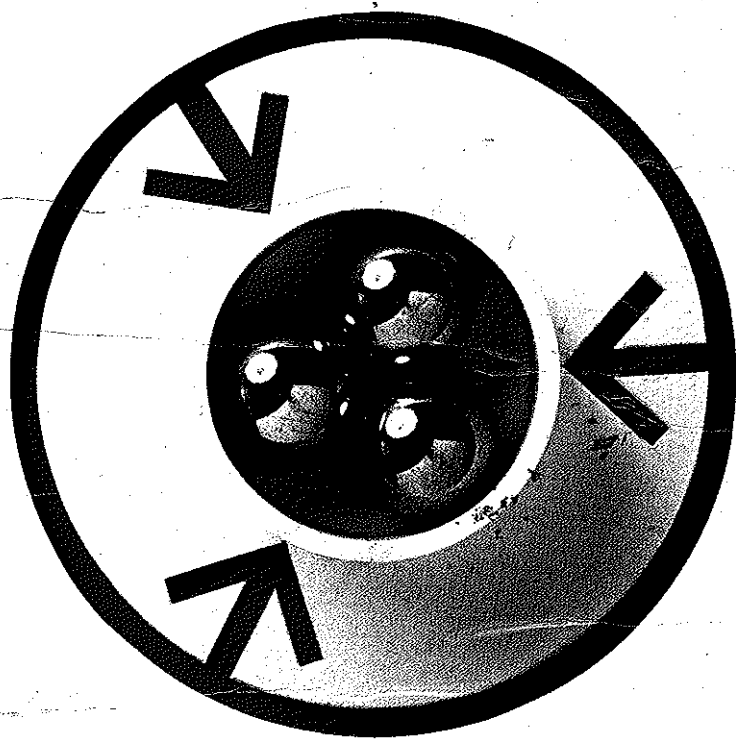


James L. Riggs
Modelos de
decisión económica
para ingenieros
y gerentes de empresa



Alianza
Universidad

Capítulo 1

DECISIONES ECONOMICAS: CONCEPTOS

Gustavo Ferreira
Institute of Ecology and Resource Management
The University of Edinburgh
School of Agriculture Building
West Main Road
Edinburgh EH9 3JF
Fax 031 687 2601
Telephone 031 687 1041
Edinburgh 4000
Postgraduate Room 238
E-mail ESA601@eeuvox.ed.ac.uk

"Have you come to the Red Sea place in your life,
Where, in spite of all you can do,
There is no way out, there is no way back,
There is no other way but through?"

At the Place of the Sea. Stanza 1
Annie Johnson Flint

Una decisión es simplemente una selección entre dos o más líneas de acción diferentes. Sin embargo, la adopción de decisiones puede ser una experiencia llena de atractivos, de emociones e incluso fascinante. Hay elecciones que son triviales o casi automáticas; otras en cambio son de gran trascendencia. La mayor parte de las grandes decisiones presentan un aspecto de carácter económico; sea en nombre propio o sea en nombre de una organización, nos vemos constantemente en la necesidad de pronunciarnos acerca del uso más ventajoso de un número limitado de recursos.

El patrón de un barco pesquero se halla inclinado sobre un mapa en su atestado camarote; en el mapa están señalados tres bancos de pesca. Compara en su mente los informes y los rumores oídos recientemente acerca de estos bancos; considera también las demandas del mercado, los informes meteorológicos y las provisiones con que cuenta en su barco. El patrón tiene que decidir adonde ir a pescar.

Un ingeniero contempla los agrietados paramentos de un pontón de hormigón bajo una autopista. El pontón está a punto de ceder como resultado de los cientos de toneladas de rocas acumuladas

* «¿Te has visto alguna vez en tu vida en el Mar Rojo / Donde, por grande que tu esfuerzo fuere, / No hay vía para escapar; no hay vía de retroceso, / No queda otro recurso que atravesarlo?»

sobre él para la construcción de la autopista, y dentro de pocos días el deshielo va a inundar el terreno y enviará torrentes de agua hacia el pontón. El ingeniero compara las soluciones posibles a la vista de las condiciones y las restricciones que le imponen el equipo, los materiales y el tiempo disponibles.

El *propietario* de un centro de distribución de mercancías al por mayor trata de mejorar su servicio de reparto para hacer frente a los competidores. Para ello puede comprar o alquilar más camiones, subcontratar repartos, abrir almacenes adicionales y/o mejorar su medios actuales propios. Su capital es limitado y las previsiones acerca del aumento del volumen de mercancías son inciertas. Tiene, pues, que decidir, primero, si es necesario tomar algunas medidas y, si lo es, tiene que seleccionar la alternativa más adecuada.

El *gerente* de una gran compañía industrial examina un conjunto de proposiciones cuidadosamente dispuestas sobre la larga mesa de la sala de juntas. Cada proposición representa muchas horas de trabajo de su personal técnico y es un plan detallado para el desarrollo de un nuevo producto. El gerente deberá seleccionar la propuesta que sirva mejor a los intereses de la compañía, dentro de las restricciones impuestas por la limitación de recursos materiales y humanos, la competencia, las obligaciones legales, el capital disponible y los objetivos de la sociedad. Su decisión afectará a las actividades de cientos de personas.

Cada una de las anteriores situaciones es específica para su protagonista, pero todas ellas poseen elementos básicos similares que corresponden a la acción de tomar decisiones económicas. Toda persona encargada de tomar decisiones, el sujeto decisor, tiene varias alternativas ante sí entre las cuales elegir; sus recursos son limitados y su objetivo es seleccionar la línea de acción más ventajosa.

1. El papel económico de ingenieros y gerentes

Un gerente (*manager*) es una persona capacitada en cuestiones de dirección y administración. Una gran parte de esta capacidad se aplica necesariamente a las cuestiones financieras. Los gerentes industriales buscan un ajuste práctico y económico de los medios a los fines, en beneficio de la producción, pudiendo ésta tomar la forma de productos materiales, información o ideas. La producción es función del acierto de las decisiones económicas del gerente

para lograr soluciones viables a los problemas nacidos de su actividad, teniendo siempre presentes los costes.

El concepto de «ingeniería» merece una especial atención. Un concepto restringido de la ingeniería limitaría su aplicación al diseño, construcción y funcionamiento de máquinas y obras. En este caso, el patrón de medida del resultado sería la eficiencia física. Esta relación entre las unidades de producto y las de factores productivos (metros, kilos, unidades BTU, minutos, etc.) es indudablemente importante, pero no es el único objetivo del esfuerzo en ingeniería.

Una definición más comúnmente aceptada de la ingeniería revela su íntima conexión con la economía industrial. «Ingeniería es el arte de organizar a los hombres y dirigir las fuerzas y recursos de la naturaleza para beneficio de la especie humana.» Podemos apreciar en esta definición la existencia de una gran responsabilidad. El «arte de organizar» equivale a regir o administrar; las «fuerzas y recursos de la naturaleza» incluyen todos los recursos, desde los tornillos y las tuercas hasta la información y la energía; y, finalmente, «para beneficio de la especie humana» supone una visión económica.

Esta definición más amplia lleva consigo una interpretación más completa de la eficiencia. La fórmula es la habitual —producto dividido por factores productivos—, pero las unidades difieren; al convertir las unidades físicas en valores monetarios y al incluir las consiguientes actividades funcionales entramos en el área de la eficiencia financiera. De lo que resulta que una gran eficiencia física no es garantía de una gran eficiencia financiera y que una baja eficiencia física no es razón suficiente para borrar de nuestra consideración una alternativa, ya que puede haber otras circunstancias económicas que compensen el bajo nivel de resultados.

La eficiencia financiera se compone de muchos factores. Consideremos la tarea del distribuidor al por mayor citado anteriormente; supongamos que ha decidido comprar más camiones: la elección de éstos puede basarse en la eficiencia mecánica del modelo, aunque probablemente la selección dependerá de criterios económicos. En este caso la evaluación puede tomar la forma

$$\text{Eficiencia financiera} = \frac{\text{producción}}{\text{factores productivos}} = \frac{\text{valor}}{\text{coste}}$$

donde la producción (*output*), o valor, es el ingreso recibido por la utilización de los camiones, y los factores productivos (*input*),

o coste, incluyen los costes de funcionamiento, las cuotas de depreciación, los intereses del capital invertido, los impuestos y otros gastos asociados. La eficiencia financiera obliga a una revisión cuidadosa de los ingresos y los pagos, la cual muestra atributos típicos de la ingeniería tales como rigor, acierto en el diseño, precisión y seguridad. Es esta característica suya, además de la inclusión de otros factores económicos, lo que hace de la eficiencia financiera un método de evaluación representativo y realista.

Puede decirse, por consiguiente, que el objetivo de la ingeniería y de la actividad gerencial es maximizar la función de servicio. El nivel de esta función puede expresarse normalmente en unidades monetarias, de lo que resulta que *las bases para la evaluación son los criterios económicos y que el objetivo es la maximización del beneficio.*

2. Naturaleza de las decisiones

Una escasa familiaridad con el concepto de eficiencia financiera puede crear la impresión errónea de que las decisiones en economía son obvias; esto es, que basta introducir los datos en la ecuación y obtener de ella la respuesta, y si ésta es favorable no hay más que utilizarla. En algunas situaciones esta rutinaria actitud puede servir. En efecto, algunos descubrimientos espectaculares y las fortunas hechas de la noche a la mañana atestiguan que los jugadores ganan algunas veces; pero hay también numerosos ejemplos de fracaso por obedecer a decisiones instantáneas o rutinarias.

El deseo de superar, en la adopción de decisiones, este enfoque basado en las corazonadas ha llevado al desarrollo de lo que se conoce popularmente con el nombre de «métodos de organización científica». El impacto de estos métodos ha sido extraordinario; su aceptación se debe de una parte a la sincera necesidad de los ingenieros, hombres de ciencia y gerentes de empresa de contar con un método de análisis lógico y sistemático, y de otra, a su atractivo, que procede de la aureola mágica que le rodea, debida a su tendencia a la predicción. Entrever el futuro ha tenido siempre un atractivo especial e irresistible.

2.1. Intuición o análisis

Como indica la figura 1.1, cuando se adopta una decisión ésta se basa en datos sobre los resultados obtenidos en el pasado y establece una línea de acción que dará lugar a unos resultados en el futuro. El *enfoque analítico* para la adopción de decisiones supone

un estudio sistemático y una evaluación cuantitativa del pasado y el futuro, mientras que la *intuición* se orienta hacia el presente, pero abarca desordenadamente recuerdos del pasado y estimaciones de lo que puede acontecer en el futuro. Con ambos métodos se elaboran juicios y ambos tienen un puesto en la tarea de adoptar decisiones.

Es razonable suponer que el enfoque analítico es de más confianza, si no por otra razón, porque requiere más esfuerzo para

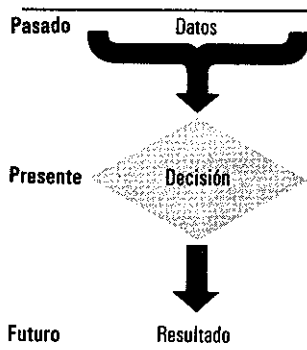


Figura 1.1 Secuencia de la adopción de decisiones

ser llevado a cabo, aunque este esfuerzo es a su vez un motivo para que muchas decisiones se tomen todavía por improvisación. El esfuerzo cuesta dinero, y algunas decisiones menores no justifican el gasto. Incluso en las decisiones mayores hay aspectos que justifican la improvisación. Por otra parte, las decisiones complejas encierran generalmente factores que quedan fuera del alcance de las técnicas analíticas actuales; en este caso el analista no puede pasar de allí y ha de acabar recurriendo a su propio criterio.

