

### 8.6. Definición del problema

Una vez detectadas las causas que originan el problema (causa efecto) o se valida la hipótesis que explica el porqué de un determinado problema, es necesario entrar a definir el problema que se desea resolver.

Sin agotar la forma como se define un problema, las siguientes observaciones son útiles al respecto:

- En una definición hay que establecer qué se quiere hacer (un verbo que indica la acción).
- Precisar objeto sobre el que se desea ejecutar la acción del verbo.
- Un objetivo que se deseé alcanzar, preferiblemente mensurable, de modo que pueda determinar en qué medida se logró resolver el problema.
- Nunca debe aparecer en el enunciado de la definición referencia alguna a la solución

que está buscándose; ello iría en contra del principio que rige el método: cuantas más posibles soluciones se planteen mayor será la probabilidad de hallar la mejor.

- Adicionalmente, las soluciones que se planteen deberán cumplir ciertas restricciones.
- Con el fin de comparar las diferentes soluciones planteadas, será necesario establecer criterios de selección que permitan clasificar las soluciones de mejor a peor.

De todas maneras, la definición no debe estrechar innecesariamente el campo de las posibles soluciones; es preferible una definición vaga que permita elaborar una amplia lista de posibles soluciones a una definición que apunte directamente a una solución.

#### Ejemplo 11

Los estudiantes se quejan del tiempo que pierden esperando sacar fotocopias.

Éste podría ser el resumen de un estudio que se hizo, ante las frecuentes quejas de muchos estudiantes de la universidad sobre el funcionamiento del sistema de fotocopiado. Adicionalmente planteaban algunos problemas menores como la calidad y el precio.

Después de un análisis del problema se llegó a la siguiente definición del mismo:

- Diseñar (verbo, acción) un sistema de fotocopiado (objeto) que reduzca el tiempo de espera promedio a menos de cinco minutos (condición verificable).
- Las soluciones que se propongan no deberán considerar espacios adicionales a los que en este momento ocupan las fotocopiadoras. Tampoco se podrá aumentar el precio de las fotocopias. (Restricciones).
- Se preferirán las soluciones que rebajan el precio, disminuyan el tiempo de espera y mejoren la atención al estudiante. (Criterios de selección).

### Ejemplo 12

*Los profesores se quejan de que cada día que pasa encuentran más dificultad para hallar espacio disponible en el parqueadero de profesores.*

En este caso, se podría afirmar también que este párrafo resume a grandes rasgos el problema presentado con el parqueadero de los profesores de la universidad. La definición del problema podría ser la siguiente:

- Reorganizar la distribución del actual espacio del parqueadero, de modo que se aumente el número de carros que se pueden estacionar.
- No se podrá alterar la geometría actual ni eliminar ninguna de las zonas verdes ni cortar los árboles sembrados.
- Se preferirán las soluciones que permitan acomodar los carros con mayor comodidad del proceso de parqueo, así como las que ofrezcan menor riesgo de colisiones.

Aquí, el estudiante debe identificar el verbo, el objeto, la condición, las restricciones y los criterios de selección.

### Ejemplo 13

*Los estudiantes no siguen las indicaciones que los profesores colocan en las carteleras de la universidad.*

Si se hubiera resumido este problema así:

*Los estudiantes no leen las indicaciones que colocan los profesores en las carteleras,* se habría incluido ya la causa y por tanto la solución estaría dirigida a que los estudiantes leyeron las carteleras. Pero el problema puede ser otro:

- Reducir el número de veces que los estudiantes no siguen las indicaciones colocadas en las carteleras a un porcentaje inferior al 10 % del número de veces que ocurre en la actualidad.
  - El costo de la solución no debe superar los 10 millones de pesos y es necesario tenerla implantada antes de que comience el próximo período académico.
  - Se preferirán las soluciones que cuesten menos y que no dañen la estética de la universidad.
- Aquí, también, el estudiante debe identificar el verbo, el objeto, la condición las restricciones y los criterios de selección.

### Ejemplo 14

*Cada vez que se presentan lluvias fuera de lo normal, el sistema de semáforos de la ciudad sufre daños que van desde la pérdida de sincronismo del sistema hasta el apagado completo de otros, los cuales ocasiona enormes retenciones de tráfico que hacen que la llegada a la casa de regreso del trabajo se aumente al doble o triple de lo normal.*

La definición del problema puede ser:

- Diseñar un sistema de control de tráfico que entre a trabajar en las emergencias atmosféricas de modo que el tiempo promedio de llegada a la casa cuando se regresa del trabajo no aumente en más del 50 % del tiempo normalmente empleado.

- La solución no deberá costar más de 100 millones de pesos y deberá ejecutarse en menos de seis meses.
- Se preferirán las soluciones que utilicen la actual infraestructura y que garanticen un

## 8.7. Ejercicios y problemas

1. La mitología, al igual que la ciencia, intenta explicar los fenómenos naturales. Entonces, ¿cuál es la diferencia?
2. Los estudiantes que asisten a determinada clase están divididos en 52% de mujeres y 48% de hombres. Las estadísticas muestran que el 80 % de las preguntas que se hacen en clase provienen de los hombres y solamente el 20 % de las mujeres. Se supone que este desbalance es una anomalía. Aplique cada uno de los pasos del método científico a este caso. Sea analítico e inquisitivo. No es suficiente un análisis superficial.
3. Investigue y ofrezca una explicación completa del fenómeno de El Niño: anomalías observadas, datos recogidos, hipótesis elaboradas, etcétera.

tiempo de respuesta ante la emergencia menor.

En este caso, también, el estudiante debe identificar el verbo, el objeto, la condición, las restricciones y los criterios de selección.

4. Para cada una de las situaciones descritas a continuación obtenga datos que permitan identificar el problema asociado con la situación que está describiéndose:
  - a. Si alguno de ustedes yendo en automóvil tiene la desgracia de chocar con otro auto en la ciudad sabrá entonces el calvario que esto representa, mientras se efectúan todos los pasos que la ley ordena.
  - b. Cuando uno viaja por carretera a muchas de nuestras ciudades, gasta mucho tiempo para llegar a la dirección que necesita debido a que la señalización es escasa o inexistente.
  - c. Elabore el diagrama de espina de pescado para los dos casos anteriores.

## Taller corto 14

### Descripción de una situación problemática

#### Justificación

El primer paso que se debe dar para resolver un problema es entenderlo bien. El ingeniero se enfrenta con frecuencia a situaciones problemáticas que es necesario estudiar y analizar detenidamente, con el objeto de precisar las causas y los orígenes del problema, condición *sine qua non* para su solución posterior. Para ello debe acumular datos suficientes y crear el modelo que le permitirá avanzar en la solución del problema.

#### Objetivo

- Obtener datos que permitan identificar el problema asociado con la situación que está analizándose.

#### Descripción

Se pide que el estudiante describa una situación problemática que haya observado en su entorno, preferiblemente que tenga que ver con la carrera que está estudiando o de interés general. Por ejemplo, las condiciones de tráfico de la ciu-

dad, señalización de la misma, obtención de información, calidad de los productos, entre otros.

Existen numerosas situaciones que podemos denominar problemáticas, ya que de alguna manera ocasionan efectos molestos cuya causa es necesario precisar para resolver la mencionada situación.

Se proponen las siguientes situaciones, sin que ello impida que el estudiante presente otra diferente y la describa:

1. En días pasados transitaba por una calle de la ciudad; en la intersección de la misma con otra calle se veía un auto con la parte delantera destrozada. Otro auto, unos metros adelante se encontraba también averiado pero sin los destrozos del primero. Mi diagnóstico fue inmediato: ambos habían atravesado la intersección a gran velocidad creyendo que tenían el derecho de vía. El responsable permanecía estático, sin dar señales de arrepentimiento: el juego de semá-

foros que tenía la responsabilidad de controlar el flujo vehicular de la intersección se encontraba con todos sus focos apagados. Desde hacía varios días estaba así; lo que estoy escribiendo es la crónica de un choque anunciado.

Si usted se fija encontrará una situación desastrosa en el sistema de semáforos de la ciudad. Por favor, redacte un informe pormenorizado de lo que ha venido observando durante los últimos días. Hágalo de tal manera que, para cualquier persona de otra parte, sea un retrato hablado de la situación.

2. Muchos de nosotros sentimos una enorme frustración cuando pretendemos realizar un trabajo en la sala de computación y nos damos cuenta de que no se puede acceder a ella por múltiples razones.
3. Sacar una fotocopia en la sección de publicaciones de la universidad puede volverse un dolor de cabeza.

## Taller corto 15

### Elaboración del diagrama de espina de pescado

#### Justificación

Innumerables son las causas que originan un problema, cada una de ellas responsable en mayor o menor proporción de los efectos que se desean corregir. No hay forma de conocer cuáles son todas las causas de un problema; pero si existen técnicas que permiten acercarse a ese *todo* de una manera razonable. Estudios realizados muestran que la mayoría de las causas que originan los problemas de ingeniería pueden agruparse en unas categorías muy bien estudiadas. El diagrama de espina de pescado ha demostrado que es una herramienta eficaz para sacar a flote la mayoría de esas causas.

#### Objetivos

- Familiarizar al estudiante con las causas típicas de los problemas en ingeniería

- Usar el diagrama de espina de pescado para establecer la relación de causa efecto en un problema dado.

#### Descripción

Se da la descripción detallada de una situación problemática para que el estudiante identifique las causas de esa situación usando en la solución el diagrama de espina de pescado.

Existen numerosas situaciones que podemos denominar problemáticas, pues de alguna manera, ocasionan efectos molestos cuya causa es necesario precisar para resolver la mencionada situación.

1. Se proponen las siguientes situaciones, sin que ello impida que el estudiante presente otra diferente y la describa:

1. En días pasados transitaba por una calle de la ciudad, en la intersección de la misma con otra calle que la atravesaba se veía un auto con la parte central destrozada. Otro auto, unos metros adelante se encontraba también averiado pero sin los destrozos del primero. Mi diagnóstico fue inmediato: ambos habían atravesado la intersección a gran velocidad creyendo que tenían el derecho de vía. El responsable permanecía estático, sin dar señales de arrepentimiento: el juego de semáforos que tenía la responsabilidad de controlar el flujo vehicular de la intersección se encontraba con todos sus focos apagados. Desde hacía varios días estaba así; lo que estoy escribiendo es la crónica de un choque anunciado.

Si usted se fija encontrará una situación desastrosa en el sistema de semáforos de la ciudad. Por favor, redacte un informe pormeno-

rizado de lo que ha venido observando durante los últimos días. Hágalo de tal manera que, para cualquier persona de otra parte, sea un retrato hablado de la situación.

2. Muchos de nosotros sentimos una enorme frustración cuando pretendemos realizar un trabajo en la sala de computación y nos damos cuenta de que no se puede acceder a ella por múltiples razones.
3. Sacar una fotocopia en la sección de publicaciones de la universidad puede volverse un dolor de cabeza.
4. Si alguno de ustedes yendo en automóvil tiene la desgracia de chocar con otro auto en la ciudad sabrá entonces el calvario que esto representa mientras se efectúan todos los pasos que la ley ordena.
5. Cuando uno viaja por carretera a muchas de nuestras ciudades gasta mucho tiempo para llegar a la dirección que necesita, debido a que la señalización es escasa o inexistente.

## Taller Corto 16

### Definición de un problema

"La formulación de un problema es, a veces, más importante que su solución que puede convertirse en algo rutinario", comentaba Albert Einstein. Un problema bien definido es un problema medio resuelto, acostumbran a decir los diseñadores. Definir un problema es establecer claramente qué se desea resolver, los alcances de la solución y las condiciones, límites y restricciones que deben tenerse en cuenta. No es una tarea fácil; una mala definición puede llevar a resolver el problema equivocado y a malgastar en ello esfuerzos, tiempo y dinero.

### Objetivos

- Conocer ejemplos de definiciones a problemas en ingeniería.
- Definir un problema en ingeniería.

### Descripción

Se darán algunos ejemplos de definiciones de problemas para que el estudiante tenga un modelo de referencia. Adicionalmente se le pedirá que establezca su propia definición a una situación problemática estudiada anteriormente.

1. Defina el problema de los semáforos planteado en el taller corto 14.
2. Defina el problema del acceso a las salas de computación.
3. Defina el problema de sacar fotocopias en la sección de publicaciones.
4. Defina el problema que se origina por el choque de carros.
5. Defina el problema asociado con la señalización (o la falta de ella) en nuestras ciudades.

Taller realizado por el doctor Gustavo Adolfo Villegas, ingeniero mecánico, profesor de la Universidad EAHT.

## Taller corto 17

### Definición de un problema

#### Justificación

Desarrollar las habilidades analíticas en los ingenieros es de suma importancia. No hay que ahorrar esfuerzos en esa dirección, buscando facilitar la tarea de poder definir los problemas que se nos presentan de una manera efectiva. Para lograrlo es necesario practicar, por lo que se justifica incluir varios talleres que ejerciten la definición de situaciones problemáticas.

#### Objetivos

- Analizar un caso real en el que se presenta una situación relativamente compleja.
- Usar varias técnicas para priorizar la solución de los problemas de una empresa.
- Definir apropiadamente el o los problemas que enfrenta una empresa.

#### Descripción

Lea con detenimiento la descripción que sigue:

La Compañía Productora de Clipes S.A. es una organización fundada en 1979 con un crecimiento importante en sus primeros 10 años. Actualmente cuenta con 150 empleados y sus ventas anuales ascienden a US\$2 millones. La empresa es pionera en la fabricación de clipes convencionales y especiales para la industria de las carnes frías, lácteos y otras relacionadas, y de grapas para las máquinas grapadoras de oficina y de clipes para papelería. Su portafolio de productos es de 32 referencias estandarizadas, más otras especiales que se hacen según especificación del cliente. Sus clientes son industrias del sector alimentario, almacenes de cadena y distribuidores de material y equipos de oficina. La base actual de sus negocios es de 400 clientes activos.

En la última reunión del grupo de ingeniería, tres directores presentaron los principales problemas de sus departamentos.

#### Dirección de producción

##### 1. Cambios de programas de producción (nuevos productos)

Se han presentado numerosas sorpresas, cambios y reprocesos de los trabajos de desarrollo. Casi el 20% de las horas de trabajo del mes pasado se emplearon en trabajos relacionados con apariencia final de algunos productos y cambio de empaque y cumplimiento de otras especificaciones que eran desconocidas. Esto provoca gran frustración, pérdida de productividad y confusiones de último minuto en utilización de materiales, acabados y embalajes.

##### 2. Quejas de clientes

Mucho tiempo de administración se ha perdido últimamente en investigar y negociar las quejas de los clientes. Costos de garantía y descuentos de más de US\$8 000 mensuales se están cargando a producción debido a situaciones como selección equivocada de materiales, corrosión temprana de algunas referencias por malos acabados finales y por apariencias del producto (en el caso de los clipes para la industria de las carnes frías) que generan rechazo en la compra del producto alimenticio por el consumidor final.

##### 3. Materiales de proveedores

Otro problema es encontrar proveedores de materiales que quieran hacer entregas de calidad. El material se entrega incompleto o llega tarde. Muchas veces los materiales especiales que ordenamos son diferentes en cada lote. Perdemos el 5% del tiempo de producción esperando la llegada del material, el cual entra directamente en el proceso sin verificaciones previas.

Taller realizado por el doctor Gustavo Adolfo Villegas, ingeniero mecánico, profesor de la Universidad EAFIT.

## Dirección de diseño y desarrollo de productos

### 1. Materiales de proveedores

Las especificaciones dadas por los proveedores de materias primas en muchas ocasiones no las cumplen los materiales en realidad. Es frecuente que las muestras enviadas para los ensayos de nuevos productos son diferentes al material entregado para producirlos. Igual sucede con los procesos de fabricación y los acabados finales.

### 2. Cambios de especificaciones de referencias especiales

Muchas de las referencias especiales son diseñadas de acuerdo con las especificaciones dadas por el cliente, pero parece ser que éstas se cambian sobre la marcha. En general, no se normalizan las especificaciones finales de los productos y las modificaciones en los procedimientos de fabricación. En la mayoría de los casos no se revisa el diseño del producto y se toman decisiones sin prever los efectos en diseño, materiales apropiados, costos, etcétera.

### 3. Propiedad industrial del clip corrugado

Desde que tomamos la decisión desde hace un año de fabricar el clip corrugado utilizado por la máquina clipadora Poly-Clip 5000X de origen alemán, queríamos acabar con el monopolio de importación de los fabricantes del equipo y conocíamos muy bien los riesgos que enfrentaba dicho proyecto. No hemos enviado los diseños de nuestro clip a Alemania para verificar la existencia de patentes sobre el producto de Poly Clip y aunque no hemos tenido problemas aún, estamos corriendo el riesgo de una demanda internacional que podría significar el fin de nuestra empresa. En caso de enviar los diseños a Alemania, debemos suspender la fabricación de forma temporal o definitiva hasta una respuesta de la oficina de registros y patentes de ese país. Es importante recordar que el flujo de caja de este nuevo producto muestra un retorno de la inversión a partir del segundo año en el que el producto empezará a arrojar utilidades.

## Dirección de mantenimiento

### 1. Operación de los equipos

La gestión del mantenimiento se ha tenido que orientar principalmente al correctivo con su respectivo efecto en los sobrecostos, baja calidad de las reparaciones e incumplimiento de los compromisos de producción. El incumplimiento en los turnos de producción y en la producción misma este último año y el hecho que los equipos no pueden parar han causado un deterioro acelerado; a este ritmo no aguantarán por mucho tiempo. Muchas de las fallas han sido ocasionadas por mala operación de los equipos y por el uso de materiales inadecuados.

### 2. Almacén de repuestos

No hemos definido políticas claras de compra de repuestos para los equipos críticos. Tenemos una pobre relación con proveedores y desconocemos si los repuestos se consiguen localmente o deben pedirse a otra ciudad o incluso buscar proveedores en el exterior. Ya por esta causa tuvimos que dejar un equipo dañado por casi cuatro meses el año pasado.

### 3. Reemplazo de equipos

Los equipos que utilizamos para fabricar las grapas ya son muy viejos e inefficientes. Cuesta más ponerlos a funcionar que desecharlos. Continuamente se dañan y ocasionan problemas de calidad de los productos. Desde hace seis meses presenté la propuesta de reemplazar cuatro máquinas viejas por una nueva de origen taiwanés; con lo que hemos gastado en mantenimiento de esos cuatro equipos ya habríamos recuperado la inversión.

### 4. Accidentes de trabajo

Las fallas de los equipos ya han ocasionado accidentes de trabajo con incapacidades de los afectados de hasta tres meses. Lo ideal es que los equipos sean confiables o puedan operarse en forma segura, pero en nuestra planta es difícil esperar que eso suceda.

En grupo, definen a cuál de todos los problemas que afronta Proclipsa se debe dar

solución primero. Indiquen las razones de sus sugerencias.

1. Agrupen los problemas de acuerdo con sus similitudes.
2. Identifiquen los dos o tres problemas más urgentes que debe empezar a resolver la empresa. Justifique su selección.

3. Comparen las selecciones entre los diversos grupos del curso e identifiquen las causas de las diferencias. Busquen la manera de llegar a un consenso.

Taller elaborado por el ingeniero Gustavo Adolfo Villegas, departamento de ingeniería mecánica, Universidad EAFIT.

## Taller largo 8 [En grupo]

### Aplicación del método científico

#### Justificación

En el desarrollo de soluciones a problemas en ingeniería se presentan situaciones imprevistas en las que el ingeniero se pregunta *por qué* ocurren y *no cómo* resolverlas. Para encontrar la explicación a estas situaciones es necesario cambiar el método de búsqueda usando una combinación de pesca inductiva con confirmación deductiva, la esencia del método científico.

#### Objetivos

- Conocer algunos casos en los que es necesario usar el método científico.

- Usar el método científico en la solución de problemas.

#### Descripción

Se presentarán algunas situaciones en las que se requiere recurrir a un método distinto al empleado en la solución de problemas de ingeniería; asimismo, se presentará un caso para que el estudiante aplique los pasos del método científico en la búsqueda de la causa del problema presentado.

Lea detenidamente el siguiente caso y contesten los puntos del cuestionario.



Figura 8.14. El *Challenger* explota.

## Un caso de ingeniería. El desastre del transbordador espacial Challenger<sup>8</sup>

### Introducción

El día 28 de enero de 1986 a las 11:29 a.m. despegó de Cabo Kennedy el trasbordador espacial Challenger. Era el vuelo denominado 51-L. A los 73,137 segundos de haber despegado explotó en el aire ocasionándole la muerte a sus siete ocupantes (véase figura 8.14). Mientras el mundo se recobraba de su estupor, una comisión del más alto nivel investigaba las causas y recomendaba los correctivos del caso.

### Antecedentes técnicos

Separar en las postrimerías del Programa Apollo se decidió que el siguiente paso en la carrera espacial americana se centraría en el uso de componentes reusables para rebajar los tremendos costos que representaba enviar un cohete al espacio. Así arrancó el programa que hoy sigue con vida: el trasbordador espacial (*Shuttle*), que consta de un navío espacial tripulado que una vez realizada su misión aterriza y es reutilizado en siguientes misiones. Los nombres de Columbia, Challenger, o Discovery nos son familiares.

Este navío es impulsado inicialmente por dos cohetes laterales que después de haberle comunicado suficiente velocidad se despegan, y son recogidos para su posterior uso en los siguientes vuelos (véase figura 8.15). Antes de despegarse se activan los motores del trasbordador espacial, el que se encuentra montado sobre un tanque externo de combustible que contiene hidrógeno y oxígeno líquidos. Una vez cumplida la misión de colocar la nave en órbita, el tanque se despega y cae al océano, en un lugar que no ofrece peligro. Esta parte del conjunto no se reutiliza; se pierde. El trasbordador tiene un tanque de combustible que usará para modificar su posición mientras cumple su misión y para regresar a la Tierra.

El diseño y construcción de los cohetes impulsores (SRB, *Solid Rocket Booster*) fue encargado a la firma Thiokol; cada cohete media 45,4 m y era transportado en partes. Una vez en

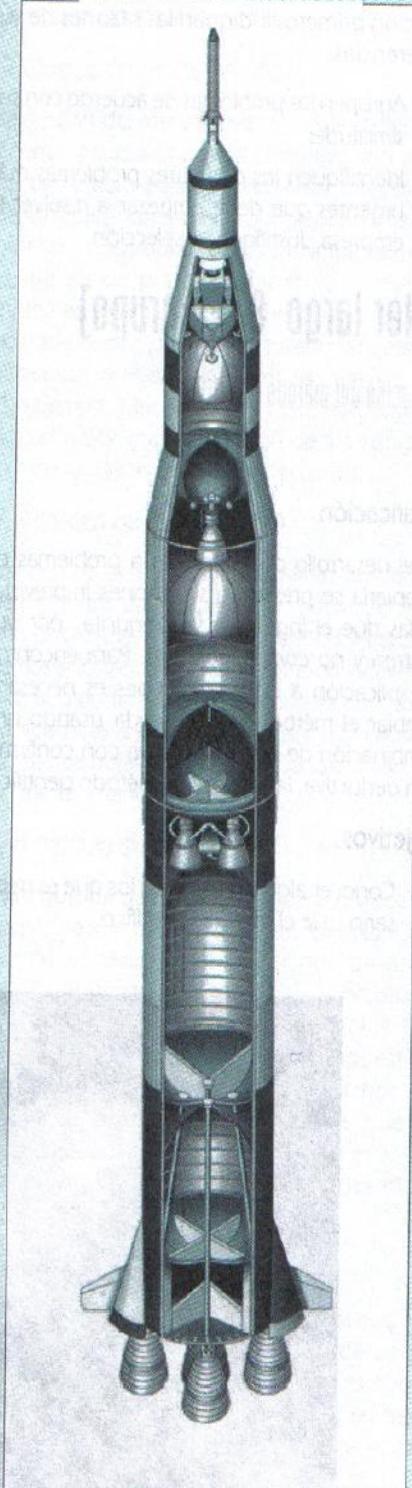


Figura 8.15. SRB, cohete con impulsor sólido.

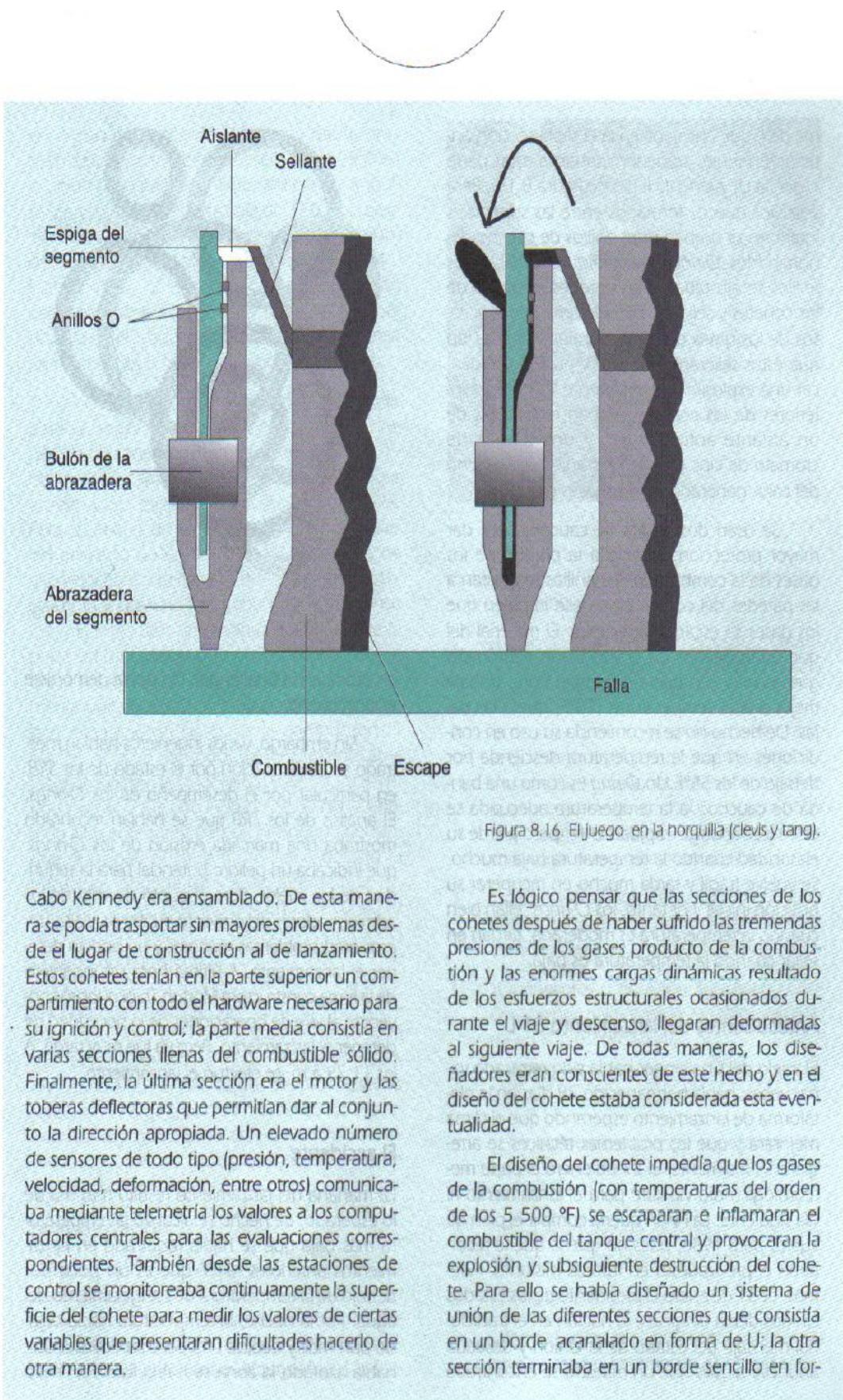


Figura 8.16. El juego en la horquilla (clevis y tang).

Cabo Kennedy era ensamblado. De esta manera se podía transportar sin mayores problemas desde el lugar de construcción al de lanzamiento. Estos cohetes tenían en la parte superior un compartimiento con todo el hardware necesario para su ignición y control; la parte media consistía en varias secciones llenas del combustible sólido. Finalmente, la última sección era el motor y las toberas deflectoras que permitían dar al conjunto la dirección apropiada. Un elevado número de sensores de todo tipo (presión, temperatura, velocidad, deformación, entre otros) comunicaba mediante telemetría los valores a los computadores centrales para las evaluaciones correspondientes. También desde las estaciones de control se monitoreaba continuamente la superficie del cohete para medir los valores de ciertas variables que presentaran dificultades hacerlo de otra manera.

Es lógico pensar que las secciones de los cohetes después de haber sufrido las tremendas presiones de los gases producto de la combustión y las enormes cargas dinámicas resultado de los esfuerzos estructurales ocasionados durante el viaje y descenso, llegarían deformadas al siguiente viaje. De todas maneras, los diseñadores eran conscientes de este hecho y en el diseño del cohete estaba considerada esta eventualidad.

El diseño del cohete impedía que los gases de la combustión (con temperaturas del orden de los 5 500 °F) se escaparan e inflamaran el combustible del tanque central y provocaran la explosión y subsiguiente destrucción del cohete. Para ello se había diseñado un sistema de unión de las diferentes secciones que consistía en un borde acanalado en forma de U; la otra sección terminaba en un borde sencillo en for-

ma de I, que encajaba en la U de la sección anterior. En inglés se denominaban a estas parte *clevis* (la U) y *tang* (la I) (véase figura 8.16). Para sellar los huecos formados entre las superficies interiores se usaban unos anillos de caucho denominados *O-rings* (véase figura 8.17); estos anillos se ajustaban a las paredes interiores de los cohetes y sellaban completamente los accesos de los gases de la combustión, impidiendo que éstos salieran al exterior y pudieran provocar una explosión. Internamente las paredes interiores de los cohetes estaban recubiertas de un aislante anticorrosivo, y una masilla de cromato de cinc protegía los anillos de caucho del calor generado por los gases calientes.

Se usan dos anillos de caucho, para dar mayor protección. Debido a la presión de los gases de la combustión, los anillos se ajustan a las paredes del cohete y con ello impiden que los gases se escapen al exterior. El material del que están hechos los anillos es un elastómero que es muy sensible a la temperatura; trabaja mejor a altas temperaturas (70°F) que a las bajas. De hecho no se recomienda su uso en condiciones en que la temperatura descienda por debajo de los 55°F. Un *O-ring* es como una banda de caucho: a la temperatura adecuada se estira y se encoge rápidamente, pero pierde su elasticidad cuando la temperatura baja mucho. Se vuelve frágil y tarda mucho en recuperar su posición inicial. Por tanto, los *O-rings* sellan bien cuando la temperatura es moderada; tardan en sellar cuando la temperatura es baja.

### Antecedentes del lanzamiento 51-L

El vuelo del Challenger había sido retrasado varias veces; había permanecido 38 días en la plataforma de lanzamiento esperando que el clima mejorara y que los problemas técnicos se arreglaran. Finalmente, el 27 de enero el parte meteorológico dio vía libre para el lanzamiento al día siguiente. La NASA quería cumplir el plan de vuelos para 1986, pues no quería que le recortaran el presupuesto en futuras misiones. Además, el 31 de enero el presidente de los Estados Unidos debía dirigirse a la nación en el tradicional mensaje del Estado de la Unión y deseaba anunciar al país que un maestro se encontraba



Figura 8.17. O-rings.

en órbita en el Challenger. No debía demorarse el lanzamiento.

Sin embargo, varios ingenieros habían mostrado su preocupación por el estado de los SRB, en particular por el desempeño de los *O-rings*. El análisis de los SRB que se habían recobrado mostraba una marcada erosión de los *O-rings*, que indicaba un peligro potencial para la seguridad de los vuelos. Pero el punto de vista de los administradores del proyecto estaba parcializado: esos eran problemas menores y no podían detener el lanzamiento. A última hora un ingeniero de la firma constructora Morton Thiokol logró convencer al jefe de operaciones de la necesidad de detener el lanzamiento. Pero ya fue muy tarde. A las 11:29 a.m. se efectuó el lanzamiento.

### El accidente

La mañana del lanzamiento resultó más fría de lo esperado; de hecho se alcanzó la temperatura más baja que se había registrado en lanzamientos anteriores: 31°F que es un poco por debajo de la temperatura de congelamiento del agua. Por la noche, la temperatura había bajado aún más y debido a la pertinaz lluvia que había azotado la zona se había formado hielo

en algunas partes del SRB. Los medidores telemétricos de temperatura señalaban 28°F en la unión de la sección inferior del cohete impulsor con su motor, la parte baja del SRB. Con base en estas circunstancias se recomendó, por el ingeniero Roger Boisjoly, la suspensión del vuelo. Fue en vano. Ya en otras ocasiones se habían dado advertencias similares y nada había pasado. «Viene el lobo, viene el lobo». Ya nadie creía en el lobo. Sin embargo el lobo llegó.

A las 11:29 a.m. despegó el cohete. Todo parecía normal; había gran expectativa. Millones de personas estaban pendientes de sus TVs observando cómo elegantemente el Challenger era elevado al espacio por sus dos poderoso SRB. Pero el ánimo de los ingenieros responsables del proyecto no era el mismo; las cámaras de alta velocidad y definición que estaban enfocadas al SRB derecho mostraban unos penachos intermitentes de humo negro que salían de la parte inferior del impulsor. Eso indicaba que grasa y caucho estaban quemándose. Posiblemente uno de los O-rings había fallado y estaban escapándose gases de la combustión (5 600°F). A los 68 segundos del lanzamiento apareció una llama de color vivo (véase figura 8.18) que indicaba que otro ingrediente se había añadido a los anteriores: parecía hidrógeno del tanque principal. El calor de la llama debilitó la estructura delgada lámina del tanque que terminó por ceder, saliendo una enorme cantidad de hidrógeno que actuó como un impulsor del tanque de hidrógeno (véase figura 8.19). Éste se incrustó con el tanque de oxígeno. Una enorme explosión apareció a los 73 segundos, y envolvió al Challenger en una bola de fuego de la que fueron saliendo partes del cohete en distintas direcciones. El paracaídas del SRB derecho salió sin su carga y por un momento los espectadores creyeron que los astronautas habían logrado salvarse; no sabían que en el vuelo no existen vías de escape.

### La investigación

Una comisión del más alto nivel se dedicó, por encargo del presidente Reagan, a descubrir las causas del accidente. Después de descartar posibilidades de sabotaje, se centraron en las señales visibles que habían acompañado al lan-

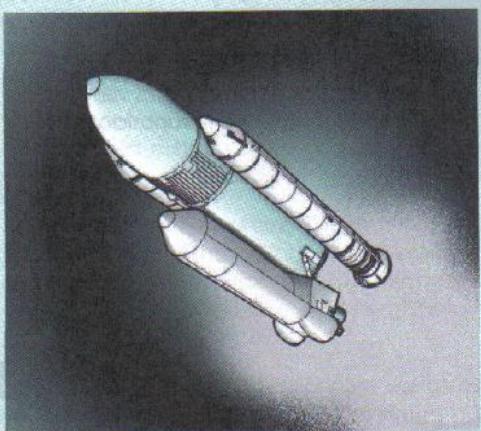


Figura 8.18. La fuga es perniciosa.

zamiento y en los antecedentes que existían sobre el mismo.

1. Hagan un breve resumen oral sobre el caso presentado y resalte la situación anómala que se presenta en el mismo.
2. La ocurrencia de una anomalía, de algo raro, es una indicación de que existen valores de una variable o situaciones que se apartan de lo que se considera normal. De acuerdo con la explicación dada, ¿qué es lo que se puede considerar como normal en este caso?
3. Indiquen los síntomas que señalan la presencia de que algo no está funcionando como debiera en una situación normal.
4. ¿Qué valores o situaciones pueden considerarse normales para la variable examinada en el presente caso?
5. ¿Qué valores son registrados por los instrumentos de medición?
6. ¿Hay suficiente evidencia para considerar que está presentándose una situación anormal?
7. ¿Cuál es la hipótesis de trabajo que se plantea para explicar la divergencia encontrada?
8. ¿Tiene sentido para ustedes?
9. ¿Podrían ustedes elaborar otra explicación sólida para los fenómenos observados?

## Direcciones de internet recomendadas

1. Mesher, David, *Mission: Critical*, <http://www.sjsu.edu/depts/itl/graphics/main.html>, Jun 2000.

En esta dirección se encuentra un curso en línea para mejorar la capacidad crítica y analítica de las personas. Es un curso excelente con numerosos ejemplos, exámenes, etcétera.

2. Exploring Technology Disasters, <http://www.mahwah.k12.nj.us/hs/EXPLTECH/DISASTER/index.htm>, Mahwah Public Schools, New Jersey, Jun 2000.

En esta dirección se encuentran varios casos de accidentes, problemas, etcétera, que

pueden servir como fondo para la aplicación del método científico o el diagrama de espina de pescado.

3. Goverment Accounting Office, Report on the Failure of the Patriot, ~<http://www.fas.org/spp/starwars/gao/im92026.htm>, <http://www.dc.unicamp.br/~marcus/disasters.html>, jun 2000.

En estas direcciones encontrará dos casos que pueden usarse para aplicar el método científico en la resolución de problemas en ingeniería. Ambos se refieren a problemas causados por fallas en el software de dos cohetes el Patriot americano y el Ariane 5 francés.

# 9

## Generación de posibles soluciones

*"Todo parece indicar que la habilidad creativa y la habilidad crítica no pueden existir juntas en su mayor grado de perfección".*

*Thomas Macaulay*

### Objetivo general

- Aprender algunas técnicas para mejorar la creatividad personal.

### Objetivos específicos

- \* Identificar los rasgos más importantes de las personas creativas.
- \* Comparar varios modelos explicativos de la creatividad.
- \* Describir el proceso creativo en ingeniería.
- \* Identificar los obstáculos para ser creativos.
- \* Usar varias técnicas para generar abundantes soluciones a un problema.

Para la segunda causa es necesario desarrollar la *habilidad creativa* de nuestros estudiantes a fin de que les cueste menos trabajo y esfuerzo generar ideas originales, así como suficiente cantidad de soluciones posibles a los problemas que deberá resolver.

En este capítulo se introduce al estudiante en el apasionante tema de la *creatividad*, con el fin de que sea consciente de la posibilidad que tiene de mejorar sus capacidades de creativo, aprendiendo técnicas para mejorar su habilidad para resolver problemas, ser original y productivo.

Esta originalidad y productividad se alcanzan de una manera más efectiva cuando los interesados son conscientes del proceso creativo. Los expertos ofrecen diversos modelos que explican la forma como se desarrolla este proceso. Si bien estos modelos son aplicables a todas las áreas del conocimiento humano, resulta conveniente desarrollar uno que sea más aplicable a los procesos creativos en el área de la tecnología. No es lo mismo el proceso que sigue un escritor para crear una obra literaria que un ingeniero para crear un remplazo al *mouse* usado en los computadores personales.

Sin embargo, el camino a la creatividad no está exento de dificultades; hay obstáculos que deben vencerse mediante actitudes adecuadas, así como usando técnicas que han demostrado ser eficaces para el desarrollo de las habilidades creativas.



La integración de Francia e Inglaterra permitió la construcción de una de las más grandes obras de la ingeniería moderna: el Eurotúnel.

## Generación de posibles soluciones

### 9.2. ¿Qué es la creatividad?

No existe una definición precisa de creatividad, aunque los diccionarios ofrecen definiciones de términos relacionados<sup>1</sup>:

- *Crear*: ser causa de que exista; originar; se produce algo de la nada; se produce usando la imaginación.
- *Creativo*: productivo; generador; innovador; imaginativo; original.

El problema inicial radica en llegar a un acuerdo sobre lo que se entiende por *creatividad* o, en términos más concretos, por *creación*. *Crear* implica combinar elementos que ya existen para generar algo *nuevo*. Se denomina *creación* a esta nueva combinación. *Creador* es aquel que

genera esa combinación en una forma que es nueva para él y/o para otros. *Creativo* es aquel capaz de generar con facilidad nuevas relaciones entre objetos ya existentes. Por ende, *creatividad* es la cualidad de los seres creativos que les permite crear.

#### Ejemplo 1

Un pintor combina los colores y formas de la naturaleza y produce algo que antes no existía; un compositor usa los sonidos que todos conocemos pero de una manera que produce una sensación de placer. El creador del sonar se basó en la propiedad que tienen los murciélagos de controlar su desplazamiento, aprovechando el eco de las ondas que ellos mismos emiten.

#### Ejercicio 1

¿En qué elementos naturales se basaron los inventores del submarino? ¿Cuáles son los elementos que al combinarse dieron lugar a la pluma estilográfica?

Si la creación resulta novedosa para mucha gente se acostumbra a denominarla *innovación*; cuando se trata de algo nuevo para todos, se denomina *invento*. También puede afirmarse que se inventa algo cuando ese algo

es diferente de otras cosas similares que hacen lo mismo, pero lo nuevo lo realiza de una forma radicalmente diferente, o mejora su funcionalidad en uno o varios órdenes de magnitud. Por otra parte, la *Innovación* puede verse como un subproducto de la *invención*: de la idea original que finaliza en un invento, se desprenden ideas de menor calibre que permiten mejorar el mismo invento o que se aplican a otros productos, procesos, aplicaciones, etcétera, mejorándolos.

#### Ejercicio 2

Graham Bell inventó un aparato que permitía hablar a distancia; era nuevo para todos. El teléfono, sin duda alguna, es un invento. Durante muchos años este artefacto no sufrió cambios radicales. Sin embargo, en la década del 90 del siglo XX hizo su aparición un artefacto que permite hablar a distancia pero a diferencia del teléfono tradicional es móvil, se desplaza con la persona. Es el teléfono celular, ¿un invento o una innovación? Definitivamente un invento, pues introduce en el teléfono

tradicional una característica que le da una funcionalidad totalmente diferente: la movilidad.

Después que se inventó la pluma estilográfica aparecieron los bolígrafos, que tomaban prestado de la pluma un elemento básico: la tinta se suministraba automáticamente. Sin embargo, el resto era diferente: no se usaba pluma, sino una pequeña bola que se impregna de tinta pintando con ella la superficie del papel. ¿Innovación? ¿Invento?

### Ejercicio 3

¿Es el mouse de tres botones un invento? El bisel turf láser es un invento; ¿está de acuerdo?

El televisor portátil es una innovación. Si está de acuerdo indique por qué.

De todo lo anterior se deduce que lo *nuevo*, lo novedoso, es un elemento sustancial al proceso creativo. Sin este componente no se puede hablar de creatividad.

Algunos autores<sup>2</sup> añaden el criterio de *bueno* para que se lé de la categoría de creación. Esto es discutible; la bomba atómica (¿quién duda que estaremos hablando de algo que fue nuevo en su momento?) de por sí no es algo bueno, pues fue diseñada para matar seres humanos y destruir ciudades. Sin embargo, quienes la lanzaron sostienen que sirvió para acortar la guerra y salvar miles de vidas, más de las que se perdieron. Desde este punto de vista demuestran la bondad de aquélla. En otros casos es fácil apreciar que la creación tuvo malos propósitos desde su implementación: las cámaras de gas desarrolladas por los nazis tenían como propósito aumentar la eficiencia en el proceso de eliminar a la raza judía de la faz de la Tierra. ¿Puede alguien encontrar un vestigio de bondad en este propósito?

El criterio de bondad podría cambiarse por el de *utilidad*, con lo que los aspectos éticos quedarían un poco al margen de la discusión. Un desarrollo científico que genere un medicamento que empeore la salud de la gente, por más novedoso

que sea, no será considerado nunca una invención. Un teclado para computador conectado por rayos infrarrojos con la unidad central pero que necesite una alineación entre emisor y receptor muy precisa, o de lo contrario se desconecta, no se puede calificar como algo novedoso, aunque en algún momento existió. No era útil.

Otro término relacionado con la creatividad es *descubrir*, que quiere decir poner al descubierto algo que ya existe; desde esta perspectiva tiene sentido hablar del descubrimiento de América, del descubrimiento de la ley de la gravedad universal; se habla de invención cuando se presentan hechos conocidos con relaciones nuevas. Se inventan teorías, no se descubren; la teoría de la relatividad es una explicación de ciertos fenómenos naturales basándose en hechos conocidos pero con nuevos enfoques.

### Ejemplo 4

Flemming descubrió la penicilina, no la inventó. Pasteur inventó el proceso de la *pasteurización*. Einstein inventó la teoría de la relatividad que explica por qué ocurren determinados fenómenos naturales. Kepler descubrió el movimiento elíptico de la Tierra alrededor del Sol. Newton descubrió la fórmula que explica la dinámica de los cuerpos. Newton inventó junto con Leibniz el cálculo infinitesimal. Einstein descubrió la fórmula que relaciona la masa con la energía:  $E=mc^2$ .

### Ejercicio 4

Haga una lista de cinco descubrimientos y de cinco inventos en diversas áreas del quehacer humano.

En el ámbito artístico se acostumbra hablar de *creación*, al referirse a una obra artística de primer orden: Mozart ha sido creador de innumerables piezas de música; el genio creador de Picasso no se discute. En el ámbito científico se habla de descubrimientos y de invenciones. En el área de la tecnología se habla de invenciones y de innovación.

### Ejemplo 5

El computador personal es un invento; sin embargo el computador personal portátil es una innovación. El carburador, que es el dispositivo del motor de un carro que regula el flujo de la mezcla que va a los pistones, es un invento. Sin embargo, el carburador de doble garganta es una innovación. Por el contrario, el sistema de inyección electrónica que remplazó al carburador tradicional puede considerarse un invento.

120352

## Generación de posibles soluciones

### Ejercicio 5

Haga una lista de cinco invenciones en el área de la ingeniería civil, así como de cinco innovaciones en el de la ingeniería industrial.

En resumen, la creatividad es:  
ver lo que todo el mundo ha visto;  
pensar lo que nadie ha pensado y  
hacer lo que nadie se ha atrevido.

#### 9.2.1. Hemisferio izquierdo versus hemisferio derecho

Las personas creativas reciben nombres diversos: ingenioso, recursivo, brillante, imaginativo, original, listo, entre otros. Evidentemente, en estas denominaciones se aprecian rasgos de las personas creativas. No hay que relacionar necesariamente inteligencia y creatividad: no necesariamente un premio nobel de matemáticas (¿quién

duda de su inteligencia?) es un ser creativo. Por el contrario, muchos estudiantes que obtienen bajas calificaciones en matemáticas demuestran ser excelentes en asignaturas como la lógica, diseño de circuitos digitales, entre otros. Esto nos lleva a la siguiente pregunta: ¿podemos ser personas más creativas de lo que somos?

Para encontrar respuesta a esta pregunta se debe recurrir a la sicología. Los sicólogos sostienen que el *hemisferio izquierdo* del cerebro (para las personas diestras) es el responsable de las funciones relacionadas con el razonamiento lógico, el manejo simbólico verbal y escrito; mientras que el *hemisferio derecho* maneja las funciones de razonamiento espacial y holístico. Desgraciadamente, nuestra educación ha estado dominada por el lado izquierdo. En la figura 9.1 aparecen más detalladamente las funciones relacionadas con ambos hemisferios del cerebro<sup>3</sup>.