La intuición está grandemente influida por el juicio instintivo y, por tanto, es una herramienta válida en el repertorio del sujeto decisor siempre que la lógica no sea empañada por caprichosas reglas empíricas o prejuicios ocultos. Las aplicaciones industriales han confirmado que se necesitan también las herramientas analíticas para la adopción de decisiones. Podemos situar en su debida perspectiva ambos enfoques diciendo que *los métodos analíticos deben emplearse siempre que sean técnicamente factibles y se justifiquen económicamente*. Fuera de estos límites, la intuición y el criterio personal son recursos necesarios y legítimos.

2.2. *Táctica y estrategia*

Los procesos de adopción de decisiones se acortan identificando sus características descriptivas dentro de un entorno decisorio. Al principio de este capítulo se describieron cuatro situaciones decisorias: el patrón del barco pesquero, el ingeniero, el propietario y el gerente; utilizaremos estas situaciones para ilustrar algunos tipos de entornos.

«Táctica» y «estrategia» son familiares términos militares. Asociamos las decisiones estratégicas con el Alto Mando y las decisiones tácticas con las operaciones en el campo de batalla; la estrategia establece los objetivos amplios, mientras que las tácticas asociadas a ella definen las múltiples maniobras que se necesitan para lograr los objetivos. La división del área de decisión en estrategia y táctica es tan válida en la industria como en las operaciones militares.

Estrategia. El objetivo de la industria y la ingeniería es satisfacer las necesidades humanas, las cuales se identifican y concretan mediante encuestas, sondeos de opinión y estudios de investigación de mercados. Una estrategia empieza a tomar forma cuando se atribuye especial atención a una necesidad específica previamente identificada y aislada. Un estudio subsiguiente determina cómo ha de satisfacerse esta necesidad dentro del límite de los recursos disponibles y cristaliza los objetivos de esa estrategia.

Normalmente existen varios objetivos estratégicos aceptables. Una decisión estratégica selecciona idealmente el objetivo que representa el mejor uso de los recursos de una organización, de acuerdo con sus metas a largo plazo. La medida de este tipo de decisión es la *eficacia*; que es el grado en que un objetivo estratégico satisface las metas económicas de una organización o sistema.

El *gerente* de la empresa manufacturera se enfrenta con una decisión estratégica. Cada uno de los planes para la fabricación de un nuevo producto representa una línea de acción que comprometerá una parte importante de los recursos de la empresa. ¿Resistirá a la competencia? ¿Se ajusta a los planes de crecimiento de la empresa? ¿Es compatible con la política de riesgo de la empresa? Todas estas cuestiones juegan su parte en la valoración de la eficacia de cada plan.

El *propietario* del centro de distribución, que desea que su negocio prospere, ha decidido que la adquisición de un cierto número de camiones es lo que mejor satisface a sus objetivos estratégicos. Está dispuesto a arriesgarse, pero pretende que los nuevos camiones reduzcan el tiempo de reparto y por consiguiente aumenten su

participación en el mercado. Alquilar los camiones o subcontratarlos hubiera sido solamente un gesto conservador, e instalar nuevas tiendas está fuera de su capacidad financiera. Espera que el rendimiento de los camiones exceda de la inversión precisa en instalaciones para utilizar este material. Tras esto tiene que tomar decisiones tácticas respecto al tamaño, marca, color y modelo de los camiones que va a comprar, tiene que contratar conductores, organizar el servicio de los vehículos, concertar seguros y disponer otros detalles para llevar adelante la decisión estratégica.

Táctica. Un plan estratégico puede usualmente llevarse adelante por diferentes caminos. Estas alternativas a nivel funcional son las tácticas. El valor relativo de las elecciones tácticas se califica de acuerdo con su *eficiencia*: que es el grado en el que una operación realiza la acción económica pretendida.

La relación entre estrategias y tácticas ofrece algunas ideas útiles. La eficacia de cada estrategia se evalúa inicialmente por el efecto que ejercerá sobre los objetivos del sistema, sirviendo así como guía hacia el área dentro de la cual las tácticas producirán la mayor eficiencia. La eficiencia real de cada táctica se determina por el estudio de las actividades requeridas para conducir una operación táctica.

La figura 1.2 muestra dos estrategias, cada una de ellas con tres medios posibles de realización. La eficiencia media de las tácticas asociadas con la estrategia 1 (tácticas 1-1, 1-2 y 1-3) presenta

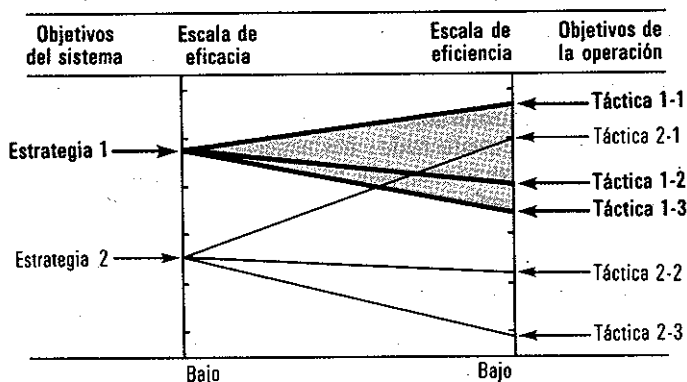


Figura 1.2 Relación entre tácticas y estrategias

un valor medio más alto que las correspondientes a la estrategia 2. Sin embargo, puede suceder que una estrategia con una eficacia menor posea la táctica dotada de la eficiencia más alta. La táctica 2-1 está cerca de la táctica más eficiente, que corresponde a la estrategia 1. Si hubiera sido la más alta en la escala de eficiencia, habría sido el candidato preferente para la selección a pesar de su origen estratégico.

Sensibilidad. La situación decisoria representada en la figura 1.2 tiene una gran sensibilidad; es decir, es vulnerable a los pequeños cambios de las condiciones que la controlan. Con las tácticas 1-1 y 2-1 tan cercanas dentro de la escala de eficiencia, una pequeña variación en las condiciones operativas o en los factores externos influyentes podría cambiar las posiciones de las tácticas más altas o incluso de las estrategias. Se tiene una situación no sensible cuando todas las tácticas de una determinada estrategia tienen mayor eficiencia que la mejor táctica de cualquier otra estrategia. La consecuencia de una alta sensibilidad es que fuerza a una investigación completa para asegurarse de la validez de los datos que se están evaluando. (Otros aspectos de la sensibilidad se estudiarán al discutir el riesgo, más adelante.)

El *patrón del pesquero* se enfrenta con una decisión táctica acerca de cuál de los tres bancos de pesca debe elegir. Su decisión estratégica, que consistió en dedicarse a la pesca utilizando cierto tipo de equipo y operando desde un determinado puerto, fue ya tomada. Ahora tiene que ejecutar esta decisión eligiendo la táctica que mejor utilizará sus recursos. Cada táctica se compone de varios factores. La eficiencia económica de cada uno resulta del valor de las capturas en relación con los recursos gastados, el tiempo consumido y el desgaste sufrido durante el viaje. Estos factores, a su vez, pueden subdividirse en innumerables elementos menores; ahora bien, si tratase de tener en cuenta todos los aspectos del problema su tarea decisoria sería abrumadora, por lo que debe recurrir lógicamente a considerar con preferencia los factores más sensibles. Por experiencia, sabe qué factores son los más sensibles a los cambios inesperados en las condiciones del entorno, tales como los cambios meteorológicos, y concentrando su atención en los factores sensibles deja en su análisis a un lado las cuestiones de detalle menudo. Este enfoque no es solo metodológicamente correcto, sino que es una rutina natural.

El *ingeniero* encargado de la tarea de reparar el pontón dañado se enfrenta con una decisión táctica. La decisión inicial, a nivel

estratégico, de reparar aquel tramo de la red de carreteras fue tomada por el ingeniero jefe del servicio, asesorado por su gabinete técnico; para el ingeniero jefe todas las actividades necesarias a fin de llevar a cabo su decisión son operaciones tácticas; sin embargo, para el ingeniero encargado, la reparación contiene decisiones estratégicas en lo que afecta a las operaciones mayores, tales como expropiaciones, estructuras, canteras, construcción del firme y del pavimento, pero considera, en cambio, como operaciones tácticas los problemas diarios de interrupción de las tareas, disponibilidad de materiales, accidentes, asignación de trabajo, etc. Finalmente, el ingeniero de obra considerará como sus decisiones estratégicas la programación del trabajo de hombres y máquinas para construir el firme y el pavimento, siendo tácticas las demás decisiones que ha de tomar hora a hora para mantener en marcha el trabajo. El peligro de este efecto en «cascada» es que un interés absorbente en la eficiencia operativa podría conducir a una cadena de hechos que reduzca la eficacia del conjunto del proyecto.

Suboptimización. En este ejemplo de la carretera ha aparecido un concepto denominado *suboptimización*; que es el intento de optimizar un segmento táctico de un problema prestando escasa o ninguna atención a la eficacia estratégica de la solución. Cuando se presentan múltiples objetivos en una situación decisoria es probable que no exista ni una sola línea de acción que optimice todos ellos; por consiguiente, se tiene que tratar de seleccionar una alternativa que logre el mejor equilibrio posible entre los objetivos en conflicto. Lo importante es reconocer cuándo *no* están siendo maximizados simultáneamente todos los objetivos destacados de un sistema.

La mayoría de los problemas se plantean primero desde un punto de vista subóptimo. La razón primaria es que el analizar una parte de un sistema le permite al analista llegar a algunas conclusiones provisionales sin verse ahogado bajo un diluvio de detalles. El conjunto de alternativas subóptimas puede entonces modificarse para integrar todas las partes en un conjunto óptimo. Los avances en la ciencia de los ordenadores y en la investigación operativa pueden acabar por permitirnos analizar fácilmente el conjunto entero en una sola evaluación, pero hasta entonces debemos reconocer aquellas áreas en las cuales es más probable que se necesite la suboptimización.

Efecto organización. En las grandes organizaciones, las diversas operaciones que concurren a la realización de un objetivo es-

tratégico son realizadas por diferentes departamentos. Cada departamento se esfuerza por mantener sus costes al mínimo; ahora bien, los procedimientos de minimización de costes de un departamento pueden causar un exorbitante aumento de costes en otro departamento. Un ejemplo típico es el deseo del departamento de producción de mantener largas series de producción para un determinado tipo de producto, con miras a reducir los costes de preparación, mientras que el departamento de almacén desea series más cortas para que el nivel de existencias y los costes de almacenaje del producto se reduzcan. La interdependencia se complica cuando el departamento de ventas añade su deseo de mantener grandes existencias en almacén para evitar que queden pedidos sin servir, y el departamento de instalaciones advierte que hay que reducir el espacio de almacenaje porque la capacidad del almacén tiene un límite. Es una función estratégica del gerente la de orientar estos subobjetivos potencialmente incompatibles hacia un objetivo óptimo para el sistema.

Efecto tiempo. Las tácticas basadas en un horizonte de planificación de uno o dos años no tienen necesariamente la misma eficiencia que las basadas en un número mayor de años. Supóngase un industrial que piensa utilizar anualmente un cierto número fijo de envases que han sido especialmente diseñados. La alternativa que tiene es comprar los envases o fabricarlos él mismo; ahora bien, si los fabrica tendrá que comprar la maquinaria apropiada. La economía de la elección se representa en la figura 1.3. Para un horizonte de planificación de uno o dos años resulta preferible el plan de adquisición; más allá de dos años tiene más atractivo fabricar los envases.