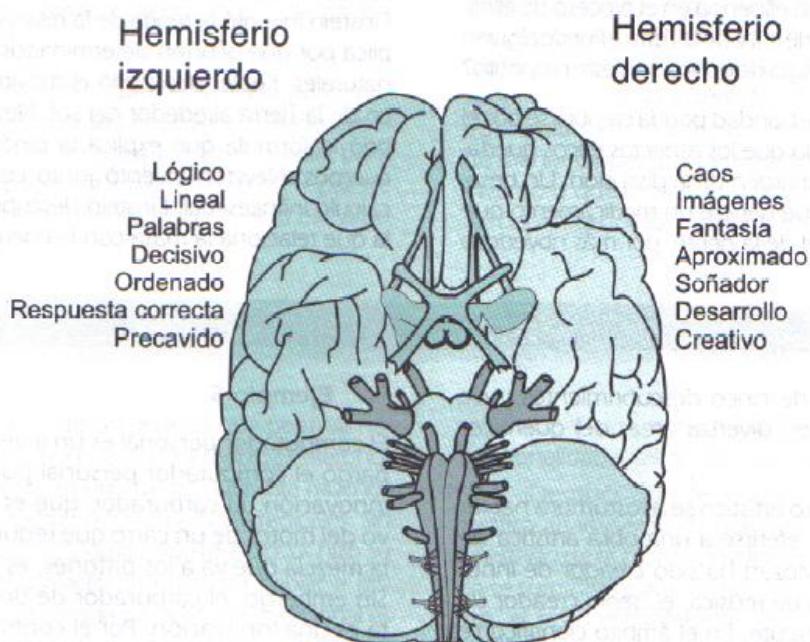


Figura 9.1 Hemisferios izquierdo y derecho del cerebro.

El aprendizaje con el lado izquierdo es más rápido, más fácil y más cuantificable que el del lado derecho; está hecho a la medida para el aprendizaje por objetivos. Los estudios universitarios favorecen a los estudiantes más exitosos con operaciones del lado izquierdo, y estos estudiantes son posteriormente educadores. Una transformación que debería facilitarse en la educación en ingeniería sería el desplazamiento de la dependencia del hemisferio izquierdo y el énfasis en la respuesta precisa para incluir la parte no lineal derecha con su habilidad para el análisis holístico y para la síntesis.

Los sicólogos han catalogado a las personas de acuerdo con la predominancia de uno de los dos hemisferios: si el que predomina es el

izquierdo, la persona tiende a ser racional y poco imaginativa; lo contrario ocurre cuando el lado que domina es el derecho: en ese caso la persona tiende a ser muy creativa pero poco organizada. Evidentemente que estos son los casos extremos: lo normal es encontrar personas que poseen habilidad creativa en cierto grado combinada con una mayor o menor racionalidad.

Existen *test*<sup>4</sup> que permiten identificar el tipo de personalidad de cada individuo. Se han identificado cuatro tipos básicos de personalidad: el racional (Einstein), el artista (Hemingway), el idealista (Gandhi) y el líder (Truman). Cada uno de estos cuatro tipos de personalidad son una combinación de cuatro categorías de temperamento:

Forma de relacionarse:	extravertido (E)	versus	introvertido (I).
La forma como percibe:	intuitivo (N)	versus	percepción de los hechos (S).
En qué se basa para decidir:	sentimientos (F)	versus	objetivamente (T).
La manera como vive:	orden (J)	versus	flexible (P).

Estos temperamentos dan lugar a 16 combinaciones posibles tomando una de cada par. Por ejemplo, ISTJ, ENTP, INTP, ... Los inventores, con una marcada racionalidad, se encuentran mayoritariamente identificados con la combinación ENTP, mientras que los arquitectos se encuentran más bien identificados con la combinación INTJ. Los ingenieros pueden caer fácilmente en cualquiera de los dos grupos, pues en ambos se satisfacen sus expectativas: crear máquinas y diseñar.

#### Ejemplo 6

Los resultados del *test* temperamental de Keirsey realizados por internet arrojan los resultados que muestran el cuadro 9.1

El análisis de los mismos muestra que en el grupo de los inventores apenas alcanza el 4,5% de las personas que realizaron la prueba.

Por otro lado, a un grupo de decanos y profesores de ingeniería<sup>4</sup> les han practicado el mismo *test* a lo largo de varios años. Los resultados parciales han sido los siguientes (de un total de 195 respuestas):

ISTJ	32
INTJ	47
INTP	24
ENTP	11
ESTJ	24
ENTJ	22

A un grupo de estudiantes de último año de ingeniería mecánica le hicieron el *test* con los siguientes resultados parciales:

## Generación de posibles soluciones

**Cuadro 9.1. Resultados porcentuales del test de Keirsey**

Tipo	Número	Internet	Porcentaje mundo real
ISTP	23 024,09	1,22%	5%
ENFJ	218 523,57	11,62%	5%
INFJ	148 116,38	7,88%	1%
ESFJ	125 664,77	6,68%	13%
ENFP	246 935,17	13,13%	5%
ISFJ	132 308,40	7,04%	6%
INFP	145 062,25	7,72%	1%
ESFP	32 326,28	1,72%	13%
ENTJ	122 923,67	6,54%	5%
ISFP	19 670,33	1,05%	5%
INTJ	123 386,08	6,56%	1%
ESTJ	193 931,85	10,31%	13%
ENTP	82 961,00	4,41%	5%
ISTJ	252 928,90	13,45%	6%
INTP	70 079,90	3,73%	5%
ESTP	25 560,56	1,36%	13%

INTP	24%
ENTP	14%
INTJ	10%
ENTJ	10%
ISTP	10%
ENFP	10%

### Ejemplo 7

La figura 9.2 muestra una parte del test de Keirsey.

Figura 9.2. Una parte del test de Keirsey.  
Fuente: [www.keirsey.com](http://www.keirsey.com)

### Ejercicio 6

Conéctese a la dirección indicada y haga la prueba. Reflexione antes de contestar cada pre-

gunta. Sea lo más ingenuo y objetivo que sea posible.

## Ejercicio 7

Algunos alumnos opinan que la creatividad es:

Es interesante que todo el grupo de estudiantes haga la prueba para conocer en qué categoría se encuentra cada uno y la combinación dominante en el salón. La misma prueba es interesante hacerla con todas las ingenierías para detectar diferencias en las personalidades de sus estudiantes.

Como puede observarse, toda persona tiene capacidad creativa; son, principalmente, los procesos educativos y los tabúes culturales los que disminuyen sustancialmente esta capacidad, debido a la preeminencia de los procesos que favorecen las funciones del hemisferio izquierdo sobre las del derecho. Adicionalmente, en nuestra educación inicial nos han obligado a obedecer sin preguntar razones, a tomar como verdades ciertos preceptos. Todo ello va minando profundamente nuestra capacidad de discrepar, de ser creativos.

### 9.2.2. Modelos del proceso creativo

Ser creativo es una necesidad para los triunfadores del próximo siglo; la mayor riqueza que puede tener un país ya no son sus recursos naturales (oro, petróleo, uranio, comida, ...); éstos siguen siendo importantes pero no fundamentales para las economías de los países desarrollados. Hoy día tiene mayor importancia el poder creador de los habitantes de un país; la capacidad de abordar nuevos y viejos problemas con enfoques novedosos, distintos, diferentes, mejores.

Desarrollar, mejorar, aumentar la capacidad creativa de nuestros estudiantes debe ser una constante en todos nuestros encuentros, bien sea durante las sesiones formales (clases), como en las denominadas informales (eventos académicos o lúdicos), en nuestras conversaciones con ellos, en las consultas que nos hagan; en fin, en cualquier actividad que desarrollemos directa o indirectamente debe estar en primer lugar nuestro esfuerzo para ayudar a desarrollar su creatividad y la nuestra, por supuesto.

¿Cómo lograrlo? Es fácil decir el *qué*, pero no es lo mismo decir el *cómo*. Y menos en un tema en el que ni los expertos se han puesto totalmente de acuerdo. Pero se supone que será más fácil lograr éxitos en este campo si de alguna manera se conoce la forma como se genera una nueva idea, como se crea algo, como se realiza un descubrimiento, etcétera. Diferentes autores han explicado este proceso a través de diversos modelos; aunque los modelos propuestos no son iguales, si tienen aspectos en común. Mediante una adecuada comparación de esos modelos se pueden extraer algunas características comunes y formar con ellas otro distinto que contenga las partes fundamentales de todos con mayor aplicabilidad al campo de la ingeniería, por ejemplo.

Un modelo busca dar una explicación integral a una determinada clase de problemas de una forma holística. Los modelos sirven para explicar algunos fenómenos extraños para nosotros; nos permiten anticipar y estar preparados. Los modelos presentan la secuencia de los eventos, su conexión entre sí, patrones de comportamiento o aparición, flujo de datos y la organización de los diversos componentes que intervienen en el modelo.

Por ejemplo, existen modelos que explican el comportamiento de los mercados bursátiles mediante el uso de ecuaciones que describen cómo la oferta y la demanda llegan a un punto de equilibrio: cuando la oferta supera la demanda, baja el precio de las acciones. Esta baja hace que los interesados retiren de la oferta sus acciones ( pierden dinero ante el bajo precio), lo que desata una escasez en la oferta que impulsa hacia arriba nuevamente las acciones, reanudando el ciclo de oferta ante la mejora del precio. Así mismo, los procesos inflacionarios se pueden explicar por un modelo similar al descrito anteriormente.

Así como se elaboran modelos para los procesos económicos, ecológicos, sociales, políticos, ... también se diseñan algunos modelos para explicar cómo se desarrolla el proceso creativo.

En el cuadro 9.2 se recopilan algunos de éstos<sup>5</sup>. La comparación de estos modelos arroja los siguientes resultados:

- Todo proceso creativo se encuentra estimulado por una *necesidad*; se dice que “la necesidad es la madre de la invención ...”. Nos movemos hacia delante cuando necesitamos vencer algún obstáculo; cuando hay algo que nos molesta; cuando queremos más, entonces desarrollamos nuevos productos, nuevos procesos, mejoramos lo que existe, le damos mayor funcionalidad.
- Es necesario *conocer* del tema sobre el que se va a trabajar. En nuestro cerebro ocurre el proceso creativo; es necesario suministrárselo información para que de ella surja la idea genial. A veces las creaciones salen después de un corto período de estudio; otras veces tardan más. En realidad, es difícil creer que alguien pueda producir algo novedoso si antes no ha trabajado en algo relacionado, o tenido estudios relativos al tema.
- Hay una fase de *escape*, en la que la mente humana deja que la semilla germe, sin imponerle prisas, ni urgencias. Es preciso en esta fase liberar a la mente de todas las ataduras posibles, dejarla sin camisas de fuerza. Que deambule libremente por los valles del conocimiento y pruebe conexiones entre los mismos hasta que ... ¡Eureka! se encontró una conexión válida.
- Lo que vienen después de la explosión creativa es un *trabajo* intenso usando las facultades típicas del hemisferio izquierdo del cerebro: organización de los datos, planeación del trabajo, realización de pruebas, análisis de los resultados, conclusiones y demás.

Cuando se trata de un producto de corte tecnológico, el proceso que sigue es más elaborado, como se podrá apreciar más adelante. En los descubrimientos científicos es necesario comprobar el hallazgo mediante experimentos incontrovertibles que puedan ser repetidos en cualquier parte, por cualquier persona para demostrar que el descubrimiento es real. La vacuna contra la malaria solamente será aceptada

cuando se compruebe su eficacia y eso solamente se logrará cuando demuestre que es efectiva, de acuerdo con los estándares mundiales que existen para comprobarlo.

Algunos modelos le dan más importancia a unas fases que a otras, pero podrían concretarse en:

• Reconocer la necesidad.

• Acumular conocimiento.

• Buscar asociaciones pasiva o activamente.

• Desarrollar el descubrimiento.

### 9.2.3. Obstáculos a la creatividad

Existen inhibidores que impiden desarrollar nuestra habilidad creativa. Los sicólogos han detectado como los más dañinos los siguientes:

- *Hábitos*: tendencia a descansar sobre lo seguro; aunque en sí los hábitos son buenos, generan inercia al cambio, que es el motor de la creatividad.
- *Fijaciones*: costumbre de usar algo solamente de una forma, oscureciendo otras posibilidades. La imposibilidad de asignarles funciones a los objetos que manejamos habitualmente limita nuestra creatividad. Un improvisador es un individuo que no sufre de fijaciones.

El problema de la *fijación funcional* fue descubierto y bautizado por el sicólogo alemán Karl Duncker en 1930<sup>6</sup>. Sostiene que nuestro pensamiento se halla limitado por la experiencia y, una vez que aprendemos como trabajan las cosas, nos es difícil asociarles otros usos. Por ejemplo, una caja es algo para contener cosas; un martillo es algo para clavar puntillas. Esta inflexibilidad de nuestra mente para asociar usos distintos a estos objetos la denominó *fijación funcional*.

#### Ejemplo 8

Martin Scheerer propuso el siguiente ejercicio<sup>7</sup> para demostrar la fijación que tienen algunas personas, que les impide resolver exitosamente los problemas que les presentan. La fijación con-

Autoe Fases del proceso	Wallas	Baron	Rosman	Osborn	Creative problem solving	Universit Traveler Model	Planeación estratégica	Creatividad dirigida
Analisis	Preparación Definición del asunto Observación Estudio	Observación de una necesidad Análisis de la nece- sidad Búsqueda de infor- mación	Orientación Señalar el problema Preparación Reunir datos Análisis Separación en partes	Busqueda del objetivo Busqueda de datos Búsqueda de problemas	Aceptar la situación como un desafío Analizala para des- cubrir el mundo del problema Definirla, para puntualizar los as- pectos principales y objetivos	Analisis	Observación de las cosas que nos rodean juntas a un ... Análisis concen- trado de cómo las cosas trabajan y fallan	
Creacion	Incubación Déjala quieto Iluminación ¡Eureka! Ya salió	Concepción En una mente lista Gestación Hay que darle tiempo Parto Sufimiento	Generación de so- luciones Ideación Generar ideas Incubación Dejarlas reposar Síntesis Armando el rompecabezas	Busqueda de ideas Búsqueda de soluciones	Generar opciones Generar ideas Incubación Dejarlas reposar Síntesis Armando el rompecabezas	Creatividad	Generación de ideas a partir de un almacén de ideas que han ido almacerciándose con el tiempo	
Critica	Verificación Comprobar si sirve o no		Critica de las solu- ciones Selección de la mejor	Evaluación Valoración de las ideas	Aceptación Selección	Valoración	Comparación Mejora Evaluación	
Planeación						Planeación		
Acción			Chanza Desarrollo posterior	Prueba de la solución	Ponencias a funcionar Evaluar	Acción	Implantación Evaluación	

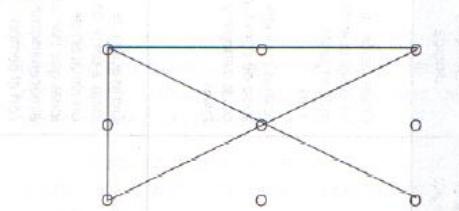
**Cuadro 9.2. Modelos explicativos de la creatividad.**

## Generación de posibles soluciones

Crea que el 5% de los objetivos que se clasifican en la clase de esa

sisté, normalmente, en suponer cosas que no se han indicado.

Observe detenidamente los nueve puntos. Su misión consiste en conectarlos mediante cuatro líneas rectas sin levantar el lápiz del papel.



En el lado derecho se encuentra la respuesta, que no muchos la alcanzan porque creen equivocadamente que las líneas no pueden ir más allá de los puntos. Cuando las líneas van más allá de los puntos la solución es sencilla.

### Ejercicio 8

Dados seis fósforos, forme cuatro triángulos equiláteros congruentes cuyos lados deben tener las longitudes de los fósforos.

- *Reacciones de nuestros asociados:* cuando ante una idea nuestra se reacciona con dogma, inercia, desprecio, apatía, complacencia, negativismo u otros, esto produce en nosotros la decisión de no volver a presentar ninguna idea distinta.
- *Creencias:* las creencias muy arraigadas son limitantes de nuestra creatividad; deforman la visión que se tiene de la realidad, del mundo que nos rodea. La información que nos llega "es filtrada" por nuestras creencias, generando distorsiones, sesgos, que impiden tomar las decisiones correctas.
- *Estrés:* el estrés no solamente nos quita energía valiosa para el proceso creativo sino que es perjudicial para la salud; sin ésta difícilmente se puede llegar a ser creativo.

Afortunadamente, existen técnicas que permiten sobreponer alguna de estas dificultades:

- *Dirigiendo nuestro interés:* nos motiva a identificar necesidades específicas e iniciar esfuerzos creativos.
- *Dando forma a los filtros:* que se utilizan en nuestro proceso de razonamiento, aumentando su exactitud, alcance y flexibilidad.
- *Aumentando nuestra información:* sin la suficiente cantidad de estructuras de información es imposible establecer las necesarias relaciones que conducen a la creación de algo nuevo.
- *Acelerando las asociaciones:* con la suficiente cantidad de información en nuestra memoria se puedan generar múltiples asociaciones en corto tiempo que permitan aumentar la probabilidad que alguna de ellas sea realmente algo novedoso.

Como puede observarse estos grupos de técnicas permiten compensar, en parte, las inhibiciones que por tradición han impedido que los procesos creativos sean más frecuentes en nuestra sociedad.

### 9.3. El proceso creativo en ingeniería

En uno de los apartados anteriores se presentaron varios modelos que explican el proceso creativo. Si se analizan detenidamente podrá ob-

servarse que hay una marcada coincidencia entre ellos, si bien cada uno potencia un determinado aspecto de ese proceso. No hay que olvidar

que estos modelos se elaboraron desde un punto de vista; generalmente son sicólogos quienes se dedican a investigar este campo del conocimiento y que muchas veces las conclusiones que presentan son derivadas del estudio de áreas como las ciencias sociales, medicina, ciencias naturales, entre otras. Existen muchos ejemplos de personas creativas y del proceso creativo y la gran mayoría de los mismos se relaciona con disciplinas diferentes a las que maneja la ingeniería. ¿Será que existe un modelo del proceso creativo en ingeniería diferente de los demás?

La ingeniería, y en general todo lo relacionado con la tecnología, tiene aspectos diferentes que introducen en el proceso creativo algunos matices que es necesario resaltar. Por eso se propone este modelo personal del proceso creativo en ingeniería que usa componentes de los demás modelos, pero individualizado en cierto modo. El Proceso consta de las siguientes fases<sup>8</sup>:

1. Identificación del área en la que se va a trabajar, posiblemente impulsado por la necesidad de resolver un problema.
2. Acumulación del conocimiento necesario para que el proceso pueda ser exitoso.
3. Incubación o reposo buscando asociaciones.
4. ¡Eureka! Parto de la idea original.
5. Desarrollo tecnológico.
6. Prueba.
7. Perfeccionamiento.
8. Experimentación.
9. Ajustes.
10. Prototipo final.
11. Mercadeo.
12. Patente.
13. Mantenimiento.

En la figura 9.4 se ofrece un diagrama más descriptivo del proceso.

#### Ejemplo 9

Existen registros de que la escritura fue inventada hace más de 3 000 años, aunque los instrumentos utilizados entonces no guardan parecido

con los actuales. Los egipcios fueron los primeros que escribieron usando filamentos que untados en jugos de frutas (moras) y utilizando papiros permitieron legar a la humanidad sus increíbles hazañas. Más adelante se utilizaron instrumentos más sofisticados que tenían un corte al final y que permitían mejorar la escritura. Se sabe de instrumentos de bronce empleados de esta manera. La tinta era una mezcla de productos naturales que producía un resultado satisfactorio.

Con la caída del Imperio romano, los monjes se dedicaron a pasar la tradición oral en códices para lo cual utilizaron las plumas de los gansos, cortadas en ángulo en su extremo y las que mojadas en tinta permitían escribir elegantemente en letra gótica. Se calcula que de un buen ganso se podían sacar 12 plumas. El uso de estas plumas alternó con el de las plumas metálicas como la que se muestra en la figura 9.4; estas plumas eran mucho más sofisticadas que las inicialmente usadas, pues además de tener un corte en la mitad que les permitía diferentes anchuras en la letra, acababan en una punta de iridio que les daba mayor duración. Incluso se llegaron a manufacturar plumas de oro y plata, pero más para decoración que para uso práctico. A mediados del siglo XIX, por el año 1810 se dejaron de usar las plumas de ganso.

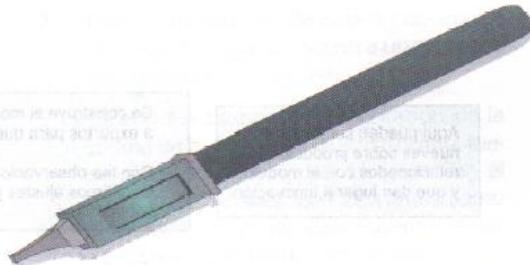
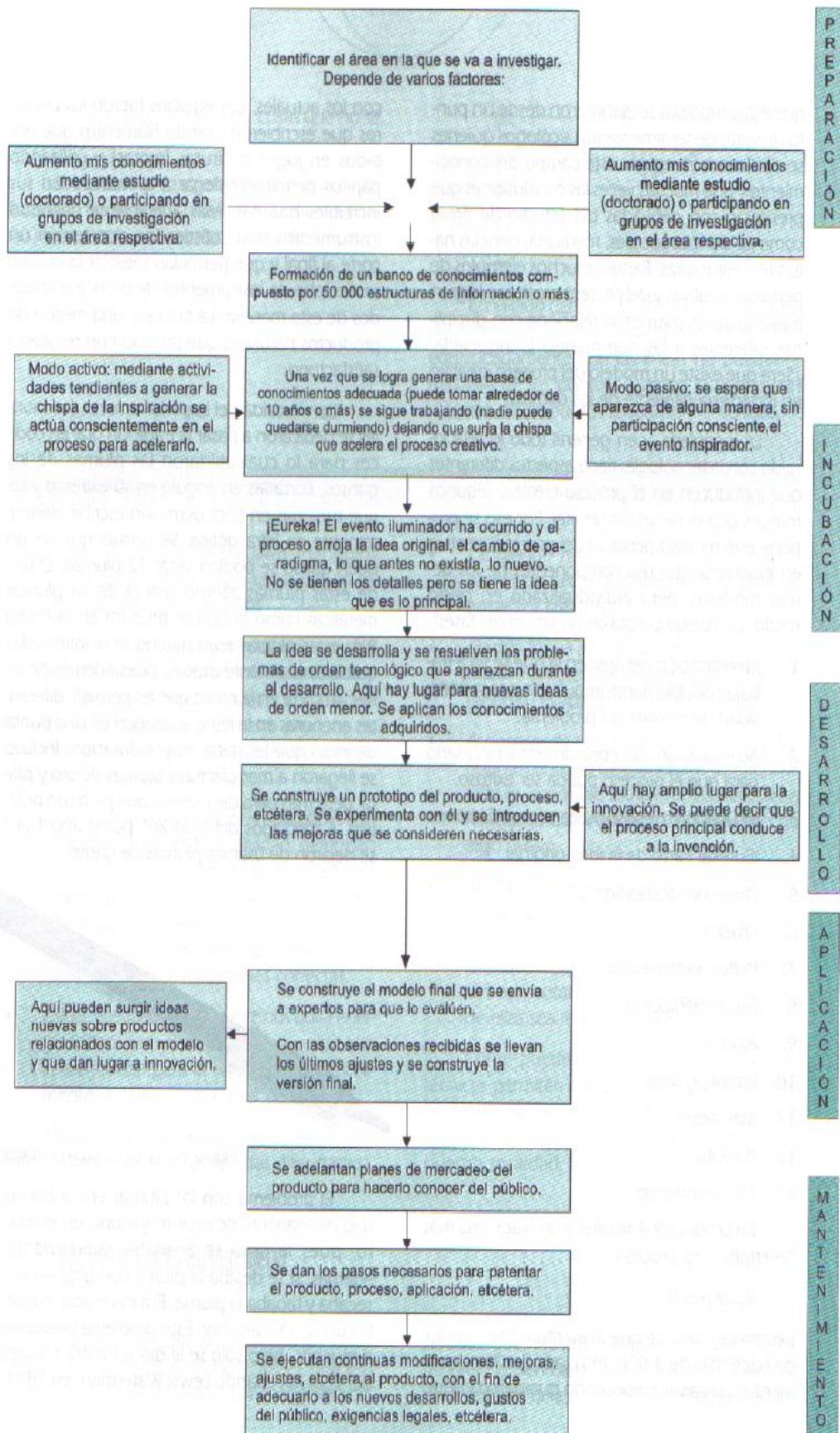


Figura 9.3. Primitiva pluma metálica.

El problema con las plumas era la necesidad permanente de estar mojándola en el tintero, pues la tinta se acababa rápidamente; además, si se dejaba la pluma con tinta ésta se secaba y tapaba la pluma. Era necesario limpiarla con agua o alcohol. Este problema preocupó a muchos, pero sólo se le dio solución a finales del siglo XIX cuando Lewis Waterman, en 1884,

## Generación de posibles soluciones



Cuadro 9.4. Diagrama del proceso creativo en ingeniería



Figura 9.5. Diseño básico.

obtuvo la primera patente sobre un instrumento de escritura que usaba un tanque de tinta incorporado a la pluma<sup>9</sup>.

El señor Waterman era un corredor de seguros que un día perdió un buen negocio al no poder firmar el contrato con su cliente a tiempo. La razón: al ir a firmar el contrato la pluma se estropeó y manchó el contrato con un borrón. Mientras el señor Waterman iba a su oficina por un contrato limpio un competidor obtuvo el negocio. Prometiendo que esto no le iba a volver a ocurrir, se dedicó a investigar la forma de construir una pluma que pudiera escribir indefinidamente, sin estar mojando la punta en tinta. Después de arduas investigaciones le llegó la brillante idea, la solución era simple:

#### **Pluma fuente = pluma metálica + tintero (véase figura 9.5).**

Esa es la idea genial. Muy sencillo. Tan sencillo que a nadie se le había ocurrido en 5 000 años de historia.

Hasta este punto de la historia, pueden apreciarse tres elementos básicos en el desarrollo de un invento:

1. La necesidad.
2. El conocimiento.
3. La maduración de la idea (no se ve clara en este caso).
4. La inspiración, el ¡Eureka!

Esta es la parte genial de cualquier invento; la información que se ha almacenado en el cerebro formando miles de estructuras de información incompletas, se asocia por efecto de un accidente (*serendipia*), por el fruto de un experimento exitoso, por la observación de un determinado fenómeno, u otras. El hecho es que, de pronto, estas estructuras de información se encuentran y de esta unión aparece el nuevo conocimiento.

Lo que viene a continuación es el desarrollo de la idea hasta convertirla en un producto que tenga mercado. Los científicos posiblemente no se preocupan de esa parte, pero los ingenieros no pueden darse el gusto de producir algo que a la gente no lo llame la atención, por su aspecto, su utilidad, su conveniencia.

Durante la fase de desarrollo tecnológico se presentan problemas de ingeniería, de física, de matemáticas, de química, entre otros, que es necesario resolver para que el producto final satisfaga. En el caso del ejemplo era necesario resolver los siguientes problemas:

1. Elaboración de la tinta adecuada. Las tintas que se venían usando tenían un problema muy serio: tapaban fácilmente los conductos por los que fluye la tinta y era necesario estar limpiándolas continuamente.
2. Diseño del depósito de tinta. Es obvio que no se podía pegar un tintero a un tubo que terminaba en una pluma.
3. Diseño del sistema de alimentación de la pluma de modo que el flujo de la tinta fuese regulado, tanto en el frío como en el calor, lo mismo si estaba hacia arriba como si estaba hacia abajo. Que fluyera cuando se escribía pero no durante el reposo.
4. El diseño de la pluma en sí, para que permitiera escribir en forma agradable y con una adecuada duración.
5. Finalmente, el conjunto debería ser atractivo, de un tamaño proporcional a la mano, con un balance adecuado.

Cuando el señor Waterman registró la patente en 1884 (véase figura 9.6), el problema

## Generación de posibles soluciones

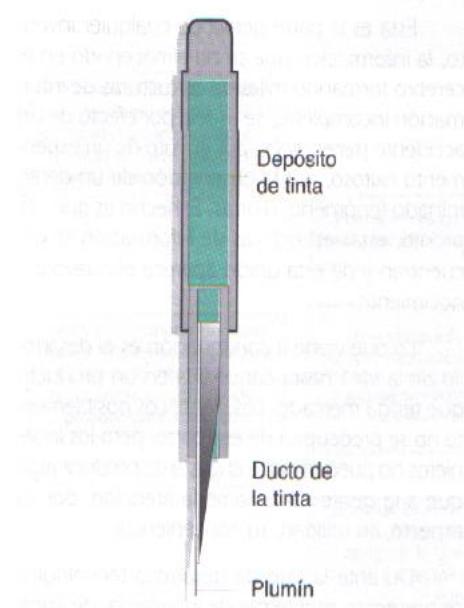


Figura 9.6. Dibujo de la patente original

de la tinta ya estaba resuelto. Se había inventado la tinta que necesitaban las plumas fuente compuesta de agua (98%), tintes, lubricantes, detergentes, agentes para conservar el color a lo largo del tiempo, para que la tinta seque rápidamente al escribir. La tinta más adecuada para cada pluma sigue siendo un desafío para los químicos que encuentran todavía campo amplio para la innovación.

El problema del depósito de tinta fue resuelto inicialmente convirtiendo la parte superior de la pluma en un depósito. Pero además de los problemas técnicos para regular el flujo de la misma, apareció otro de menor dificultad técnica, pero que se convirtió en un problema de aceptación: era necesario llenar el depósito de tinta, a pulso, lo que originaba que todos los que intervenían en el proceso terminaran de

baño. Como se aprecia, el diseño de la patente no era muy diferente del dibujo que mostraba la idea genial, pluma fuente = pluma + tintero. Problemas que se tuvieron que resolver:

- Si se tapaba el extremo superior, la tinta no fluía por no tener la presión atmosférica que la empujara. Pero si se abría, el depósito se vaciaba por falta de regulación. Una solución fue colocar una válvula que controlaba la presión. Esta solución no duró mucho, pues no era muy práctica.
- Para remediar el problema del llenado de la tinta se introdujo una bomba de caucho que al ser apretada generaba un vacío; cuando se soltaba la bomba el vacío succionaba la tinta y llenaba la bomba. Este esquema funcionó durante mucho tiempo. Algunos fabricantes de plumas fuente introdujeron una palanca exterior que eliminaba el tener que quitar la tapa de la pluma para cargar la bomba. (véase figura 9.7).

Este sistema tenía un inconveniente: la palanca iba deteriorando el caucho de la bomba lo que obligaba a cambiarlo con cierta frecuencia 9.8.

- Una de las soluciones más exitosas fue introducir una bomba que se accionaba mediante un sistema de pistón: al darle vuelta a un mecanismo de tornillo sinfín, el pistón bajaba hasta cerca de la pluma, quedando la bomba vacía. Luego, mientras la pluma se encontraba metida en el tintero, se desenroscaba el pistón, lo que hacía que se succionara la tinta y llenara de esta forma la bomba, tal como se ilustra en la figura 9.8.

En la actualidad, casi todas las marcas de plumas fuente ofrecen cartuchos de tinta que se insertan fácilmente, sin tener que cargar la pluma y de necesitar el respectivo tintero.



Figura 9.7. Adición de palanca para llenado externo de la pluma.

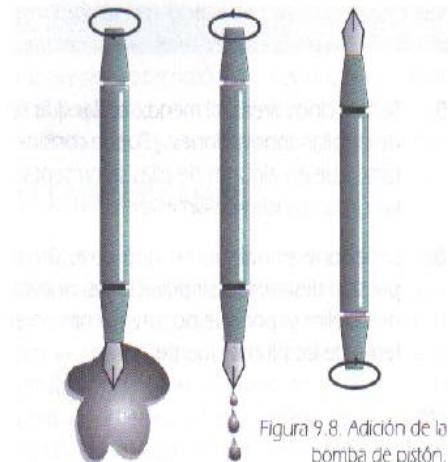


Figura 9.8. Adición de la bomba de pistón.

El verdadero problema que cada fabricante tuvo que resolver fue la regulación de la tinta para que la pluma escribiera continuamente, depositando la cantidad adecuada de tinta sobre el papel, ni más ni menos. Para ello era preciso que la tinta fluyera solamente cuando se ponía en contacto con el papel. El problema se resolvió usando una de las propiedades de los líquidos: su capilaridad. En la figura 9.9 se aprecia una de las soluciones al problema del control del flujo de la tinta.

El sistema de control de flujo debía tener en cuenta los siguientes parámetros:

- La gravedad que hace fluir la tinta hacia abajo.
- La presión atmosférica.
- La variación del volumen de la tinta por los cambios de temperatura en el depósito debido al calor de la mano, o a la temperatura externa.
- La acción de escribir o no escribir.

Mediante algunos vasos capilares se regaba la pluma con tinta que solo flula cuando estaba en contacto con el papel y era succionada por el mismo; unos conductos permitían que entrara aire al depósito a medida que la tinta salía. Adicionalmente, para prevenir el sobreflujo causado por el aumento del volumen debido al incremento de la temperatura o al desbalance de la presión atmosférica, se disponía de un sistema de ductos y canales que permitían almacen-

nar temporalmente dicho flujo adicional, impiéndole que la pluma gotease.

Cada fabricante desarrolló una solución diferente para este problema, aunque todos usaron el principio de la capilaridad para asegurar un flujo continuo y suave, de la tinta a la punta de la pluma. (véase figura 9.9).

El último problema que debieron resolver fue el de la pluma en sí. Dado que la tinta contiene sustancias corrosivas, fue necesario usar materiales como el acero; en las plumas de lujo se emplea el oro que es un metal más dúctil y permite darle personalidad a la escritura. Pero dado que el oro es muy blando debe colocarse en la punta de la pluma una pequeña esfera de metal duro como el iridio, rodio o rutenio que no se desgastan al rozar con las fibras del papel. Esta esfera se suelda en la punta y después se pule y corta por la mitad con una sierra de alta velocidad y precisión. La pluma tiene una hendidura en la mitad que permite el flujo de mayor o menor cantidad de tinta de acuerdo con la presión.

En 1915, el señor Waterman le añadió un gancho a la tapa de la pluma con lo cual ésta pudo llevarse segura en el bolsillo de la chaqueta o en el de la camisa en posición hacia arriba eliminando el peligro de goteo.

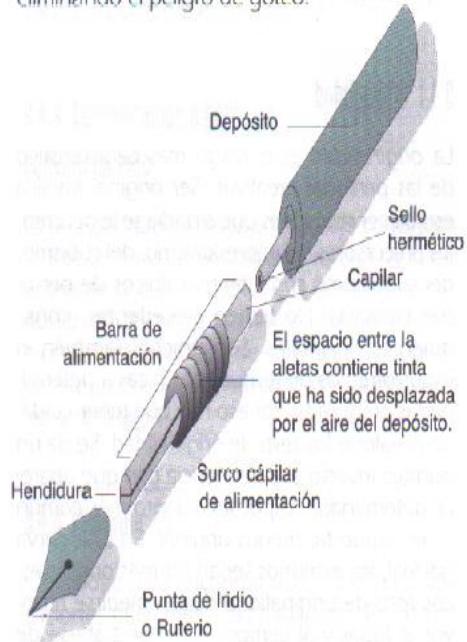


Figura 9.9. La capilaridad hace fluir la tinta.

tos iniciales, en busca de otras realidades porque no les atrapan las ya existentes. Todas las innovaciones tecnológicas o artísticas conllevan esta flexibilidad para pasar de soluciones ya consagradas hacia la aventura de otras sin estrenar.

#### 9.4.3. Productividad o fluidez

Aunque no tan de primera línea como los dos anteriores, la fluidez es un rasgo que tiene gran importancia en la técnica de tormenta de ideas, por ejemplo. Una persona creativa es capaz de producir una gran cantidad de respuestas por unidad de tiempo ante un determinado estímulo. López de Vega fue un prolífico autor de obras de teatro; decla él mismo:

«...en horas veinticuatro,  
de las musas al teatro».

Picasso, Thomas Alva Edison, Miguel Ángel son ejemplos incontestables de prolíficos creadores.

#### 9.4.4. Elaboración

Es la capacidad de completar una obra con detalles típicos, significativos, reveladores. En el arte se tiene el barroco como estilo muy elaborado; en la pintura de Velázquez se pueden apreciar todos los detalles del objeto pintado: hasta el ambiente enrarecido de una habitación cerrada se aprecia en el cuadro de *Las meninas*. Un ingeniero de sistemas al desarrollar una *interfaz gráfica amigable* puede hacerla cuidándose sólo de los aspectos esenciales o incluyendo detalles que le ayudan al usuario a sentirse más a gusto al trabajar con ella. El diseño de la tortuga (*turtle*) en el programa LOGO, puede hacerse simbólicamente o dibujando la imagen de una verdadera tortuga. El *mouse* o dispositivo apuntador usado en ambientes gráficos de computación ya viene en forma de ratón. En fin, la persona creativa tiende a ser detallista, cuidadosa de aspectos que pasan inadvertidos para otros.

#### 9.4.5. Análisis

Es la capacidad para descomponer una realidad en sus partes y comprenderla mejor a partir de sus aspectos o componentes. La capacidad ana-

lítica caracteriza a las personas creativas; son capaces de efectuar un análisis con profundidad, no superficial como la mayoría de las personas. No se contentan con las causas aparentes; llegan hasta lo más profundo, mostrando en este proceso todo lo relacionado con determinado problema.

#### 9.4.6. Síntesis

Debe entenderse como la habilidad para resumir en pocas palabras una lectura, la habilidad de sacar conclusiones de un documento; la habilidad de ir a lo fundamental y dejar por fuera lo accesorio. En otro sentido, es la habilidad de escoger los componentes de un equipo para lograr realizar un trabajo.

#### 9.4.7. Apertura mental

Todo creador está insatisfecho con lo logrado, comprende que hay una cima que separa todavía lo ideal de lo real, lo que soñó con lo que ha alcanzado. La apertura significa que siempre se está abierto a superar cualquier solución, a seguir profundizando sin fin, a preguntar sin descanso el porqué o el para qué.

#### 9.4.8. Comunicación o poder de convencimiento

Es la capacidad de llevar un mensaje convincente a otros. Es la capacidad del profesor de hacer entender una idea confusa; la del científico de poner en términos familiares una complicada teoría; la del publicista de convencer al público, para que consuma determinado producto, usando una imagen.

#### 9.4.9. Redefinición

Capacidad para encontrar usos, funciones, aplicaciones diferentes a las habituales. En alguna parte se anotó acerca de las fijaciones que nos

impiden ser creativos. Cada objeto tiene una función asociada a él; la persona poco creativa no es capaz de asociarle un uso diferente. Como vía de ejemplo, puede citarse la serie de televisión de Mc Gyver, un personaje de ficción, que con cualquier elemento es capaz de ejecutar funciones nunca previstas para el mismo.

#### 9.4.10. Serendipia

El don de descubrir cosas por accidente<sup>10</sup>. Facultad que poseen algunas personas para hallar cosas que son útiles a sus investigaciones o desarrollos sin estar buscándolas. La palabra se deriva del nombre antiguo de la isla Sri Lanka, Serendip, y fue acuñado por el escritor inglés Horace Wallace quien en su novela *Las tres princesas de Serendip* cuenta como «mientras sus altezas avanzaban por la selva hacían descubrimientos, por accidente y sagacidad, de cosas que no estaban buscando...». Horace Wallace bautizó esta facultad con el nombre de *serendipity*, que en castellano se traduce como *serendipia*.

La *serendipia* es una de las facultades más sobresalientes de los investigadores, inventores e innovadores; algunos autores atribuyen muchos descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos a la casualidad. Por ejemplo, se atribuye el descubrimiento de la penicilina (A. Fleming) a la casualidad: mientras Alexander Fleming, (Véase figura 9.10), se encontraba investigando en 1922 un cultivo de sus fosas nasales (estaba resfriado), se le escapó una lágrima que fue a parar en el recipiente en el que se hallaba el cultivo. Al día siguiente observó que en el espacio donde cayó la lágrima habían desaparecido las bacterias; su sagacidad le hizo ver que la lágrima contenía una sustancia que era mortal para las bacterias pero no para el tejido humano. ¿Fue casualidad? Evidentemente que la caída de la lágrima en el recipiente fue casualidad; pero el resto de la historia es *serendipia*; don para hallar cosas útiles por accidente y sagacidad. La historia está llena de situaciones similares: el descubrimiento de los rayos-x, el de la dinamita, el caucho, el polipropileno, el teléfono, las vacunas, entrevistas, entre otras, no se deben atribuir a la casualidad.

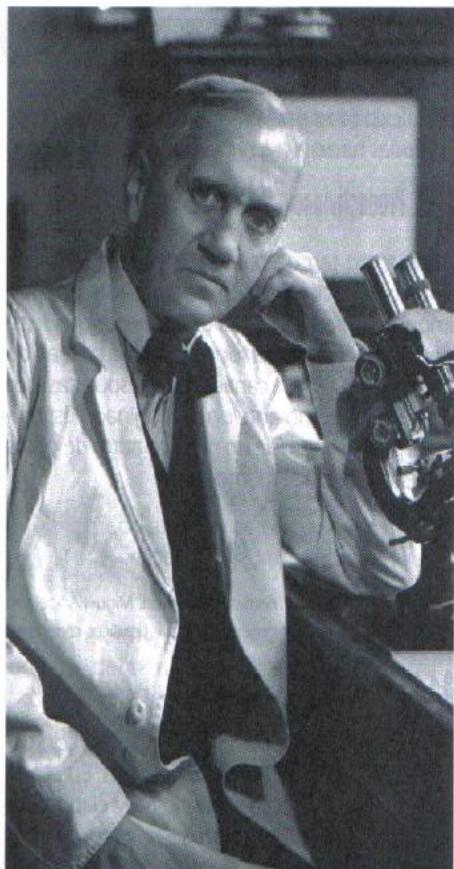


Figura 9.10. Alexander Fleming.

Louis Pasteur escribió: “En el campo de la investigación, la suerte solamente ayuda a la mente preparada”. El descubrimiento, como el aprendizaje, es un fenómeno que tiene lugar en el cerebro humano. El cerebro configura un evento como un nuevo patrón basado en conocimientos previos presentes en el momento de la ocurrencia del evento. Lo que la suerte o casualidad es para la mente no preparada, puede ser el fascinante resort de nuevas ideas para la mente lista. Lo que la mente necesita para establecer nuevas relaciones entre las miles de estructuras de información que permanecen en su cerebro es esa chispa, inspiración, accidente, *serendipia*, que dispara el proceso de conectar los valles de la información que surcan nuestro cerebro para formar uno nuevo que, posiblemente, dará lugar a un descubrimiento.

**Ejemplo 10**

George de Mestral nació en Suiza y desde pequeño desarrolló una profunda inclinación por la tecnología; patentó un avión de juguete a los 12 años y se propuso llegar a ser ingeniero algún día para lograr nuevos diseños e inventos. Una vez finalizados sus estudios universitarios, empezó a trabajar con una firma de ingenieros suiza; por las noches se dedicaba a los diseños de nuevas máquinas<sup>11</sup>.

George combinaba su pasión por la ingeniería con la del alpinismo; sabía, como buen ingeniero, que la madre naturaleza era la mejor maestra, así que siempre andaba atento a todo lo que le sucedía durante sus ascensiones, buscando explicaciones y aplicaciones.

Una de las cosas que más le molestaba en sus excursiones eran los cadillos que se le pegaba a su ropa y al pelo de su perro cuando andaban por el monte; le costaba un trabajo increíble sacarlos. Un día, intrigado por este fenómeno, cogió uno de estos cadillos y lo examinó a través de un microscopio (véase figura 9.11). Se sorprendió ver que los cadillos formaban una red impenetrable de ganchos entrelazados con las fibras de su ropa y que formaban una red que se mantenía unida y a la que era necesario aplicar una enorme fuerza para separarla.

George de Mestral habló con uno de sus amigos y le explicó lo que había descubierto: un sujetador natural, que podría replicarse en un pro-

ducto artificial que remplazara los cierres de cremallera, o los botones. Después de hablar con varios textileros franceses y de efectuar varias pruebas con materiales sintéticos para producir el mismo tipo de ganchos de los cadillos, obtuvo una patente del gobierno suizo para producir sujetadores. Había nacido, lo que hoy conocemos como VELCRO® o cierre mágico, uno de los más interesantes inventos de nuestro siglo. Hoy día, los productos VELCRO® se usan en todo: cuadernos, automóviles, zapatos, juguetes, vestidos espaciales, morrales, pañales, entre otros. La palabra VELCRO® es la combinación de *velour* (terciopelo en francés) con *crochet* (ganchillo, en francés).

Del relato anterior, deduzca por qué puede afirmarse que el descubrimiento del VELCRO® no debe atribuirse a la casualidad.



Figura 9.11. Cadillo visto al microscopio.

Fuente: internet. [www.velcro.com](http://www.velcro.com)

**Ejercicio 10****Ejemplo 11**

Lugar: Laboratorios Centrales de Investigación de 3M.  
Año: 1970.

Investigador: doctor Spencer Silver.

Proyecto: mejorar la adhesividad de los productos empleados por 3M en sus cintas.

Durante varios años, el doctor Silver había investigado nuevas maneras de mejorar el pro-

ducto adhesivo, que se usaba en las famosas cintas de pegar 3M; después de ardua investigación había obtenido un producto que no le satisfacía<sup>12</sup>. En lugar de obtener una fuerte adhesión había obtenido un producto que pegaba y despegaba con facilidad. En el microscopio se podía apreciar que estaba formado por unas diminutas esferas del tamaño de la fibra de papel que permitían una adhesión temporal y suave. El doctor Silver se dio cuenta de que el producto podría ser útil a otros departamentos de la empresa, por lo que empezó a dar conferencias y mostrar lo que su

## Generación de posibles soluciones

producto hacia. Durante cinco años estuvo buscando a alguien que le llamara la atención el producto. Tuvo la suerte de contar con el apoyo de sus jefes que creyeron en él.

Finalmente apareció alguien a quien le llamó la atención el producto. Art Fry era investigador de la misma empresa, y había llegado a ésta proveniente de un pequeño pueblo de Iowa en el que había cursado su primaria; posteriormente obtuvo un grado de ingeniería química en la Universidad de Minnesota. En una época en la que no habla mayores entretenimientos (no habla Tv), estimuló la mente de Art para producir sus propios juegos.

Una de las cosas que más le molestaba mientras cantaba en el coro de la iglesia era la dificultad para mantener, en su Biblia, los marcadores que señalaban las páginas que necesitaba; los pedacitos de papel que colocaba se le caían constantemente. Así que cuando en una ocasión asistió a una de las conferencias del

doctor Spencer, le pareció que lo que estando oyendo era la solución que buscaba. Con muestra que el doctor Spencer le obsequió su producto, se puso a ensayar. Lo primero hizo fue aplicar la pega a unos pedacitos de pel que luego pegó en el borde de su Biblia. Con entusiasmo observó que los pedacitos mantenían firmes y que los podía quitar y volver a poner y seguían teniendo sus propiedades adhesivas, sin dejar marca alguna en la superficie en la que habían estado pegados.

Inmediatamente recortó pedazos de papel de diferente tamaño y los pegó en las pastas de los informes que entregaba. El éxito del producto fue inmediato: habían nacido los Post-it®, uno de los productos que mayor ganancias le dejaron a 3M en la década del 80. De hecho, en 1981 obtuvo el premio al producto más significativo de la empresa.

El doctor Art Fry fue nombrado en 1985 científico asociado en 3M.

### Ejercicio 11

Analice cuidadosamente el caso anterior e indique dónde estuvo el accidente y la sagacidad que caracterizan a la serendipia.