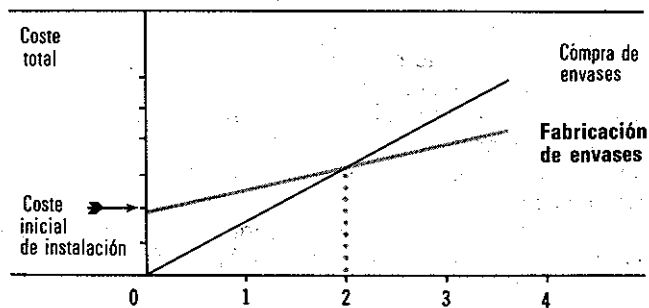


Figura 1.3 Coste de la alternativa táctica

Así como un horizonte de planificación demasiado breve puede deformar gravemente los valores, un periodo más largo tiende a introducir incertidumbre, y a medida que, en busca de estimaciones, penetramos en el futuro, las predicciones pierden fiabilidad. Este hecho se tiene en cuenta en el tratamiento dado a las decisiones con diferentes grados de certidumbre.

2.3. Grado de certidumbre

Podemos clasificar las decisiones de ingeniería y gerencia en tres grandes categorías, que se caracterizan por las condiciones del entorno de la situación decisoria y sugieren un método de análisis propio.

Las decisiones que dan por supuesta la certidumbre incluyen la mayor parte de los planteamientos tradicionales en economía. Es a menudo cómodo y factible considerar todas las condiciones de un problema como si se conociesen con seguridad. De hecho, al suponer certidumbre basamos el análisis en un conjunto de supuestos que creemos presentan una gran expectativa de ser realidad. Esta expectativa puede estar plenamente justificada en muchos casos: por ejemplo, el interés ofrecido por las obligaciones de primera calidad, los métodos de producción bien probados, los diseños experimentados, los materiales sometidos a control de calidad, el prestigio personal, etc. Incluso en situaciones en las que se sabe que existe riesgo, es a menudo más práctico dar por cierto un conjunto de condiciones. En los casos en que es imposible o demasiado caro cuantificar los niveles del riesgo para cada una de las diferentes alternativas, el supuesto de certidumbre ofrece un método práctico de análisis.

Las decisiones que reconocen el riesgo son apropiadas cuando el analista puede obtener buenas estimaciones de la probabilidad de las condiciones futuras y de los efectos económicos de estas condiciones. Pueden requerirse costosas investigaciones y experimentaciones, pero si el coste no es prohibitivo las ventajas de una fugaz visión del futuro pueden merecer el esfuerzo y el gasto. Como ejemplo, supóngase que un arquitecto está pensando presentar un proyecto de una nueva estructura a un concurso. Sabe que si gana el concurso recibirá 10.000 dólares. Si fracasa perderá unos 800 dólares, que es el coste de preparar el proyecto. Nada gana ni pierde si no se presenta. Sabe que otros nueve arquitectos, de capacidad profesional análoga a la suya, van a presentarse al concurso. La

matriz para determinar la cuantía del riesgo tiene el formato siguiente:

	Ganancia [$P(G)=0,1$]	Pérdida [$P(P)=0,9$]
Concurrar	10.000	-800
No concurrar	0	0

Las columnas de la matriz representan situaciones futuras posibles. La probabilidad de estas situaciones futuras (ganar o perder) se ha estimado según el número de candidatos esperados (él mismo y los otros nueve). Las filas contienen los rendimientos esperados de cada situación futura en relación con las líneas de acción alternativas. Una vez que se ha completado la información tal y como acaba de hacerse, el análisis es, casi en su totalidad, pura rutina.

Las decisiones bajo condiciones de incertidumbre son necesarias cuando el analista desea incluir el efecto de diferentes situaciones futuras en su evaluación, pero le resulta imposible predecir la probabilidad de cada situación. Si el arquitecto, en el ejemplo anterior, no pudiera estimar la probabilidad de ganar el concurso, la decisión habría de hacerse bajo incertidumbre y la matriz sería la que se indica en este cuadro:

	Ganancia	Pérdida
Concurrar	10.000	-800
No concurrar	0	0

La escasez de información hace difícil la evaluación cuantitativa, pero afortunadamente existen principios de elección disponibles para guiar al sujeto decisor. Como en toda situación que implica un juicio de valor, la fiabilidad mejora con la adquisición de información fidedigna.

Utilizando esta clasificación para el grado de riesgo en el proceso de la adopción de decisiones, consideraremos las medidas

cuantitativas precisas para determinar las soluciones óptimas en cada clase. Los seis primeros capítulos del texto tratan de las condiciones bajo certidumbre. El riesgo se considera en los capítulos 8 y 9 y el último capítulo trata de la incertidumbre.

3. Procedimientos para la adopción de decisiones

La adopción de decisiones está anclada en dos mundos: el mundo real, de la vida diaria, y el mundo simbólico, orientado científicamente. Como se representa en la figura 1.4, *los problemas económicos*

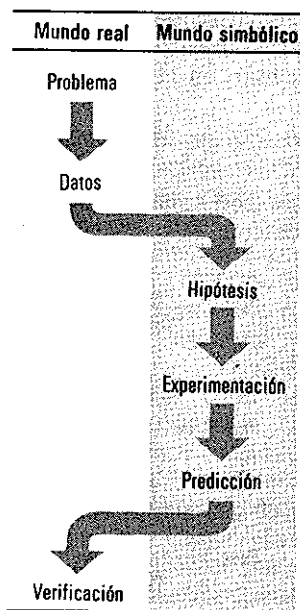


Figura 1.4 Proceso de decisión

cos en ingeniería y en la gestión de empresas se originan en el mundo real de la planificación, la gerencia y el control. El problema se define y aclara mediante *datos* de su entorno, y esta información permite al analista formular una *hipótesis* en términos simbólicos. El lenguaje simbólico le ayuda a convertir esta información en otra de forma más utilizable; manipulando y *experimentando* con

esta abstracción del mundo real, puede simular múltiples configuraciones de la realidad que de otro modo serían muy costosas o incómodas de investigar. De esta actividad surge una esperanzadora *predicción*.

El comportamiento previsto se lleva a la realidad en forma de instrumentos u órdenes para ser sometido a confrontación; si es válido, el problema está resuelto; si no, se repite el ciclo añadiendo, como nueva información, que el planteamiento anterior ha fracasado.

No hay manera de garantizar una solución válida. Algunos problemas desafían toda posible recopilación de datos; otros parecen demasiado complejos para ofrecer ni siquiera un punto de partida. Sin embargo, los decisores han de tomar decisiones. La mejor defensa contra la posibilidad de verse arrinconados sin remedio contra la pared es el ataque sistemático del problema. Por «sistemático» queremos indicar un procedimiento lógico de paso a paso. Las fases del ataque se representan en el diagrama de la figura 1.5.

3.1. Definición del problema

La definición del problema se inicia con una actitud mental. El decisor tiene que prepararse conscientemente para adoptar una

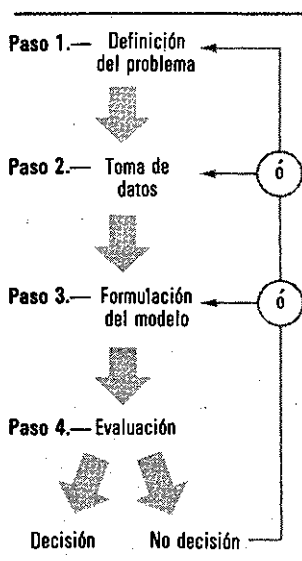


Figura 1.5 Secuencia de los procesos de decisión

decisión y debe comprender que para ello se requieren medidas explícitas, tales como una exposición exacta de los objetivos, la mayor cantidad y mejor calidad posible de información, una correcta aplicación de los instrumentos analíticos apropiados y la determinación de llevar adelante el análisis sin titubeos. Se trata de una tarea agobiante, pero cuando hay que tomar decisiones de responsabilidad nunca parece haber bastante tiempo para realizar toda la investigación deseada. La definición cuidadosa del problema es una buena válvula de seguridad para la adopción de decisiones en circunstancias apremiantes.

El entorno decisorio proporciona la mayor parte de las claves para una buena definición. Hemos comentado ya la naturaleza de los objetivos tácticos y estratégicos, la sensibilidad de las alternativas y los efectos de la suboptimización; la finalidad de las siguientes consideraciones es la identificación de los objetivos pertinentes y de las líneas de acción alternativas.

Objetivos. Si un objetivo único satisface el problema, el planteamiento preciso es relativamente fácil, pero a medida que las ramificaciones de un problema son más numerosas resulta más difícil definir las metas. Por ejemplo, raramente existe una situación en la que sea suficiente afirmar que el objetivo es reducir costes; la reducción de costes puede estar sujeta a un gasto máximo, o a un límite de tiempo, o a restricciones en la programación, o a la disponibilidad de recursos o a otros factores menos evidentes. Estos factores o restricciones son también criterios objetivos.

Las finalidades contradictorias y las metas nebulosas dan origen a objetivos confusos. La orden de encontrar «la mejor maquinaria por la menor cantidad de dinero» no sirve más que para confundir; puede ser posible decidir cuál es la «mejor» maquinaria, pero es improbable que sea la menos costosa. De la misma manera, el encargo de obtener «la mejor instalación para nuestros fines» es demasiado general para ser útil. Las normas equívocas y los objetivos indefinidos conducen a interpretaciones personales. La expresión precisa de unas metas realistas simplifica el proceso entero de la adopción de decisiones.

Alternativas. En la investigación preliminar de una solución puede ser útil la enumeración de todas las líneas de acción posibles; el objeto de este planteamiento «de rueda libre» es identificar alternativas que de otra manera pasarían inadvertidas. *Brain-storming* y *skull sessions* son nombres descriptivos utilizados para los métodos

de acumulación masiva de ideas que ayudan al esfuerzo creador.

Si bien es importante buscar medios nuevos para realizar un propósito, es no menos importante reconocer las limitaciones prácticas, y corresponde a cada uno, pues es una cuestión personal y a menudo muy molesta, decidir si las restricciones que él mismo impone existen en la realidad o son imaginarias.

3.2. *Recogida de datos*

Los datos equivalen al combustible, en la tarea de adoptar decisiones, y tienen que ser de buena calidad si el proceso ha de funcionar con suavidad. Todos los pasos en la tarea decisoria se apoyan en la recolección de datos, y no hay paso que pueda compensar la falta de buenos datos.

Las fuentes de datos son abundantísimas; casi todo el mundo está dispuesto a dar una opinión acerca de cualquier problema de otra persona; pero las fuentes confiables de datos son menos abundantes. Las opiniones subjetivas han de ser sin duda tenidas en cuenta en la recogida de información, pero existen también otras fuentes que deben ser aprovechadas a fondo. Esta enorme lista de posibles fuentes incluye los datos elaborados en forma de manuales, registros públicos de información, publicaciones oficiales, periódicos y revistas especializados, obras de referencia, estadísticas de producción de la empresa, datos contables, servicios de información de los abastecedores, datos registrados sobre experimentos, informes especiales y muchas otras publicaciones.

Soluciones. Los datos actuales se utilizan para predecir las soluciones (*outcomes*) obtenidas por líneas de acción alternativas. En las decisiones que dan por supuesta la certidumbre, las soluciones se calculan directamente con los datos recogidos; cuando se incluye el riesgo, los datos actuales se extrapolan para el futuro de manera que proporcionen estimaciones de lo que podría pasar si se siguiera una determinada línea de acción. Estas estimaciones se llaman *resultados* (*payoffs*). Las soluciones, para el arquitecto que está pensando en presentarse a un concurso, dan estos resultados: 10.000 dólares de ganancia si venciese en el concurso y 800 dólares de pérdida si fracasase. Cuanto más envueltos están los objetivos en la niebla de la incertidumbre, más acuciante se hace proporcionalmente la estimación de soluciones, siendo preciso buscar datos de alta calidad y someterlos a un cuidadoso tratamiento por inferencia.

Intangibles. Existen con frecuencia, en una situación decisoria, factores que no pueden evaluarse monetariamente si se tiene la menor pretensión de rigor; a estos factores se les llama *intangibles*. La distinción entre factores tangibles e intangibles está en la facilidad y exactitud con que los datos pueden expresarse cuantitativamente. De hecho, si se aplican suficientes recursos, se puede dar a casi todos los factores un cierto rigor cuantitativo, transformándose entonces la cuestión en la de comparar el esfuerzo realizado con el resultado obtenido.

Todas las decisiones tienen algunos aspectos intangibles: así, la satisfacción emotiva debida a una cierta línea de acción, la consideración de la seguridad, la influencia sobre el personal, el prestigio, las amistades, las relaciones públicas y otras muchas por el estilo. Estos aspectos han de entrar en el proceso de decisión, bien como intangibles identificados o como vagas impresiones. Así, la cuestión de saber si merece la pena intentar la cuantificación de los intangibles solo puede ser contestada después de haberlos identificado. Cualquiera que sea la respuesta, quien ha de adoptar decisiones tiene el deber de reconocer que los intangibles influyen sobre la decisión con el mismo poder de persuasión que los tangibles.

3.3. *Formulación del modelo*

Un modelo es una representación del mundo real. Comenzamos a formular nuestro modelo al desarrollar objetivos y alternativas. El modelo muestra la relación entre causa y efecto, entre objetivos y restricciones; es objeto de manipulación para mostrar el producto final que podemos esperar cuando se sigue una determinada línea de acción. Por la gran amplitud con que varían las situaciones decisorias, son necesarios diferentes tipos de modelos, de los que consideraremos tres clases: físicos, esquemáticos y matemáticos. Aunque en los estudios económicos nos interesan principalmente los modelos matemáticos, las otras dos clases son también auxiliares eficaces en situaciones especiales.

Modelos físicos. Los modelos de automóviles a escala reducida se asemejan muy de cerca a los automóviles del mundo real que representan; algunos modelos de automóviles pueden incluso correr en pistas de carreras; estos modelos no solamente son fiel reflejo de los del mundo real, sino que en ciertos aspectos funcionan como automóviles reales. Pueden hacerse modelos para provocar su choque y, si estos modelos son representaciones realistas, los efectos del choque pueden evaluarse. Una colisión semejante a ésta

representaría en el mundo real un gasto financiero muy importante e incluso un gran peligro para la vida humana.

Los modelos físicos pueden tener las dimensiones del objeto real, ser más pequeños o ser mayores; pueden utilizarse para demostración o para experimentación. Un globo terráqueo muestra la orientación de un área geográfica respecto a otra. Una maqueta, de dos o de tres dimensiones, de una fábrica se utiliza para juzgar el efecto de las variaciones en la ubicación de los equipos con respecto al flujo del trabajo. Una maqueta dirige la atención hacia la distancia. No se incluyen en ella otros efectos tales como el ruido o la vibración. La concentración en uno de los rasgos característicos es una ventaja cuando los otros rasgos se consideran carentes de importancia; pero puede ser una desventaja cuando los rasgos despreciados son significativos.

Modelos esquemáticos. Las representaciones gráficas o modelos esquemáticos tienen muchas características comunes con los modelos físicos: pueden ser de cualquier tamaño, ponen de relieve un aspecto y pueden utilizarse para demostración o experimentación. Un gráfico circular dividido en segmentos, que muestra la porción de una unidad monetaria gastada en cada una de las diferentes fases de la operación, es un medio demostrativo. Los organigramas muestran las divisiones y a menudo las responsabilidades de cada área dentro de una institución. En un gráfico que representa el diagrama de un proceso productivo, los elementos del proceso (operaciones, interrupciones, transportes, almacenajes e inspecciones) pueden alterarse para determinar los efectos de reordenar o cambiar el flujo de trabajo. Si estos experimentos se realizaran con el flujo real del trabajo serían, en el mejor de los casos, incómodos y, en el peor, paralizarían la actividad productiva. El análisis de redes, del que es típico la programación por el método del camino crítico (capítulo 4) se utiliza para facilitar el planeamiento y control de un proyecto.

Modelos matemáticos. Las ecuaciones y las fórmulas son modelos matemáticos familiares. Son más concisos y menos expuestos a una falsa interpretación que otras clases de modelos. El uso de símbolos no mejora la exactitud de un análisis, pero sí aumenta la precisión; especialmente cuando a los interesados les son familiares las cifras y los símbolos, los modelos son eficaces para la demostración. Los modelos matemáticos se pueden aplicar a una amplia gama de problemas analíticos.

En la adopción de decisiones, utilizamos modelos matemáticos principalmente para predecir soluciones y para evaluar cuantitativamente las operaciones en curso. Así, por ejemplo, las condiciones de coste mínimo y de punto de cobertura se examinan mediante una combinación de modelos matemáticos y esquemáticos (capítulo 2); los modelos de programación lineal se utilizan para determinar el uso óptimo de los recursos disponibles (capítulo 3); los cálculos que emplean tipos de interés revelan el valor del dinero a lo largo del tiempo (capítulos 5 a 7); los modelos de probabilidad relacionan el riesgo con los objetivos estratégicos y tácticos (capítulos 8 y 9). En todas estas aplicaciones hemos formulado modelos pertenecientes al mundo abstracto para representar las condiciones del mundo real.

3.4. *Evaluación*

El mérito de un modelo se determina por su fidelidad para representar al mundo real. La prueba final de su capacidad predictiva se presenta cuando las predicciones se comparan con la realidad. Sin embargo, es una precaución de seguridad someterle a unas pruebas previas. La veracidad de un modelo puede comprobarse inicialmente aplicándolo a datos históricos; si el objetivo consiste en predecir el volumen de ventas, los valores de hace dos años pueden utilizarse como datos para predecir las ventas del año pasado; si hay acuerdo entre lo previsto y las cifras de ventas reales, ello indica que el modelo puede utilizarse para predicciones en el momento presente, con tal de que el entorno decisorio no haya cambiado en lo esencial.

Cada clase de modelo se evalúa diferentemente: en los modelos físicos se realizan mediciones operando bajo condiciones controladas; en los modelos esquemáticos se evalúan las posiciones; normas, algoritmos y criterios decisorios establecen los medios de juzgar los modelos matemáticos. Todo buen modelo de datos cuantificados contribuye a completar el análisis haciendo más asequibles las soluciones resultantes de las diferentes colecciones de datos, a la vez que aumenta el tiempo de que dispone el decisor para concentrarse en el análisis de los intangibles.

Una vez que se han utilizado todos los instrumentos disponibles para tomar decisiones, la autoridad final recae en el decisor; él tiene que evaluar la exactitud y fiabilidad de sus datos y del modelo; tiene que atemperar las predicciones del modelo de acuerdo con todas las consideraciones intangibles significativas, y tras esto

tiene que ver su decisión sometida a prueba en un mundo real y hostil.

4. Comparaciones primarias

No todas las decisiones en ingeniería y gestión de empresas son tan complejas como se da a entender en las secciones precedentes. Aparte de las necesarias, pero menos significativas, decisiones rutinarias, existen situaciones en las que una evaluación directa de los datos inmediatamente disponibles dará una solución. Las características de estas decisiones se infieren de su título descriptivo: *comparaciones primarias*.

«Comparaciones» significa que se están contrapesando los valores de dos o más alternativas. Una comparación válida solo es posible si las soluciones de las alternativas son esencialmente equivalentes.

«Primaria» indica una situación de inmediatez; por tanto, todos los factores influyentes en el entorno decisorio están ya presentes; se supone la certidumbre; y el efecto del tiempo, incluyendo el valor temporal de las inversiones, no tiene importancia para la situación decisoria.

En resumen, *las comparaciones primarias conducen a una decisión entre alternativas con soluciones equivalentes que no son afectadas por el tiempo.*

4.1. Escalas de resultados

Antes de deliberar sobre la solución de un problema, tenemos que ser capaces de expresar nuestras preferencias en cuanto a las soluciones. Algo del misterio que se asocia a la previsión de soluciones desaparece si consideramos cada alternativa como si se hubiera dado ya en la realidad. Podemos entonces calificar su efecto. Las calificaciones pueden obtenerse mediante una estimación subjetiva e individual, el consenso de opinión, la extrapolación de registros históricos, la correlación u otros medios.

Las escalas de calificación más útiles poseen propiedades matemáticas que describen el problema y permiten una evaluación, aunque debemos tener presente que algunos factores intangibles desafían esta gradación; por consiguiente, es importante conocer tanto las escalas cuantitativas como las cualitativas.

4.2. Comparaciones con escalas ordinales

En una *escala de ordenación simple* cada elemento está colocado por encima o por debajo de cualquier otro elemento. Cuando se ha dispuesto esta ordenación, bajo condiciones que suponen certidumbre, tenemos una solución. Cuando los intangibles son significativos, una ordenación jerarquizada de las soluciones es un medio cómodo de comparación. El decisor se limita a poner en lista las alternativas, de acuerdo con su preferencia respecto a las soluciones. Puede comparar todas las soluciones con un atributo común o puede comparar entre sí cada pareja de soluciones. Para ilustrar este último caso, supóngase que tenemos cuatro alternativas que conducen a las soluciones W , X , Y y Z . La formación de parejas con los resultados da lo siguiente:

$$\begin{array}{ll} W > Y & X > Z \\ X > W & Z > W \\ X > Y & Z > Y \end{array}$$

donde el símbolo $>$ se lee «preferida a».

Contando el número de veces que cada solución se da a la izquierda de las parejas se tiene un método sencillo de descubrir que el orden de preferencias es $X > Z > W > Y$ (X está en la izquierda tres veces, Z dos veces y W una; como Y no se prefiere a ninguna de las otras soluciones, no aparece en el lado «preferente» en ninguna pareja).

Una evaluación que indica que dos o más soluciones son iguales entre sí da origen a una *escala de ordenación débil*. Esta condición se da comúnmente en «ingeniería humana», o sea en las mediciones psicológicas. Si hacemos que W , X , Y y Z representen cuatro niveles de iluminación, las parejas pueden indicar:

$$\begin{array}{ll} W > Y & X > Z \\ X > W & Z = W \\ X > Y & Z > Y \end{array}$$

donde el símbolo $=$ indica que no hay preferencia apreciable. El orden resultante, $X > (Z = W) > Y$, muestra que existe una preferencia apreciable solo entre tres niveles de iluminación: el nivel X es preferido a los otros, el nivel Y es el menos deseable y no existe distinción posible entre el Z y el W .

Hay dos cuestiones que a veces crean confusión al construir escalas ordinales. La primera se llama *intransitividad*. Esta condi-

ción se da cuando las parejas muestran una relación tal como:

$$A > B \quad B > C \quad C > A$$

Esta jerarquización circular puede atribuirse a incompetencia del calificador, pero no deja de darse en la realidad. Cualquier aficionado a los deportes puede recordar ocasiones en que el equipo *A* ganó al equipo *B*, que a su vez ganó al equipo *C* que batió al equipo *A*. Para resolver el conflicto circular en una escala de ordenación significativa necesitamos más información, tal como, por ejemplo, los resultados de otros partidos entre los equipos *A*, *B* y *C*.

La otra cuestión es la tentación de leer, cuando se tiene una ordenación, una cierta espaciación numérica entre los elementos. La simple ordenación $X > Z > W > Y$ puede representar conjuntos de números como $100 > 99 > 98 > 2$ o $41 > 10 > 2 > 1$. La falta de intervalos específicos elimina toda operación aritmética o estadística.