### Ejemplo 12

Betsy Nesmith Graham se ganaba la vida como mecanógrafa en una empresa escribiendo en máquinas de escribir manuales. Había aprendido a borrar efectivamente los errores que cometía usando los borradores convencionales, que para el efecto se obtenían en el comercio<sup>13</sup>. Un día le cambiaron su máquina de escribir manual por una IBM eléctrica; lastimosamente para ella, el cambio fue una tragedia. La cinta que usaba esa nueva máquina dejaba una impresión que no se borraba tan limpiamente como la de su anterior máquina de escribir.

Esta situación la mortificaba y la mantenía pensando, en cómo iba a arreglar ese problema. Un día, al regresar a su casa, que estaba siendo pintada, observó cómo las manchas en las paredes desaparecían debajo de la mano que aplicaban la pintura. Este hecho lo asoció con su necesidad de encontrar la mejor manera de borrar sus errores mecanográficos e inmediatamente puso manos a la obra y produjo una sustancia a base de témpera para pintar sus errores y hacerlos desaparecer.

ma. Un día, al regresar a su casa, que estaba siendo pintada, observó cómo las manchas en las paredes desaparecían debajo de la mano que aplicaban la pintura. Este hecho lo asoció con su necesidad de encontrar la mejor manera de borrar sus errores mecanográficos e inmediatamente puso manos a la obra y produjo una sustancia a base de témpera para pintar sus errores y hacerlos desaparecer.

El éxito fue tal, que ella y su hijo Michel daban abasto para llenar cientos de botellas con el borrador mágico, al que inicialmente llamaron *Mistake Out*. Más adelante se retiró de la empresa en la que aún trabajaba y fundó su propia compañía: la *Liquid Paper Company*, que vendía más de 25 millones de frascos al año. Despues le vendió la empresa a Gillette Co.<sup>14</sup> por 48 millones de dólares.

## Ejercicio 12

Lea cuidadosamente el caso anterior e indique si se dan los elementos básicos que permiten

### 9.5. ¿Cómo ser creativo?

Todo ser humano, por definición, es un ser creativo; unos en mayor grado que otros. Todos nacemos con la capacidad de ser creativos. Algunos la desarrollan y la convierten en habilidades creativas; otros, nunca la usarán. Y con la creatividad pasa algo totalmente opuesto a lo que sucede con la mina de los lápices: si no se usa, se gasta.

Para saber si usted es una persona creativa, compárese con los rasgos que caracterizan las personas creativas, sobre todo en la *originalidad*. A medida que compruebe que hay muchas coincidencias, puede sentirse satisfecho, pues ello demuestra que es usted es una persona con capacidad creativa. Para estar más seguro, vaya al Departamento de Psicología de su universidad y solicite que le hagan un *test* de creatividad. Los resultados le indicarán, cuantitativamente, en qué medida es usted creativo.

Existen formas de aumentar la creatividad de las personas; la creatividad, como cualquier otra capacidad o facultad puede desarrollarse, aumentarse, perfeccionarse. Pero la condición *sine qua non* para que una persona incremente su capacidad creativa es

su deseo sincero de querer ser creativo.

Sin este requisito no es posible llegar a ser una persona creativa. La creatividad está íntimamente relacionada con la persona y con el contexto en el que ésta se desenvuelve. Hay contextos altamente propicios para desarrollar la creatividad; otros, por el contrario, son ambientes estériles en los que llegar a producir cualquier idea requiere un esfuerzo infinito. Tanto las características de las personas, como su contexto, pueden modificarse a fin de que se den las condiciones necesarias para que el proceso creativo pueda llevarse a cabo.

afirmar que este invento no fue producto del azar sino de la *serendipia*.

A continuación se dan algunas indicaciones que ayudan a las personas a ser creativas<sup>1</sup>:

- Manténgase en buena salud

Se ha podido comprobar que el acto creativo aparece más fácilmente en las personas que gozan de buena salud, que en las que padecen enfermedades. El acto creativo consume enormes cantidades de energía, que es necesario proporcionar a través de una dieta alimentaria adecuada.

- Haga ejercicio

El ejercicio cumple dos finalidades: en primer lugar ayuda a mantener la salud; en segundo lugar, durante los ejercicios tiene tiempo para pensar y generar espacios en los que las ideas aparecen fácilmente. Trotar, nadar son deportes que permiten combinar el ejercicio físico con el trabajo mental; mientras uno corre o nada, puede ir generando ideas, analizándolas, creando soluciones.

- Escuche música

La música inspira, especialmente cierta clase de música. Procure que no sea una música estéril, en la que haya cambios bruscos de volumen. La música clásica, jazz ligero, música instrumental, entre otras, son más aconsejables. Cada uno llega a la conclusión de qué música es la más apropiada.

- Relacionese con personas creativas

Que generen ideas, que estimulen el proceso creativo. Uno acaba pensando según el tamaño del espacio en el que vive: si se rodea de gente que no piensa, que vive en una rutina

## Generación de posibles soluciones

continua, terminará contagiándose y cualquier intento de ser creativo finalizará en el fracaso.

### • Trabaje duro

Para conseguir ser creativo hay que trabajar y ser perseverante. Thomas Alva Edison decla que «un invento requiere 1% de inspiración y 99% de traspiración. Einstein lo decía de otra forma:

“Pienso y pienso por meses y años.

Noventa y nueve veces la conclusión es falsa.

En la número cien encuentro lo que busco”.

### • Cuando esté cansado, descansese

La generación de ideas se reduce drásticamente cuando una persona está fatigada. Refrese a un lugar tranquilo, escuche música, escriba poemas, haga ejercicio suave... Relájese; sólo así recuperará las condiciones que le permitirán seguir trabajando creativamente en un problema. De Bono llama a esto la «pausa creativa».

### • Aprenda técnicas para generar ideas

Asista a congresos sobre creatividad, lea libros sobre el tema. Todo esto le ayudará a perfeccionar su talento creativo.

### • Sea receptivo a las ideas de los demás

A veces uno se encierra en sí mismo y le da vueltas y vueltas a un problema. Pasa por encima de la solución, la mira pero no la ve. Una palabra, una insinuación de una persona que está por fuera de este proceso, puede resolver el problema inmediatamente.

## 9.6. Técnicas creativas

A continuación se enumeran técnicas que se han desarrollado para mejorar el proceso creativo en sus fases iniciales, la generación de ideas. Cuantas más ideas se puedan generar, mejor. De alguna manera, como alguien lo dijo, »la cantidad alimenta la calidad».

La lista podría ser mayor, pero éstas son las más útiles para el propósito del curso:

### • No tenga miedo a equivocarse.

Edwin Land, inventor de la Polaroid decla:

«Un aspecto esencial de la creatividad es no tener miedo a equivocarse».

### • Mantenga ocupada su mente con uno o más problemas, buscando su solución

Alimente el inconsciente al irse a dormir. Deje que trabaje mientras usted descansa. Una gran cantidad de ideas geniales se han gestado en reposo.

### • Use su serendipia

Programe sus sentidos para que reaccionen ante hechos, objetos, entre otros, que estén conectados de alguna forma con problemas que usted no ha resuelto. Cuando revise libros, diccionarios, asista a conferencias, esté alerta: una palabra, una frase, un gesto puede disparar el proceso creativo interno y conducir a la solución tan buscada de un problema.

### • Lleve una agenda, una grabadora para registrar las ideas que vayan ocurriendo

Está demostrado que esos impulsos creativos si no se registran inmediatamente, se desvanecen con la misma facilidad que aparecen.

### • Fíjese metas para medir su progreso

Establezca objetivos mensurables que le indiquen cuánto ha avanzado en su formación creativa. Por ejemplo, cada semana debo producir un número de ideas interesantes sobre un tema, que sea el 10% mayor que el de la semana anterior.

#### ▪ Redefina el problema.

#### ▪ Haga preguntas.

#### ▪ La ruptura.

#### ▪ Use pensamiento lateral.

#### ▪ Imitación.

#### ▪ Tormenta de ideas.

- Pensamiento divergente.
- Pensamiento convergente.

## 9.6.1. Redefina el problema

El planteamiento o definición de un problema señala la dirección en la que hay que buscar la solución. Este planteamiento puede estar sesgado, mal hecho, o haber sido escrito de tal modo que aumenta la dificultad para hallar la solución. Por ejemplo, cuando un muchacho le plantea al papá la falta de dinero para sus gastos, en estos términos «papá, el dinero que me das no me alcanza», la solución visible (sin pensar demasiado) es aumentar la mensualidad para que cubra todos los gastos del hijo. Pero el papá puede redefinir el problema plateando otros términos: «Hijo, estás gastando demasiado», lo que indica que la solución está por las vías del ahorro. Un mismo problema con dos líneas opuestas de solución.

Cuando se presenten dificultades para hallar soluciones a un problema, o cuando se deseé obtener un mayor conocimiento del mismo, use el siguiente método:

1. Defina su problema al contrario. Cambie una sentencia positiva en una negativa:  
*¿Qué debo hacer para que este programa no corra tan rápido?*
2. Imagínese lo que los demás no están haciendo:  
*Los demás no usan Visual Basic.*
3. Utilice el conocido “qué pasaría si...”:  
*¿Qué pasaría si disminuyo la jornada de trabajo?*
4. Cambie de perspectiva: deje enfriar el problema; dé un paseo.
5. Intercambie resultados:  
*¿Qué debo hacer para sacar malas notas?*
6. Convierta la derrota en victoria, o al revés:  
*Perdi el curso, pero aprendí que...*

## 9.6.2. Haga preguntas

Tengo seis leales criados

que me han enseñado todo lo que sé.

Sus nombres son:

Qué y Por Qué y Cuándo

y Cómo, y Dónde y Quién.

(Rudyard Kipling).

Haga cinco veces la pregunta *¿por qué?* y encontrará la respuesta que está buscando.

«Doctor, la nómina no salió a tiempo».

*¿Por qué no salió la nómina a tiempo?*

Porque no nos entregaron los datos de las novedades en las fechas indicadas.

*¿Por qué no entregaron los datos en las fechas indicadas?*

Porque en las oficinas no sabían las fechas de entrega.

*¿Por qué en las oficinas no sabían las fechas de entrega?*

Porque el mensajero llevó el memo con las fechas tarde.

*¿Por qué llevó el Memo tarde?*

Porque el mensajero está sin moto.

*¿Por qué el mensajero está sin moto?*

Porque no hay dinero en la caja menor para pagar la gasolina.

En definitiva, si hubiera habido dinero en la caja menor, la nómina se hubiera podido entregar a tiempo.

*¿Qué?*

*¿Dónde?*

*¿Cuándo?*

*¿Cómo?*

*¿Por qué?*

*¿Quién?*

Son las seis preguntas que nos dan todas las respuestas.

## 9.6.3. Ruptura

En la medida que nos acostumbramos a determinadas situaciones, éstas se tornan poco estimulantes para nuestro razonamiento. Es necesario romper nuestra rutina y hacernos preguntas estimulantes; cambie sus horas de trabajo, haga el trabajo de distinta manera, cambie su apariencia personal, lea libros diferentes a los habituales.

Cuando se cambia la manera habitual de ser, las nuevas ideas obligan a generar nuevos patrones, se llevan a cabo nuevas conexiones necesarias para comprender las nuevas situaciones. Use verbos como: agrandar, reducir, comparar, combinar, fantasear, adaptar, ..., y observe el efecto que tiene sobre las nuevas ideas.

## 9.6.4. Pensamiento lateral

El pensamiento lateral, tal como lo define el diccionario de Oxford, es «buscar resolver problemas de una forma no ortodoxa o por métodos aparentemente ilógicos».

Es algo así como cuando me hacen una pregunta y salgo con una respuesta que, aparentemente, no tiene nada que ver con lo que me preguntan<sup>14</sup>. Es una manera de explorar nuevos enfoques en lugar de usar siempre el mismo.

Por ejemplo, para que el bebé me deje leer tranquilamente mientras él juega arrastrándose por la sala, me meto en el corral en vez de meterlo a él.

## 9.6.5. Imitación

«¿Qué es un invento?... Un plagio no detectado»

La mayoría de innovaciones o creaciones se basan en formas, objetos, procesos que ya existen. El submarino tiene forma de pez; el avión, de ave; imitamos al arco iris, entre otros. Newton dijo que «para ver más lejos tuvo que

subirse en hombros de gigantes», indicando que, necesitó los conocimientos de quienes lo precedieron para elaborar las teorías que explicaban el funcionamiento mecánico del universo.

No nos dé miedo imitar. Después de la imitación viene la innovación y, finalmente, el invento.

## 9.6.6. Tormenta de ideas

En el mundo de la publicidad se desarrolló una técnica para generar ideas novedosas; la técnica consiste en reunir a un grupo de empleados del Departamento de Publicidad y dejar que cada uno de ellos exprese libremente las ideas que tenga sobre una campaña publicitaria<sup>15</sup>. Nadie, ni el jefe puede interrumpir a la persona que esté exponiendo sus ideas; si alguien tiene una crítica, ésta se reserva para cuando la sesión haya terminado. Esta postergación de la crítica de las soluciones es la base sobre la que descansa esta técnica. Con este procedimiento se generan ideas que de otra manera son difíciles de conseguir.

Para que esta técnica dé los frutos esperados es necesario tener en estas pautas:

1. Todos los miembros del grupo son iguales; no hay jerarquías. Esta es una condición fundamental, pues de no ser así los miembros del grupo (en presencia de un superior jerárquico) no se atrevan a lanzar ideas novedosas que pueden ponerlos en ridículo o, peor aún, poner en ridículo a su superior con las consecuentes repercusiones.
2. Hay un director cuya función es coordinar la marcha de la sesión. Este director no tiene jerarquía. Su función es coordinar la marcha de la sesión, dinamizarla cuando se encuentre en su punto más bajo, sugerir ideas para generar relaciones nuevas, lanzar palabras que disparen nuevas ideas, entre otras. El director debe tener condiciones de líder y ser experto en el área en la que está trabajándose.
3. El número óptimo de participantes es de 12. Un número menor no es adecuado para

## Generación de posibles soluciones

- generar suficientes ideas. No existe la masa crítica. Por otro lado, un número excesivo no permite dar la palabra, en el momento oportuno, a quienes tienen una idea en la punta de la lengua. Cuando les toque el turno ya se les ha olvidado u otro dijo lo que él iba a decir y pierde la motivación.
4. La duración aconsejada de la sesión es aproximadamente *30 minutos*. Si en este tiempo no se han producido ideas suficientes, hay que suspender la sesión y retomarla después de un descanso. Es posible que el grupo sea difícil y sea necesario romper el esquema para buscar en otras direcciones. Ahí está la mano del director de la sesión.
  5. La sesión *termina* cuando la tasa de generación de nuevas ideas decrece sensiblemente. Si se aprecia que la productividad empieza a bajar, debe detenerse o finalizar la sesión. Las ideas que aparezcan a continuación no son muy buenas y seguramente son escasas.
  6. Un número aceptable de *ideas* por sesión es de *20 a 30*. Sin embargo, si la sesión es muy dinámica y las ideas fluyen a buen ritmo, debe permitirse que el proceso continúe, sin importar que este número sea superado.
  7. *No se debe criticar* ni analizar ninguna idea mientras dura la sesión. Ningún gesto, palabra que implique un juicio negativo a cualquier idea, por loca que sea, debe permitirse durante la sesión. Como dijo el inventor de esta técnica, Alex Osborn: "Cuando vaya conduciendo en busca de ideas es mejor tener el pie lejos de los frenos".
  8. Antes de comenzar la sesión el *director* debe *aclarar las reglas* que se seguirán durante la misma. En algunas versiones de esta técnica, se acostumbra darles a los participantes unos minutos para que reflexionen en silencio sobre el tema y vayan generando algunas ideas para comenzar la sesión.
- La sesión se registra usando una grabadora o cualquier otro medio de trascipción que garantice la integridad de lo tratado en la reunión. Una vez finalizada se entra a analizar

o criticar las ideas expuestas por los miembros del grupo.

Esta es una de las técnicas más usadas para generar ideas, aunque presenta algunos defectos que han venido corrigiéndose para adaptarla a ambientes diferentes al de la publicidad.

Desde el punto de vista del método de diseño en ingeniería, ésta es la técnica que más se emplea. Se reúnen los miembros del grupo y empiezan a plantearse posibles soluciones al problema. Se sigue las reglas expuestas y al final se habrá conseguido acumular una cantidad de soluciones que permite asegurar que ahí está la mejor.

### 9.6.7. Pensamiento divergente

La solución creativa de problemas utiliza la técnica conocida como *pensamiento divergente* para generar el mayor número de ideas posibles sobre un determinado problema.<sup>16</sup> En esta técnica se hace uso, principalmente, del lado emocional, creativo del cerebro (el derecho); las ideas generadas con esta técnica se someten a una segunda fase, la racional, la de poner los pies sobre la tierra; el lado izquierdo del cerebro elimina las ideas que por sus características son irrealizables. Al aplicar inteligentemente esta combinación de golpes de derecha e izquierda en todos los procesos creativos, se finaliza con un sólido conjunto de ideas, y de ahí se escoge la mejor.

En resumen, el pensamiento divergente implica que:

1. Postergue la valoración de las ideas que están generándose.
2. Genere montañas de ideas.
3. Acepte todas las ideas sin discusión.
4. Deje reposar las ideas.
5. Busque combinaciones entre ellas.

El punto central del pensamiento divergente es la *postergación de la valoración* de las ideas hasta que llegue la fase siguiente, la del pensamiento convergente. Seamos irracionales por unos instantes; aceptemos todo lo que se nos

ocurra. Impidamos que nuestra **racionalidad** critique inmediatamente la idea que se nos acaba de ocurrir. Puede ser que esta idea no tenga sentido, por sí misma; pero puede ser el detonador para otras ideas que siguen después. En 1788, Schiller le escribía a un amigo que se quejaba de las dificultades que tenía para producir ideas novedosas:

*"Tu queja radica, me parece a mí, en la restricción que tu intelecto impone a tu imaginación. Se restringe el trabajo creativo de la mente cuando el intelecto examina con lupa las ideas que va produciendo".*

En las mentes creativas las ideas salen sin que haya perros guardianes que las olfateen inmediatamente para saber si sirven o no. El principio de postergación de la valoración es fundamental en el proceso creativo.

Siga estas reglas cuando aplique la técnica de pensamiento divergente:

1. Resista la tendencia natural de juzgar inmediatamente la idea que está emergiendo. Esto es especialmente importante en los inicios de la creación si funcionará, ¿sólo los

### 9.7. Diagramación mental

Por lo general, trabajamos dominados por nuestro hemisferio izquierdo, lineal, racional, ordenado, etc. Rechaza cualquier intento de introducir desorden.<sup>17</sup> Si se nos pide una lista de posibles temas de un libro que debemos escribir, el lado izquierdo comienza la lista por el primero, luego busca el segundo, el tercero, y así sucesivamente. Pero en esa búsqueda se detiene cuando no encuentra el sucesor lógico; el cerebro se detiene y la producción de ideas comienza a disminuir. Si en vez del lado izquierdo se pone a funcionar el hemisferio derecho, dejando que las ideas fluyan sin orden específico, dejando la organización de las mismas para el final, así logramos mayor productividad.

Hay productos de software que permiten visualizar gráficamente las ideas; hay que recordar que nuestro cerebro es un excelente reconocedor de imágenes: después de muchos años volvemos

a ver a un amigo de la infancia al que reconocemos sin mayor dificultad, a pesar de que la fisonomía del mismo ha cambiado a lo largo de los años.

Nuestro cerebro almacena miles de imágenes que son internalizadas inmediatamente, sin ninguna demora. Comparemos esto con las dificultades que hay cuando intentamos recuperar una imagen, en nuestro computador. Adicionalmente hay que resaltar el hecho de que para almacenar (recordar) una imagen, nuestro cerebro no hace ningún esfuerzo; ni siquiera debemos cerrar los ojos. Una vez que la imagen ha sido vista queda grabada en nuestra memoria, lista para ser utilizada en el momento en que se necesite. Comparemos este proceso con el trabajo que nos cuesta aprendernos una poesía de memoria. ¡Cuántas horas tenemos que pasar repitiendo lo mismo hasta que por fin se queda, más o menos, en alguna parte de nuestra memoria!

## Generación de posibles soluciones

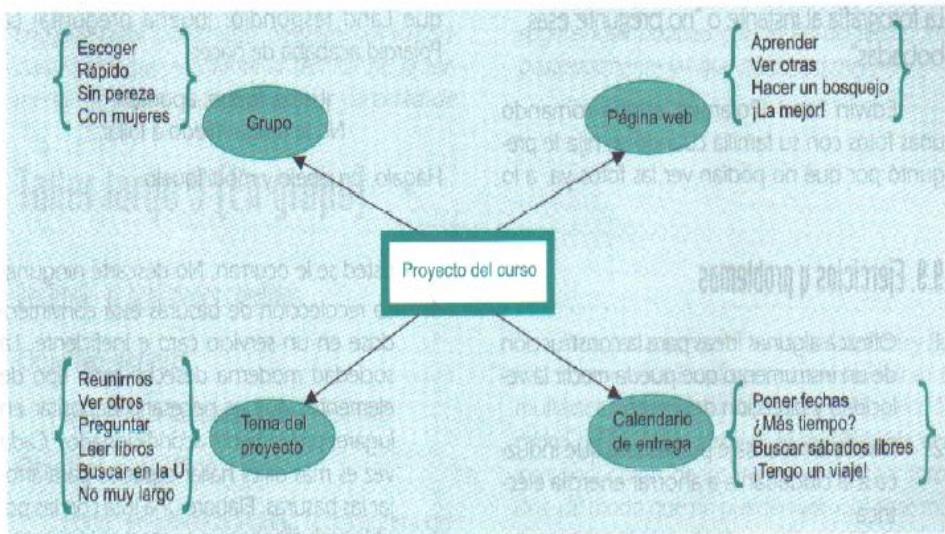


Figura 9.12. Forma gráfica que ayuda a la generación de ideas.

## 9.8. Algunos ejemplos reales de creatividad

A continuación se dan algunos ejemplos reales en los que se muestra la creatividad puesta en práctica<sup>17</sup>.

### En la General Electric

Se usa el siguiente procedimiento cuando se va a patentar algo: se pasa una circular breve entre todos los empleados, explicando en líneas generales de qué se trata y cada uno de ellos agrega algo al diseño, de modo que al final en la patente todos figuran como coinventores.

### El invento del Transistor, producto de la serendipia

William Shockley formó un equipo de científicos en Bell Labs para inventar el transistor MOS y terminó inventando el transistor de unión, origen de toda la física de los semiconductores y de la microelectrónica actual.

### Las leyes de Newton, fruto de combinación de imágenes visuales

Newton concibió su ley de la gravitación universal cuando vio caer una manzana al mismo tiem-

po que observaba la luna dando la vuelta a la Tierra. Se le ocurrió que ambos fenómenos debían estar regidos por las mismas leyes.

### El teléfono o la importancia de mantener buena documentación

La empresa Bell casi pierde la patente sobre el teléfono (¿qué le hubiera pasado al mundo si eso hubiera ocurrido así?). Gracias a que Bell había realizado unos dibujos a mano en el reverso de un sobre que, afortunadamente para él, hizo firmar, poner fecha y notar.

### El descubrimiento de las leyes del electromagnetismo o la apertura mental

Cuando el científico Oersted dictaba una clase a sus estudiantes de física para demostrarles que la electricidad y el magnetismo eran dos cosas diferentes, se encontró con lo opuesto: el experimento falló y se vio que la corriente eléctrica producía un campo magnético. Oersted reconoció su error, estudió el caso y publicó los resultados que sirvieron a Maxwell para extender los hallazgos de Newton al mundo invisible de las ondas.

La fotografía al instante o “no pregunte esas bobadas”

Edwin Land (Polaroid) estaba tomando unas fotos con su familia cuando su hija le preguntó por qué no podían ver las fotos ya, a lo

que Land respondió: ¡buena pregunta! La Polaroid acababa de nacer.

¡Listos, fuego, apunten!  
No le tenga miedo a fallar.  
Hágalo, pruébelo y modifíquelo.