4.3. Comparaciones con escalas de intervalos

El paso siguiente en la creación de escalas consiste en asignar números a las preferencias. Comenzamos asignando el cero a un punto arbitrario y expresamos las soluciones utilizando una unidad constante de medida. Las escalas termométricas Fahrenheit y centígrada son escalas de intervalos. Este intervalo, el grado, es constante, tanto en una como en otra escala, pero las dos escalas tienen diferentes puntos para el cero. Esto significa que la relación entre dos mediciones de temperatura en una escala da un valor diferente que la relación de estas mediciones en otra escala (comárese un cambio de temperatura de 10° a 100° en la escala Fahrenheit con el mismo cambio en la escala centígrada). Para hacer comparaciones válidas tienen que usarse unidades de medida normalizadas.

Calificación de los resultados. Se han sugerido varios métodos para medir los valores en una escala de intervalos. Churchman y Ackoff ofrecen un método en el cual se supone que los valores son aditivos. Se pide al decisor que asigne números entre 1,00 y 0,00 a las soluciones alternativas, de acuerdo con la que es para él su intensidad aproximada de preferencia. Una calificación de las soluciones *W*, *X*, *Y* y *Z* puede ser la siguiente:

<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>W</i>	<i>Y</i>
1,00	0,80	0,40	0,30

La suma de los valores de Z , W e Y ($0,80 + 0,40 + 0,30$) se compara con la calificación de X ($1,00$). *Para que exista una preferencia por X su calificación tiene que superar a la combinación de los otros valores. ($X > Z + W + Y$)*.*

Se pueden asignar nuevas calificaciones, tales como

X	Z	W	Y
1,00	0,60	0,20	0,10

donde $1,00 > (0,60 + 0,20 + 0,10)$. Después se compara el valor de Z con la suma de W e Y . Los valores anteriores confirman una preferencia por Z , $0,60 > 0,20 + 0,10$. La secuencia termina mostrando una preferencia de W sobre Y , $0,20 > 0,10$.

Existen muchos conjuntos de números que muestran la misma calificación preferencial:

X	Z	W	Y
1,00	0,97	0,02	0,01
1,00	0,34	0,32	0,01
1,00	0,04	0,02	0,01

El método no asegura por sí mismo que se haya conseguido una verdadera escala de intervalos, pero sistematiza el proceso de enjuiciamiento, aunque la exactitud sigue siendo función del esfuerzo y las opiniones del sujeto decisor.

Decisiones condicionales. Las situaciones decisorias consideradas hasta ahora han sido selecciones independientes; es decir, las situaciones decisorias eran completas en sí mismas y no dependían de soluciones previas o relacionadas con ellas. Cuando una decisión incluye necesariamente la referencia a alternativas previas, se dice que es una *decisión condicional*.

La mayoría de los problemas de diseño y desarrollo son por naturaleza condicionales. Al disponerse de varias alternativas en cada etapa de desarrollo o en cada área de diseño, las evaluaciones preliminares de diversas combinaciones de métodos o componentes son particularmente apropiadas para su evaluación por escalas de intervalos. Este planteamiento actúa como un filtro, quedando los

* El símbolo $>$ se utiliza aquí en su sentido matemático usual, «mayor que», para indicar una relación cuantitativa.

diseños más prometedores identificados para un examen más profundo.

El formato en «árbol de decisiones» sirve para elaborar decisiones condicionales; todas las alternativas que han de ser consideradas se muestran gráficamente como ramas de un árbol. Mediante comparaciones primarias haremos una selección de las diferentes alternativas o combinaciones de alternativas sin hacer referencia al efecto del tiempo. En el capítulo 9 utilizaremos el mismo formato añadiendo los efectos del tiempo y del riesgo.

La fig. 1.6 muestra las posibles combinaciones disponibles en un diseño para definir las especificaciones de un componente; las

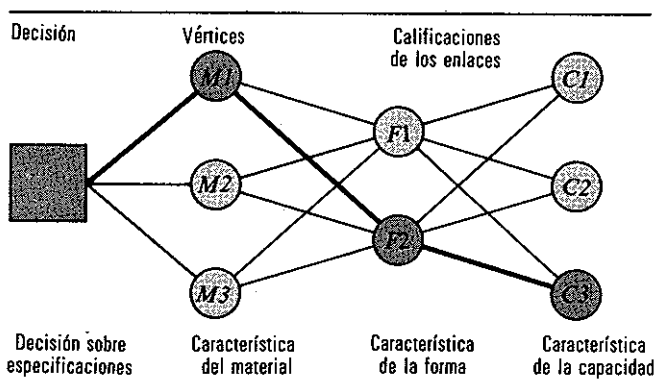


Figura 1.6 Características del diseño

características que han de especificarse son tres: material, forma y capacidad. Las selecciones previas dentro de los límites de estas características han reducido a tres los tipos de material, a dos las configuraciones de la forma y a tres las capacidades. El símbolo de forma cuadrada a la izquierda indica que hay que tomar una decisión entre los caminos que llevan hacia la derecha. Cada vértice (círculo) representa una cualidad del diseño; los vértices se agrupan en columnas, de acuerdo con las características comunes. Un camino completo desde el cuadrado hasta un vértice de la última columna representa una alternativa.

A cada enlace entre vértices se le da una calificación condicional; es decir, cada característica se califica con un valor en relación

con las demás características en su camino. Una especificación para el componente podría ser, material 1 ($M1$), forma 2 ($F2$) y capacidad 3 ($C3$). Las calificaciones para la característica del material dependerían solamente de una preferencia entre los tipos $M1$, $M2$ y $M3$, pero las calificaciones de los enlaces entre material y forma se basarían en el valor de una determinada forma producida con un determinado material. Así, la calificación del enlace entre $M1$ y $F2$ indica el valor relativo de la forma 2 construida con material 1. A su vez, el valor del enlace entre $C3$ y $F2$ es la calificación para la capacidad 3 teniendo presente que $M1$ y $F2$ están en su camino. Existen 18 ($3 \times 2 \times 3$) combinaciones diferentes o caminos entre los cuales hay que seleccionar una especificación.

El camino de trazo grueso en la fig. 1.6 representa una alternativa para el diseño. Reordenando las compactas pero entrelazadas ramas podremos distinguir mejor otras alternativas. La figura 1.7 muestra una forma *ampliada* del árbol de decisiones para el mismo componente, añadiendo las calificaciones de los enlaces. Las tres características se siguen separando en columnas, pero se da un vértice para cada enlace; esta distribución produce una agrupación de vértices para cada calidad dentro de una misma característica.

En este ejemplo, la suma de las calificaciones de los enlaces para cada agrupación es 1,0. Esto puede lograrse según el método de Churchman-Ackoff, dividiendo cada calificación de una agrupación determinada por la suma correspondiente a la agrupación. Así, las calificaciones de los enlaces de una agrupación de

X	Z	W	Y
1,00	0,60	0,20	0,10

se convertirían en

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{1,0}{1,0 + 0,6 + 0,2 + 0,1} \\
 &= 1,0/1,9 = 0,53 \\
 Z &= 0,6/1,9 = 0,32 \\
 W &= 0,2/1,9 = 0,10 \\
 Y &= 0,1/1,9 = 0,05 \\
 \text{Total} & \quad \underline{1,00}
 \end{aligned}$$

Otro planteamiento, aunque menos riguroso, consiste en calificar los enlaces de las soluciones mediante números enteros. Si

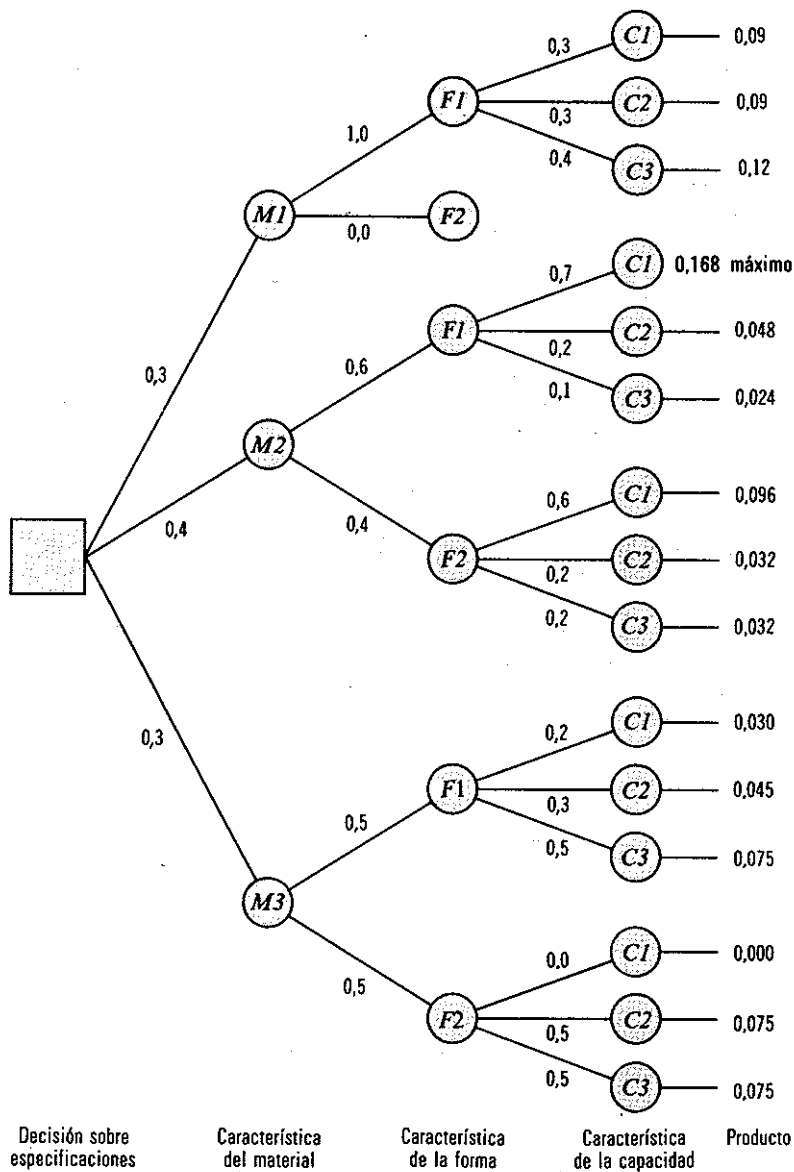


Figura 1.7 Arbol de decisiones ampliado para la evaluación de un diseño

hay cuatro alternativas en una agrupación, sus soluciones podrían calificarse:

<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>
6	2	2	1

lo que muestra una preferencia relativamente fuerte por *J*, indiferencia entre *K* y *L* y una ligera preferencia por *K* o *L* sobre *M*. Puede hacerse que estas calificaciones totalicen 1,0 dividiendo cada una por 11 (la suma de las calificaciones). Así

$$\begin{aligned}
 J &= 6/11 = 0,55 \\
 K &= 2/11 = 0,18 \\
 L &= 2/11 = 0,18 \\
 M &= 1/11 = 0,09 \\
 \text{Total} & \quad 1,00
 \end{aligned}$$

La columna de la característica del material tiene solo una agrupación, *M1*, *M2*, *M3*. Para cada calidad de esta característica hay una agrupación que representa dos formas posibles, *F1* y *F2*. Las calificaciones de los enlaces indican una fuerte preferencia por *F1* con *M1*, una ligera preferencia por *F1* con *M2* e indiferencia entre las formas con *M3*. Siempre que una calidad tiene una calificación 0, el camino queda terminado evidentemente en ella (*M1* - *F2*).