## 9.9. Ejercicios y problemas

1. Ofrezca algunas ideas para la construcción de un instrumento que pueda medir la velocidad y dirección del viento.
2. Diseñe un mensaje publicitario que induzca a la ciudadanía a ahorrar energía eléctrica.
3. La sociedad moderna funciona con base en el consumismo: cada día es mayor el número de personas que compran cosas a crédito. Todos los meses es necesario pagar las cuotas respectivas. No es raro encontrar personas que deben pagar 10 y más recibos mensualmente: servicios públicos, cuota del apartamento, tarjeta de crédito, cuota del vehículo, cuota del viaje, entre otros. El pago de todos estos recibos consume mucho tiempo y esfuerzo. Genere una lista de las posibles soluciones que a usted se le ocurran. No descarte ninguna.
4. La recolección de basuras está convirtiéndose en un servicio caro e ineficiente. La sociedad moderna desecha todo tipo de elementos que es necesario depositar en lugares previamente acondicionados. Cada vez es más difícil hallar espacios para arrojar las basuras. Elabore una lista con las posibles soluciones que a usted se le ocurran para resolver este problema.
5. En un mundo moderno en el que las comunicaciones se han vuelto el eje del desarrollo, y las compras se realizan por correo electrónico, el envío de cartas, paquetes, ... ha venido creciendo exponencialmente de modo que está volviéndose un problema el manejo de este ingente flujo de mercancías. Haga una lista de las posibles soluciones que a usted se le ocurran para ayudar a resolver este problema.

## Taller corto 18

### Desarrollo de una sesión de tormenta de ideas

#### Justificación

Es importante que nuestros estudiantes se den cuenta de la importancia que tiene el desarrollo de la creatividad. Encontrar soluciones novedosas, radicalmente distintas a las obvias, es uno de los puntos en que más se debe insistir. No es posible alterar radicalmente la manera de pensar de nuestros estudiantes a través de unos cuantos ejercicios, pero sí se desea que con técnicas experimentadas para el desarrollo de la creatividad se den cuenta de su utilidad en la búsqueda de soluciones novedosas para los problemas que deberán enfrentar a lo largo de su ejercicio profesional.

#### Objetivo

- Poner en práctica la tormenta de ideas.

#### Descripción

Se propone un ejemplo y se les pide a los estudiantes que usen la tormenta de ideas para encontrar soluciones novedosas a un problema que se les plantee.

Con frecuencia se escucha a los estudiantes quejarse del servicio de fotocopias de la universidad. A pesar de que se han realizado cambios en el mismo buscando solucionar las causas de las continuas quejas, todavía falta mu-

cho por hacer, por lo visto. Necesitamos su concurso para que mediante la técnica de la tormenta de ideas ofrezca la mayor cantidad de

sugerencias posibles con el fin de seleccionar posteriormente las que parezcan mejores.

## Taller largo 9 [En grupo]

### Desarrollo de habilidades creativas

#### Objetivo general

- Desarrollar las habilidades creativas

#### Objetivo específico

- Poner en práctica alguna técnica para generar soluciones innovadoras a un problema dado

#### Trabajo que se debe desarrollar

Lea detenidamente, en forma individual, la descripción del problema que debe resolver. Una vez que haya comprendido el problema presentado, responda a las preguntas que se plantean a lo largo de la descripción. Ofrezca su solución al problema.

Cuando finalice esta etapa individual, reúnase con el resto del grupo (cada uno de sus miembros deberá haber realizado lo mismo que usted) y entre todos discuten el problema y llegan a una o varias soluciones del grupo. Deben aplicar las técnicas descritas en este capítulo para obtener respuestas innovadoras, creativas, interesantes.

No olviden las condiciones especiales de los conductores ni las restricciones que se imponen a la solución.

#### Problema

En la parte alta de la cordillera de los Andes hay dos líneas de ferrocarril circulares, tal como se muestra en la figura 9.13<sup>18</sup>. Una de las líneas es del Perú, la otra de Bolivia. Ambas comparten una sección de la línea, donde las líneas cruzan un paso montañoso que se encuentra en la línea fronteriza.

Desgraciadamente, los trenes de Perú y Bolivia chocan ocasionalmente cuando entran simultáneamente al paso montañoso (sección crítica de las líneas férreas). El problema es que los conductores de los trenes son ciegos y sordos, de modo que no pueden verse ni oírse mutuamente; ni el ruido de los trenes.

Los dos conductores acuerdan el siguiente método para prevenir las colisiones: colocan una enorme olla a la entrada del paso montañoso; antes de entrar al paso el conductor debe parar su tren, caminar hacia la olla y meter la mano para ver si contiene una piedra. Si la olla está vacía busca una piedra y la deposita dentro de la olla, indicando que su tren va a entrar al paso; una vez que ha pasado el paso montañoso detiene el tren, se baja, camina de nuevo hasta la olla y retira la piedra que había depositado, indicando que el paso montañoso no se encuentra en uso. Una vez hecho esto se regresa al tren, lo pone en marcha y sigue su viaje. Si un conductor llega al paso y encuentra en la olla una piedra, la deja dentro, toma una siesta y después de un tiempo prudente regresa a la olla para ver si aún está la piedra. Este procedimiento se repite hasta que encuentra la olla vacía. Entonces él deposita una piedra y conduce su tren hacia el paso montañoso. Un avisado estudiante de la Universidad de la Paz indica que un amanado horario de trenes elaborado por la Administración de Trenes de Perú puede impedir el paso de los trenes bolivianos eternamente por el paso montañoso (explique el porqué.) El conductor boliviano se ríe y dice que esto no puede suceder, pues nunca ha pasado antes (explique.) Desdichadamente, un día los dos trenes chocan (explique).

Después del choque se contrata un ingeniero de nuestra universidad como consultor para impedir que vuelvan a presentarse choques. Después de analizar todo el asunto se llega a la conclusión de que la olla estaba siendo utilizada en forma equivocada. El conductor de Bolivia tiene que quedarse en la entrada del paso hasta que la olla esté vacía; cruzar el paso y devolverse caminando para colocar una piedra. El conductor del Perú debe quedarse a la entrada del paso hasta que encuentre una piedra en la olla, luego cruza el paso con su tren, se detiene, regresa caminando donde está la olla y saca de ella la piedra. Con toda seguridad su método previene los choques. Hay que hacer notar que antes de este acuerdo el tren del Perú cruzaba el paso dos veces al día y el de Bolivia una sola vez. Los peruanos se muestran muy descontentos con este acuerdo (¿por qué?).

Nuestro amigo ingeniero es solicitado nuevamente y se le pide que prevenga choques, al mismo tiempo que debe evitar el problema de su método anterior. Después de pensarla un poco ofrece esta alternativa: usar dos ollas, una para cada conductor. Cuando un conductor llega a la entrada del paso, detiene su tren, se baja, coloca una piedra en su olla y se fija si la olla del otro se encuentra vacía. (¿Cómo hacen para distinguir qué es su olla?). Si así es, se monta en su tren, cruza el paso, se detiene, regresa a su olla

y retira la piedra. Pero si encuentra una piedra en la otra olla regresa a su olla y retira su piedra. Luego se echa una siesta, otra vez deja la piedra en su olla y vuelve a mirar en la otra olla, y así sucesivamente hasta que encuentra la otra olla vacía. Este método funciona bien hasta finales del mes de mayo cuando los dos trenes se quedan esperando en la puerta del paso realizando múltiples siestas. (Explique.)

La solución o explicación que usted dé no debe depender de la velocidad relativa de los dos trenes.

Ofrezca una solución mejor que la anterior, la cual garanticé que los dos trenes no chocan en el paso y que cada uno de ellos puede atravesar el paso montañoso con la frecuencia diaria establecida inicialmente. Cualquier solución que dé será bienvenida; recuerde que los conductores son ciegos y sordos y que la solución que ofrezca no debe depender de la velocidad relativa de los trenes ni debe dejarlos bloqueados (a cualquiera de ellos o a los dos) por siempre.

*Sugerencia:* use gráficos que ayuden a visualizar sus soluciones o explicaciones. Compruebe sus descubrimientos con simulaciones de situaciones que confirmen que ha encontrado la respuesta correcta.



figura 9.13 Problema de los dos trenes de los andes

## Direcciones de internet recomendadas

1. Programa para asistir en la tormenta de ideas, <http://www.jpb.com/creative/brainstormer.html>, JPB Creative Co, Ltd, Jun 2000.

En esta dirección encontrarán un programa que trabaja bajo Windows y que ayuda a volver la tormenta de ideas más productiva.

2. Kusyszyn, Igor, *Creativity: Pure and Applied*, 1998, <http://www.yorku.ca/faculty/academic/kusyszyn/PSYC3550/contents.html>

## Referencias bibliográficas

1. *What is Creativity?*, [http://www.ozemail.com.au/~caveman/Creative/cfaq2\\_1.htm](http://www.ozemail.com.au/~caveman/Creative/cfaq2_1.htm), 1996.
2. MARÍN, R., DE LA TORRE, Saturnico, *Manual de la creatividad*, Vicens Vives, Barcelona, 1991.
3. LOVAS, Charles, "Integrating Design into the Engineering Curriculum", *Workshop*, Southern Methodist Univ., Dallas, 1994, p. 470-471.
4. *Personality: Character and Temperament*, <http://www.keirsey.com/span1.html>, 1999.
5. PLSEK, Paul E., *Models for the Creative Process*, <http://www.directedcreativity.com/pages/WPModels.html>
6. KUSYSZYN, Igor, "Creativity: Pure and Applied", 1998, <http://www.yorku.ca/faculty/academic/kusyszyn/PSYC3550/contents.html>, Jun 2000.
7. GROGONO, Peter, SHARON, Nelson H., *Problem Solving & Computer Programming*, Addison Wesley, Reading, Mass, 1982.
8. GIBNEY, Kate, "Awakening Creativity", *Prism American Society for Enginnering Education*, Marzo 1998, 18-29.
9. *A History of the Fountain Pen*, <http://www.luttmanns.com/pens/intro.html>, Jun 2000.
10. ROBERTS, R.M., *Serendipity: Accidental Discoveries in Science*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989, chapter 12.
11. *The History of Hook and Loop*, <http://www.velcro.com/PDFS/kid.pdf>, Jun 2000.
12. *Invention of the Post It®*, [http://www.mmm.com/Post-it/artslab/meet\\_art\\_fry.html](http://www.mmm.com/Post-it/artslab/meet_art_fry.html), Jun 2000.
13. *Invention of the Liquid Paper*, 1996, <http://web.mit.edu/invent/www/inventorsA-H/nsmith.html>, Jun 2000.
14. DE BONO, Edward, *El pensamiento lateral*, Programa Ed., Barcelona, 1974.
15. OSBORN, Alex F., *Imaginación aplicada*, Velflex, Madrid, 1960.
16. WYCOFF, Joyce, *Trucos de la mente creativa*, Ediciones Martínez Roca, Barcelona, 1994.
17. *Creativity, Innovation and Problem Solving*, <http://www.quantumbooks.com/Creativity.html>, 1996.

En esta dirección hallarán un curso introductorio para mejorar su capacidad creativa. Excelente.

3. *Invention Dimension*, <http://web.mit.edu/invent/index.html>, Jun 2000.

En esta dirección encontrarán una gran cantidad de información acerca del proceso de invención e innovación, así como la historia de una gran variedad de inventos. Altamente recomendado.

# 10

## Selección de la mejor solución



*"Los problemas de ingeniería son abiertos, tienen muchas soluciones, buenas, malas e indiferentes. El arte consiste en llegar a una buena solución. Esto es una actividad creativa, que implica imaginación, intuición y selección intencional".*

*Sir Ove Arup, ingeniero, (1985-1988)*

### Objetivo general

- Aprender una forma de seleccionar la mejor solución a un problema dado.

### Objetivos específicos

- \* Identificar aspectos que deben ser tenidos en cuenta para analizar la viabilidad de una solución.
- \* Analizar la viabilidad de una solución a un problema dado.
- \* Aplicar el pensamiento convergente.
- \* Usar la matriz de selección.

# U

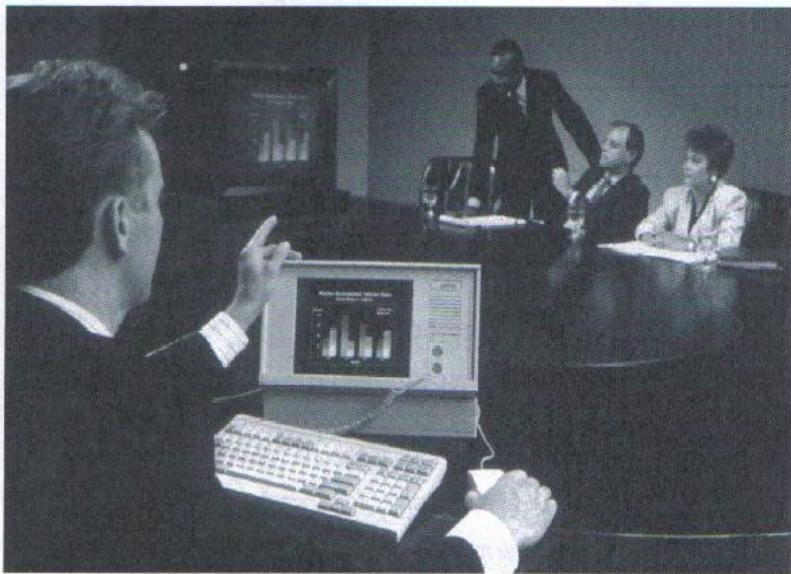
## 10.1. Introducción

na vez que se ha generado el mayor número de soluciones posibles, utilizando alguna de las técnicas examinadas en el capítulo anterior, es necesario seleccionar entre las mismas la que cumple, de la mejor manera posible, los criterios de selección y todas las restricciones impuestas.

Este proceso se desarrolla en dos fases: en la primera se descartan las soluciones que incumplen alguna de las restricciones o que, después de un análisis pormenorizado, no parezcan llenar satisfactoriamente los criterios de selección establecidos. Dicho de otra manera, las que parezcan difícilmente viables desde cualquier punto de vista se descartan en esta primera fase.

Las posibles soluciones que restan se examinan detenidamente y se las compara usando la matriz de selección, al término del cual aparece la solución que mejor cumple los criterios de selección impuestos.

Es posible que dos o más soluciones tengan los mismos méritos, o muy parecidos, para ser las aspirantes al título de mejor solución; si las diferencias que arroje la matriz de selección no son determinantes, deberá efectuarse otra serie de comparaciones para llegar a la mejor solución.



## 10.2. Pensamiento convergente

Es importante trabajar inicialmente algunos aspectos relacionados con la técnica conocida como *pensamiento convergente*<sup>1</sup>. En un paso anterior del método de diseño, utilizando las capacidades del hemisferio derecho del cerebro, libremente, sin restricciones, se elaboró una larga lista de posibles soluciones al problema presentado. Muchas de esas soluciones se aceptaron según el principio de la *valoración diferida*, en el que cualquier juicio de valor (léase criticar, juzgar) se difiere hasta tanto se haya finalizado la ronda de producción de ideas o soluciones posibles.

Una vez finalizada esta etapa, el hemisferio izquierdo del cerebro toma el control de la situación y empieza a analizar la lista de soluciones elaboradas, descartando las que por alguna razón no parecen viables. En esta etapa, el término *possible* se remplaza por el de *viable*. Una cosa es que exista una mínima probabilidad de que algo pueda llevarse a cabo (*es posible*), y otra, muy diferente, es que tenga posibilidades reales (*es viable*). Aquí se descartan las que no parecen viables. Esta etapa es conocida como la de *pensamiento convergente*.

El lado izquierdo del cerebro, la racionalidad, toma control de la situación y obliga a poner los pies en la tierra. Se trata de examinar la viabilidad de las ideas que arroja la fase anterior. El pensamiento convergente es sistemático, lógico y crítico. Si la fase divergente es la fase creativa, la convergente es la racional.

Mantenga una actitud positiva; aunque las soluciones o ideas que se examinen no sirvan para el efecto pretendido, a veces una idea que no cumple con las expectativas es la que lleva a la solución.

## 10.3. Viabilidad de las soluciones

La etapa de generación de posibles soluciones debe producir un gran número de alternativas; su razón de ser radica en que ofrece un camino efectivo para llegar a la solución buscada, sin entrar a examinar *a priori* si cumplen o no las restricciones impuestas. En general, puede afirmarse que una idea es viable cuando su desem-

para el problema que está trabajándose, no las eche al cesto de la basura. Guárdelas; pueden servir para otras ocasiones. Siempre valore positivamente todo lo que examine. Hágase la siguiente pregunta:

¿Qué hay de bueno en esta idea?

Es la pregunta que debe hacerse cuando se analiza cada una de las ideas generadas. Esta actitud se denomina *valoración afirmativa*. Pero, por encima de todo, no hay que olvidarse del objetivo principal; de lo contrario no se resuelve el problema que se tiene entre manos.

Deben tomarse en cuenta las siguientes reglas cuando se aplique la fase de pensamiento convergente:

1. Enfocar la atención en lo que es más efectivo para resolver el problema.
2. No perder de vista el problema. Que el árbol no tape el bosque.
3. Guardar las ideas que no sirvan, para otra ocasión, para otro problema.
4. Cuando se evalúe una idea, se deben anticipar los posibles que puedan surgir más adelante.
5. Debe adoptarse una actitud positiva ante las ideas que se examinen.
6. No hay que desalentarse si no aparecen resultados inmediatamente.
7. No perder de vista los objetivos.

peño técnico, su costo y el tiempo que lleva implantarla están dentro de lo aceptable, de acuerdo con el estado del arte en el momento.

Como directrices pueden tenerse en cuenta los siguientes aspectos para determinar si una solución es o no viable<sup>2</sup>:

- Aspectos técnicos
- Aspectos económicos
- Aspectos de tiempo
- Aspectos humanos

### 10.3.1. Aspectos técnicos

Para responder la primera parte pueden hacerse preguntas como las siguientes:

#### ¿Se violan leyes físicas? ¿Se sobrepasan limitaciones establecidas?

El diseño de una nevera puede conducir a dimensiones que le impiden pasar por las puertas de tamaño estándar en nuestras casas; el peso de un camión puede ser tan grande que aquél hace colapsar los puentes existentes.

#### ¿Se puede llevar a cabo con los recursos y tecnología disponible?

Se propone un sistema de información para las elecciones presidenciales que presente la información en forma instantánea; para ello se requiere un sistema de comunicaciones y de computación que rebasa las disponibilidades tecnológicas del país. Debe contarse con un sistema de comunicación en cada uno de los puestos de votación conectado a todo el sistema vía satélite y a un computador central que consolide toda la información. Posiblemente viable en otros países, mas no en países del Tercer Mundo.

#### ¿Su nivel de desempeño es competitivo con productos similares?

Se propone un computador portátil que consume más energía que los que existen actualmente en el mercado.

Se desea construir un motor de gasolina de nuevo diseño que utilizará carburador convencional, cuando ya es estándar el uso de inyección electrónica.

#### ¿Es fácil de reparar? ¿Es fácil de usar?

Hace algunos años, la Ford sacó al mercado un carro subcompacto que se entregaba con

una herramienta de uso múltiple que servía para aflojar y apretar las tuercas, tornillos, del 80% de las partes del automóvil, con lo que la reparación del mismo se hacia más sencilla. Por el lado opuesto, no es imaginable que para cambiar las bujías haya que desmontar una gran parte del motor.

#### ¿Se consiguen piezas de repuesto fácilmente? ¿Se consigue software?

Una de las razones por las que muchas casas de software no desarrollaron programas para la arquitectura microcanal de los microcomputadores PS/2 de IBM fue la ausencia de una base instalada suficientemente grande que justificara la inversión. A su vez, muchas empresas electrónicas no desarrollaron tarjetas para los PS/2, debido a que no había suficiente software para esos equipos. Hay que procurar estar siempre con los estándares: Unix, Windows, sistemas abiertos, ISO 9000.

#### ¿Es razonablemente seguro?

Los juguetes para niños de corta edad no deben presentar filos, no deben ser tóxicos, su tamaño no debe permitir que sean tragados por un niño.

Un calentador de agua se diseña de modo que no presente ningún peligro de electrocución para sus usuarios.

Un enchufe de un aparato eléctrico se diseña de modo que sea seguro al enchufar y desenchufar.

#### ¿Es estéticamente atractivo?

Algún visitante a la Feria Internacional de Leipzig (cuando aún existía la República Democrática Alemana, en la parte este de lo que hoy es Alemania) comentaba que los productos electrónicos allí expuestos por algunos países de Europa oriental (antes de la caída del muro de Berlín) eran de buena calidad, pero su presentación era desastrosa. El mundo occidental da por descontada la calidad de los artefactos que se ofrecen; exige, adicionalmente, una presentación agradable. En realidad, una de las industrias que mayor índice de desarrollo ha alcanzado es la de los empaques.

Un proyecto arquitectónico debe tener en cuenta el paisaje para que el entorno sea agradable, no solamente para los usuarios, sino para toda la población.

El desarrollo de interfaces gráficas agradables (*user friendly*) es una de las áreas más trabajadas actualmente en ingeniería de sistemas.

#### ¿Posee capacidad de adaptación a futuros cambios?

La tecnología de computación avanza a una velocidad tan grande que cada 18 meses se lanza al mercado un procesador más poderoso que el existente y a un precio relativo menor. No es posible imaginar que cada 18 meses haya que cambiar los equipos; es necesario elaborar diseños que permitan actualizarlos en forma efectiva. Por ejemplo: algunos equipos que usan el procesador 80486 se venden con un *socket* para insertar un procesador Pentium y actualizar el modelo, a uno de mejores prestaciones.

Un programa debe desarrollarse de modo que sea independiente de una determinada arquitectura para que pueda adaptarse fácilmente a los cambios que aparecen en el futuro, como consecuencia del uso de procesadores y diseños arquitectónicos más avanzados.

### 10.3.2. Aspectos económicos

En relación con el aspecto económico, algunas preguntas pertinentes pueden ser:

#### ¿Se dispone de fuentes de financiación seguras?

Hay que asegurarse de que exista un cronograma de desembolsos garantizado. En la mayoría de los proyectos con entidades oficiales existen problemas en el pago de los dineros de los contratos; muchos ingenieros civiles quiebran sus empresas por confiar ciegamente en sus contratantes. Al no recibir el dinero oportunamente deben recurrir al crédito bancario y extrabancario, con el consiguiente incremento en los costos de las obras emprendidas. El paupleo que involucra a muchos organismos ofi-

ciales, impide obtener los fondos necesarios a tiempo, y se pierden oportunidades como descuentos, ofertas, entre otros. En muchas ocasiones, la demora es tan grande, que el proyecto debe suspenderse y cuando se reanuda su valor de oportunidad ya no es significativo: ya hay otros productos en el mercado similares o mejores al proyectado. El dinero es un factor clave; ningún proyecto debe comenzarse sin tener un esquema de financiación asegurado plenamente.

#### ¿Su costo es mayor que el de otros productos similares?

No tiene sentido desarrollar un producto cuyo costo sea superior al de otros similares existentes en el mercado. En algún momento a Colombia llegó la fiebre de construir un microcomputador personal nacional. Se usarían componentes fácilmente accesibles en otros países, y en Colombia se ensamblarían todas las partes. Se deseaba que el porcentaje de componentes colombianos fuera alto. Entre los componentes que se pensaba fabricar en Colombia estaba la carcasa del equipo. Dado que la industria metalmecánica es uno de los sectores más desarrollados en el país, parecía fácil cumplir esta meta. Se hicieron los análisis de costos y se llegó a la conclusión de que hacer la carcasa en Colombia resultaba varias veces más costoso que traerlas ya hechas.