El procedimiento de evaluación consiste simplemente en seguir paso a paso cada rama, para determinar el camino que da un producto mayor. De acuerdo con las calificaciones representadas, el camino *M2-F1-C1* sería la especificación preferida, con una calificación de 0,168 para el producto.

Para las comparaciones primarias, en este método, la tarea de determinar los valores de los enlaces es tanto su mayor ventaja como su principal limitación, ya que cada calificación condicional tiene que reflejar el valor de aquella cualidad en relación con todas las cualidades precedentes. Incluso para un problema relativamente pequeño, el procedimiento de calificación se hace gravoso y complicado; sin embargo, este esfuerzo da valor al procedimiento, porque anima a la identificación y consideración de las interdependencias. Este cuidadoso escrutinio puede revelar nuevas alternativas o puede eliminar de toda consideración posterior a algunas ramas. La evaluación final tiende a indicar qué alternativas merecen mayor investigación.

4.4. *Comparaciones mediante escalas de relaciones*

El sistema de calificación más útil y más ampliamente usado es el basado en las escalas de relaciones. Tiene todas las propiedades de las otras dos escalas, pero, además, posee un punto de cero absoluto y la notable propiedad de la aditividad. Las mediciones de peso, longitud y dinero son escalas de relación.

El contacto diario con las escalas de relación da a estos medios de calificación una confortable experiencia. Así, las mediciones directas de peso y longitud proporcionan las bases de muchas decisiones tanto en el mundo real como en el mundo simbólico, pero aunque estas medidas directas se utilizan también en los estudios económicos, en la práctica, y siempre que es posible, se tiende a convertir en valores monetarios todas las mediciones.

Decisiones monetarias. Un refrán que a menudo es aplicable a las comparaciones monetarias de tipo primario es el que dice que «la familiaridad quita autoridad». Como es tan habitual tomar decisiones basándose solamente en la comparación de los costes inmediatos, se ignoran a veces los aspectos más sutiles de un problema.

Una familia numerosa piensa visitar a unos parientes al otro lado del país. Se proponen ir en automóvil y les preocupa el coste del alojamiento durante las noches; la estancia en moteles u hoteles representa unos 30 dólares por cada una de las 10 noches que incluye el viaje de ida y vuelta. Se puede alquilar un remolque por 65 dólares por semana; estarán fuera 4 semanas; otros gastos asociados al uso del remolque representan unos 50 dólares. La casi igualdad de costes de las dos alternativas (300 dólares frente a 310 dólares) hace difícil la decisión.

Un ama de casa lee en el periódico que en un mercado al otro lado de la ciudad la carne para filetes se vende a 0,60 dólares por kilogramo más barata que en el que normalmente ella compra. Se gastaría un dólar en trasladarse a aquel mercado distante y volver a su casa, para ahorrar 0,90 dólares en kilo y medio de carne.

Una persona quiere renovar el césped de su jardín; que se halla invadido por malas hierbas. Para ello puede recurrir a un servicio de jardinería, que por 150 dólares le prepara el terreno con un equipo movido por un tractor, o puede también alquilar un pequeño motocultor y contratar a un muchacho de la vecindad por un coste total de 5 dólares la hora. Este muchacho necesitaría de 20 a 25 horas para completar el trabajo. Esta alternativa le representaría

por lo menos 25 dólares de ahorro respecto a la utilización del servicio de jardinería.

En las situaciones decisorias anteriores, las distancias recorridas y el tiempo empleado se convirtieron en cantidades monetarias. Esta conversión hace directamente comparables casi todos los factores alternativos; pero limitarse a comparar dólares y céntimos es incorrecto a menos que las soluciones sean equivalentes. La corriente expresión «falsas economías» refleja bien lo fácil que es cegarse por las «gangas». Una comparación entre alternativas solo es válida cuando las soluciones de las alternativas son esencialmente equivalentes.

Las dos formas de alojamiento de la familia viajera tienen que compararse en cuanto a comodidad y no solo en cuanto a precio.

El ama de casa está comprando calidad al mismo tiempo que cantidad. Si la carne más barata es de la misma calidad que la del precio normal, la comparación monetaria es válida.

Es dudoso que un operario sin experiencia en la utilización de un motocultor pueda preparar el terreno tan bien como un servicio de jardinería profesional utilizando el equipo apropiado. Si las dos alternativas no producen resultados de aproximadamente la misma calidad, la comparación de precios es insuficiente.

Situaciones semejantes ocurren con frecuencia en todas las fases de la industria. Consideraremos algunas de las más corrientes, bajo las categorías de personas, métodos, materiales y máquinas.

Evaluación de personas. Los premios a la valía profesional adquieren sus cotizaciones máximas en la calificación de «estrellas» en las industrias del espectáculo y el deporte. El artista o el atleta que logra un «nombre» recibe grandes remuneraciones de las industrias del cinematógrafo, la televisión, el disco y los libros. Los premios decrecen rápidamente para los artistas y atletas secundarios. Un jugador de béisbol de uno de los grandes equipos norteamericanos puede esperar unos ingresos de, al menos, 100.000 dólares por año si su promedio de *batting* es de 0,400. El salario proporcional para un jugador que, como bateador, diese un promedio de 0,200 debería ser de 50.000 dólares; y, sin embargo, este último apenas podría sostenerse en un equipo de primera categoría y mucho menos ganar 50.000 dólares. En la producción industrial, relaciones como ésta no se presentan tan claramente.

Supóngase que un obrero recibe 3 dólares por hora y que los costes indirectos derivados de su empleo representan el 50 % de su jornal. Opera con una máquina que supone un coste de 13,50

dólares por hora y produce normalmente 10 piezas por hora. El coste por pieza es:

$$\frac{3,00 + 0,50 \times 3,00 + 13,50}{10} = 1,80 \text{ dólares por pieza}$$

Otro obrero utiliza el mismo tipo de máquina, pero produce solamente 7 piezas por hora. Un cálculo análogo mostraría que su jornal horario H debería ser

$$\frac{H + 0,50H + 13,50}{7} = 1,80 \text{ dólares por pieza}$$

de donde:

$$H = \frac{12,60 - 13,50}{1,50} = -0,60 \text{ dólares por hora}$$

lo que significa que tendría que pagar a la compañía 0,60 dólares por hora por el privilegio de trabajar en ella.

Aunque este ejemplo representa un caso exagerado, llama la atención sobre el cuidado que debe ponerse para determinar unos jornales horarios adecuados. Las primas y los incentivos son métodos utilizados para premiar a los obreros más eficientes. Debería ser evidente que existe un nivel de producción por debajo del cual no se merece ni el salario mínimo.

Evaluación de métodos. Con frecuencia, se logran soluciones equiparables utilizando métodos o diseños enteramente diferentes. La busca y selección de nuevos medios para reducir costes es la esencia de una disciplina llamada *ingeniería de valores* o *análisis de valores*. Esta disciplina fomenta «la aplicación sistemática de técnicas conocidas que: (1) identifican la función de un producto o servicio, (2) establecen un valor para esta función y (3) desarrollan un medio de proporcionar este valor»*.

El valor se establece solo y exclusivamente por comparación, y no es ingrediente intrínseco de ningún diseño. Muchos de los productos y sistemas actuales son diseñados en equipo, y, debido a la complejidad y velocidad con que marcha el desarrollo tecnológico,

* *Value Engineering Methods Manual*, The Boeing Company, Seattle, Wash., 1962.

Valor de uso	Las propiedades o cualidades que originan un uso, trabajo o servicio.
Valor de afección	Las propiedades de un objeto que hacen deseable su propiedad.
Valor de coste	La suma del trabajo, las materias primas, los gastos generales y otros costes necesarios para producir el valor económico.
Valor de cambio	Las cualidades de un objeto que hacen posible procurarse otros artículos mediante su cesión.

Figura 1.8 Tipos de valores económicos

los grupos encargados del diseño no pueden dedicar una minuciosa atención a todos los montajes parciales o submontajes. Esto lleva a suboptimizaciones y submontajes realizados por prácticas rutinarias. El resultado final es una disminución de valor económico y un aumento de costes innecesarios. La figura 1.8 indica cuatro tipos de valores económicos y la figura 1.9 muestra las causas de los costes innecesarios.

Información incompleta	Incapacidad para reunir todos los hechos.
Falta de una idea	Incapacidad para explorar todas las posibles formas de realizar un servicio o de fabricar un producto.
Creencias erróneas pero sinceras	Decisiones basadas en lo que se cree que es verdad y no en los verdaderos hechos.
Hábitos y actitudes	Hábitos que nos llevan adonde estábamos ayer y actitudes que tienden a mantenernos allí.

Figura 1.9 Causas de los costes innecesarios

La ingeniería de valores destaca los valores de *uso*. El valor de una cosa no puede ser superior al valor de la función que realiza. Surgen costes innecesarios cuando aparece un método menos costoso de realizar la misma función sin reducir la calidad.

Un estudio de ingeniería de valores comienza por la identificación de la función primaria de un elemento, por medio de un verbo y un sustantivo. De acuerdo con esta técnica, la función primaria de una mesa sería la de «soportar peso» y la de un envase para transporte sería la de «proporcionar protección». Pueden identificarse también todas las funciones secundarias; por ejemplo, un envase para el transporte puede también «atraer ventas». Todos los submontajes, tales como un método de apertura por cremallera para un envase, deben contribuir a mejorar el valor de la función primaria o de la secundaria.

Se asigna después un valor a la función, comparándola con alguna otra manera de realizar la misma tarea. Se evalúan después las áreas de costes, para determinar dónde son excesivos bien los gastos o bien los estándares de calidad actuales. Se buscan entonces métodos alternativos que satisfagan la calidad deseada.

Por ejemplo, un fabricante tenía un contrato para suministrar motores de potencia entre 10 y 20 CV. Según las cláusulas del contrato, los motores debían ir embalados en jaulas individuales. Este requisito resultaba innecesariamente costoso. Después de estudiar el problema se le propuso al comprador que aceptase el uso de bastidores metálicos recuperables en lugar de las jaulas y que los seis motores que iban en cada bastidor se entregasen protegidos con una cubierta de plástico. La propuesta fue aceptada y de ello resultó un ahorro considerable.

Si el «sustantivo», en la descripción de la función, tiene un parámetro mensurable, como el peso o la longitud, su evaluación matemática es posible. La clave de la comparación consiste en asignar valores monetarios a los parámetros de calidad equivalente; ahora bien, cuando la comparación parece favorable, queda todavía el problema de llevarla a la práctica. Por lo general, todo cambio encuentra una cierta resistencia. Así, el esfuerzo necesario para producir una idea útil resulta a menudo insignificante cuando se le compara con el que se requiere para que sea aceptada. En todo estudio bien hecho, las objeciones deben estar previstas y, por tanto, deben incluirse los medios necesarios para solventarlas.

Otro ejemplo de análisis de valores es el siguiente. La cerradura de la puerta de un pequeño compartimiento parecía innecesariamente costosa. La puerta iba en el exterior de la cabina de un nuevo tipo de camión y cerraba un compartimiento para herramientas. El diseño original exigía una cerradura de llave que costaba 2,27 dólares. Su descripción funcional era «asegurar la puerta». La busca de alternativas descubrió una cerradura de resbalón que cumplía

no menos bien la misma finalidad y costaba 1,11 dólares. Una nueva investigación llevó a un sujetador automático que solo costaba 0,21 dólares. Finalmente, se volvió a estudiar todo el conjunto y se concluyó que no hacía falta ni siquiera la puerta, porque el compartimiento de herramientas tenía fácil acceso desde el interior de la cabina. El estudio llegó así a un ahorro total de 16,42 dólares por camión.

El coste de un estudio de valores tiene que restarse de los ahorros derivados del estudio. Para conseguir el máximo rendimiento del esfuerzo empleado, los estudios deben concentrarse primero en los elementos para los cuales se ha proyectado un gran gasto; así y todo, habrá muchos candidatos, por lo que se deberá realizar una selección examinando los factores que tienen que entrar en el estudio, por medio de la fórmula:

$$\frac{\text{Ahorro potencial}}{\text{Costes del estudio de valores y de su aplicación}} \times \text{probabilidad de su aplicación} = \text{factor de calificación}$$

El factor de calificación ayuda a redactar una lista de prioridades para la dedicación del tiempo disponible para estudios. Los elementos con mayor potencial de ahorro en cuanto a reducción de costes son los que primero reciben atención, mientras que el estudio de los elementos con menor reducción potencial de coste se realizará si hay tiempo para ello.

Evaluación de materiales y maquinaria. La selección entre tipos o marcas de materiales y máquinas es una tarea constante en las decisiones industriales. Cada vez son más numerosos los nuevos tipos de materiales que pueden emplearse de diferentes maneras y en diferentes máquinas. Las características de materiales y máquinas varían radicalmente de unos a otros; por tanto, el sujeto decisor tiene que elegir las propiedades que considera más importantes para llevar a efecto las comparaciones.

Las máquinas, como las personas, parecen tener características individuales. Algunas máquinas realizan un trabajo más preciso que otras; o bien necesitan más tiempo para arrancar o alcanzar el régimen normal; otras sufren frecuentes averías y no son dignas de confianza. Por ello, los costes de operación varían ampliamente. Por razón de tan diversas características, la asignación del trabajo a las diferentes máquinas puede ser una tarea muy difícil.

Incluso la simple cuestión de realizar un conjunto de cálculos en una calculadora manual o hacerlo en un ordenador electrónico contiene diversas consideraciones:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ¿Qué precisión se necesita? | El ordenador da más precisión. |
| ¿Se dispone de tiempo de máquina? | Los cálculos manuales pueden prácticamente realizarse a cualquier hora y en cualquier lugar. |
| ¿Se dispone de un programa? | Puede llevar más tiempo escribir un programa para un ordenador que realizar el problema entero a mano. |
| ¿Se presentará de nuevo el problema? | Si la contestación es sí, resultará más atractivo el escribir un programa. |
| ¿Cuándo se necesita la respuesta? | Un ordenador es normalmente mucho más rápido si se dispone ya de un programa. |

La mayoría de las respuestas a estas cuestiones incluyen tiempos. El tiempo del empleo de la máquina, el tiempo de preparación, el tiempo de control y el tiempo del operador se convierten fácilmente en cantidades monetarias, pero la base de la comparación tiene que seguir siendo la equivalencia de resultados, es decir, una solución que dé la precisión deseada dentro del tiempo disponible.

Las alternativas típicas de selección para los materiales son el peso, la resistencia, la facilidad para su empleo por la máquina y el aspecto. También aquí el decisor tiene que decidir qué es lo que quiere como solución y evaluar de acuerdo con ello las alternativas. Un contratista que compara conducciones de hierro galvanizado con conducciones de aluminio se enfrenta con una decisión en selección de materiales; ambos materiales son suficientemente fuertes y resistentes a la corrosión o a la oxidación y con ambos pueden hacerse conducciones del mismo tipo. El aspecto es poco importante, porque serán pintados después de la instalación. Las principales diferencias están en el peso y el precio; el peso influye en la insta-

lación y en los costes de transporte. Los costes a pie de obra para unas conducciones, por cada sección de 3 m, serían:

	Coste básico (dólares)	Peso (kg)	Diferencia de coste debida al peso (dólares)	Comparación de costes (dólares)
Aluminio	2,20	2,00	—	2,20
Hierro galv.	1,90	3,75	0,14	2,04

La comparación de costes puede dar resultados completamente distintos si las conducciones tienen que ser enviadas a gran distancia. Los 1,75 kg de diferencia por sección podrían representar una diferencia importante de coste. Por ejemplo, para una edificación en Alaska la calificación de soluciones cambiaría de la siguiente manera:

	Coste básico		Fletes		Coste de instalación		Coste total
Aluminio	2,20	+	0,32	+	0,41	=	2,93
Hierro galv.	1,90	+	0,60	+	0,51	=	3,01

4.5. Comparaciones de calificación mixta

Llegados a este punto en el análisis de las calificaciones, conviene plantearse esta cuestión: «¿qué hacemos si algunas de las calificaciones se nos dan en una escala de intervalos y otras en una escala de relaciones?». Corolario de esta pregunta es la siguiente: «¿cómo se comparan las alternativas cuando existen varias bases para la equivalencia de soluciones?». Las respuestas se obtienen mediante la utilización de números adimensionales.

Considérese la comparación entre dos prototipos de un nuevo diseño de gato para automóviles. Se han seleccionado cinco criterios para su evaluación: seguridad, coste, aspecto, peso y fiabilidad. El primer paso consiste en asignar una calificación al valor de cada criterio. El coste y el peso son escalas de relaciones, y la seguridad, el aspecto y la fiabilidad se calificarán probablemente mediante escalas de intervalos. Como lo deseable son costes y pesos más bajos, se pueden calificar los criterios restantes de manera que la cali-

ficación más baja indique también una preferencia. Estas calificaciones pueden ser:

	Seguridad	Aspecto	Coste (dólares)	Peso (kg)	Fiabilidad
Gato 1	1	4	6,27	4,85	1
Gato 2	2	2	3,86	3,10	3

De acuerdo con las anteriores calificaciones, el gato número 1 es el mejor con respecto a seguridad y fiabilidad, mientras que el gato número 2 destaca en aspecto, coste y peso.

El paso siguiente consiste en calificar la importancia relativa de cada uno de los criterios. La ponderación acordada a cada uno refleja la importancia dada a las soluciones de las alternativas. *Los números más altos (ponderaciones) indican preferencia.* De acuerdo con la ponderación que aparece en la tabla siguiente

	Seguridad	Aspecto	Coste (dólares)	Peso (kg)	Fiabilidad
Gato 1	1	4	6,27	4,85	1
Gato 2	2	2	3,86	3,10	3
Importancia	3	2	4	1	2

el coste parece ser el criterio más importante y el peso el menos importante.

Con toda la información de que ahora se dispone podemos realizar la evaluación. Se establece la relación para las soluciones de cada pareja de alternativas. La relación de seguridad es 1/2. Se lleva siempre la misma alternativa (gato 1, en este ejemplo) al numerador. La relación proporciona un número adimensional. A continuación, cada relación se eleva a una potencia de exponente igual a la importancia con que se la ha calificado. Operando así, la relación de costes que se obtiene es

$$\left(\frac{6,27}{3,86}\right)^4 = (1,624)^4 = 6,956$$

y la relación de seguridad es:

$$\left(\frac{1}{2}\right)^3 = (0,50)^3 = 0,125$$

Si se multiplican ahora entre sí todos los valores obtenidos para las distintas relaciones, la comparación completa arrojará el siguiente valor

$$\begin{aligned} \frac{\text{Gato 1}}{\text{Gato 2}} &= \left(\frac{1}{2}\right)^3 \left(\frac{4}{2}\right)^2 \left(\frac{6,27}{3,86}\right)^4 \left(\frac{4,85}{3,10}\right)^1 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \\ &= 0,125 \times 4 \times 6,956 \times 1,565 \times 0,111 \\ &= 0,6042 \end{aligned}$$

Dado que el producto es inferior a 1,0, la preferencia se inclina por el gato 1, ya que este valor supone que el denominador (gato 2) es mayor que el numerador (gato 1), y hemos indicado que los números bajos son preferidos. Expresada de otra manera, la relación puede escribirse así:

$$\begin{aligned} \frac{\text{Gato 1}}{\text{Gato 2}} &= \frac{(1)^3 \times (4)^2 \times (6,27)^4 \times (4,85)^1 \times (1)^2}{(2)^3 \times (2)^2 \times (3,86)^4 \times (3,10)^1 \times (3)^2} \\ &= \frac{1 \times 16 \times 1.532 \times 4,85 \times 1}{8 \times 4 \times 221 \times 3,10 \times 9} \\ &= \frac{118.883}{197.309} \\ &= 0,604 \end{aligned}$$

que obviamente da el mismo resultado. Sin embargo, esta última expresión muestra claramente la relación entre el numerador y el denominador. Recordando que los números más bajos en el sistema de calificación expresan preferencia, podemos observar que el gato 1 tiene el producto más bajo y es, por consiguiente, la alternativa preferida.

Referencias bibliográficas seleccionadas

Bridgman, P. W.: *Dimensional Analysis*, Yale University Press, New Haven, Conn., 1922.

Bross, I. D.: *Design for Decision*, The Macmillan Company, Nueva York, 1957.

Churchman, C. W., y R. L. Ackoff: «An Approximate Measure of Value», *Operations Research*, 2, 1954.

Churchman, C. W., R. L. Ackoff y E. L. Arnoff: *Introduction to Operations Research*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1957.

Hall, A. D.: *A Methodology for Systems Engineering*, D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, N.J., 1962.

Miles, L. D.: *Techniques of Value Analysis and Engineering*, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1961.

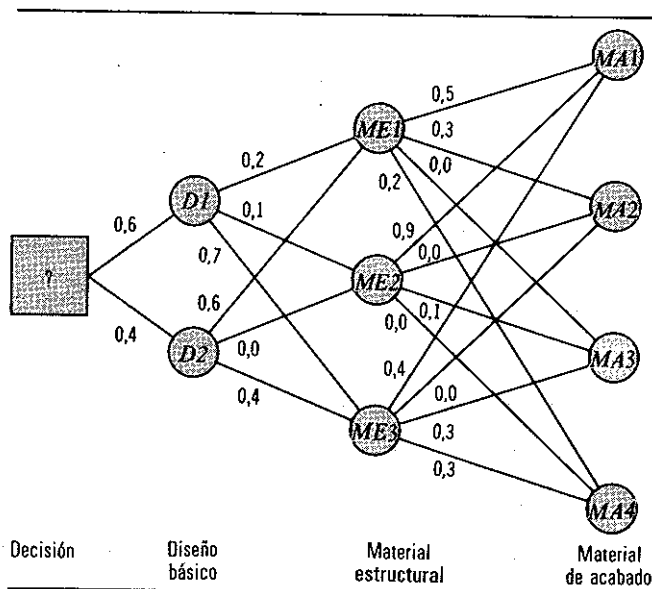
Starr, K. L.: *Product Design and Decision Theory*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1963.

Thrall, R. M., C. H. Coombs, y R. L. Davis: *Decision Processes*, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1954.

Value Engineering Methods Manual, The Boeing Company, Aerospace Division, Seattle, Wash., 1962.

Problemas

1.1. Un arquitecto está preparando un proyecto de casa de vacaciones prefabricada. El árbol de decisión dado a continuación muestra las calificaciones que el arquitecto ha asignado a las características de dos posibles diseños de tejado y techo. Las calificaciones se basan en las preferencias esperadas de los consumidores en cuanto a la sencillez para su montaje por ellos mismos, la facilidad de conservación y el aspecto una vez terminada.



La calificación más alta posible es 1,0. ¿Qué combinación de diseño, material estructural y material de acabado es la preferible?