En efecto, el material con que están hechas las carcasas no se fabrica en el país y es necesario importarlo; dar la forma a las cárcasas exige un troquel que cuesta varios cientos de miles de dólares. Para recuperar el valor del mismo sería necesario fabricar, por lo menos, varios cientos de miles de computadores, lo que estaba por fuera del mercado colombiano. Adicionalmente, la pintura que recubre la lámina es especial ya que se deposita mediante un complejo horneado, tecnología que en Colombia es muy escasa y resultaría muy costosa. En definitiva, el estudio demostró que era mucho más económico seguir importando las carcasas de otros países que ya tenían la infraestructura montada y podían producir carcasas a precios con los que no se podía competir.

## Selección de la mejor solución

### ¿Su relación costo/beneficio es aceptable?

Las palabras *caro* y *costoso* son usadas indistintamente para referirse a un producto cuyo precio es muy alto. Sin embargo, significan cosas distintas. Cuando algo cuesta mucho, es muy costoso; quiere decir que hay que pagar mucho dinero, en términos absolutos:

- Un Rolls Royce es un auto muy costoso.
- Una celda flexible de manufactura cuesta varios cientos de miles de dólares. Es costosa.
- Un supercomputador Cray tiene un costo altísimo, de modo que no son muchas las universidades que lo poseen.
- Un programa para el control total de las actividades de una empresa productiva puede costar varios millones de dólares. No hay duda que es costoso.

Sin embargo, en ningún caso se ha usado el término *caro*, pues *caro* implica que por lo que se paga no se recibe algo proporcional en calidad. *Caro* es aquello que cuesta mucho pero sin la calidad adecuada:

- Un vehículo que cueste poco pero que exija altos costos de mantenimiento, continuas reparaciones, fallas frecuentes, es un vehículo caro.
- Un Rolls Royce es un vehículo lujoso, cómodo, nunca falla, silencioso, da mucho prestigio. Los personajes del *jet set* no creen que sea caro.
- Una celda flexible de manufactura bien usada produce ganancias que superan con creces su costo de compra. No es cara.

En lugar de *caro*, en términos económicos se utiliza la relación:

$$\text{costo/beneficio} = \text{cuánto cuesta/cuánto beneficio produce}$$

- El diseño de un *mouse* que utiliza tecnología láser para apuntar a la pantalla, a un costo altísimo no se justifica. El beneficio obtenido (¿cuál?) no justifica el costo del producto.

### ¿La tasa de retorno de la inversión es atractiva?

Para desarrollar un proyecto se necesitan 10 millones de dólares. No se poseen; se consigue un socio capitalista al que se le expone la idea. Como no es una persona altruista sino práctica, lo primero que preguntará será por la tasa interna de retorno, TIR, que refleja, aproximadamente, el interés que recibe por sus 10 millones invertidos en el proyecto. Por ejemplo, si el amigo inventor le dice que los estudios de viabilidad económica arrojan un TIR del 16%, el socio capitalista, seguramente, decide no invertir, pues el mismo dinero colocado en bonos del gobierno le puede producir más del 26%; y puesto a interés extrabancario puede darle más del 40%. Por tanto, es indispensable que todo proyecto de ingeniería sea rentable; que su rentabilidad sea superior a la que ofrecen otros negocios del mercado. Para aquellos proyectos que no sean rentables, pues implican mucho desarrollo básico, es necesario recurrir a financiación de entidades estatales o de fundaciones sin ánimo de lucro.

### ¿Los costos son tan altos que la idea es a todas luces no viable?

Nadie va a patrocinar el desarrollo de un sacacorchos que exija muy poca fuerza para que un niño de un año lo pueda usar. Para lograrlo se requiere un complicado sistema de cilindros y bombas, que asistan en el proceso de extracción del corcho. Evidentemente, con un poquito menos de parafemalia técnica, haciendo un poco más de fuerza, se pueden rebajar los costos. No se justifica que el 80% del costo del extractor se justifique sólo porque un niño de un año lo pueda usar: ningún niño de un año tiene que abrir una botella.

### 10.3.3. Aspectos de tiempo

El factor tiempo es muy importante; en algunos casos es el elemento que define si una idea tiene sentido o no.

En el caso de un desastre natural se desea que la solución a las necesidades de los afecta-

dos sea inmediata; por ejemplo hay mucha gente muriéndose de frío, sin refugios, muriéndose de hambre, sin comida, sin vías de comunicación. La solución no solamente debe ser buena, debe poder implantarse ya.

Técnicamente, puede haber muchas soluciones excelentes pero lo que se necesita es una no tan buena, quizás, pero que pueda ponerse a funcionar ya. Algunas preguntas a este respecto pueden ser las siguientes.

#### ¿El tiempo requerido está dentro de márgenes aceptables?

Los habitantes de las riberas del río Páez, en Colombia, quedaron incomunicados con el resto del país debido a la avalancha que arrasó con la mayoría de los puentes que existían. Las soluciones propuestas incluían la construcción de sólidos puentes que resistieran futuras avalanchas (tiempo estimado, dos años), la construcción de puentes colgantes (un año) y la construcción de puentes militares (tres semanas). Evidentemente, la solución definitiva no era la de los puentes militares, pero teniendo en cuenta el factor tiempo, era la única solución aceptable, por lo menos a corto plazo.

Muchos países sufrieron apagones debido a las sequías provocadas por el fenómeno de El Niño. Para resolver este problema se plantearon varias alternativas. Una de ellas era construir nuevas plantas hidroeléctricas, que no resolvía el problema del momento; la construcción de una planta de ese tipo requiere 10 años, por lo menos. La solución que mejor cumplía los aspectos de tiempo del problema, era la importación de plantas portátiles para las grandes empresas, la puesta en funcionamiento de las centrales termoeléctricas existentes y la importación de energía a través de la interconexión eléctrica con países vecinos. En este momento, el factor tiempo definía la solución que iba a escogerse.

Una conocida universidad necesita sistematizar todas las actividades de su biblioteca; desde hace varios años viene trabajándose en el diseño de una aplicación que resuelva el problema (necesita un año más); puede comprar-

se un programa que entra a funcionar en un mes, pero su costo es de 800 millones; finalmente, usar el de otra universidad gratis, pero que necesita modificaciones, lo que puede tomar cuatro meses. Si la necesidad es tan grande que no se puede esperar más de dos meses (por ejemplo, hay un préstamo internacional en estudio que establece como requisito tener un sistema de información bibliotecaria funcionando) hay que conseguir los 800 millones y comprar el programa.

#### ¿Se han tenido en cuenta imprevistos?

Todo proyecto implica una serie de actividades, y cada una de ellas requiere determinado tiempo. Sin embargo, resulta muy difícil calcular exactamente cuántos meses requiere desarrollar un proyecto de software. La ingeniería de software ha desarrollado métodos que permiten definir cada vez más precisamente los tiempos que se emplean en desarrollar los programas, dependiendo del tipo de programa, de la experiencia de los programadores, del lenguaje empleado, entre otros. Con estas herramientas, se puede llegar a una exactitud en la estimación del tiempo necesario de hasta el 20%. Sin embargo, es necesario hacer un poco de prospectiva y analizar el entorno para percibir síntomas que anuncien problemas que puedan interferir con el cronograma de desarrollo del proyecto.

Sin embargo, hay situaciones que nadie puede predecir: por ejemplo la caída del muro de Berlín, la apertura de los mercados mundiales, la crisis financiera del sudeste asiático. Pero hay otros casos en que sí se puede pronosticar: una disminución de chips de memoria debido a la destrucción de las fábricas en el Japón, como consecuencia de un terremoto, el aumento en el costo de los componentes electrónicos, debido a la mayor exigencia ambiental, impuesta por las administraciones gubernamentales, ... Muchos proyectos, al final cuestan más del doble de lo originalmente proyectado, debido a que no se tuvo en cuenta la ocurrencia de imprevistos que pueden alargar los proyectos y, consecuentemente, aumentar los costos.

## Selección de la mejor solución

### 10.3.4. Aspectos humanos

Finalmente, hay *aspectos humanos* que deben tenerse en cuenta. La mayoría de éstos se han comentado en párrafos anteriores; sin embargo, un comentario adicional no sobra. Como vía metodológica para explorar este aspecto pueden hacerse las siguientes preguntas:

#### ¿Cumple las regulaciones ambientales?

Cada vez son mayores las exigencias que se imponen a los productos en relación con la preservación del medio ambiente. El uso de materiales reciclables, no consumidores de energía, no consumidores de papel, no contaminantes, son aspectos que deben tomarse en cuenta en la selección de alternativas para la solución de problemas.

Un sistema de automatización de oficinas que elimine completamente el uso del papel, es mejor que otro que aún haga uso de considerables cantidades del mismo.

El uso de EDI (Electronic Data Interchange) para la comunicación entre empresas es preferible al uso de los documentos tradicionales.

El desarrollo de impresoras cada vez más silenciosas, monitores de baja radiación, entre otros, son proyectos deseables.

#### ¿Es éticamente aceptable?

Algunos desarrollos se han basado en experimentación con seres humanos.

Los nazis, durante la segunda guerra mundial, utilizaron prisioneros de guerra experimentando con ellos en busca de soluciones a los problemas que aquejaban a sus tropas en el frente de batalla.

Una universidad alemana, recientemente, utilizaba cadáveres en lugar de maniquíes en sus experimentos, en los que chocaban violentamente automóviles buscando formas de dar mayor seguridad a los pasajeros.

Muchas universidades católicas tienen prohibido realizar experimentos con fetos humanos, aunque sea con el loable propósito de avanzar en el conocimiento de la vida humana.

Estos son ejemplos que muestran algunos aspectos éticos que pueden servir de guía a la hora de examinar la viabilidad de una alternativa.

#### ¿Tiene en cuenta los hábitos

socioculturales de la población a la que se dirige?

No tiene sentido imponerles a las poblaciones indígenas de los países andinos, soluciones que van en contra de sus tradiciones. Algunas de las culturas de la costa pacífica siguen usando la tradición oral para transmitir el conocimiento de generación en generación. El uso extensivo de libros, material escrito, ..., no conduce al éxito de un proyecto educativo. Es necesario incluir en las especificaciones del proyecto las restricciones que tengan en cuenta este tipo de consideraciones.

#### ¿Su uso genera enfermedades profesionales?

Estar sentado continuamente frente de un computador puede generar enfermedades profesionales en la visión; en la columna vertebral, en la región lumbar.

El continuo uso del *mouse* puede generar ciertas atrofias en los músculos de la muñeca.

Ciertos dispositivos electrónicos generan sonidos que afectan la audición.

Estar en ambientes contaminados puede conducir a enfermedades respiratorias.

El software que no es amigable para el usuario, puede producir en él niveles de irritación tan altos que crea hábitos violentos de comportamiento.

#### ¿Es cómodo?

Uno de los dispositivos más utilizados actualmente es el *mouse* o ratón. Del ratón original a los que actualmente se ofrecen en el mercado hay una enorme diferencia; en todos los nuevos diseños se busca la comodidad. Hay ratones que se adaptan perfectamente a la mano; hay ratones para zurdos; hay ratones inalámbricos que se comunican con la CPU mediante ondas electromagnéticas o rayos infrarrojos. La comodidad es uno de los aspectos que más caracteriza a las sociedades desarrolladas.

El teclado de un computador debe ser cómodo; debe sentirse, debe existir una retroalimentación táctil (se siente que se hunde la tecla),

## Selección de la mejor solución

una retroalimentación auditiva (se oye el clic cuando se presiona una tecla); debe exigirse cierta presión pero no excesiva.

### ¿Es de agradable presentación?

Junto con la comodidad, la presentación es uno de los factores que ayudan a que un producto penetre y se consolide en un mercado. Por ejemplo, siguiendo con el tema de los mouse, se han diseñado unos con la forma de verdaderos ratones para que los niños se sientan atraídos por el computador (quizás así las niñas pierdan el miedo a los ratones).

Se podría alargar la lista con otras preguntas; sin pretender ser exhaustivo, lo presentado es un ejemplo de cómo debe manejarse el análisis de las soluciones derivadas de la etapa de

pensamiento divergente o técnicas similares. Se acostumbra usar una matriz que recoge todas las anteriores preguntas y permite concentrar en un solo cuadro las ventajas relativas de cada una de las alternativas.

### Ejemplo 1

Como vía de ejemplo se va a presentar el estudio comparativo entre varias soluciones posibles desarrolladas en el marco de las votaciones.

Mediante el cuadro 10.1 puede sistematizarse fácil y rápidamente el análisis de las diferentes soluciones arrojadas por la etapa de pensamiento divergente. De todas las ideas iniciales quedan algunas. Éstas pasan a la fase siguiente para seleccionar la mejor de todas.

**Cuadro 10.1. Diversas alternativas para un sistema de votación**

Solución	A Sistema de tarjetón	B Sistema mixto tarjetón y papeleta	C Sistema con computador	D Sistema con valera
Viabilidad				
Limitaciones físicas	El tarjetón puede llegar a tener un gran tamaño	Se puede disminuir la papelería usada.	Puede extenderse sin aumentar de tamaño	Más manejable que el tarjetón.
Viabilidad técnica; dificultad tecnológica	No tiene problema	No tiene problema	Presenta problemas de infraestructura y manejo	No tiene problemas
Recursos económicos; costo de la solución	Costo alto y repetitivo en cada elección	Mas barato que el A	Mucho más caro que las otras. Puede usarse repetidas veces	El más barato de todos
Tiempo de implantar la solución	No tiene problema	No tiene problema	Puede requerir más tiempo disponible	No tiene problema
Impacto cultural sobre el grupo humano	Ninguno	Ninguno	Puede causar problemas a los analfabetos	No tiene problema

120352

## Selección de la mejor solución

Continuación... Cuadro 10.1. Diversas alternativas para un sistema de votación

Salución	A Sistema de tarjetón	B Sistema mixto tarjetón y papeleta	C Sistema con computador	D Sistema con valera
Viabilidad	Sistema de tarjetón	Sistema mixto tarjetón y papeleta	Sistema con computador	Sistema con valera
Consideraciones éticas	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Puede haber fraude
¿Es viable?	Sí	Sí	Más estudio	Más estudio

### Ejercicio 1

Una conocida universidad reconoce que para conservar su posicionamiento es necesario que sus egresados tengan un alto dominio del idioma inglés. Se requiere una propuesta que solucione este problema. Deben establecer-

se los criterios de selección, las restricciones, determinan cuántas soluciones posibles quedan y, finalmente, ofrecer un grupo de soluciones que sean viables, con el fin de escoger entre ellas, en una etapa posterior, la mejor.

## 10.4. Matriz de selección

La matriz de selección es una estructura de información que reúne, en forma compacta, todos los datos necesarios para determinar cuál es la mejor solución al problema presentado, to-

mando como entrada las soluciones que pasen el examen de viabilidad del paso anterior<sup>2</sup>.

La forma de la matriz de selección se muestra en el cuadro 10.2.

Cuadro 10.2. Matriz de selección generalizada.

Criterios Soluciones	Criterio I Peso = x%	Criterio II Peso = y%	Criterio III Peso = z%	Criterio IV Peso = w%	Totales
Solución A	Nota otorgada = a Puntaje = a * x	Nota otorgada = b Puntaje = b * y	Nota otorgada = c Puntaje = c * z	Nota otorgada = d Puntaje = d * w	Total A
Solución B	Nota otorgada = m Puntaje = m * x				Total B
Solución C	Nota otorgada = n Puntaje = n * x				Total C

Las filas representan las distintas soluciones que entran en la competencia final; en las columnas se colocan los diferentes criterios que sirven para seleccionar la mejor solución. En la celda

de cada criterio se coloca el valor o peso que se le asigna al mismo, usando el método de comparación por pares estudiado en el capítulo 9.

En cada una de las celdas intersección de una solución y un criterio, se coloca la nota o calificación que a esa solución se le da. En otras palabras: se reúne un grupo de expertos para que analicen el grado de cumplimiento de un determinado criterio para una solución específica. Por ejemplo, ¿cuál es el grado de cumplimiento del criterio I para la solución A? Cada miembro del grupo asigna un puntaje (por ejemplo, de 0 a 10: 0 mínimo cumplimiento; 10 cumplimiento total) a esa solución. Lo mismo se hace con las demás soluciones y criterios. Al final, en cada celda, se tiene la nota o calificación respectiva.

Acto seguido se multiplica cada nota por el peso del criterio respectivo; una vez que se ha hecho esto para todas las celdas, se suman horizontalmente y se coloca en la última columna (totales) la suma. Se comparan los valores de los totales y el que dé mayor valor corresponde a la mejor solución.

Es posible que la diferencia en los valores que arroje la matriz sea pequeña; la diferencia es menor que el nivel de incertidumbre que se maneja a lo largo de todo el proceso. Es conveniente, en este caso, analizar algunos aspectos un poco más detalladamente para tener, finalmente, una razón más sólida que apunte a la mejor solución.

### Ejemplo 2

En este ejemplo se muestra la matriz de selección de un problema en el que después de todas las fases del método de diseño en ingeniería se han reducido las opciones a 6, denominadas diseño 1, diseño 2, etcétera, diseño 6. Los criterios de selección son los siguientes: técnicos, costo, tiempo y aspectos externos.

A su vez, cada uno de ellos se ha subdividido en características más puntuales, así:

**Técnicos:** consumo de energía, uso de partes estándares, facilidad de mantenimiento, servicio de posventa y facilidad de uso.

**Costo:** costo de adquisición.

**Tiempo:** tiempo de entrega y tiempo de atención a llamada de servicio.

**Aspecto externo:** estética y tamaño.

Para cada uno de estos aspectos se lleva a cabo la comparación entre pares y se obtienen los pesos que aparecen en las respectivas celdas del cuadro 10.3.

Posteriormente, se reúnen varios expertos y analizan los diseños otorgando una calificación para cada criterio y para cada diseño. En las respectivas celdas se registra el promedio de las puntuaciones obtenidas (dígito subrayado: 7), así como el producto del peso del criterio por la puntuación.

Cuadro 10.3. Matriz de selección para el ejemplo 2

	F1	F2	F3	F4	F5	C1	T1	T2	A1	A2	GRADO DE SATISFACCIÓN
	0,050	0,030	0,030	0,050	0,040	0,250	0,2000	0,100	0,125	0,125	1,00
	FUNCIÓN 0,20					COSTO 0,25	TIEMPO 0,30		ASPECTO 0,25		
DISEÑO 1	035 7	0,27 9	0,24 8	0,45 9	0,36 9	2,00 8	1,60 8	0,80 8	1,125 9	1,00 8	8,20
DISEÑO 2	0,25 5	0,24 8	0,18 6	0,35 7	0,36 9	1,75 7	1,20 6	0,70 7	1,125 9	1,00 8	7,16
DISEÑO 3	0,40 8	0,24 8	0,27 9	0,40 8	0,36 9	1,50 6	1,00 5	0,70 7	0,50 4	1,00 8	6,37
DISEÑO 4	0,40 8	0,24 8	0,15 5	0,45 9	0,20 5	1,00 4	1,00 5	0,80 8	1,125 9	1,125 9	6,49
DISEÑO 5	0,35 7	0,18 6	0,27 9	0,35 7	0,20 5	1,75 7	1,40 7	0,70 7	1,00 8	0,75 6	6,95
DISEÑO 6	0,40 8	0,24 8	0,21 7	0,40 8	0,36 9	1,75 7	1,40 7	0,70 7	0,625 5	1,00 8	7,09

En la última columna de la derecha bajo el nombre de *grado de satisfacción*, se totalizan los resultados de cada diseño. Como se puede apreciar el diseño 1 obtiene el máximo puntaje, es decir, el diseño que más se acerca a la solución deseada.

## 10.5. Ejercicios y problemas

1. Existe un problema relacionado con la distribución de la información en la universidad. Los estudiantes no se enteran de los mensajes que se colocan en las carteles, o cuando se necesita a un estudiante en particular se vuelve casi imposible conseguirllo.

A través de una tormenta de ideas se lograron reunir estas *ideas locas* que pueden ser la base de la solución al problema:

Dotar a todos los estudiantes de un biper.  
Alquilar un casillero de voz para cada estudiante, cada asignatura, cada profesor.

Dotar de teléfono celular de una sola vía a los estudiantes.

Trasmitir permanentemente por la emisora de la universidad los mensajes necesarios.

Colocar avisos luminosos por toda la universidad.

Colocar carteleras especializadas en cada salón.

Poner más carteleras alrededor de toda la universidad.

Analice la viabilidad de cada una de las anteriores soluciones, aplicando la técnica de *pensamiento convergente*.

2. Los semáforos dejan de funcionar cada vez que llueve; el tráfico se convierte en un caos. Es necesario buscarle soluciones. Se han propuesto las siguientes:

Colocar una planta auxiliar que se active inmediatamente que se suspenda la energía eléctrica y que asuma el control y suministro de energía a todos los semáforos.

Colocar UPS en todos los semáforos, con capacidad de hasta tres horas.

con notable diferencia respecto al segundo que solamente obtiene 7,16. Por tanto, la mejor solución al problema propuesto es la que ofrece el diseño 1.

De acuerdo con el criterio de satisfacción se obtiene el resultado que se observa en la siguiente tabla:

De acuerdo con el criterio de satisfacción se obtiene el resultado que se observa en la siguiente tabla:

Colocar paneles solares en todos los semáforos, para que los alimenten cuando se interrumpe la energía.

Tener policías auxiliares en todos los semáforos que asuman el control cuando aquéllos dejen de funcionar.

Analice la viabilidad de cada una de las anteriores soluciones, aplicando la técnica de *pensamiento convergente*.

3. Los estudiantes se quejan de que cuando llueve se mojan en el trayecto del estacionamiento hasta sus salones de clase. Para remediar este problema han propuesto las siguientes ideas:

Tener un servicio de paraguas en los parqueaderos.

Tener dispensadores de encauchados desechables en los parqueaderos.

Construir un túnel subterráneo desde los parqueaderos hasta los salones de clase.

Techar el camino desde los parqueaderos hasta los salones de clase.

Techar toda la universidad.

Pasar la universidad a un lugar en que no llueva.

Analice la viabilidad de cada una de las anteriores soluciones, aplicando la técnica de *pensamiento convergente*.

4. Sigue sucediendo que las alarmas de los automóviles estacionados en los parqueaderos se activan y producen un ruido muy molesto en los salones de clase vecinos; los dueños de los carros se enteran sólo después de un buen rato. Es necesario hallar una solución a este problema. Analice la viabilidad de cada una de las siguientes soluciones, aplicando la técnica de *pensamiento convergente*:

- Retirar los carros usando una plataforma de transporte que los enganche por debajo y los lleve lejos.
- Obligar a desactivar la alarma al estacionar el auto.
- Abrir el carro y cortar los cables de la batería.
- Tapar el carro con una cubierta que aisle el ruido.
- Pedirles a los dueños de los carros que dejen sus controles de alarma en la portería.
- Cerrar herméticamente los salones de clase y poner aire acondicionado en los mismos.
- Cambiar el modo de alarma a ultrasonido con un receptor especial.
5. Por la noche, algunas áreas de la universidad no están suficientemente iluminadas, lo que produce molestias y hasta accidentes. Se proponen algunas soluciones para remediar este problema:
- Poner más luces que se enciendan automáticamente.
  - Colocar líneas fosforecentes en el piso, que guíen a los usuarios cuando no hay luz.
  - Colocar paneles solares que se carguen du-
- rante el día y que alumbrén por la noche, para ahorrar energía.
- Dar linternas a todos los estudiantes de la universidad cuando entran por la portería.
- Colocar reflectores de alta potencia en lugares adecuados que iluminen toda la universidad.
- Analice la viabilidad de cada una de las anteriores soluciones, aplicando la técnica de *pensamiento convergente*.
6. Para cada uno de los anteriores problemas realice lo siguiente:
- Tome las soluciones que demuestren ser viables (que sean cuatro o cinco).
- Determine cinco criterios de selección y asigne a cada uno de ellos un valor usando las técnicas vistas en capítulos anteriores.
- Dibuje la matriz de selección y llénela con la información requerida. Con otros compañeros, asigne notas a cada una de las soluciones, para cada uno de los criterios.
- Obtenga la mejor solución para cada caso.