1.2. En un lugar próximo al de construcción de un puente hay que montar una planta hormigonera. Se cuenta con dos áreas de préstamos para la obtención de arena de la misma granulometría. Una está a dos kilómetros al sur del emplazamiento del puente y la otra a cuatro kilómetros al norte de este emplazamiento. Los demás áridos pueden obtenerse de una gravera a tres kilómetros al norte del emplazamiento del puente. La mezcla proyectada requiere, en peso, el doble de materiales gruesos que de arena, por cada metro cúbico de hormigón. Se puede llevar la grava y la arena en volquetes desde su origen a la planta y a su vez, camiones hormigoneras pueden acarrrear el hormigón desde la planta al emplazamiento del puente: el coste de transportar el hormigón es el doble del coste de transportar un peso análogo de arena u otros áridos en un volquete. La planta hormigonera se puede montar en cualquier lugar entre las dos áreas de préstamos de arena. ¿Cuál es la localización más económica para esta planta y qué préstamo de arena debe utilizarse?

1.3. Un comercio de aparatos electrodomésticos ha recibido licencia para distribuir un nuevo tipo de tocadiscos. Se propone anunciar este tocadiscos mediante una campaña directa por correo, utilizando por lo menos 14.000 ejemplares de un impreso: para ello dispone de una máquina multicopista en la misma tienda. Si la utiliza, los impresos saldrán al precio unitario de 0,01 dólares. Ahora bien, tendrá que contar también con un dibujante, que cobrará 195 dólares, para que haga los dibujos del tocadiscos y las rotulaciones del impreso. Los sobres y el franqueo resultarán a 30 dólares por millar.

Otra alternativa posible consiste en imprimir la circular en una imprenta; en ese caso, el fabricante del tocadiscos proporcionará gratuitamente las planchas para los grabados, pero el coste de impresión subirá de todas maneras a 414 dólares. Una ligera variación en el formato hará posible enviar los impresos sin utilizar sobres. Esta modificación costará 40 dólares y los gastos de envío serán entonces de 0,02 dólares por impreso.

Por cualquiera de los dos métodos, la publicidad será suficiente y de análoga eficacia. Los costes de imprimir las direcciones serán los mismos en ambas alternativas. ¿Cuál debe elegirse?

1.4. Durante el invierno, muchas alcantarillas se atascan y sufren daños las cunetas en un tramo de un camino forestal. Se estima que se necesitarán 1.000 horas-hombre para las reparaciones. Se necesita una hora en cada dirección para trasladarse de la dependencia forestal más próxima al tramo dañado. Los vehículos del servicio transportan un máximo de 7 hombres y pueden realizar un viaje de ida y vuelta por 8 dólares; solo se dispone de 4 vehículos, pero se pueden alquilar otros por 16 dólares cada viaje de ida y vuelta. Los trabajadores reciben 15 dólares por jornada de 8 horas, incluyendo en ella el tiempo de transporte. El equipo mecánico necesario para los

trabajos costará 40 dólares por día cualquiera que sea el número de personas en la cuadrilla. Si no existe escasez de trabajadores, ¿cuál será el tamaño más económico de la cuadrilla? ¿Debe utilizarse una cuadrilla de este número?

1.5. Un sujetador de corbata que se entrega a todos los nuevos reclutas en una sección de las Fuerzas Armadas es de cromo plateado, lleva una pinza soldada y contiene una reproducción del emblema de la rama del servicio a la que corresponde el centro. La descripción de la función que realiza este sujetador podría ser «sujetar piezas», en donde las piezas son la corbata y la camisa. Una función secundaria (o quizá la más importante) es «dar buena impresión». Dígase de qué manera la creación de otro medio, sustitutivo de éste, y el método de evaluación dependen de la descripción funcional de este objeto. Si este sujetador de corbata cuesta 0,93 dólares, determínese una alternativa menos costosa basada en la función de «sujetar piezas». ¿Cómo satisface esta alternativa la función «dar buena impresión»?

1.6. El departamento de comunicaciones ha señalado cuatro piezas como las más apropiadas para realizar estudios de ingeniería de valores. Los datos reunidos sobre estas cuatro piezas se indican en la tabla siguiente:

Pieza	Ahorros anuales estimados (dólares)	Costes estimados del estudio y de su aplicación (dólares)	Probabilidad de su aplicación
1	14.000	4.000	0,9
2	6.500	1.000	0,6
3	41.000	9.000	0,7
4	3.300	600	0,8

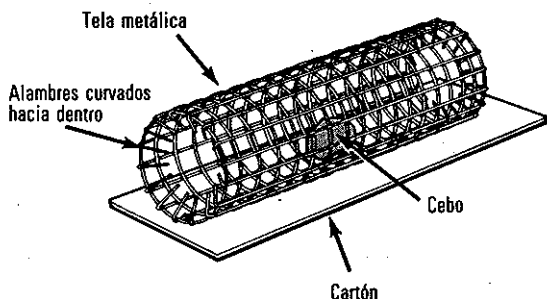
De acuerdo con la fórmula del factor de calificación, ¿qué alternativa debería elegirse? ¿Qué otras consideraciones no incluidas en los datos podrían influir sobre la decisión?

1.7. La ratonera más generalmente utilizada es la basada en un resorte que utiliza el impacto producido por éste para matar al ratón. Este tipo ha sido utilizado durante muchísimos años y es muy eficaz. Tanto el resorte como el sistema de disparo son lo más perfecto que cabe en sencillez y economía. Sin embargo, este tipo de trampa presenta ciertas desventajas. Es peligrosa, porque no es selectiva; puede matar gatos y perros pequeños; puede hacer daño a los niños o a los adultos que, por accidente, toquen el sensible mecanismo del cebo; puede producir un desagradable espectáculo si el ratón sangra o es cortado en dos; preparar la trampa y sacar la víctima

Tubo ratonero**Accionamiento:**

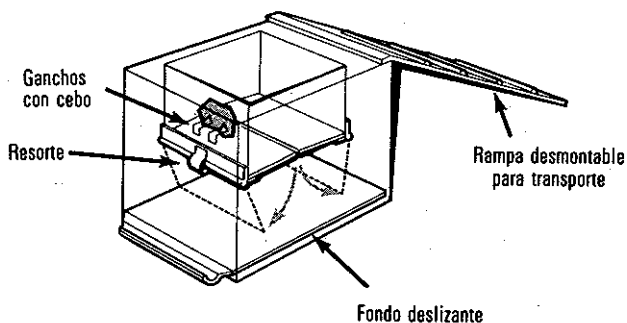
- 1) El ratón entra en el cilindro en busca del cebo
- 2) El ratón no puede salir del cilindro
- 3) El ratón muere de hambre o envenenado por el cebo

Los materiales se indican en la figura

**Ratonera múltiple****Accionamiento:**

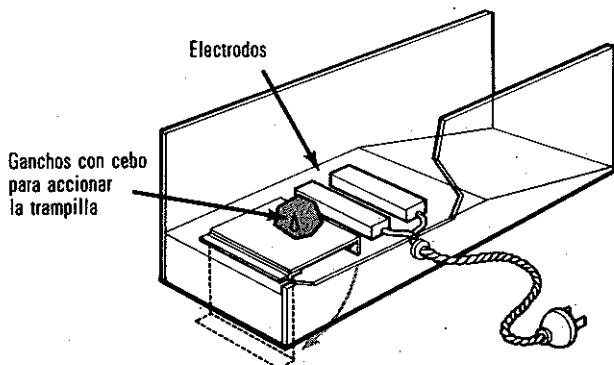
- 1) El ratón sube por la rampa
- 2) Salta a la sección inserta en el interior, en busca del cebo
- 3) Las trampillas cedan bruscamente por el peso del ratón
- 4) El ratón cae al fondo
- 5) El ratón es destruido con cal viva

Los materiales se indican en la figura

**Ratonera electrónica****Accionamiento:**

- 1) El ratón entra en el túnel
- 2) El ratón es electrocutado

Material: plástico transparente



es muy desagradable para la mayor parte de las mujeres y para algunos hombres.

Con la idea de producir una ratonera mejor, se han seleccionado, para su evaluación, los tres modelos que en la página anterior se describen.

- a) Enumérense los criterios para evaluar los modelos.
- b) Determinése una calificación para cada solución proporcionada por estos modelos.
- c) Ponderése la importancia de los criterios.
- d) Decídase cuál es el modelo más prometedor.

1.8. Los emplazamientos posibles para una planta química han quedado reducidos a tres. Los criterios para las selecciones finales, la valoración de los criterios para cada alternativa y la importancia de los criterios se muestran en la tabla siguiente:

Solución	Alternativa			Importancia
	Emplaz. 1	Emplaz. 2	Emplaz. 3	
Mano de obra disponible	8	2	1	4
Materias primas	7	1	4	4
Transporte	3	3	1	3
Coste del terreno (dólares)	120.000	400.000	300.000	2
Coste de construcción (dólares)	1.000.000	1.200.000	900.000	2
Impuestos anuales y costes de electricidad, agua, etc. (dólares)	20.000	40.000	60.000	2
Clima	2	1	4	1

La preferencia corresponde a los valores más bajos de los criterios y a las puntuaciones más altas de la importancia. ¿Qué emplazamiento parece más atractivo? ¿En qué orden de calificación quedan los emplazamientos no elegidos respecto al emplazamiento preferido?

1.9. Un contratista de hormigonado utiliza cuadrillas de diferente número de obreros, según se trate de viviendas o de centros comerciales. Una tarea típica en la construcción de viviendas requiere tres horas en el lugar de trabajo y media hora de viaje en cada dirección con una cuadrilla mínima de dos personas: un oficial y un peón. El oficial recibe 3,50 dólares por hora y el peón 2 dólares por hora.

Si se añade otra pareja (oficial y peón) a la cuadrilla mínima, el tiempo de trabajo requerido para una tarea típica se reduce en un 60 %; pero si se añade solamente un peón, se reduce en un 30 %, y si se añaden dos peones se reduce en un 50 %. Debido al orden en que han de realizarse las tareas y a las limitaciones de espacio, la cuadrilla máxima es de cuatro personas.

Los costes de transporte son independientes del número de personas por cuadrilla. Hay que cargar 10 dólares por hora de gastos generales por herramientas y maquinaria, coste que es también independiente del número de personas de la cuadrilla y se carga tanto por el tiempo de trabajo como por el empleado en el transporte. ¿Qué composición de la cuadrilla proporcionará el resultado más económico?

1.10. Las participantes en el concurso artístico de «Miss Todo» son calificadas de acuerdo con su belleza, personalidad y talento. La belleza se considera dos veces más importante que la personalidad y cuatro veces más importante que el talento. Las señoritas se califican mediante una escala ordinal simple (1, 2, 3, . . . , n), siendo 1 la calificación más alta. Una señorita ha sido calificada como la primera en belleza, pero la décima en talento. Sabe ella que la señorita calificada en segundo lugar por belleza es la sexta en talento. ¿Cuál es la calificación mínima en personalidad que la señorita que ha alcanzado el primer lugar en belleza tiene que obtener para ser elegida «Miss Todo»?

1.11. Una compañía que fabrica material electrónico especial emplea 60 mujeres para fabricar resistencias en miniatura. Las mujeres trabajan un promedio de 2.000 horas al año, con una producción media de 16,2 unidades por hora, de las cuales el 6 % son defectuosas. El tercio más experto de este grupo produce 19,1 unidades por hora con un 3,4 % de defectuosas, únicamente. El coste de arreglar una unidad defectuosa representa 0,30 dólares para la compañía.

Todo el trabajo se paga a un tanto fijo de 0,15 dólares por pieza. Cada mujer utiliza un puesto de trabajo y un equipo especial que tiene un coste anual fijo de 612 dólares. Los costes indirectos y la supervisión representan 740 dólares por año y obrera.

Para la misma producción total, ¿cuánto podría gastarse por año en seleccionar, entrenar e interesar en el trabajo a las mujeres para que todas ellas produjesen al nivel de las 20 mejores?