## Taller corto 19

### Aplicación de la matriz de selección

#### Justificación

La matriz de selección ofrece un mecanismo efectivo para encontrar la mejor respuesta, entre varias de similares características.

#### Objetivos

- Familiarizarse con casos en los que se aplica la matriz de selección.
- Usar la matriz de selección.

#### Descripción

Analice cada uno de los problemas propuestos y encuentre la respuesta correcta.

1. Cincuenta empresas que venden equipos de computación han presentado ofertas en una licitación que abrió el Ministerio de Educación para adquirir 50 000 PC. De las cincuenta empresas se eliminaron 45 y solamente quedaron cinco (A,B,C,D y E) en la ronda final. De ellas se debe escoger la mejor. Los criterios que se han empleado en la selección han sido los siguientes:
- Precio (peso del criterio: 30%).
  - Aspecto técnicos (peso del criterio: 25%).
  - Calidad (peso del criterio: 25%).

Propuesta	A	B	C	D	E
Criterio					
Precio	7	8	7	8	6
Calidad	5	8	9	4	7
Aspectos técnicos	8	5	4	7	5
Servicio de mantenimiento	8	5	6	7	5
Garantía	6	7	5	4	8

- Servicio de mantenimiento (peso del criterio: 10%).

- Garantía (peso del criterio: 10%).

La junta de licitaciones del ministerio analiza detalladamente cada una de las cinco propuestas y después de un concienzudo estudio asigna las siguientes notas o puntos (notas de 0 a 10, siendo 10 lo más alto) a cada una de las propuestas (A,B,C,D y E):

Después de aplicar la matriz de selección, las cinco propuestas quedan en el siguiente orden (de mejor a peor):

(Por ejemplo: ABCDE = primera la A, segunda la B, tercera la C, ... ).

- a. CBADE
- b. EDCAB
- c. CABED
- d. ECDBA
- e. Ninguna de las anteriores

Seleccione la respuesta correcta. Use tres cifras significativas en sus cálculos.

2. Una empresa proveedora de servicios de consultoría está seleccionando a su representante en Estados Unidos. Existen varias propuestas y para compararlas es necesario establecer algunos criterios de comparación, así como estimar la importancia o peso de cada uno de ellos. Después de un análisis profundo se identifican los siguientes criterios de selección como los más importantes:

A. Costo de la propuesta.

B. Resultados de las pruebas técnicas.

C. Solidez financiera de la empresa con la que se va a negociar.

D. Aspectos técnicos.

Se les pide a 10 prestantes ingenieros que emitan su concepto sobre la importancia relativa de cada uno de los anteriores criterios comparándolos entre sí. Las respuestas obtenidas son las siguientes:

Tres ingenieros opinan que A es más importante que B; siete opinan lo opuesto.

Siete ingenieros opinan que A es más importante que C; tres opinan lo opuesto.

Seis ingenieros opinan que A es más importante que D; cuatro opinan lo opuesto.

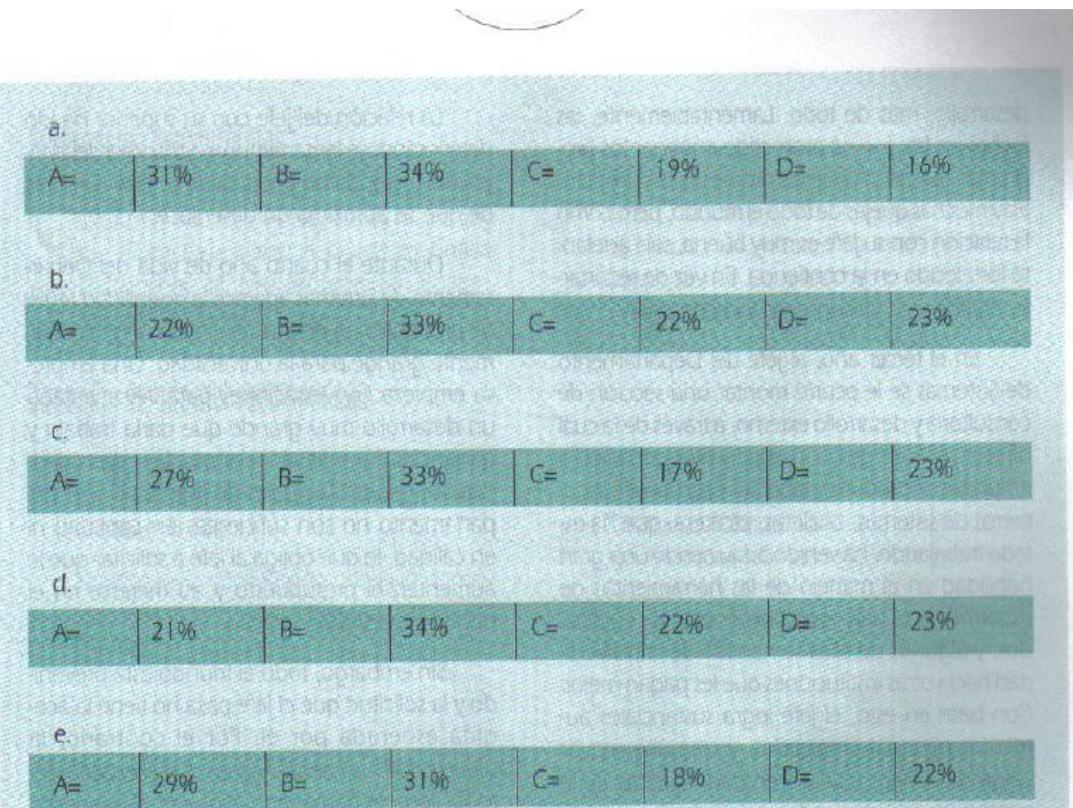
Siete ingenieros opinan que B es más importante que C; tres opinan lo opuesto.

Siete ingenieros opinan que B es más importante que D; cuatro opinan lo opuesto.

Cuatro ingenieros opinan que C es más importante que D; seis opinan lo opuesto.

Con base en los datos anteriores se asignan los pesos, utilizando el esquema de comparación por pares.

Seleccione de las cinco respuestas que se dan a continuación cuál es la correcta. En las respuestas solamente dos cifras significativas (enteros).



## Taller largo 10 [En grupo]

### Selección de la mejor solución

#### Justificación

Es indispensable seleccionar. Y la matriz de selección ofrece un camino para lograr esto, disminuyendo a límites razonables la subjetividad de la elección final. Aunque existen otros mecanismos para efectuar esta selección, el de la matriz ofrece uno que es sencillo y efectivo.

#### Objetivos

- Aplicar la técnica del pensamiento convergente;
- Usar la matriz de selección para efectuar la elección final;

#### Descripción

Una universidad ha establecido un Departamento de Sistemas el cual debe ocuparse del diseño, desarrollo, implantación y mantenimiento de to-

dos los sistemas de información de la universidad. Para ello, contrata un jefe para el departamento, el cual se encarga de diseñar el esquema organizativo del mismo, contratar a los empleados, pedir los equipos, indicar los programas que se van a comprar.

Durante el primer año de su existencia se hacen jugosas inversiones en equipos, en contratación de ingenieros de sistemas, analistas de sistemas, programadores, secretarias. Durante este primer año se efectúan los primeros desarrollos, como nómina, sistemas de matrículas, entre otros, los cuales se ponen a funcionar, con algunos problemas, como era de esperar.

Durante el segundo año se desarrollan sistemas de información para la universidad, el jefe pide cada vez más dinero para comprar equipo, contratar más profesionales, más herramientas de

desarrollo, más de todo. Lamentablemente, las fechas en las que ha prometido entregar los programas, pasan sin que las promesas se cumplan. Hay muchas quejas de todo el mundo, pero como la relación con su jefe es muy buena, sale adelante fortalecido en la contienda. En vez de recordarle, él pide más presupuesto y lo consigue.

En el tercer año, al jefe del Departamento de Sistemas se le ocurre montar una sección de consultoría y desarrollo externo, a través de la cual ofrecer servicios de consultoría y programación a empresas, individuos y fábricas. El grupo de ingenieros de sistemas, analistas, etcétera, que ha estado trabajando, ha venido adquiriendo una gran habilidad en el manejo de las herramientas de desarrollo y se han vuelto expertos muy codiciados, y algunos de ellos se han ido de la universidad hacia otras instituciones que les pagan mejor. Con base en esto, el jefe logra sustanciales aumentos para sus empleados, y crea una mayor carga de salarios a la universidad. El costo de la nómina de los empleados del centro ha crecido casi el 400% respecto al valor inicial.

Logra su propósito y empiezan a buscar clientes externos. Para ello crea un cargo nuevo denominado director de Mercadeo, con oficina, secretaría, equipos, ... Un gasto más. Los trabajos externos llegan muy lentamente, y las cuantías de los mismos son muy pequeñas, de modo que no alcanzan a cubrir los gastos de la oficina. Los pocos trabajos que se consiguen no se entregan a tiempo, por lo que las entidades que hicieron el contrato se quejan continuamente del incumplimiento de la universidad. En algún momento casi se llega a entablar una demanda contra la institución educativa. El jefe logra que se le aumente el personal para poder cumplir los contratos. Lo consigue. El Departamento de Sistemas de la universidad es ya un monstruo.

Pero los problemas siguen; los incumplimientos se hacen más notorios. Los ingenieros de sistemas más expertos se han ido, y han sido remplazados por muchachos recién graduados que necesitan tiempo para aprender y cometen muchos errores.

La relación del jefe con su superior ha ido deteriorándose lentamente y ya no goza del apoyo irrestricto, como antes ocurría. Hay rumores de que se aproxima un desenlace.

Durante el cuarto año de vida del Departamento de Sistemas aparece la posibilidad (40% de probabilidad) de que resulte un negocio realmente grande para la universidad. Una empresa empieza conversaciones para llevar a cabo un desarrollo muy grande que daría trabajo y ganancias durante varios años a la universidad. Pero los recursos actuales de que dispone el departamento no son suficientes en cantidad ni en calidad, lo que obliga al jefe a solicitar que le aumenten el presupuesto y así meterse en el negocio del siglo.

Sin embargo, todo el mundo está preventivo y la solicitud que el jefe pasa no tiene la acogida esperada por él. Por el contrario, la universidad está pensando en que el experimento ha llegado demasiado lejos y es el momento de definir si sigue la Oficina de Consultoría o se acaba, o se reforma, o se ...

### Procedimiento

Lea detenidamente el caso anterior que se parece mucho a un caso de la vida real.

1. ¿Qué soluciones se ven? (Tormenta de ideas, pensamiento divergente.)
2. ¿Qué criterios usa para escoger la mejor solución?
3. ¿Qué restricciones se pueden colocar en este caso?
4. De todas las soluciones que la tormenta de ideas arroja, ¿con cuáles se queda? (pensamiento convergente.)
5. De estas soluciones, ¿con cuál se queda? ¿Cuál es la mejor?
6. ¿Qué método usa para llegar a esa decisión?

## Referencias bibliográficas

1. BROWNE . M. Neil, Keeley Stuart M., *Asking the Right Questions: A Guide to Critical Thinking by M. Neil Browne*, 5th Edition, Prentice Hall, 1997.
2. LOVE, Sidney, F., *Planning and Creating Successful Engineered Designs*, Advanced Professional Development, North Hollywood, California, 1994.

## Dirección de internet recomendada

Kusyszyn, Igor, "Creativity: Pure and Applied", 1998.

<http://www.yorku.ca/faculty/academic/kusyszyn/PSYC3550/contents.html>, Jun 2000.

Excelente dirección en la que encontrarán un curso introductorio a la creatividad, y en él un capítulo sobre pensamiento convergente y el método para la solución creativa de problemas.

# Í

## Índice alfabético

### A

Acerca de las actitudes .....	94
Acerca de las habilidades .....	90
Acerca de los conocimientos .....	90
Actitud coherente .....	94
Actitud crítica .....	94
Actitud imparcial .....	94
Actitud negativa .....	95
Actitud positiva .....	95
Actitud proactiva .....	95
Actitud responsable .....	95
Actividades de un proyecto .....	238
Administración de recursos humanos .....	52
Administración financiera .....	52
Algunas definiciones .....	44
Algunos ejemplos de aplicación del método científico en ingeniería .....	312
Algunos ejemplos reales de creatividad .....	357

## Índice Alfabético

Análisis de los datos .....	307
Análisis de Pareto .....	300
Análisis y descarte de soluciones no viables .....	85
Análisis .....	347
Apertura mental .....	347
Apertura mental .....	95
Aspectos de tiempo .....	368
Aspectos económicos .....	367
Aspectos humanos .....	370
Aspectos técnicos .....	366

## B

Búsqueda de información en la WWW .....	178
Búsqueda de información pertinente .....	82

## C

Cálculo aproximado .....	156
Cálculo de probabilidad .....	139
Campo laboral del ingeniero .....	50
Capacidad de análisis .....	92
Capacidad de lógica .....	92
Capacidad de síntesis .....	92
Capítulo 2 .....	40
Capítulo 1 .....	1
Capítulo 10 .....	362
Capítulo 3 .....	70
Capítulo 4 .....	102
Capítulo 5 .....	166
Capítulo 6 .....	190

## Índice Alfabético

Capítulo 7 .....	230
Capítulo 8 .....	286
Capítulo 9 .....	328
Carta a un aspirante a ingeniero .....	16
Cartas .....	209
Caso 1. aplicación del método científico en ingeniería .....	292
Caso 1. Continental de motores S. A. ....	105
Caso 1. El arte de escribir .....	193
Caso 1. un trabajo sucio .....	234
Ciclo de vida de un producto .....	266
Ciencia, tecnología e ingeniería .....	43
Cifras significativas .....	123
Código de ética de la IEEE .....	60
Cómo lograr una buena comunicación .....	201
¿Cómo ser creativo? .....	351
Comparación de cada criterio .....	277
Comunicación de la solución escogida .....	89
Comunicación escrita .....	197
Comunicación o poder de convencimiento .....	347
Concepto de probabilidad .....	137
Conclusiones .....	95
Consideraciones éticas .....	271
Consolidación de la información encontrada .....	205
Consultoría, prestación de servicios .....	53
Creatividad .....	92
Criterios de selección y limitaciones .....	80
Cuadro resumen .....	90

## D

Decisiones con riesgo .....	135
Definición del problema .....	314

## Índice Alfabético

Definición del problema .....	78
Definición del tema y alcance de la comunicación.....	202
Desarrollo de nuevos productos .....	51
Desarrollo histórico .....	18
Desviación estándar .....	150
Diagrama de espina de pescado .....	296
Diagramacion mental .....	356
Diagramas de barras o de Gantt .....	239
Dirección de Internet recomendada cap. 10 .....	379
Dirección del departamento técnico .....	51
Direcciones de Internet recomendadas cap. 4 .....	165
Direcciones de Internet recomendadas cap. 5 .....	189
Direcciones de Internet recomendadas cap. 6 .....	229
Direcciones de Internet recomendadas cap. 7 .....	285
Direcciones de Internet recomendadas cap. 8 .....	327
Direcciones de Internet recomendadas .....	361
Direcciones de Internet recomendadas, cap. 2 .....	69
Directrices de comportamiento ético .....	58
Directrices que regulan las relaciones entre el ingeniero y la sociedad .....	59
Directrices que regulan las relaciones entre el ingeniero y sus colegas .....	59
Directrices que regulan las relaciones entre el ingeniero, los empleadores y los clientes .....	58
Diseño técnico .....	51
Distribución normal .....	152

## E

Educación .....	53
Ejercicios y problemas cap. 4 .....	157
Ejercicios y problemas cap. 5 .....	186
Ejercicios y problemas cap. 6 .....	224
Ejercicios y problemas cap. 8 .....	316

## Índice Alfabético

Ejercicios y problemas cap. 9 .....	358
Ejercicios y problemas cap. 7 .....	279
Ejercicios y problemas, cap. 1 .....	33
Ejercicios y problemas, cap. 2 .....	62
Ejercicios y problemas, cap. 3 .....	96
El dinero en función del tiempo .....	246
El dinero .....	243
El método científico .....	303
El párrafo .....	206
El plan de estudios .....	50
El proceso creativo en ingeniería .....	340
El proceso de diseño en ingeniería .....	74
El tiempo .....	238
Elaboración de experimentos .....	309
Elaboración de la comunicación .....	206
Elaboración de la hipótesis .....	308
Elaboración .....	347
Elementos de una presentación .....	218
Energía .....	256
Ensayo .....	211
Error estándar .....	155
Especificaciones de la solución escogida .....	88
Esperanza matemática o valor esperado .....	135
Esplíritu de observación .....	92
Estadística .....	143
Ética y valores .....	54
Expresarse claramente .....	93

## F

Flexibilidad .....	346
Fuentes de energía .....	258
Fuentes de información .....	171

## Índice Alfabético

<b>G</b>	
Generación de la mayor cantidad de soluciones .....	83
Generar confianza .....	92
<b>H</b>	
Habilidad de pensamiento convergente .....	93
Habilidad de pensamiento divergente .....	93
Habilidad numérica .....	92
Habilidad para buscar información .....	92
Habilidad para dibujar .....	93
Haga preguntas .....	353
Hemisferio izquierdo versus hemisferio derecho .....	334
Histograma .....	148
Historia de las fuentes de energía .....	257
<b>I</b>	
Identificar la información requerida .....	169
Identificar una anomalía .....	305
Imitación .....	354
Impacto ambiental .....	265
Impacto social .....	263
Índices de carga ambiental .....	267
Informe técnico .....	213
Ingeniería civil .....	30
Ingeniería civil .....	313
Ingeniería de sistemas .....	312
Ingeniería de sistemas .....	33
Ingeniería eléctrica .....	31

## Índice Alfabético

Ingeniería electrónica .....	313
Ingeniería industrial .....	32
Ingeniería mecánica .....	32
Ingeniería química .....	32
Instrumentos usados en las mediciones .....	131
Introducción cap. 10 .....	364
Introducción cap. 3 .....	72
Introducción cap. 5 .....	168
Introducción cap. 6 .....	192
Introducción cap. 7 .....	232
Introducción cap. 8 .....	288
Introducción cap. 9 .....	330
Introducción cap. 1 .....	2
Introducción cap. 2 .....	42
Introducción cap. 4 .....	104
Invertir el dinero en una empresa productiva .....	250
Investigación básica .....	51

## L

La comunicación como un proceso .....	198
La ingeniería como profesión .....	41
Las cuatro eres ( R ) .....	269
Las habilidades en la ingeniería .....	47
Liderazgo .....	92
Los valores en la ingeniería .....	61

## M

Matriz de selección .....	372
Mediciones y errores .....	130
Memorándum, memorando o memo .....	208

## Índice Alfabético

Memorias de la vida de un ingeniero .....	3
Mercadeo .....	52
Moda y mediana .....	148
Modelos del proceso creativo .....	337
Modificación de la hipótesis .....	310
Obstáculos a la creatividad .....	338
Obtención de la información .....	204
Operaciones con cifras significativas .....	125
Organización de la información .....	93
Originalidad .....	346
Otras consideraciones .....	274
Otras ingenierías .....	33
Partes y repuestos .....	107
Pasos del método científico .....	305
Pasos que se deben seguir para elaborar la presentación .....	223
Pautas para una buena presentación .....	223
Pensamiento convergente .....	365
Pensamiento divergente .....	355
Pensamiento lateral .....	354
Perfeccionismo .....	93
Perfil del ingeniero .....	46
Planeación de la comunicación .....	203
Planta de producción de válvulas para motores .....	110
Ponderación de los diversos criterios .....	275
Posibilidad y probabilidad .....	138

Precisión y exactitud .....	129
Predicción de eventos .....	308
Presentaciones orales .....	217
Previsión .....	94
Problemas y ejercicios cap. 10 .....	374
Procedimientos en las mediciones .....	132
Producción de energía .....	262
Productividad o fluidez .....	347

## Q

¿Qué es la creatividad? .....	332
-------------------------------	-----

## R

Ramas de la ingeniería .....	30
Rasgos de las personas creativas .....	346
Razonamiento mecánico .....	92
Recolección de datos significativos .....	306
Recursos .....	254
Redefina el problema .....	353
Redefinición .....	347
Redondeo .....	127
Referencias bibliográficas cap. 10 .....	379
Referencias bibliográficas cap. 2 .....	69
Referencias bibliográficas cap. 3 .....	101
Referencias bibliográficas cap. 4 .....	165
Referencias bibliográficas cap. 5 .....	189
Referencias bibliográficas cap. 6 .....	229
Referencias bibliográficas cap. 7 .....	285
Referencias bibliográficas cap. 8 .....	326

## Índice Alfabético

Referencias bibliográficas cap. 9 .....	361
Referencias bibliográficas, cap. 1 .....	39
Reglas para multiplicar y dividir .....	126
Reglas para sumar y restar .....	126
Relación causa efecto .....	293
Remanufactura de motores .....	106
Respeto a la opinión de los demás .....	94
Respeto a las normas legales .....	94
Responsabilidad social .....	94
Ruptura .....	354

## S

Selección de la mejor solución .....	86
Sentido común .....	93
Serendipia .....	348
Serendipia .....	92
Síntesis .....	347
Soporte técnico .....	5

## T

Taller corto 1 .....	35
Taller corto 10 .....	226
Taller corto 11 .....	281
Taller corto 12 .....	281
Taller corto 13 .....	282
Taller corto 14 .....	316
Taller corto 15 .....	317
Taller corto 16 .....	318
Taller corto 17 .....	319
Taller corto 18 .....	358

## Índice Alfabético

Taller corto 19 .....	375
Taller corto 2 .....	66
Taller corto 3 .....	97
Taller corto 4 .....	98
Taller corto 5 .....	160
Taller corto 6 .....	162
Taller corto 7 .....	187
Taller corto 8 .....	187
Taller corto 9 .....	225
Taller largo 1 (en grupo) .....	38
Taller largo 10 (en grupo) .....	377
Taller largo 2 (en grupo) .....	67
Taller largo 3 (en grupo) .....	100
Taller largo 4 (en grupo) .....	163
Taller largo 5 (en grupo) .....	188
Taller largo 6 (en grupo) .....	228
Taller largo 7 (en grupo) .....	283
Taller largo 8 (en grupo) .....	321
Taller largo 9 (en grupo) .....	359
Técnicas creativas .....	352
Términos más usados .....	130
Tipos de documentos .....	206
Toma de decisiones .....	133
Tormenta de ideas .....	354

## U

Una mirada a la ingeniería .....	1
Unidades de medida de la energía .....	261
Unidades de medida .....	117
Uso del computador .....	222



# INTRODUCCIÓN a la INGENIERÍA

Un enfoque a través del diseño

## Reseña del autor

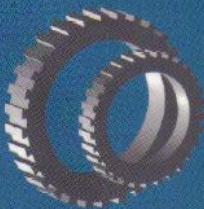
Pablo Grech Mayor, ingeniero electrónico con especialización en telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Máster en ingeniería eléctrica y ciencias de la computación en el Rensselaer Polytechnic Institute Troy, de Nueva York. Actualmente se desempeña como director de la carrera de ingeniería de sistemas y computación de la Universidad Javeriana en Colombia.

## Reseña del libro

Dirigido principalmente a estudiantes de primer semestre de todas las ingenierías, Introducción a la ingeniería también se constituye en una importante herramienta para profesionales de otras disciplinas y estudiantes de último grado de secundaria.

El enfoque de diseño utilizado para resolver los problemas abiertos que enfrentan los ingenieros, es una estrategia coherente: el estudiante desarrolla habilidades básicas y aprende a tomar las decisiones que determinan el éxito o el fracaso de un proyecto.

El libro incluye gran cantidad de ejercicios y problemas de ingeniería basados en casos reales que persiguen un doble objetivo: plantear situaciones de la vida profesional y utilizar las habilidades adquiridas en la solución de problemas derivados de ellas.



Pearson  
Educación

ISBN 958-699-017-6

9 789586 990172